

Usporedno parcijalna analiza točnosti relativnih odstupanja GPS i GLONASS položaja u polarnim predjelima

Žarković, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:848669>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



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

Repository / Repozitorij:

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



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

NIKOLA ŽARKOVIĆ

**USPOREDNO PARCIJALNA ANALIZA TOČNOSTI
RELATIVNIH ODSTUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA
U POLARNIM PREDJELIMA**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2020.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**COMPARATIVE PARTIAL ANALYSIS OF THE
ACCURACY OF RELATIVE DEVIATIONS OF GPS AND
GLONASS POSITIONS IN POLAR AREAS**

**USPOREDNO PARCIJALNA ANALIZA TOČNOSTI
RELATIVNIH ODSTUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA
U POLARNIM PREDJELIMA**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Primijenjena satelitska navigacija

Mentor: prof. dr. sc. Serđo Kos

Komentor: doc. dr. sc. David Brčić

Student: Nikola Žarković

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112063277

Rijeka, rujan 2020.

Student: Nikola Žarković

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112063277

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom USPOREDNO PARCIJALNA ANALIZA TOČNOSTI RELATIVNIH ODSUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA U POLARNIM PREDJELIMA izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Serđa Kosa te komentorstvom doc. dr. sc. Davida Brčića.

U radu sam primijenio metodologiju izrade znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan sam s trajnom pohranom diplomskog rada u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Nacionalnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:

a) rad u otvorenom pristupu

b) pristup svim korisnicima sustava znanosti i visokog obrazovanja RH

c) pristup korisnicima matične ustanove

d) rad nije dostupan

Student

Nikola Žarković

SAŽETAK

Cilj ovog rada je prikazati usporedno parcijalnu analizu relativnih odstupanja položaja putem GPS (engl. *Global Positioning System*) i GLONASS (rus. *Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema*) globalnih navigacijskih satelitskih sustava u polarnim predjelima. Ova tema je važna za uspješno vođenje broda, tj. navigacije broda u sve više prometnijim polarnim predjelima.

U radu su obrađeni globalni i regionalni navigacijski sustavi koji se danas koriste i dalje razvijaju, a sve kako bi se povećala brzina i točnost prijenosa signala do korisnika za dobivanje što točnijeg položaja. U pomorskoj navigaciji netočan položaj može biti vrlo opasan, dok u oceanskoj, a posebice navigaciji u polarnim predjelima može značiti dodatno vrijeme plovidbe, dodatni utrošak pogonskog goriva a posebno nesigurnost za brod i posadu. Potreban je sve veći razvoj GNSS sustava na način da se razvijaju SBAS sustavi (engl. *Satellite Based Augmentation System*), odnosno WAAS (engl. *Wide Area Augmentation System*) sustav za područje SAD, EGNOS (engl. *European Geostationary Navigation Overlay Service*) sustava za područje Europe i ostali sustavi koji danas osiguravaju pokrivenost gotovo cijele zemaljske kugle kvalitetnim satelitskim signalom.

Pristup ocjenjivanju pogrešaka položaja zadanih stanica učinjen je statističkom analizom skupa podataka koji sadrži zapise položaja izmjerenih na izabranim stanicama u odabranom vremenskom razdoblju. Statističkoj analizi prethodio je izbor uzorka nad kojim će se vršiti analiza, a zatim priprema podataka koja je bila neophodna. Da bi se mogla uspješno napraviti statistička obrada podataka trebalo je izabrati i kvalitetan uzorak. Nakon provjere dostupnosti podataka odabran je period ispitivanja od sedam dana i rezultati tog ispitivanja izneseni su u ovom diplomskom radu.

U ovome radu može se vidjeti koji čimbenici utječu na nešto lošije određivanje položaja satelitskim sustavima u polarnim predjelima u odnosu na ostale dijelove Zemlje. Isto tako napravljena je usporedba skupa statističkih podataka o zapisanim položajima GPS sustava i GLONASS sustava iz koje vidimo kako je GPS sustav nešto točniji nego GLONASS.

Ključne riječi: satelitska navigacija, globalni i regionalni navigacijski sustavi, polarni predjeli, GNSS, GPS, GLONASS.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present comparative partial analysis of relative positioning deviations of GPS and GLONASS global navigation satellite systems in polar areas. This subject is of great interest for successful ship management, i.e. ship navigation in polar regions as areas of increased traffic.

The paper analyses the positioning performance of global and regional navigation systems that are still in use today and continuously developing, all in order to increase the speed and accuracy of signal transmission to the final user for obtaining the most accurate position. In maritime navigation, an incorrect position can be very dangerous. Moreover, when it comes to oceans and navigation in polar regions, it can mean additional sailing time, additional fuel consumption and especially it could threaten the security of the ship and crew. This is the reason why continuous development of GNSS system is required and this development should follow improvement of SBAS system (Satellite Based Augmentation System), respectively WAAS (Wide Area Augmentation System) system for the area of United States, EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) system for European continent and other systems that today provide coverage of almost the entire globe with a quality signal. The approach to estimate the position errors was done by statistical analysis of a data sets containing records of the positioning solutions measured at the selected stations in the selected time period. To make statistical analysis, firstly was required on which the analysis will be preformed, and then the preparation of the data that was necessary. In order to be able to successfully preform statistical data processing, a quality sample had to be selected. After checking data availavility a test period of seven days was selected and the results of that test are presented in thethesis.

In this paper it can be seen which factors influence the somewhat worse positioning of satellite systems in the polar regions compared to other parts of the Earth. Moreover, comparison research of a set of statistical data on the recorded positions of the GPS system and the GLONASS system was made from which we can conclude that the GPS system is somewhat more accurate than the GLONASS system.

Key words: satellite navigation, global and regional navigation systems, polar areas, GNSS, GPS, GLONASS

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
1. UVOD.....	4
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA	5
1.2. RADNA HIPOTEZA.....	5
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	6
1.4. ZNANSTVENE METODE.....	6
1.5. STRUKTURA RADA	7
2. SATELITSKI NAVIGACIJSKI SUSTAVI.....	8
2.1. POJAM I DEFINICIJA SATELITSKIH SUSTAVA	8
2.2. PODJELA I PREGLED SATELITSKIH SUSTAVA.....	9
2.2.1. <i>Globalni satelitski navigacijski sustavi</i>	<i>10</i>
2.2.2. <i>Regionalni satelitski sustavi</i>	<i>11</i>
2.2.3. <i>Sustavi za povećanje točnosti satelitskih navigacijskih sustava</i>	<i>11</i>
2.3. ODREĐIVANJE POLOŽAJA SATELITSKIM SUSTAVIMA	13
2.4. GPS	16
2.4.1. <i>Prostorni segment</i>	<i>16</i>
2.4.2. <i>Kontrolni segment</i>	<i>17</i>
2.4.3. <i>Korisnički segment i prijenosni medij</i>	<i>18</i>
2.4.4. <i>Koordinatni sustav i sustav vremena</i>	<i>18</i>
2.4.5. <i>Satelitski signali GPS sustava.....</i>	<i>19</i>
2.4.6. <i>Frekvencije i navigacijske poruke GPS sustava</i>	<i>20</i>
2.5. GLONASS	21
2.5.1. <i>Prostorni segment</i>	<i>21</i>
2.5.2. <i>Kontrolni segment</i>	<i>21</i>
2.5.3. <i>Koordinatni sustav i sustav vremena</i>	<i>22</i>
2.5.4. <i>Satelitski signali GLONASS sustava</i>	<i>23</i>

2.5.5. <i>Frekvencije i navigacijske poruke</i>	24
2.6. SATELITSKO ODREĐIVANJE POLOŽAJA U POLARNIM PREDJELIMA	26
2.6.1. <i>Polarna područja</i>	26
2.6.2. <i>Problem navigacije u polarnim predjelima</i>	26
3. SVEMIRSKO VRIJEME	27
3.1. SUNCE	27
3.2. AKTIVNOST SUNCA	29
3.2.1. <i>Solarni ciklus</i>	30
3.2.2. <i>Sunčev vjetar</i>	30
3.2.3. <i>Značajni poremećaji aktivnosti Sunca</i>	30
3.3. ZEMLJA	32
3.3.1. <i>Struktura Zemljine atmosfere</i>	32
3.3.2. <i>Osnove dinamike ionosfere</i>	32
3.3.3. <i>Okvirni vertikalni profil ionosfere</i>	33
3.4. UTJECAJ SVEMIRSKOG VREMENA NA ZEMLJU	34
3.5. GEOMAGNETSKE OLUJE I IONOSFERSKI POREMEĆAJI	35
3.6. UTJECAJ SVEMIRSKOG VREMENA NA POLARNE PREDJELE	36
4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	38
4.1. TIJEK ISTRAŽIVANJA	38
4.2. VREMENSKI PERIOD TE GEOGRAFSKO PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	40
4.3. IZVORI PODATAKA POTREBNIH ZA ISTRAŽIVANJE	40
4.4. KORIŠTENI ALATI PRI ISTRAŽIVANJU	42
4.5. METODE OBRADE I ANALIZE PRIKUPLJENIH PODATAKA.....	43
4.5.1. <i>Proračun pogrešaka položaja</i>	43
4.5.2. <i>Statistička analiza</i>	44
4.5.3. <i>RStudio</i>	45

5. USPOREDNO PARCIJALNA ANALIZA RELATIVNIH ODSUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA U POLARNIM PREDJELIMA	46
5.1. ANALIZA RELATIVNIH ODSUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA U SJEVERNIM POLARNIM PREDJELIMA	46
5.1.1. <i>Reziduali odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava za stanice u sjevernim polarnim predjelima.....</i>	<i>54</i>
5.2. ANALIZA RELATIVNIH ODSUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA U JUŽNIM POLARNIM PREDJELIMA	57
5.2.1. <i>Reziduali odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava za stanice u južnim polarnim predjelima.....</i>	<i>65</i>
5.3. KORELACIJSKA ANALIZA	68
6. ZAKLJUČAK.....	73
LITERATURA	75
KAZALO KRATICA.....	77
POPIS TABLICA.....	78
POPIS SLIKA	78
PRILOZI.....	80

Ovaj diplomski rad je podržan od Sveučilišta u Rijeci, u okviru sveučilišnog znanstvenog projekta uniri-tehnic-18-66: "Istraživanje okolišnih utjecaja na rad satelitskih navigacijskih sustava u pomorskoj navigaciji", voditelj projekta prof. dr. sc. Serđo Kos.

1. UVOD

Globalna satelitska navigacija postala je sastavni dio današnjeg modernog društva, te današnji način života ljudima nije zamisliv bez njenih korisnih usluga. Osim što pruža temelj za vođenje navigacije u prometu bilo koje vrste, ona također pruža uslugu mjerenja brzine, vremena, te smjera kretanja zadanog objekta. Globalni navigacijski satelitski sustav koristi se u civilne, vojne, znanstvene i istraživačke svrhe. Važnost ovih sustava očituje se i u raznim drugim djelatnostima kao što su bankarski sustavi, elektroenergetska postrojenja, komunikacijske mreže i dr.¹

Potreba za visokom točnosti globalnih navigacijskih sustava, kao i njihova široka primjena dovoljan su razlog za brojna istraživanja raznovrsnih izvora i uzroka pogrešaka kod globalnih satelitskih navigacijskih sustava.

Tema ovog diplomskog rada je usporedba dva potpuno operativna globalna navigacijska satelitska sustava u polarnim predjelima. Analizom pogrešaka Američkog GPS i Ruskog GLONASS (*rus. GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) sustava, te njihovom usporedno parcijalnom analizom relativnih odstupanja nastoji se dobiti uvid u veličine odstupanja, shvatiti dinamiku pogrešaka dvaju sustava te odrediti koji je sustav točniji i pouzdaniji za upotrebu u polarnim predjelima.

¹ Žarković, N.: „GLONASS sustav“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Unatoč velikoj važnosti i brojnim istraživanjima na području pogrešaka satelitskih navigacijskih sustava, usporedno parcijalna analiza relativnih odstupanja GPS i GLONASS položaja u polarnim predjelima važna je jer će dati odgovor na dvije stvari: koliko ovakvi sustavi mogu biti točni u polarnim predjelima, te koji sustav je najtočniji za određivanje položaja iznad 65° geografske širine. Također, raspoloživost i kontinuitet te osjetljivost pojedinog sustava u polarnim predjelima su vrlo važni čimbenici.

Dakle, problem istraživanja zapravo su pogreške u određivanju geografskog položaja satelitskim navigacijskim sustavima. Istraživanje, odnosno ispitivanje pogrešaka, vrši se za potpuno operativne globalne navigacijske satelitske sustave - GPS i GLONASS sustav. Analizirajući pogreške na više različitih načina u određenom periodu, uspoređuju se relativna odstupanja dva navedena sustava, koristeći statističke i istraživačke metode. Usporedba odstupanja položaja dva globalna navigacijska satelitska sustava predstavlja se analizom pojedinih komponenata pogrešaka i pokazatelja u istim vremenskim razdobljima.

Uzimajući u obzir predmet i problem istraživanja mogu se navesti objekti istraživanja, a to su: koordinatne komponente pogrešaka položaja dobivenih GPS i GLONASS sustavom, te iz njih izvedene dodatne mjere točnosti određivanja položaja. Posebno je važna povezanost pogreške sa geografskim položajem, te dinamika pogrešaka.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Polazi se od pretpostavke da GPS i GLONASS sustav imaju različita relativna odstupanja položaja u polarnim predjelima u određenom promatranom razdoblju. Odgovarajućim istraživanjem i koristeći odgovarajuću znanstvenu metodologiju ustanoviti će se odnos relativnih odstupanja GPS i GLONASS položaja od srednjih vrijednosti izmjerenih položaja za vremenski period od sedam dana na IGS stanicama koje se nalaze u sjevernom i južnom polarnom području. Dobiveni rezultati ne mogu značiti da je to opća zakonitost zbog premalog uzorka. Podhipoteza: Kombinacija GPS i GLONASS sustava imati će najmanja relativna odstupanja položaja.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha istraživanja je utvrditi kolika su relativna odstupanja GPS i GLONASS sustava u polarnim predjelima, kroz promatranje pogrešaka u određenom vremenskom periodu.

Ciljevi istraživanja su sljedeći:

1. Prikazati teorijske osnove GNSS sustava i odrediti specifičnosti polarnih područja,
2. Opširnije opisati GPS i GLONASS sustave i njihov način rada,
3. Prikupiti, statistički obraditi i analizirati položajne zapise GPS i GLONASS sustava putem referentnih IGS stanica,
4. Pojedinačno prikazati i statistički analizirati relativna odstupanja GPS i GLONASS položaja u polarnim predjelima za vremenski period od 7 dana,
6. Usporediti relativna odstupanja dvaju sustava temeljem ispitivanja pogrešaka te statistički iznijeti dobivene rezultate,
7. Prepoznati dinamiku odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava, te usporediti veličine pogrešaka u dva razdoblja.

1.4. ZNANSTVENE METODE

U izradi ovog diplomskog rada korištene su brojne znanstvene metode. U uvodnim poglavljima korištene su sljedeće znanstvene metode: induktivna i deduktivna metoda, metoda apstrakcije i konkretizacije, metoda analize i sinteze, metoda generalizacije i specijalizacije, metoda dokazivanja i opovrgavanja.

Rad također zahtjeva korištenje raznih drugih znanstvenih metoda kao matematičkih metoda za proračun pogrešaka, metoda deskripcije te klasifikacije. Isto tako korištena je metoda promatranja prilikom izbora razdoblja istraživanja i podataka za obradu. S obzirom na to da je cijelo istraživanje određenog vremenskog razdoblja korištena je metoda studije.

Nadalje, korištene su metode iz područja statističke analize. Ona je neophodna pri obradi prikupljenih podataka, a u konačnici pri opisu i analizi rezultata te statističkom zaključivanju. Na kraju rada napravljena je korelacijska analiza, tj. prikazana je povezanost između komponenata pogrešaka GPS i GLONASS sustava s pokazateljima svemirskog vremena.

Sve primijenjene znanstvene metode u ovome radu dodatno su opisane u poglavlju metodologija istraživanja koje predstavlja okosnicu pristupa istraživanju.

1.5. STRUKTURA RADA

Predstavljeni diplomski rad sastoji se od 6 povezanih poglavlja koja vode istraživanje objašnjavajući u početku neophodne teorijske osnove koje su potrebne za razumijevanje cjelokupnog istraživanja. Zato je prvi dio rada teorijskog karaktera, dok je u drugom dijelu obrađeno istraživanje kao eksperimentalni dio rada.

U prvom, uvodnom poglavlju opisani su glavni elementi: problem, predmet i objekti istraživanja, postavljena je radna hipoteza, svrha i ciljevi istraživanja, metodologija istraživanja i na kraju struktura rada.

Drugo poglavlje nosi naslov „Satelitski navigacijski sustavi“ gdje su izneseni pojam, definicija, podjela i pregled satelitskih sustava, dane teorijske osnove određivanja položaja satelitskih sustava kao i sve ono što čini satelitske navigacijske sustave GPS i GLONASS. Najznačajniji dio drugog poglavlja je zadnji dio gdje je obrađen rad satelitskih sustava u polarnim predjelima, tj. smetnje na određivanje položaja satelitskog navigacijskog sustava u polarnim predjelima kojih ili nema ili su one puno slabije u dijelovima Zemlje koji nisu polarni predjeli.

U trećem poglavlju „Svemirsko vrijeme“ opisani su pojmovi kao što su: svemirsko vrijeme, geomagnetske oluje, ionosferski poremećaji, utjecaj svemirskog vremena na Zemlju i na polove Zemlje.

Četvrto poglavlje koje se zove „Metodologija istraživanja“ predstavlja opis cjelokupnog tijeka rada, od prikupljanja podataka, izvora podataka, izbora vremenskog razdoblja, geografskog područja, pa sve do pristupa obradi podataka. U ovome poglavlju su predstavljeni svi alati kojima se vršila priprema, obrada, analiza i ispitivanje podataka. Nadalje, dan je proračun pogrešaka te su prikazane i objašnjene statističke metode korištene u radu.

U petome poglavlju prikazani su rezultati istraživanja, zasebno stanica na jugu i stanica na sjeveru. Ovo poglavlje sastavljeno je od grafičkih prikaza, komentara te činjenica izvedenih iz istraživanja. Na kraju napravljena je korelacijska analiza.

Posljednje poglavlje „Zaključak“ predstavlja sažet prikaz obavljenog istraživanja i konačnih zaključaka koji potvrđuju ili opovrgavaju postavljene hipoteze.

2. SATELITSKI NAVIGACIJSKI SUSTAVI

Ovim poglavljem nastoji se utvrditi pojam i svrhu ovih sustava. Također je dan kratki pregled gotovo svih GNSS sustava zbog naglaska važnosti ovakvih sustava. Određivanje položaja određenih točki na zemljinoj površini, koristeći se zapažanjem udaljenijih objekata, radi se već stotinama godina. Astronomska navigacija, koristeći zapažanja Sunca, zvijezda i planeta, smatra se najstarijom satelitskom navigacijom.

Ovo poglavlje nastoji uvesti i upoznati čitatelja sa osnovnim konceptom rada satelitskih navigacijskih sustava, kako globalnih tako i regionalnih, ali i ostalih sustava koji poboljšavaju rad satelitskih navigacijskih sustava. Kako bi to napravili korisno će biti ako ih prvo pogledamo iz povijesne perspektive, iz samih začetaka satelitske navigacije.

2.1. POJAM I DEFINICIJA SATELITSKIH SUSTAVA

Satelit je svako tijelo, bilo ono umjetno ili prirodno, koje se nalazi bilo gdje u svemiru ali u orbiti nekog gravitacijski inferiornijeg. U svrhu određivanja položaja na zemlji putem ovih sustava koriste se dakako umjetni sateliti, iz čega proizlazi da GNSS sustavi imaju umjetne satelite postavljene u orbiti Zemlje koji služe kao bazni objekti za određivanje položaja. Sateliti su bitan dio svih GNSS sustava, no ipak su oni samo dio cijelog kompleksnog sustava.

Značajan iskorak u povijesti određivanja položaja i navigacije započet je s razvojem globalnih navigacijskih satelitskih sustava. Početak je bio uspostavom američkoga GPS sustava u kasnim 1970. Prvobitna ideja je bila o isključivo vojnoj primjeni, a danas je to dominantno civilna upotreba. Broj i raznovrsnost GPS aplikacija ubrzano se širi.

Satelitski sustavi su sustavi koji služe za određivanje položaja, određivanje smjera i brzine, a samim time i navigaciju objekata. Uglavnom se sastoje od svemirskog, kontrolnog ili Zemaljskog i korisničkog segmenta, a koriste se u vojne ili civilne svrhe.

Skoro istodobno s razvojem GPS sustava započinje razvoj ruskog, u prvom redu vojnoga globalnog navigacijskog satelitskog sustava pod nazivom GLONASS. Rastući zahtjevi naveli su druge države na razvoj vlastitih sustava kao i na modernizaciju postojećih. Sustavi Galileo i BeiDou (*engl. Compass*) započinju svoj razvoj potkraj 90-ih, te su za razliku od GPS i GLONASS sustava opremljeni suvremenijom tehnologijom koja će dovesti do naprednijih rješenja.

Prisutan je i razvoj regionalnih navigacijskih satelitskih sustava (*engl. Regional Navigation Satellite System – RNSS*), kao i sustava koji služe kao regionalna nadopuna GNSS sustava, odnosno SBAS (*engl. Satellite Based Augmentation Systems*). SBAS pruža informacije o točnosti, integritetu i dostupnosti navigacijskih rezultata dobivenih GNSS-om. Međusobna interoperabilnost svih tih sustava omogućit će veću pouzdanost i dostupnost sustava uvođenjem novih poboljšanih signala i servisa namijenjenih ponajprije civilnim korisnicima.

2.2. PODJELA I PREGLED SATELITSKIH SUSTAVA

U ovome poglavlju opisati će se svi satelitski sustavi važni za određivanje položaja na Zemlji. Pod pojmom navigacijski satelitski sustavi uključuju su globalni satelitski sustavi - GNSS, regionalni satelitski sustavi – RNSS, te satelitski sustavi za poboljšanje rada i usluga – SBAS. U Tablici 1. zorno je prikazana podjela satelitskih sustava, tj. koji satelitski navigacijski sustav spada u koju „kategoriju“.

Tablica 1. Podjela satelitskih sustava

GNSS Globalni navigacijski i satelitski sustavi	1. GPS <i>engl. Global Positioning System (SAD)</i>	2. GLONASS <i>rus. Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema (Rusija)</i>	3. BeiDou <i>engl. BeiDou Navigation Satellite System (Kina)</i>	4. Galileo <i>Satellite Navigation System (Europa)</i>		
RNSS Regionalni navigacijski i satelitski sustavi	1. QZSS <i>engl. Quasi-Zenith Satellite System (Japan)</i>	2. IRNSS <i>engl. Indian Regional Navigation Satellite System (Indija)</i>				
SBAS Satelitski sustavi za poboljšanje rada i usluga	1. WAAS <i>engl. Wide Area Augmentation System (SAD)</i>	2. SDCM <i>engl. System for Differential Corrections and Monitoring (Rusija)</i>	3. EGNOS <i>engl. European Geostationary Navigation Overlay Service (Europa)</i>	4. BDSBAS <i>engl. BeiDou Satellite-Based Augmentation System (Kina)</i>	5. MSAS <i>engl. Multi-Functional Satellite-Based Augmentation System (Japan)</i>	6. GAGAN <i>engl. GPS-aided GEO Augmented Navigation System (Indija)</i>

Izvor: izradio student

Od sustava navedenih u Tablici 1. neki su operativni a neki su još u fazi razvoja. U sljedećih nekoliko potpoglavlja kratko će se opisati svaki od satelitskih sustava, dok će se GPS i GLONASS opisati detaljnije nego ostali zato što su predmet ovog rada.

2.2.1. Globalni satelitski navigacijski sustavi

Globalni navigacijski satelitski sustav, ili skraćeno GNSS, je standardni termin za satelitske navigacijske sustave. Oni pružaju autonomno geoprostorno određivanje položaja s globalnom pokrivenošću. GNSS omogućuje malim elektroničkim prijamicima determinaciju njihove lokacije (geografska širina, dužina i nadmorska visina). Prijamnici precizno računaju vrijeme i položaj koji se mogu koristiti u znanstvenim eksperimentima, ali i primjenjivati u praksi.

GNSS sustav sastoji se od više satelitskih navigacijskih sustava (*Satellite Navigation System* - SNS) i sustava za poboljšanje rada i točnosti satelitskih sustava (SBAS), kako globalnih tako i regionalnih. GNSS sastoji se od svemirskog segmenta, zemaljskog segmenta i korisničkog segmenta. U svemirski segment spadaju svi sateliti globalnih i regionalnih satelitskih sustava. Globalnih satelitskih sustava ima četiri od kojih su tri u potpuno operativnoj funkciji (GLONASS, GPS i BeiDou), dok je Galileo na tome putu.

Jedini potpuno operativni GNSS do 2009. godine bio je američki *NAVSTAR Global Positioning System* ili GPS. Ruski GLONASS je drugi GNSS u primjeni koji je moderniziran 2011. godine. Galileo je europski sustav za satelitsko radio – navigacijsko određivanje položaja i tek će postati potpuno operativan². Narodna Republika Kina ima svoj navigacijski sustav BeiDou koji pruža usluge globalnog određivanja položaja, navigacije i mjerenja visoke točnosti.

2.2.2. Regionalni satelitski sustavi

Regionalni navigacijski satelitski sustavi su navigacijski satelitski sustavi koji prekrivaju samo regionalna područja pojedinih država. Služe kao nadopuna globalnim sustavima koristeći se geostacionarnim Zemljinim orbitama čime omogućuju dostupnost većeg broja satelita u područjima sa zaklonjenim horizontom, a samim time i veću točnost određivanja položaja i navigacije. Kina je prva razvila regionalni sustav BDS-2, nakon nje Indija je razvila IRNSS (*engl. Indian Regional Navigation Satellite System*) koji je preimenovan u NavIC, dok je Japan razvio sustav QZSS (*engl. Quasi-Zenith Satellite System*).

2.2.3. Sustavi za povećanje točnosti satelitskih navigacijskih sustava

Sustavi koji s pomoću satelita odašilju podatke nužno potrebne za ispravljanje i podatke o integritetu satelitskih sustava nazivaju se jednim imenom – SBAS (*engl. Satellite Based Augmentation Systems*), a osnovna zadaća im je povećati točnost i pouzdanost određivanja položaja satelitskim sustavima.

Geostacionarnim satelitima Inmarsat (*engl. International Maritime Satellite System*) omogućuje se izvedba poboljšanja i dopune satelitskih navigacijskih sustava. Inmarsat-sateliti omogućuju diferencijske usluge satelitskih navigacijskih sustava za široko područje uporabe. Za potrebe civilne navigacije putem GPS i GLONASS sustava uvedena je geostacionarna satelitska nadopuna kako bi svi korisnici dobili dodatne podatke koji omogućavaju postizanje striktnih zahtjeva pouzdanosti i cjelovitosti informacija i navigacijskih podataka.

² European GNSS Service Centre, „System“, online: <https://www.gsc-europa.eu/galileo/system>

Takva nadopuna omogućuje sljedeće usluge:

1. Odašiljanje informacija o valjanosti i cjelovitosti svakog GPS i GLONASS satelita u realnom vremenu,
2. Odašiljanje dodatnih navigacijskih signala radi povećanja dostupnosti GPS signala, a to rezultira povećanjem autonomnog nadzora integriteta na prijammniku ili RAIM (*engl. Receiver Autonomous Integrity Monitoring*) dostupnosti, te
3. Odašiljanje diferencijalnih ispravaka na širokom prostoru za GPS i GLONASS-korisnike, kako bi se povećala točnost civilnih GPS i GLONASS signala.

WAAS je zapravo sustav za poboljšanje rada i točnosti satelitskih sustava razvijen za područje Sjeverne Amerike. Sastoji se od 25 stanica na Zemlji i dva geostacionarna satelita koji pokrivaju područje cijelog teritorija SAD, dio Kanade i Meksika. Sve je izvedeno od strane Federalne zrakoplovne uprave Sjedinjenih Država (*engl. Federal Aviation Administration*) i Ministarstva prometa (*engl. Department of Transportation*). Sustav je dostupan civilnoj upotrebi a uobičajena točnost određivanja položaja iznosi manje od 3 metra.

EGNOS je SBAS koji se razvija od strane Europske Unije za područje Europe. EGNOS sustav sastoji se od zemaljskih stanica (34) i geostacionarnih satelita (3). Sustav je izveden od strane europske svemirske agencije ESA (*engl. European Space Agency*), Europske komisije i EUROCONTROL (*hrv. Europska organizacija za sigurnost zračne navigacije*). EGNOS omogućuje povećanje točnosti određivanja položaja za GPS i za GLONASS. Kontrolni sustav sastoji se od glavne kontrolne postaje, nadzornih stanica za praćenje cjelovitosti sustava raspoređenih po Europi (Island, sjeverna Skandinavija, istočni Mediteran i Kanarski otoci) i navigacijske zemaljske stanice opremljene navigacijskim transponderima koji osiguravaju dodatno mjerenje pseudoudaljenosti. Sustav mora omogućiti WADGPS (*engl. Wide Area DGPS*) uslugu za cijeli Europu u realnom vremenu. Rad ovog sustava je vrlo sličan Američkom sustavu WAAS (podaci i formati podataka su identični).

Postoji velika mogućnost da se pojave smetnje u radu sustava tj. može biti lošiji prijem signala u najsjevernijim dijelovima Europe, gdje su geostacionarni sateliti, koji imaju vrlo malu elevaciju, nisko iznad horizonta. Na geografskim širinama gdje je elevacija veća od 80° geostacionarni sateliti su ispod horizonta.

2.3. ODREĐIVANJE POLOŽAJA SATELITSKIM SUSTAVIMA

Načelo rada se temelji na mjerenjima vremena od izvora signala do nepoznatog korisničkog položaja. Ova metoda je poznata kao trilateracija. Položaji satelita koji odašilju signal određene i korigirane su od strane kontrolnog segmenta, tako da su nam one dobro poznate. Da bi korisnik pronašao svoj položaj na Zemlji biti će mu potrebna tri signala iz tri različita satelita. Međutim, ako sustav vremena nije sinkroniziran položaj neće biti točan.

Kako bi pronašao i uklonio ovu pogrešku, korisnik mora izmjeriti udaljenost do još jednog dodatnog satelita. Jednadžba za udaljenosti između korisnika i svih satelita mogu se napisati na sljedeći način:³

$$r_{Si} = \sqrt{(x_r(t_r) - x_{Si}(t_{Si}))^2 + (y_r(t_r) - y_{Si}(t_{Si}))^2 + (z_r(t_r) - z_{Si}(t_{Si}))^2}, i=1, \dots, n, \quad (1)$$

gdje je:

r_{Si} - udaljenost između korisnika i jednog od satelita,

n - broj vidljivih satelita,

x_r, y_r, z_r i q_r - koordinate promatranog satelita,

t_{Si} - koordinate satelita u epohi prijensa signala

Izmjerena udaljenost je zapravo vrijeme putovanja signala od njegovog odašiljanja od satelita u nekome vremenu (epohi) do korisnika na epohi primanja signala. Sve epohe moraju biti u istome vremenskom okviru. Za većinu aplikacija može se pretpostaviti da je satelit sinkroniziran sa sustavom vremena. Kako bilo, epoha t_r je u vremenskom okviru korisnika, dok su epohe t_{Si} definirane signalom. Satovi korisnika uobičajeno nisu dovoljno dobro sinkronizirani sa vremenskim okvirom satelita za određivanje položaja. Sateliti su opremljeni sa vrlo stabilnim i skupim atomskim satovima, no ni oni nisu dovoljno stabilni na neko dulje vrijeme i stoga korisnički segment stalo mjeri njihova odstupanja i drži ih sinkroniziranim sa cijelim sustavom. Parametri odstupanja vremena šalju se korisniku satelitskim navigacijskim porukama. Međutim, niti ti parametri nisu dovoljno dostatni za precizno određivanje položaja. Tada se procjenjuju pogreške satelitskog vremena zajedno sa

³ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

nepoznatim koordinatama antene prijamnika i pogreškom vremenskog okvira korisnika. U svrhu stavljanja epohe t_r u GLONASS i GPS vremenski okvir, mora se uvesti razlika između vremena prijema u prijamniku i vremenskog okvira satelitskog sustava:⁴

$$\delta t_r = t_{rr} - t_{rs} \quad (2)$$

Kako bi definirali koordinate korisnika $x_r, y_r, z_r, \delta t_r$, treba riješiti jednadžbu (1) sa četiri nepoznanice. Treba imati na umu da je jednadžba (1) nelinearna zato što je položaj satelita funkcija vremena, a vrijeme je jedna od nepoznanica.

Prijamnik mjeri potrebno vrijeme do satelita r_{si} uspoređujući dolazeći signal (koji je sinkroniziran sa vremenskim okvirom satelita) sa lokalno generiranom replikom (koja je sinkronizirana sa vremenskim okvirom korisnika). Udaljenost do satelita može biti opisana kao vrijeme potrebno propagaciji signala od satelita do korisnika pomnožen sa brzinom svjetlosti:¹

$$r_{si} = (t_{rs} - t_{eis}) \times c, \quad (3)$$

gdje je t_{eis} epoha emisije signala od i satelita u satelitskom vremenskom okviru, dok je t_{rs} epoha od primanja signala u satelitskom vremenskom okviru. Jednadžbe (1) i (3) mogu se napisati kao:⁵

$$r_{si} = (t_{rr} - t_{eis} - \delta t_r) \times c \quad (4)$$

Promatranja proizašla iz prijamnika su skup r_{si} za sve satelite koji se vidljivi. Nepoznanice $x_r(t_{rr}), y_r(t_{rr}), z_r(t_{rr})$ i δt_r mogu se naći iz gore navedenih jednadžbi, pod uvjetom da je broj jednadžbi veći ili jednak broju nepoznanica. Broj jednadžbi jednak je broju izvora signala. Zatim, u tro-dimenzionalnom svijetu, četiri satelita su potrebna za određivanje korisničkih koordinata i prilagodbu tih vremenskog okvira u satelitski vremenski okvir.

⁴ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

⁵ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

Mjerenja prijavnika raspona r_{si} uključuju pogreške sata za korisnika i satelita. Iz tog razloga ova mjerenja se zovu pseudoudaljenosti, a ne udaljenosti. Ispravke satelitskih pogrešaka prenose se kao dio navigacijske poruke i korisnik ih naknadno kompenzira, stoga ih za sada ne razmatramo. Pseudoudaljenosti koje su zapravo mjerene od prijavnika opisane su kako slijedi: ¹

$$\rho_{si} = (t_{rr} - t_{eis}) \times c \quad (5)$$

Sustav (1) se sada može ponovno napisati:¹

$$\rho_{si} = \sqrt{(x_r(t_r) - x_{si}(t_{si}))^2 + (y_r(t_r) - y_{si}(t_{si}))^2 + (z_r(t_r) - z_{si}(t_{si}))^2} + \delta_{tr} \times c,$$

$$i = 1, \dots, n \quad (6)$$

Sustav se također može napisati pomoću matičnog obrasca radi lakšeg načina kako slijedi⁶:

$$\bar{Z} = [A(\bar{X})], \quad (7)$$

gdje je X vektor stanja⁷

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \\ \delta_{tr} \end{bmatrix} \quad (8)$$

⁶ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

⁷ vektor u prostoru čije dimenzije odgovaraju svim neovisnim funkcijama valova nekog sustava

dok je Z promatrani vektor

$$\bar{Z} = \begin{bmatrix} \rho_{s1} \\ \rho_{s2} \\ \dots \\ \rho_{sn} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Kako bi zadatak određivanja položaja bio riješen potrebno je naći vektor četvrtog reda X koristeći se sa vektorom pseudoudaljenosti Z n -tog reda. Kako bi sustav jednadžbi (8) imao rješenje, uvjet $n \geq 4$ mora biti zadovoljen. Jednadžbe (8) koje treba riješiti su nelinearne.

2.4. GPS

Globalni sustav za određivanje položaja (engl. *NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System* – NAVSTAR GPS, skraćeno GPS) razvilo je Ministarstvo obrane Sjedinjenih Američkih Država, a to je navigacijski sustav za sve vremenske uvjete, koji zadovoljava potrebe američkih vojnih snaga i točno određuje njihov položaj, brzinu i vrijeme u zajedničkom referentnom sustavu, kontinuirano, bilo gdje na Zemlji ili blizu Zemlje. GPS je znatno utjecao na određivanje položaja, navigaciju, vrijeme i praćenje istih općenito. Pruža posebno kodirane satelitske signale koji se mogu obrađivati u GPS prijammniku, omogućujući procjenu položaja, brzine kretanja i točnog vremena. Za izračunavanje položaja potrebna su četiri GPS satelitska signala koji se koriste za izračunavanje položaja u tri dimenzije i vremenskom pomaku u satu prijammnika⁸.

GPS sustav sastoji se od četiri glavne komponente:

1. Svemirski segment (31 satelit),
2. Kontrolni segment (Colorado, SAD),
3. Korisnički segment,
4. Prijenosni medij.

2.4.1. Prostorni segment

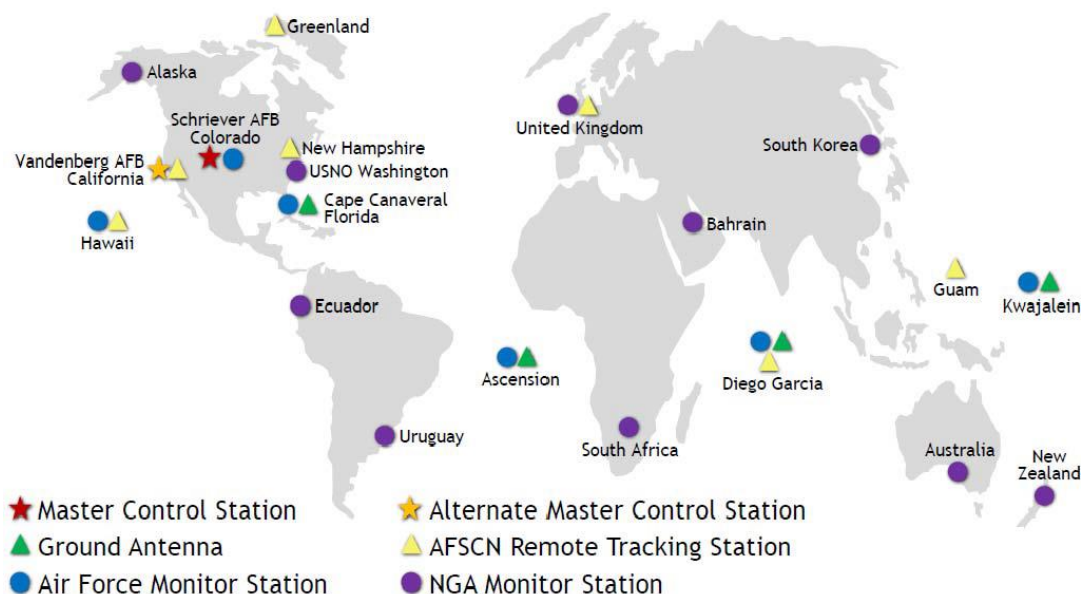
Prostorni ili svemirski segment GPS sustava su sateliti raspršeni u šest orbitalnih ravnina na gotovo kružnim putevima s visinom od oko 20.200 km iznad površine Zemlje, što znači da se nalaze u srednjoj Zemaljskoj orbiti *MEO* (engl. *MEO – Medium Earth Orbit*), nagnute za 55 stupnjeva u odnosu na ekvator i s orbitalnim vremenima od 11 sati i 58 minuta

⁸ Žarković, N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

i 2 sekunde odnosno pola sideričkog dana⁹. Sateliti se kreću brzinom od oko 3,9 km/s. 24. travanja 2019. godine u GPS konstelaciji bilo je ukupno 31 operativnih satelita¹⁰.

2.4.2. Kontrolni segment

Svaki kontrolni segment nekog od GNSS sustava sastoji se od mreže nadzornih stanica na Zemlji koje prate položaj i kretanje satelita. Na Slici 1. prikazan je kontrolni segment GPS sustava i lokacije na Zemlji.



Slika 1. Kontrolni segment GPS sustava, Izvor: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>

Kontrolni segment GPS sustava, prikazan na Slici 1., sastoji se od: glavne kontrolne stanice (*engl. Master Control Station*), nadzorne stanice (*engl. Monitoring Stations*) i Zemaljske antenske odašiljačke stanice (*engl. Ground Antennas*). Glavna kontrolna stanica, u svrhu točnog proračuna položaja i brzine svih satelita u konstelaciji, nagleda i daje upute satelitima koristeći podatke dobivenih s nadzornih stanica, zatim se ti proračunati podaci odašilju u obliku navigacijske poruke od strane glavne kontrolne stanice. Također, nadziru se točnosti pružanja usluga i ispravnosti satelita. Repozicioniranjem satelita i lansiranje novih satelita u orbitu osigurava se ispravnost prostornog segmenta tj. ispravnost satelitskog sustava. Zamjenska glavna kontrolna stanica postoji u slučaju da zbog nekog razloga nije moguće upravljati s glavne kontrolne stanice. Nadzorne stanice prate GPS satelite očitavajući signale i atmosferske podatke, a nakon toga mjerenja šalju glavnoj kontrolnoj stanici. Zračne snage USAF upravljaju sa 6 stanica, dok sa ostalih 10 stanica upravlja

⁹ Official U.S. government information about the GPS and related topics, „*Space Segment*“, online: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>

¹⁰ Žarković, N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

Nacionalna geo-svemirska obavještajna agencija *NGA* (engl. *NGA – National Geospatial-Intelligence Agency*). Zemaljske predajne stanice šalju satelitima podatke s glavne kontrolne stanice. Predajne stanice odašilju efemeride satelita i ispravke satelitskih satova u okviru navigacijske poruke koristeći *S* pojas radio signala¹¹.

2.4.3. Korisnički segment i prijenosni medij

Prijamnici GPS sustava obradom signala u *L* frekvencijskom pojasu rješavaju problem položaja, brzine i točnog mjerenja vremena. Zbog konstantnog kretanja satelita, GPS prijamnik prije određivanja svih kriterija navigacijske poruke obavlja praćenje signala odaslanog sa satelita. Nadalje, zbog nužnosti određivanja položaja prijamnik vrši dekodiranje navigacijske poruke. Unutar tih navigacijskih poruka nalaze se podaci iz kojih prijamnik proračunava položaje satelita, parametre i ispravke satelitskog sata, stanje satelita, parametre ionosferskog modela te almanah iz kojeg se proračunavaju položaji svih satelita¹².

Prijenosni medij zapravo predstavlja konstelaciju satelita te frekvencijski spektar koji koristi GPS sustav za slanje informacija, tj. prostor kroz koji se šire satelitski signali (prvenstveno ionosfera i troposfera). U 90% vremena satelitski signali neometano prolaze prostorom (pravocrtno, brzinom širenja svjetlosti u vakuumu). Prijenosni medij vrlo je bitan zbog toga što o njemu ovisi koja će biti brzina signala satelitskog navigacijskog sustava, tj. točnost određivanja položaja na Zemlji.

2.4.4. Koordinatni sustav i sustav vremena

GPS koristi WGS 84 kao referentni koordinatni sustav koji se sastoji od referentnog elipsoida, standardnog koordinatnog sustava, podataka o visini i geoida. WGS 84 je standard u kartografiji, geodeziji i satelitskoj navigaciji.

Vrijeme GPS sustava utvrđuje kontrolni segment. Početak GPS vremena definiralo se točno u ponoć u noći 5. siječnja tj. jutro 6. siječnja 1980. godine. GPS vrijeme može se razlikovati od UTC vremena jer to vrijeme mora biti kontinuirana vremenska skala (604 800 sekundi/tjedan), dok se UTC vrijeme periodički ispravlja zbog sideričkog dana. Kontrolni segment dužan je ispravlјati vrijeme GPS sustava i to sa takvom točnošću da tijekom intervala prijenosa mora biti takav da povezuje GPS vrijeme na UTC vrijeme unutar 20

¹¹ Žarković, N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

¹² Žarković, N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

nanosekundi. Takva preciznost može se pogoršati samo u slučaju nemogućnosti kontrolnog segmenta slanja podataka na satelite¹³.

2.4.5. Satelitski signali GPS sustava

Svaki GPS satelit odašilje podatke na dvije frekvencije, L1 (1575,42 Mhz) i L2 (1227,60 Mhz). Atomski sat na satelitu proizvodi osnovnu frekvenciju L pojasa (10,23 Mhz). Frekvencije L1 i L2 generiraju se množenjem osnovne frekvencije sa 154 (L1), odnosno sa 120 (L2). Dva PRN koda zajedno sa satelitskim efemeridama, koeficijenti ionosferskog modeliranja, informacijama o statusu, vremenskom sustavu i ispravkama satelitskog sata postavljaju se na nosive frekvencije L1 i L2.

Civilna frekvencija (C/A), ili još zvana SPS (engl. *Standard Positioning Service*) nalazi se na L1 frekvenciji. Vojna frekvencija (P), još zvana kao usluga preciznog određivanja položaja PPS (engl. *Precise Positioning Service*), nalazi se na L1 i L2 frekvencijama.

Satelitska mreža koristi CDMA (engl. *Code-Division Multiple Access*) tehniku. CDMA je primjer višestrukog pristupa, pri čemu više odašiljača može slati podatke istovremeno preko jednog komunikacijskog kanala. Da bi se to omogućilo bez nepotrebnih interferencija između korisnika, CDMA koristi posebnu shemu kodiranja, gdje se svakome odašiljaču dodjeljuje kod (PRN kod).

Modernizacija GPS signala uključuje dodatnu frekvenciju Link 5 (L5) i četiri nova koda na različitim nosačima frekvencijama. Oni se nazivaju civilni signali L2C, L5C i L1C i vojni signal M. Modernizacija GPS započela je 2005. godine slanjem satelita IIR-M u orbitu koji ima podržan vojni M signal i civilni L2C koji je posebno dizajniran kako bi zadovoljio potrebe komercijalnim uslugama, omogućujući razvoj jeftinih civilnih GPS prijemnika¹⁴.

Nadalje, plan modernizacije GPS signala nastavljen je 2010. godine lansiranjem IIF satelita koji podržava treći civilni signal – L5. Ovaj signal je dizajniran da udovolji zahtjevima sigurnosti života ili SoL (engl. *Safety of Life*) u prijevozu kao i sličnim primjenama koje zahtjevaju visoke performanse. L5 signal odašilje se u radijskom pojasu

¹³ U.S. government, information about the Global Positioning System (GPS), „*Interface Control Documents*“, online: <https://www.gps.gov/technical/icwg/>

¹⁴ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „*GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms*“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

rezerviran za zrakoplovne sigurnosne službe. Odlikuje ga veća snaga i veća propusnost signala. Američke zrakoplovne snage (*engl. Air Force*) počele su 2014. godine odašiljati civilne navigacijske poruke *CNAV* (*engl. Civil Navigation Message*) preko L5 signala, no on trenutno nije proglašen operativnim¹⁵.

Četvrti civilni GPS signal L1C je dizajniran od strane Sjedinjenih Država i Europe, a napravljen je da omogućuje interoperabilnost svih međunarodnih satelitskih navigacijskih sustava. L1C ima višestruku shemu modulacije binarnog nosioca *MBOC* (*engl. Multiplexed Binary Offset Carrier*) i ona se koristi za poboljšanje mobilnog prijema u gradovima i drugim zahtjevnim okruženjima¹⁶. Također, omogućuje međunarodnu suradnju uz zaštitu interesa svih država. Prvi GPS satelit opremljen s L1C signalom lansiran je u 2018. godini.

2.4.6. Frekvencije i navigacijske poruke GPS sustava

Svaki GPS satelit dijeli iste frekvencije ali imaju različiti PRN kod kako bi se razlikovali. Prijamnik mora biti u mogućnosti prepoznavanja PRN koda za svaki satelit kako bi mogao rekonstruirati stvarne podatke poruke. Civilna frekvencija prenosi podatke brzinom od 1,023 milijuna čipova po sekundi, a vojna frekvencija prenosi 10,23 milijuna čipova po sekundi. Na L1 frekvenciji nalazi se i civilna i vojna mreža. Također postoje i nove frekvencije koje su podrška, i kojih ima na moderniziranim satelitima novih vrsta.

Navigacijska poruka NAV sadrži sve potrebne podatke koje dopuštaju korisnicima obavljanje usluga određivanja položaja. Cijela poruka se sastoji od okvira i nadokvira. Svaki okvir se još dijeli na 5 podokvira koji traju 6 sekundi svaki. Također, svaki podokvir sadrži 10 riječi (30 bitova po riječi). Okvir traje 30 sekundi i potrebno ih je 25 kako bi tvorili nadokvir koji traje 12 minuta i 30 sekundi.¹⁷

GPS modernizacija predstavila je četiri nove vrste navigacijskih poruka: CNAV, CNAV-2, MNAV i L5-CNAV. Prve tri su civilne poruke dok je MNAV namijenjen u vojne svrhe. Ove navigacijske poruke pružaju preciznije i učestalije podatke poruka nego naslijeđeni NAV.¹⁸

¹⁵ Official U.S. government information about the GPS and related topics, „New Civil Signals“, online: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/>

¹⁶ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

¹⁷ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

¹⁸ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

2.5. GLONASS

Prvotno zamišljen kao sustav za vojne svrhe, GLONASS je s vremenom postao dostupan svim korisnicima diljem svijeta. GLONASS jedan od najvećih navigacijskih sustava sa globalnom pokrivenošću i danas je ovaj sustav jedini, uz GPS, potpuno operativni sustav.

2.5.1. Prostorni segment

GLONASS sateliti imaju kružne orbite na nadmorskoj visini od 19 100 km, dok jedan satelit za razdoblje od 11 sati 15 minuta i 44 sekunde prođe jedan krug orbite. To znači da se satelit GLONASS sustava brže kreće od satelita GPS sustava, ali mu treba 8 sideričkih dana da se satelit vidi na istom mjestu u svemiru gledajući sa istog mjesta na Zemlji, dok GPS sustavu treba 1 siderički dan. Ukupno ih je 27 u konstelaciji od kojih je 22 aktivno (2 na održavanju, 2 rezerva i 1 na testu)¹⁹. Konstelacija se sastoji od 3 orbite udaljene za 120° jedna od druge, koje imaju inklinaciju od 64,8° na Zemljin ekvator. U svakoj orbiti postoji osam ravnomjerno raspoređenih satelita (što znači da je unutar orbite raspon od 45° zemljopisne širine). Zemljopisna širina pomaknuta je za 15°. 21-satelitska konstelacija pruža kontinuiranu i simultanu vidljivost najmanje četiri satelita preko 97% površine Zemlje, dok 24-satelitna konstelacija pruža kontinuiranu i simultanu vidljivost najmanje pet satelita u više od 99% površine Zemlje²⁰.

2.5.2. Kontrolni segment

Glavni operativni zadaci kontrolnog segmenta su: praćenje položaja satelita potrebne za određivanje orbite i vremena, prijenos navigacijske poruke na satelite, sinkronizacija satelita i kontrola pomaka između vremena sustava GLONASS i UTC (*engl. Coordinated Universal Time*).

Zemaljski segment sastoji se od: središnjeg kontrolnog centra, središnjeg sinkronizatora, te centara za praćenje i kontrolu telemetrije.

Središnji kontrolni centar je centar za nadzor GLONASS sustava. To je vojni kompleks pod kontrolom ruskih svemirskih snaga i nalazi se u Krasnoznamenom svemirskom centru 70 km jugozapadno od Moskve. Sve funkcije sustava i operacije zakazane su i koordinirane u središnjem centru sustava.

¹⁹ Information and analysis center for positioning, navigation and timing (IAC), „GLONASS Constellation Status“, online: <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/index.php>

²⁰ Žarković, N.: „GLONASS sustav“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

Središnji sinkronizator nalazi se u Schelkovu u Moskvi i odgovoran je za vrijeme GLONASS sustava. Signali iz središnjeg sinkronizatora prenose se u fazni upravljački sustav. U osnovi, napravljene su dvije vrste mjerenja. Prvo, raspon satelita mjeren je radarskim tehnikama na točnost od nekoliko metara. Drugo, satelitski preneseni navigacijski signali uspoređuju se s referentnim vremenom i referentnom fazom prema frekvencijskom standardu točno od $1 \cdot 10^{-13}$. Iz ove dvije vrste mjerenja određuju se satelitski pomak i fazni pomak, a također se predviđa za ubuduće. Predviđene vrijednosti se prenose na satelite barem jednom dnevno.

Centar za praćenje i kontrolu telemetrije sastoji se od četiri postaje na ruskom području u regiji St. Petersburg, Schelkovo u Moskvi, Yenisseysk u Sibiru i Komsomolsk-na-Amure na Dalekom Istoku. Ove TTC stanice nadopunjuju pet laserskih postaja koje se nalaze u Komsomolsk-na-Amure (jedinu u Rusiji), Balkhash (Kazahstan), Evpatoria (Ukrajina), Kitab (Uzbekistan) i Ternopol (Ukrajina). Zadaci ovih postaja su praćenje satelita i pružanje informacija satelitima preko uzlaznih veza.

Praćenje, između tri i pet mjerenja, traje 10 do 15 minuta. Radar se koristi za mjerenje raspona na oko 2-3 m. Laserska mjerenja, točno nekoliko centimetara, koriste se za kalibriranje tih mjerenja radara. Efemeride se predviđaju 24 sata unaprijed i prenose se jednom dnevno. Ispravke satelitskih satova prenose se dvaput dnevno (Koordinacija Znanstvenog Informacijskog Centra) na satelite. Točnost prenesene ispravke sata određena je za manje od 35 ns^{21} .

2.5.3. Koordinatni sustav i sustav vremena

28. srpnja 2000. godine geocentrični koordinatni sustav Parametri Zemlje 1990 (PZ-90) dobio je nacionalni status za navigaciju i geodetsku potporu uredbom Vlade Ruske Federacije. Parametri Zemlje 1990 i njegova posljednja verzija PZ-90.11 predstavljaju sustav geodetskih parametara uključujući temeljne geodetske konstante, referentne elipsoidne parametre, parametri Zemljinog gravitacijskog polja, geocentrični koordinatni sustav i transformacija tih parametara u druge referentne sustave. Realizacija PE-90 referentnog okvira je geocentrični sustav²².

S obzirom na vrijeme, vremenski sustav svakodnevno održava GLONASS središnji sinkronizator. Vrijeme GLONASS sustava usko je povezano s UTC vremenom, ali ima

²¹ Žarković, N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

²² Žarković, N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

stalan pomak od tri sata, što odražava razliku između Moskve i Greenwicha. Osim stalnog pomaka, razlika između GLONASS vremena i UTC bit će unutar 1 milisekunde, koji proizlazi iz vođenja vremenskih skala različitim satovima. GLONASS vremenska skala periodički se korigira na cijeli broj sekunde istodobno s UTC vremenom. Obično se ove ispravke, od jedne sekunde, izvode jednom godišnje (ili 1,5 godine) za sve korisnike. Korisnici su obavješteni barem tri mjeseca prije nego će se dogoditi ispravka.

2.5.4. Satelitski signali GLONASS sustava

GLONASS, kao sustav dvostrukog korištenja, pruža signal visoke točnosti za vojnu uporabu (P) i besplatan signal standardne preciznosti (C/A) za civilnu uporabu. Svaki GLONASS satelit prenosi navigacijske radiosignale na temeljnim frekvencijama u tri frekvencijske podskupine (L1, L2 i L3). Sateliti koji su na suprotnim stranama orbite mogu odašiljati navigacijske radiosignale na istim frekvencijama.

Sateliti prve generacije - Glonass odašilju dvije vrste L1 signala: signal standardne preciznosti (C/A), dostupna svim korisnicima i signal povećane točnosti (P), dostupan samo posebnim korisnicima, tj. u vojne svrhe. Ostali sateliti odašilju L1, L2 i L3 navigacijske signale, također sa dvije vrste: standardne i povećane preciznosti. GLONASS implementira višestruki pristup sa raspodjelom frekvencija (engl. *frequency division multiple access* - FDMA) za razlikovanje signala različitih satelita. Na taj način GLONASS signali su otporniji na uskopojasne smetnje, na ionosfersko kašnjenje, na namjerno ometanje signala (engl. *jamming*), te im je poboljšana robusnost.

GLONASS sateliti prenose navigacijske radio signale na dvije frekvencijske podskupine (L1 ~ 1602 MHz i L2 ~ 1246 MHz), oslanjajući se na tehniku frekvencijskog odjeljka višestrukog pristupa (FDMA) za razliku od kodne raspodjele višestrukim pristupom (engl. *Code-division multiple access* - CDMA) koji se koriste svim ostalim GNSS sustavima. FDMA, za razliku od CDMA, preko više frekvencija odašilje jedan kod. Sateliti sa suprotnih strana orbita odašilju signale sa istih frekvencija.

S ciljem pružanja bolje točnosti, višestrukog otpora i posebno veće operativnosti s ostalim GNSS sustavima, novi GLONASS-K sateliti će prenositi CDMA signale uz tradicionalni FDMA sustav. Od uspješnog pokretanja prvog GLONASS K1 satelita započeo je sa radom novi L3 CDMA signal. Signal GLONASS L3 je centriran na 1207,14 MHz, iste frekvencije kao i Galileo / BeiDou signal E5b.

2.5.5. Frekvencije i navigacijske poruke

Nasuprot GPS satelitima koji dijele iste frekvencije, svaki GLONASS satelit odašilje na određenoj frekvenciji unutar pojasa. Ova frekvencija određuje broj kanala frekvencije satelita i omogućuje prijammnicima korisnika da identificiraju satelite (s FDMA tehnikom).

Stvarna frekvencija prijenosa GLONASS signala na L1 i L2 može se izvesti iz broja kanala k primjenom sljedećih izraza:

$$\text{Frekvencijski pojas L1: } f_1(k) = 1602 + k \times \frac{9}{16} = (2848 + k) \times \frac{9}{16} \text{ MHz,}$$

(10)

$$\text{Frekvencijski pojas L2: } f_2(k) = 1246 + k \times \frac{7}{16} = (2848 + k) \times \frac{7}{16} \text{ MHz,}$$

(11)

Frekvencijski brojevi k su izvorno predviđeni za pružanje 24 kanala, s $k = 1, \dots, 24$, ali prema smjernicama međunarodne elektro-komunikacijske unije, svi Glonassovi sateliti koji su lansirani nakon 2005. godine morali su koristiti $k = -7, \dots, 6$. Ova je promjena uvedena kako bi se izbjegle smetnje s frekvencijskim pojasom radio astronomije i satelitskom komunikacijskom uslugom. Smanjenje sa 24 na 12 kanala kompenzira se jer dva satelita u istoj orbiti prenose na točno istim frekvencijama. Posljedično, ta dva satelita nikada neće moći biti istovremeno viđeni od strane bilo kojeg korisnika na površini Zemlje.

Kao u GPS sustavu, C/A kod je prvobitno moduliran samo na L1, dok je vojni kod P moduliran na oba nosača frekvencija, L1 i L2. S druge strane, i za razliku od GPS sustava, u GLONASS sustavu PRN sekvenca takvih kodova je zajednička svim satelitima, jer prijammnik identificira satelit frekvencijom.

Iako vojni P kod nije službeno objavljen, razne istraživačke skupine ga dešifriraju. Ipak, ovaj kod može biti mijenjan od strane ruskog Ministarstva obrane bez prethodnog upozorenja.²³

²³ Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „GNSS DATA PROCESSING –Fundamentals and Algorithms“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

Navigacijska poruka pruža informacije o satelitskom statusu, podacima o ispravljanju, satelitskim orbitama i druge razne informacije. Brzina prijenosa navigacijske poruke je spora u usporedbi s tipičnim komunikacijskim kanalima. Međutim, niske brzine prijenosa podataka omogućuju malu brzinu pogrešaka čak i unatoč slaboj snazi signala. Učinkovita brzina prijenosa podataka odgovara 50 bps, iako diferencijalna modulacija stvara brzinu prijenosa od 100 simbola u sekundi.

Navigacijski podaci signala standardne preciznosti strukturirani su u nad-okvire, okvire i nizove. Nad-okvir traje 2,5 minuta i podijeljen je na pet okvira dužine od 30 sekundi. Okvir sadrži neposredne podatke satelita koji odašilje i podatke ostalih satelita.

Strukturni elementi okvira su 15 nizova od 100 bitnih duljina (= 200 simbola) svaki. Niz sadrži 85 bitova podataka i vremensku oznaku. Vremenska oznaka odgovara kratkoj cikličkoj pseudo-slučajnoj sekvenci koju generira 5-bitni LFSR (*Linear feedback shift register*) s polinomom koji je skraćen nakon 30 simbola. Vremenska oznaka modulirana je simbolom, duljina od 10 milisekundi (brzina simbola od 100 simbola u sekundi) na nosač frekvencije, dakle trajanje oko 0,3 sekunde. 85 bitova podataka, koji uključuju 8-bitna paritetna provjera, potrebno je 1,7 sekundi za prijenos, s duljinom simbola od 20 milisekundi²⁴.

Navigacijska poruka signala visoke točnosti dulja je i sadrži preciznije informacije. Navigacijska poruka sastoji se od superokvira koji je podijeljen na 72 okvira. Svaki okvir sastoji se od pet žica s duljinom od 100 bita. Duljina okvira odgovara 10 sekundi. Jedna superfrekvencija, dakle, treba 12 minuta za prijenos. Stopa ponavljanja informacija o efemeridama odgovara 10 sekundi za signalizaciju signala visoke preciznosti, dok za signal standardne točnosti odgovara 30 sekundi. Nasuprot tome, vrijeme potrebno za prijenos almanaha svih satelita odgovara 12 minuta za P-kod i 2,5 minuta za C / A-kod²⁵.

²⁴ Žarković, N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

²⁵ Žarković, N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2017

2.6. SATELITSKO ODREĐIVANJE POLOŽAJA U POLARNIM PREDJELIMA

U ovome potpoglavlju biti će opisani polarni predjeli i zašto je tamo dobivanje informacija o kursu, brzini i položaju otežano.

2.6.1. Polarna područja

Polarna područja nalaze se uz polove Zemlje, točnije iznad 66°33'44" sjeverno i ispod 66°33'44" južno. Na sjeveru u polarnom području nalaze se Kanada, Rusija, Danska (Grenland), Norveška, SAD (Aljaska), Švedska, Finska i Island, dok se na jugu nalazi samo Antartika. Neka istraživanja kažu da su velike količine nafte i plina u ovim polarnim predjelima koje je teško iskorištavati iz više razloga²⁶.

2.6.2. Problem navigacije u polarnim predjelima

Na kvalitetu satelitskog određivanja položaja u polarnim predjelima utječu mnogi čimbenici²⁷:

1. Pokrivenost satelitima je ograničena
2. Zaleđivanje antena – prigušivanje satelitskih signala
3. Oscilacija signala zbog solarnih aktivnosti
4. Prigušivanje signala zbog ionosferskih uvjeta i nepovoljnih vremenskih prilika
5. Nedostatak diferencijalne ispravke

Kut inklinacije GPS satelita je 55°, dok je on kod GLONASS satelita 64,8° u odnosu na ekvator što im daje prednost u odnosu na GPS satelite pri određivanju položaja u polarnim predjelima.

²⁶ Hund A.J.: „*Antartica and the Arctic Circle: A Geographic Encyclopedia of the Earth's Polar Regions*“, ABC-CLIO, Santa Barbara, 2014, online: <https://products.abc-clio.com/abc-cliocorporate/product.aspx?pc=A4091C>

²⁷Jensen A.B.O.: „*Challenges for positioning and navigation in the Arctic*“, online: <https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2015/RussiaGNSS/Presentations/52.pdf>

Signali ispravka dobiveni iz GEO orbita teoretski bi trebali pokrivati do 81,3° sjeverno i do 70° južno sa malo ili ništa pokrivenosti Antartike. Što su niži kutovi elevacije to su signali osjetljiviji na vremenske utjecaje.

3. SVEMIRSKO VRIJEME

Svemirsko vrijeme je zajednički naziv za pojave u prostoru svemira između Sunca i Zemlje. Proučavanjem prirode zvijezda, odnosno Sunca te njihov utjecaj na svemirski prostor bavi se znanost poznata pod nazivom fizika Sunca. Aktivnost Sunca dolazi u vidu sunčeve energije, zračenja, magnetskog i gravitacijskog polja koji djeluju na okolni prostor svemira, a sve to utječe na planete Sunčevog sustava i njihove atmosfere, tehnologiju u svemirskom prostoru kao na i život na Zemlji. Zbog toga je važnost proučavanja Sunca i njegovog međudjelovanja s okolnim svemirskim prostorom jako važna.

Svemirsko vrijeme zapravo predstavlja niz raznih fizikalnih i kemijskih pojava i promjena vezanih za prijenos energije i materije u prostoru, odnosno sustavu Sunce – Zemlja. Svemirsko vrijeme uključuju aktivnosti i pojave vezane za Sunce, Sunčev vjetar, magnetosferu, ionosferu i termosferu te brojne pojave i njihov utjecaj na Zemljinu atmosferu kao i na sustave na Zemlji i u geoprostoru²⁸.

3.1. SUNCE

Sunce, kada se uspoređi sa zvijezdama u cijelome poznatom svemiru, je uobičajena zvijezda koja se ne ističe posebno niti svojom veličinom i niti svojim sjajem, kao ni ostalim fizičkim svojstvima., dok ono ,na razini Sunčeva sustava, predstavlja najveće, najmasivnije i gravitacijski najutjecajnije tijelo. Ono drži na okupu sve planete Sunčevog sustava unutar vlastitog gravitacijskog polja. Sunce zauzima oko 99,8% ukupne mase Sunčeva sustava²⁹.

Aktivnosti Sunca i poremećajima na Suncu određuje se stanje unutar međuplanetarnog prostora. U Svemir poslano je mnogo specijaliziranih satelita koje nadziru razne događaje na Suncu a sve s ciljem predviđanja utjecaja na tehnološke sustave u geoprostoru i na Zemlji.

²⁸ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

²⁹ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

Sunce je izgrađeno od usijanog, visoko temperaturnog plina, uglavnom vodika i helija. Udio helija je 24%, dok vodik zauzima 24% Sunčeve mase, a ostalih 2% otpada na ostale elemente³⁰.

Struktura Sunca sastoji se od unutrašnjosti Sunca i Sunčeve atmosfere. Unutrašnjost Sunca sastavljena je od četiri područja i ovisi o procesima koji se odvijaju u svakom od njih. Energija Sunca stvara se u jezgri. Nakon što je energija stvorena ona se širi zračenjem ili radijacijom kroz *radijativni pojas*, a nakon toga konvekcijom kroz *konvektivni pojas*. Između ova dva pojasa nalazi se *granični sloj (tahoklina)* u kojemu se generira magnetsko polje Sunca. Osim unutarnjih slojeva Sunca postoje i vanjski slojevi što se još naziva Sunčeva atmosfera. Struktura atmosfere Sunca također je sastavljena isto od četiri dijela i to su fotosfera, kromosfera, prijelazni sloj i korona.

Fotosfera prvi je vidljivi sloj. Površina fotosfere je granulasta zbog vrućih plinova koji su u stalnom kretanju. Sunčeve pjege, granule i supergranule mogu se vidjeti promatrajući fotosferu.

Iznad fotosfere nalazi se sloj kromosfera. Gustoća tvari unutar kromosfere s visinom opada dok temperatura raste. U kromosferi se također mogu opaziti razne pojave poput sunčevih baklji, prominencija, bljeskova i koronarnih izbačaja mase. Pojave u fotosferi i kromosferi su zapravo nusprodukt raznih poremećaja i procesa iz unutrašnjosti Sunca.

Nakon kromosfere, a prije korone, ide prijelazni sloj koje je vrlo tanak. Pri dnu ovog prijelaznog sloja, dakle bliže kromosferi, temperatura puno manja naspram vrha sloja gdje naglo raste.

Korona je posljednji, vanjski sloj Sunčeve atmosfere. Kako je u koroni gustoća iznimno mala granica sloja korone nije jasno definirana. U ovome sloju su visoke temperature i događaju se velika X - zračenja. Unutar strukture korone dominiraju silnice magnetskog polja, a dijelovi otvorenih silnica magnetskih polja vidljivi su kao koronarne rupe. Vanjski dijelovi sloja korone neprestano gube masu upravo zbog koronarnih rupa i to u obliku Sunčeva vjetra. Valja napomenuti da zbog rotacije Sunca Sunčev vjetar napušta

³⁰ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

površinu u obliku *Parkerove* spirale o čemu će biti govora kasnije ³¹. Na Slici 2. prikazan je izgled *Parkerove* spirale.



Slika 2. Parkerova spirala, Izvor: The European Space Agency, online: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/03/Parker_spiral

3.2. AKTIVNOST SUNCA

Sunce je aktivna zvijezda koja stalno prolazi kroz uobičajene cikluse aktivnosti. Aktivnost Sunca obuhvaća uobičajenu aktivnosti i takozvanu povećanu aktivnost. Povećana aktivnost Sunca se događa zbog nastajanja značajnijih poremećaja kao što su sunčeve baklje i koronarni izbačaji mase ili skraćeno *CME* (*Coronal Mass Ejection*). Zatim, Sunce neprestano odašilje tok vjetra zvanog Sunčev vjetar što također predstavlja aktivnost Sunca. Pod aktivnosti Sunca valja ubrajaju se aktivnost za vrijeme različitih stadija solarnog ciklusa, povećanu aktivnost Sunca za vrijeme poremećaja te promjenjivost značajki Sunčeva vjetra. Valja istaknuti da su za vrijeme vrhunca ili maksimuma solarnog ciklusa poremećaji učestaliji nego za vrijeme minimuma, iako i tada postoje.

³¹ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

3.2.1. Solarni ciklus

Sunčev ciklus traje između 7 i 17 godina, no uobičajeno se uzima prosječan period od 11 godina. Kroz taj period mijenja se i aktivnost Sunca. Polaritet Sunčevog magnetskog polja također se mijenja i to svakih 11 godina, što bi značilo da se magnetski polovi vrate u prvobitni položaj svakih 22 godine. Promjene polariteta posljedica je promijene magnetskog polja unutar Sunca.

Sunčeve pjegice također su jedan od pokazatelja Sunčeve aktivnosti. To su tamnija kružna područja koja se pojavljuju u fotosferi, te su kod njih temperature relativno manje od okoline. U najviše slučajeva se pojavljuju u grupama, dok je broj Sunčevih pjega vrlo dobar pokazatelj aktivnosti Sunca.

3.2.2. Sunčev vjetar

Sunce kontinuirano djeluje na okolni svemirski prostor otpuštajući nabijene čestice, elektrone, protone i energiju i takvo otpuštanje materije i energije naziva se Sunčev vjetar. Tvar unutar Sunčevog vjetra nalazi se u stanju takozvanom plazma. Zemlja je konstantno podložna Sunčevom vjetru, a magnetosfera Zemlje biva deformirana pod njegovim utjecajem. Kada čestice Sunčevog vjetra uđu u Zemljinu atmosferu kroz polarna područja on počinje međudjelovati s gornjim slojevima atmosfere te stvara polarnu svjetlost, geomagnetske oluje te niz drugih pojava.

Sunce ne rotira istom brzinom u svakoj točki kao sva kruta tijela već brzina rotacije ovisi o heliografskoj širini i onda kažemo da je rotacija Sunca diferencijalna. Točka na ekvatoru Sunca oko svoje osi se okrene jedan put u 25 dana dok je u polarnim dijelovima za taj ciklus potrebno 36 dana³². Zbog takvih okolnosti nastaje vrlo složena geometrija Sunčevog vjetra poznata kao *Parkerova spirala*. Na Sunčevim polarnim predjelima nalaze se stalne koronarne rupe, stoga su ta područja izvori brzih struja Sunčevog vjetra u odnosu na ekvatorijalnu ravninu Sunca gdje se otpušta spori Sunčev vjetar.

3.2.3. Značajni poremećaji aktivnosti Sunca

Procesi poput Sunčevih baklji i koronarnih izbačaja mase nazivaju se značajni poremećaji aktivnosti Sunca. Takvi procesi nose elektromagnetsko zračenje, povišeno X –

³² Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

zračenje i *UV* zračenje te energetski nabijene čestice koje u konačnici međudjeluju sa atmosferom Zemlje stvarajući geomagnetske oluje i ionosferske poremećaje.

Sunčeve baklje su iznenadni bljeskovi tj. velike eksplozije na površini Sunca i stvaraju su u neposrednoj blizini Sunčevih pjega. Solarne baklje su često, ali ne uvijek, praćeni izbacivanjem koronarne mase. Erupcija Sunčeve baklje može trajati svega jednu minutu pa sve do nekoliko sati. Naglo otpuštanje elektromagnetske energije, koja se širi najvećom dopuštenom brzinom u Svemiru (brzinom svjetlosti), djeluje na osvijetljenu stranu Zemaljske kugle. Sunčevim bakljama uzrokuju poremećaje u atmosferi otpuštanjem *X* – zračenja i *UV* ultraljubičastog zračenja.

Solarne baklje klasificiraju se po količini otpuštene energije, a koriste se slova A, B, C, M i X, gdje su A baklje najslabijeg intenziteta dok su X baklje najjačeg intenziteta. Svaka razina je deset puta veća od razine prije nje, pa tako svaka baklja ima, pored slovačane oznake, i broj od 1 do 9 s obzirom na intenzitet. Primjerice, baklja intenziteta X otpušta deset puta veću energiju od baklje intenziteta M, a sto puta veću energiju od baklji intenziteta C. Sunčevim bakljama najvećeg intenziteta X dodaje se brojčana oznaka od 1 do 20 jer one mogu dostići vrlo velike vrijednosti. Baklje intenziteta A, B i C nemaju gotovo nikakav utjecaj na Zemlju. Slab utjecaj na Zemlju imaju baklje M1 pa do M4 i kod takvih baklji postoji mogućnost prekida radijskih sustava u polarnim područjima, te se javljaju slabe oluje Solarnog zračenja koje mogu predstaviti opasnost za astronaute. Oznake od M5 do M9 predstavljaju umjeren utjecaj na Zemlju, a od oznake X pa na gore je snažan utjecaj gdje može doći do štete na satelitima, komunikacijskim sustavima, Zemaljskim energetskim mrežama, a također može i smanjiti točnost mjerenja položaja GNSS sustavima.

Koronarni izbačaji mase su također značajniji poremećaj aktivnosti Sunca. To je zapravo erupcija plazme i magnetskog polja iz područja Sunčeve korone. Za razliku od Sunčevih baklja, koronarni izbačaji mase do Zemlje putuju nekoliko sati, pa čak i nekoliko dana. Djeluju na Zemlju isto kao i Sunčeve baklje. Najvažniji parametri za predviđanje učinaka koronarnih izbačaja mase su njegova veličina, smjer, brzina i gustoća.

Sunčeve baklje često su popraćene koronarnim izbačajima mase no valja istaknuti kako ne postoji direktna veza između njih dvoje. Oba ova procesa su eruptivni procesi.

Općenita definicija bi bila da su te dvije pojave samo različita manifestacija poremećaja u magnetskom polju Sunca.

3.3. ZEMLJA

Zemlja se može podijeliti na atmosferu, hidrosferu i osnovno tijelo. Za potrebe ovog rada bitna je atmosfera Zemlje jer ona predstavlja medij kroz kojeg se šire signali za određivanje položaja globalnim navigacijskim satelitskim sustavima. Također je vrlo bitan geoprostor u kojemu se također događaju razne pojave izazvane povećanom aktivnošću Sunca. Geoprostor je pojam koji obuhvaća Zemaljsku magnetosferu, ionosferu te gornje slojeve atmosfere. Magnetosfera Zemlje određena je dosegom silnica geomagnetskog polja, a oblik je određen prisustvom Sunčevog vjetrova. Promjene fizikalnih stanja unutar magnetosfere imati će utjecaj na satelitske sustave pa i na neke terestričke navigacijske i komunikacijske sustave i iz toga proizlazi važnost geoprostora. U idućih nekoliko potpoglavlja bit će govora o strukturi atmosfere, geoprostoru i geomagnetizmu kao važnim segmentima prostora, prijenosnog medija za signale GNSS sustava³³.

3.3.1. Struktura Zemljine atmosfere

Atmosfera je plinoviti omotač Zemlje, tj. smjesa plinova koji okružuju Zemlju. Zemljina atmosfera sastoji se od kisika (21%), dušika (77%), vodene pare (1%) vodene pare i ostalih primjesa. Donja granica atmosfere je određena površinom Zemlje, dok gornja granica nije definirana zbog nemogućnosti točnog određivanja. Atmosfera Zemlje može se podijeliti na više različitih kriterija. Prvi kriterij predstavlja raspodjelu temperature u atmosferi a shodno tome i raspodjelu na slojeve prema temperaturi.. Također, atmosfera se može podijeliti prema sastavu zraka obzirom na to da je smjesa plinova promjenjiva omjera³⁴.

3.3.2. Osnove dinamike ionosfere

Do stvaranja električno nabijenih čestica dolazi zbog međudjelovanja između Sunčevog zračenja i gornjih slojeva Zemljine atmosfere. Proces ionizacije omogućuje postojanje ionosferskih slojeva unutar atmosfere. Procesu ionizacije nastaje uslijed Sunčeva zračenja i kozmičkog zračenja stvarajući slobodne elektrone i pozitivno nabijene ione. Sudarom fotona, vezanih za Sunčevo UV zračenje, iznimno ultraljubičasto zračenje EUV

³³Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

³⁴Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

(*engl. EUV – Extreme UltraViolet radiation*) i X – zračenje, s česticama (pretežno N_2 , O_2 i O) gornjih slojeva atmosfere dolazi do apsorpcije njihove energije. Ionosferska plazma se formira kada su u gornjim slojevima atmosfere prisutni pozitivni ioni i elektroni u jednakoj količini. Ionosfera nastaje procesom fotoionizacije i ona se sastoji od nekoliko karakterističnih slojeva s različitom gustoćom plazme. Svaki od slojeva ionosfere nastaje kao posljedica pojedinog dijela spektra Sunčevog zračenja, dok nastajanje iona ovisi o količini Sunčevog zračenja. Količina Sunčevog zračenja koja pristiže do Zemljine atmosfere ovisi o dobu dana, godine i stadiju Sunčeva ciklusa. Također postoji i dodatna ionizacija koja nastaje uslijed kozmičkog zračenja, erupcija Solarnih baklji, udara čestica Sunčevog vjetra te ostalih procesa povezanih s nastankom geomagnetskih oluja³⁵.

3.3.3. Okvirni vertikalni profil ionosfere

U ionosferi se povećava koncentracija električno nabijenih čestica. Ona se nalazi iznad približno 50 km visine iznad Zemljine površine. Valja naglasiti da granice između slojeva ne mogu biti točno definirane, već se postepeno mijenjaju fizikalne značajke pojedinih područja. Jedna od mjera za određivanje stupnja ionizacije je gustoća elektrona jer se ona mijenja se visinom kroz sve ionosferske slojeve. Slojevi unutar ionosfere protežu se od oko 60 km do približno 1 000 km iznad površine Zemlje, a upravo zbog povišene gustoće elektrona djeluju na širenje elektromagnetskih valova³⁶.

Postoje tri glavna područja ionosfere - D , E i F područje. D sloj je prvi sloj ionosfere a zauzima prostor atmosfere na visinama od 50 – 90 km. D sloj formira se zbog upijanja ultraljubičastog UV zračenja i X – zračenja i karakterističan je po tome što više upija nego li odbija elektromagnetske radiovalove. Noću, ionizacija D sloja prestaje, a time i D sloj iščezava³⁷.

Nakon D sloja slijedi E sloj, a proteže se na visinama između 90 i 140 km i nastaje kao posljedica upijanja Sunčevog X – zračenja. E sloj odbija sve radiovalove osim one unutar UHF (*engl. UHF – Ultra High Frequency*) spektra. Slično kao i D sloj, E sloj također tijekom noći gotovo u potpunosti nestaje. Povremeno, na istim visinama kao i E sloj, s

³⁵ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

³⁶ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

³⁷ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

velikom gustoćom elektrona, javlja se povremeni ili sporedni *ES* sloj, no zadržava se tek nekoliko minuta do nekoliko sati ³⁸.

Zatim, iznad *E* sloja, na visinama između 140 i 1 000 km nalazi se *F* sloj. *F* sloj tijekom dana dijeli se u dva dijela, sloj *F1* na visinama od 140 do 210 km i sloj *F2* na visinama od 210 do 400 km. *F* sloj nastaje upijanjem *X* i ultraljubičastog zračenja i u njemu prevladavaju pozitivni ioni. *F2* sloj je značajan zbog velikog skoka u gustoći elektrona pri visinama od približno 300 km, a to su upravo visine s najvećom gustoćom elektrona. Također, na visinama preko 500 km formira se sloj *F3*. Unutar *F2* sloja formira se prošireni sloj *SF* (*SF – Spread F*)³⁹.

Preko 1 000 km iznad površine Zemlje, dakle iznad *F* sloja nalazi se protonosfera koja uglavnom sadržava atome vodika i helija. Protonosfera uzdiže se visoko iznad površine Zemlje, čak do visina satelita *GNSS* sustava.

3.4. UTJECAJ SVEMIRSKOG VREMENA NA ZEMLJU

Svemirsko vrijeme utječe na rad brojnih sustava na Zemlji i u njenom geoprostoru. Budući da svemirsko vrijeme predstavlja pojave u prostoru svemira između Sunca i Zemlje, onda se može zaključiti da te pojave imaju odgovarajući utjecaj na sustave i tehnologije koje se u tom prostoru svemira nalaze ⁴⁰.

Sustavi koji su pod utjecajem svemirskog vremena su sateliti, zrakoplovi, energetske sustavi i drugi. Pojave Sunčevih baklji praćene su izrazitim *X* – zračenjem koje ometa *HF* (engl. *HF – High Frequency*) signale potrebne za korištenje komunikacije. Sa Sunca odaslane energetske nabijene čestice - *SEP* (engl. *SEP – Solar Energetic Particles*) uzrokuju nepravilnosti u radu elektroničkih komponenti u satelitima, dok koronarni izbačaji mase uzrokuju poremećaje u geomagnetskom polju. Geomagnetske oluje induciraju struju u energetskim mrežama, kablovima i dalekovodima i time onemogućuju ili narušavaju njihov rad. Zbog navedenih događaja javljaju se električni prenaponi i proboji na satelitima koji ih

³⁸ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti *GPS* i *GLONASS* sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

³⁹ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti *GPS* i *GLONASS* sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

⁴⁰ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti *GPS* i *GLONASS* sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

oštećuju a ponekad i onesposobljuju. Geomagnetske oluje djeluju na signale GNSS sustava što rezultira pogreškama u određivanju položaja.

3.5. GEOMAGNETSKE OLUJE I IONOSFERSKI POREMEĆAJI

Geomagnetska oluja je jako ali privremeno ometanje zemljine magnetosfere. Za vrijeme geomagnetske oluje, F₂ sloj ionosfere biti će jako nestabilan, smanjit će se, a može čak i nestati. Na nebu sjevernih i južnih polarnih predjela Zemlje biti će se vidljiva polarna svijetlost.

Ionizacija se stvara UV zrakama, X-zrakama i kratkovalnim elektromagnetskim valovima sunčeve radijacije. Kada je slobodni elektron ponovo zarobljen od strane pozitivnog iona tada je to suprotan proces od ionizacije a zove se rekombinacija. Taj proces rekombinacije uzrokuje emisiju fotona. Ravnoteža između ta dva procesa određuje količinu prisutne ionizacije.

Ionizacija prvenstveno ovisi količini radijacije koju primi odaslanu sa Sunca i o sunčevoj aktivnosti. Postoje dnevne i sezonske promjene količine ionizacije. Zimi Zemljina polutka je udaljenija od Sunca pa je tako i količina primljene radijacije manja, samim time i stupanj ionizacije. Naravno, aktivnost Sunca povezana je i sa sunčevim pjegama i što njih više to je radijacija veća. Količina radijacije također ovisi i o geografskom položaju. Druge pojave koje ometaju količinu ionizacije su sunčeve baklje i električki nabijene čestice u sunčevom vjetru.

Po noći je značajna količina ionizacije jedino prisutna u F sloju, dok je ona u E i D sloju vrlo mala. Tokom dana E i D sloj postaju puno više ionizirani (za razliku po noći), dok se stvara i F₁ sloj, u kojem je ionizacija nešto slabija. F₂ sloj postoji i tokom dana i tokom noći i on je najznačajniji za prijenos radio valova na daljinu.

U D sloju ionizacija nastaje zbog radijacije vodika koja ionizira dušikov oksid (NO). U slučaju kada je sunčeva radijacija izuzetno jaka tada će X-zrake ionizirati molekule dušika i kisika (N₂, O₂). Rekombinacijom u visokom D sloju ionizacija je slaba, ali je gubitak valne energije velik zbog čestog sudaranja elektrona i kao rezultat radio valovi visoke frekvencije će gubiti energiju. To je glavni razlog upijanja HF radio valova. Poslije zalaska Sunca D sloj se dosta gubi, dok preostaje samo mali dio zbog djelovanja galaktičkih kozmičkih zraka.

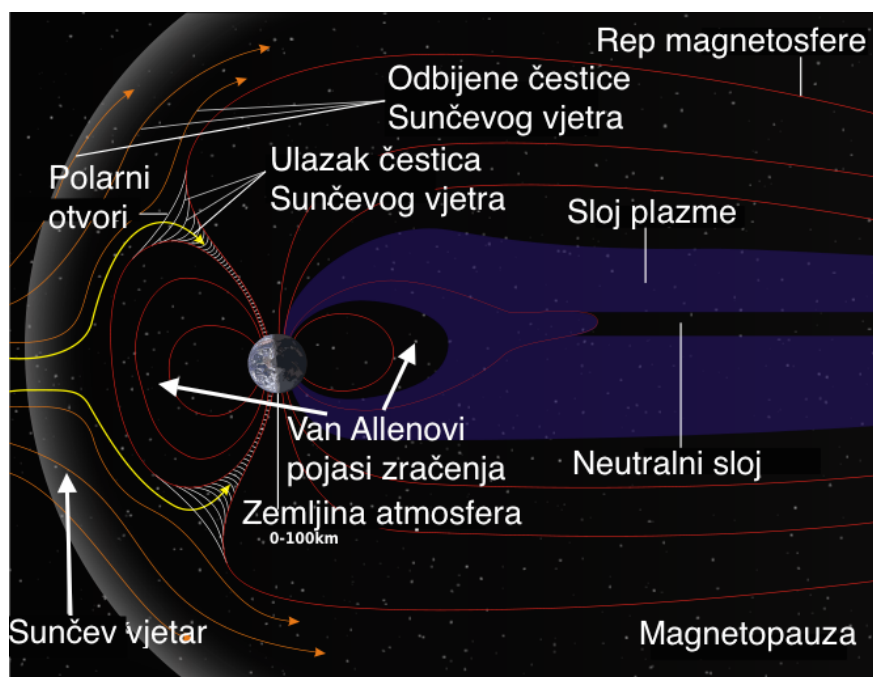
U E sloju ionizacija nastaje zbog mekih X-zraka i dalekog UV zračenja, koje ioniziraju molekule kisika (O₂). Po noći izvor ionizacije više nije prisutan i E sloj brzo nestaje.

E_s sloj (engl. *sporadic E layer*) ima osobinu malih i tankih oblaka i jake ionizacije. Ta pojava može trajati svega nekoliko minuta pa sve do nekoliko sati. E_s sloj se najčešće javlja za vrijeme ljeta.

F sloj je najgušći dio ionosfere. Po noći postoji samo jedan F sloj, ali tokom dana poremećaji često stvaraju F₁ sloj. F₂ sloj najzaslužniji je za prijenos radio valova, posebno HF na velike udaljenosti a on ostaje cijeli dan i noć.

3.6. UTJECAJ SVEMIRSKOG VREMENA NA POLARNE PREDJELE

Polovi Zemlje najugroženiji su dijelovi Zemaljske kugle zbog toga što sve čestice sunčeve aktivnosti, koje dolaze do Zemlje, ulaze upravo u polarne predjele. Zbog magnetskog polja Zemlje polarni predjeli usko su spojeni s solarnim vjetrom. Kada se krenu događati posebno burne aktivnosti na Suncu, tj. kada Sunce počne izbacivati čestice po cijelome svemiru, dio čestica sa Sunca, na svom putu kroz svemir, dolazi sa solarnim vjetrom i putem Zemljinog magnetskog polja ulaze u ionosferu polarnih predjela. Slika 3. prikazuje Zemljinu magnetosferu i način ulaska Sunčevih čestica u atmosferu Zemlje.



Slika 3. Zemljina magnetosfera, Izvor: Autor Mmarre - Original Structure of the magnetosphere, online: https://hr.wikipedia.org/wiki/Polarna_svjatlost

Za vrijeme geomagnetske oluje, F₂ sloj ionosfere postaje jako nestabilan, a na sjevernome i južnom polu Zemlje na nebu biti će vidljiva polarna svijetlost. Kada brze, električki nabijene čestice Sunčeva vjetra uđu u magnetsko polje Zemlje počinju još više ubrzavati prema Zemljinim magnetskim polovima, sudaraju se sa česticama zraka i pobuđuju ih na emisiju svijetlosti zvanu polarna svijetlost. Na sjeveru ona se naziva aurora borealis dok se ja jugu ona zove aurora australis.

Tijekom svemirskih vremenskih prilika, čestice dospjele sa Sunca spuštaju se geomagnetskim poljem, kroz polove, do Zemlje gdje dodatno povećavaju gustoću ioniziranog plina, što može rezultirati prekid rada radija i ostale elektronike na Zemlji

Polarni predjeli posebna su područja u pogledu ionosfere. Kao prvo, ciklus između dana i noći je potpuno drugačiji na visokim širinama nego u niskim zemljopisnim širinama. Zimi u polarnim predjelima može biti gotovo neprestano mrak, dok ljeti Sunce i po nekoliko mjeseci zrači atmosferu. Kao drugo, polarni predjeli imaju uska vezu na okruženje svemira zbog gotovo vertikalnog magnetskog polja, što dodatno daje izvor ionizacije. Na visokim širinama ionosfera je jako promjenjiva⁴¹.

Kako se neutralna atmosferska gustoća smanjuje s visinom, isto tako se mijenjaju i procesi koji dominiraju u ionosferi niskih visina. Na nižim visinama je atmosfera puna dušika (80%) i kisika (20%) i što idemo više prema polovima taj omjer se mijenja i kisik postaje prevladavajući, stoga su slojevi ionosfere nešto udaljeniji od Zemlje nego što je to na niskim visinama. D sloj nalazi se između 70 i 80 km. Područje najviše vodljivosti, tj. E sloj, nalazi se otprilike oko 100 i 150 km visine. Najviši F sloj je na 200 – 1000 km visine⁴².

U ionosferi elektromagnetski signali poremećeni su slobodnim i negativno nabijenim elektronima, a veličina tog efekta je jednaka količini elektrona na koje nailazi signal - TEC (*engl. Total Electron Content*). Također, kašnjenje signala ovisiti će i o njegovoj frekvenciji.

⁴¹ Hund A.J.: „*Antartica and the Artic Circle: A Geographic Encyclopedia of the Earth's Polar Regions*“, ABC-CLIO, Santa Barbara, 2014, online: <https://products.abc-clio.com/abc-cliocorporate/product.aspx?pc=A4091C>

⁴² Hund A.J.: „*Antartica and the Artic Circle: A Geographic Encyclopedia of the Earth's Polar Regions*“, ABC-CLIO, Santa Barbara, 2014, online: <https://products.abc-clio.com/abc-cliocorporate/product.aspx?pc=A4091C>

4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Ovo poglavlje za cilj ima prikazati sve korištene alate u istraživanju, zatim prikaz pogreški u određivanju položaja zadanih stanica u polarnim predjelima, uzimajući u obzir dva različita GNSS sustava. GPS i GLONASS sustav su GNSS sustavi nad kojima je napravljeno ovo istraživanje.

4.1. TIJEK ISTRAŽIVANJA

Pristup ocjenjivanju pogrešaka položaja zadanih stanica je statistička analiza skupa podataka koji sadrži zapise položaja izmjerene na izabranim stanicama u odabranom vremenskom razdoblju. Najprije je uzet uzorak nad kojim će se vršiti statistička analiza. Zatim slijedi neophodna priprema podataka. Kako bi se mogla uspješno napraviti statistička obrada podataka valja izabrati i kvalitetan uzorak. U ovome slučaju taj uzorak je sedam dana, te je nakon provjere dostupnosti podataka odabran period ispitivanja.

Započinje faza prikupljanja podataka, što je zapravo preuzimanje zapisa položaja četiriju stanica (dvije iznad 65° paralele sjeverno i dvije južno). Nadalje, kreće priprema istih podataka.

Pripremu podataka je potrebno napraviti zbog usklađivanja intervala učestalosti mjerenja. Dakle, svaka je varijabla svedena na isti vremenski interval. Varijable su zapravo položajni zapisi, tj. geografska širina, geografska dužina i nadmorska visina, te se nad njima vrši statistička analiza.

Nadalje, potrebna je statistička obrada podataka. Za obradu podataka prvo je korišten program otvoreni program za izvođenje standardnog i/ili preciznog određivanja položaja - RTKLIB. Preuzete korištene datoteke podrazumijevaju RINEX (*engl. RINEX – Receiver Independent Exchange Format*) formate koje je moguće obraditi sa programskim alatom RTKLIB. Podaci o mjerenjima sa stanica dobivaju se u obliku opservacijskih (.o) datoteka, dok se navigacijska poruka satelita dobiva kao (.n) datoteka.⁴³

⁴³ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

RTKLIB alat daje rješenje, odnosno položajnu datoteku (.pos) služeći se navigacijskom porukom iz datoteke s nastavkom (.n) i opservacijskom datotekom s nastavkom (.o). Navigacijska poruka uključuje predviđene efemeride satelita, ispravka satelitskog sata, informacija o statusu sustava i ionosferskom modelu ispravki. Podaci o mjerenju vremena i pseudoudaljenosti, faznim i Doppler mjerenjima sadrži opservacijska datoteka. Valja istaknuti da je u oba razdoblja napravljena prilagodba kuta maskiranja (*engl. elevation mask*), prilikom prikupljanja podataka o mjerenjima položaja, od 15°, zbog što boljih i točnijih podataka sa satelita.

Za kraj korišten je program Rstudio⁴⁴ u kojem je potrebno napisati kod koji vrši statističku analizu uz proračun pogrešaka. Kako bi program uspješno napravio zadatak prvo je potrebno zadati varijable koje se uspoređuju, zatim treba potvrditi točne položaje promatranih stanica i tek onda treba varijable geografskih dužina i širina pretvoriti u metre, što se radi na slijedeći način:

$$\varphi' - \varphi = \varphi_{res} \quad (12)$$

$$\lambda' - \lambda = \lambda_{res} \quad (13)$$

$$\varphi_{res} \times 60 \times 1852 \quad (14)$$

$$\lambda_{res} \times 60 \times 1852 \quad (15)$$

Dobivene vrijednosti položaja stanica (φ' , λ') treba oduzeti sa stvarnim položajem stanice (φ , λ) zatim se ta vrijednost množi sa 60 pa sa 1852. Statističkom analizom dobiven je statistički opis podataka, te su izvedeni zaključci, a time i temelj za usporedbu pogrešaka položaja.

⁴⁴ RStudio je integrirano razvojno okruženje za R programski jezik koji nam pomaže u statističkom računanju i grafičkom prikazu.

4.2. VREMENSKI PERIOD TE GEOGRAFSKO PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Za vremensko razdoblje istraživanja uzet je period od sedam dana, od 5.1.2018. do 11.1.2018. godine. Geografsko područje istraživanja su polarni predjeli prikazani na Slici 4. Položaj promatranih IGS stanica. Podaci položaja uzeti su sa četiri stanica, dvije na sjeveru (crveno) i dvije na jugu (plava).



Slika 4. Položaj promatranih IGS stanica, Izvor: pripremio student

Podaci su preuzeti sa IGS⁴⁵ internet stranice. Stanice na sjeveru nalaze se na otoku Svalbard i Grenlandu, dok su oba dvije južne stanice na Antartici.

4.3. IZVORI PODATAKA POTREBNIH ZA ISTRAŽIVANJE

Podaci su prikupljeni iz službenih arhiva tj. baza podataka organizacija ovlaštenih za distribuciju. Navedeni su zapisi o položajima s promatranih stanica. U Tablici 2. dane su promatrane stanice te njihov položaj na Zemlji u geografskoj širini, dužini i nadmorskoj visini.

⁴⁵ Usluga podataka za visoko precizno globalno satelitsko određivanje položaja

Tablica 2. Položaj IGS stanica

POLOŽAJ				
<i>Geografska širina</i>	<i>Geografska dužina</i>	<i>Nadmorska visina</i>	<i>Lokacija</i>	<i>Ime stanice</i>
78,9295528°	11,8652944°	83,7 m	Svalbard	NYA100NOR
70,4853333°	-21,9503361°	128,5 m	Grenland	SCOR00GRL
-77,8059°	161,99785°	39,793 m	Antartika	COTE00ATA
-67,5714022°	-68,1257462°	1878,1 m	Antartika	ROTH00ATA

Izvor: Pripremio student

Međunarodna IGS mreža obavlja prikupljanje, pohranu i distribuciju podataka vezanih za GNSS opažanja. Zabilježeni podaci koriste se u razne svrhe kao na primjer istraživačke, geofizičke znanosti, navigaciju, obrazovanje i slično⁴⁶.

U ovome radu odabrane IGS stanice nalaze se na Antartici (dvije stanice), otoku Svalbard i Grenlandu. Preuzete datoteke korištene prilikom analize i obrade podataka podrazumijevaju RINEX formate koje je moguće obraditi u RTKLIB programskom alatu. Podaci o mjerenjima sa stanica dobivaju se u obliku opservacijskih (.o) datoteka, dok se navigacijska poruka satelita dobiva kao (.n) datoteka⁴⁷.

Nadalje, Slika 5. pokazuje položaj odabranih INTERMAGNET stanica (označene crnom točkicom) sa kojih su se preuzimali podaci koji su obrađivani u ovome radu, kao i IGS stanice.

⁴⁶ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

⁴⁷ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.



Slika 5. IGS i INTERMAGNET stanice

Podaci o pokazateljima svemirskog vremena su sljedeći: (1) Geomagnetsko polje (*engl. Geomagnetic Field*), (GEO_x , GEO_y i GEO_z)⁴⁸; (2) Pokazatelj ionosferske aktivnosti: TEC ⁴⁹. Pokazatelj ionosferske aktivnosti TEC deriviran je pomoću programskog alata *GPS Gopi* iz opservacijske datoteke za promatrano razdoblje. Pokazatelje geomagnetske aktivnosti preuzeti su sa četiri stanice, koje su blizu stanica na polarnim predjelima koje promatramo, a to su stanica „*Hornsund*“ i „*Qeqertarsuaq*“ na sjeveru i stanice „*Argentiniski otoci*“ i „*Scott Base*“ na Antartici.

4.4. KORIŠTENI ALATI PRI ISTRAŽIVANJU

Prethodno preuzete *RINEX* navigacijske i opservacijske datoteke korištene su kod pripreme podataka o položajnim zapisima. Nakon toga datoteke treba obraditi u *RTKLIB* programskom alatu. *RTKLIB* koristi navigacijsku poruku (*.n*) i opservacijsku datoteku (*.o*) iz datoteke te daje rješenje odnosno položajnu datoteku (*.pos*). Navigacijska poruka sastoji se od predviđenih efemerida satelita, ispravki satelitskog sata, informacija o statusu sustava i ionosferskom modelu ispravki dok opservacijska datoteka sadrži podatke mjerenja vremena i pseudoudaljenosti, fazna mjerenja i Doppler mjerenja⁵⁰. Sada kada postoji položajna datoteka vrijeme je za pripremu podataka za daljnju obradu uz pomoć programa

⁴⁸ *Intermagnet* – *International Real-time Magnetic Observatory Network*, online: : <http://www.intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php>

⁴⁹ Online: <http://www.intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php>

⁵⁰ Jureković P.: „*Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena*“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

Notepad++. Za pripremu podataka poslužio je i program za tablično računanje *Excel*. Nakon manje obrade u RTKLIB-u i nakon pripreme podataka, te prilagodbe formata, vrijeme je za obradu u programskom okružju *RStudio*. *RStudio* je programe koji omogućuje obradu podataka, grafičko iscrtavanje i prikaz, te statističku obradu i učenje⁵¹. Obrada podataka u programu *RStudio* sastoji se od pisanja programskog koda za proračun odstupanja te statističku i grafičku obradu podataka. Osim obrade položajnih zapisa, u programu *RStudio* obrađeni su podaci o pokazateljima svemirskog vremena, a to su sljedeći: komponente geomagnetskog polja i *TEC* podaci o kojima će biti riječ kasnije u tekstu.

4.5. METODE OBRADE I ANALIZE PRIKUPLJENIH PODATAKA

Pod ovim podpoglavljem valja svrstati metode kojima su proračunate pogreške položaja, statističke metode te grafički alati za prikaz statističkih parametara. Statističkim alatima obrađena su proračunata odstupanja položaja kao i pokazatelji svemirskog vremena.

4.5.1. Proračun pogrešaka položaja

Proračun pogrešaka GPS, GLONASS i kombinacije oba sustava sastoji se od više dijelova. Prvo treba analizirati odstupanja. Odstupanja mogu biti u pojedinim kardinalnim smjerovima, točnije odstupanje sjever-jug, istok-zapad i po vertikali gore-dolje. Pogreške u horizontalnoj ravnini su zapravo pogreške geografske dužine i geografske širine, dok su pogreške u vertikalnoj ravnini pogreške nadmorske visine. Pogreške su proračunate kao razlike stvarnog položaja i izmjerenog položaja promatrane stanice. Stvarni položaj neke od promatranih stanica u prostoru P definiran je sa tri prostorne koordinate $P(\varphi, \lambda, h)$, dok je niz izmjerenih položaja $P'(\varphi', \lambda', h')$. Proračunate vrijednosti pogrešaka, uz pomoć programa *RStudio*, pretvorene su iz dijelova stupnja u metre radi lakše vizualizacije. Ove tri komponente pogrešaka mogu se matematički zapisati:

$$\begin{aligned}d\varphi_i &= \varphi'_i - \varphi \\d\lambda_i &= \lambda'_i - \lambda \\dh_i &= h'_i - h\end{aligned}\tag{13}$$

⁵¹ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

gdje su:

$d\varphi_i, d\lambda_i, d h_i$ – pogreške mjerenja položaja (odstupanje od referentnog položaja)

$\varphi_i', \lambda_i', h_i'$ – izmjerene komponente položaja

φ, λ, h – stvarne komponente položaja

4.5.2. Statistička analiza

Statistička analiza obuhvaća tehnike i metode koje omogućuju da se na osnovu dijela informacija (uzorka), koji su podskup skupa podataka, zaključi o karakteristikama cijelog skupa podataka (populacije)⁵².

Do uzoraka, tj. podataka dolazi se metodom statističkog promatranja i prikupljanja, zatim korištene su mjere centralne tendencije (srednje vrijednosti) i korelacija.

Aritmetička sredina omjer je zbroja svih vrijednosti promatranih jedinica i broja jedinica u skupu podataka

Korelacijskoj analizi je svrha istražiti povezanost između statističkih varijabli, tj. između pojava, mjerenjem stupnja povezanosti. Dakle, korelacija je pokazatelj jakosti povezanosti između promatranih varijabli⁵³. Koeficijent korelacije je brojčana vrijednost (-1, +1) koja pokazuje stupanj povezanosti dviju pojava.⁵⁴

Kada se linearni porast jedne varijable podudara sa linearnim rastom druge varijable tada je korelacija pozitivna, no kada linearnom porastu jedne varijable odgovara linearno opadanje druge tada je korelacija negativna. Stupanj povezanosti (izražava se brojem) pokazuje koliko su varijable stvarno ovisne jedna o drugoj, dok pozitivna i negativna korelacija pokazuje samo ponašanje dviju varijabli (izražava se predznakom). Osim linearne povezanosti postoji i nelinearna povezanost, što znači da između dvije varijable može

⁵² Gogala, Z.: *Osnove statistike*, Sinergija, Zagreb, 2001.

⁵³ Gogala, Z.: *Osnove statistike*, Sinergija, Zagreb, 2001.

⁵⁴ Jureković P.: „*Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena*“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

postojati snažna korelacija, ali ta povezanost ne mora biti linearna. Korelacija između dvije varijable može biti: potpuna pozitivna, pozitivna, nikakva, negativna i potpuna negativna⁵⁵

Najveća moguća pozitivna korelacija između dviju varijabli naziva se potpuna pozitivna korelacija. Pozitivna korelacija znači pozitivnu povezanost između dviju varijabli s nekim stupnjem povezanosti većim od 0, no manjim od 1. Zatim, slučaju kada nema povezanosti, tj. kada vrijednosti jedne varijable odgovara različitim vrijednostima druge varijable zove se nikakva korelacija. Negativna korelacija znači da postoji određeni stupanj povezanosti, dok rast jedne odgovara opadanju druge varijable. Konačno, potpuna negativna korelacija znači potpunu povezanost dviju varijabli u negativnom smjeru⁵⁶.

Tablica 3. Tumačenje koeficijenata korelacije

Koeficijent korelacije	Tumačenje koeficijenta
0,00 +/- 0,20	<i>Nikakva/neznatna povezanost</i>
+/- 0,20 do +/- 0,40	<i>Laka/slaba povezanost</i>
+/- 0,40 do +/- 0,70	<i>Stvarna/značajna povezanost</i>
+/- 0,70 do +/- 1,00	<i>Visoka/vrlo visoka povezanost</i>

Izvor: pripremio student na temelju Jureković Petar

4.5.3. RStudio

RStudio je integrirano razvojno okruženje za R (programski jezik za statističko računanje i grafiku). Kako bi shvatili širok spektar podataka, ljudi diljem svijeta okreću se statističkom jeziku. Rstudio je odličan izbor prvenstveno zbog toga što se ne naplaćuje, zatim zbog stalne nadogradnje programa u raznim segmentima poslova – znanost, obrazovanje, industrija i dr. Tvorci Rstudia pružaju moćan i fleksibilan temelj za statističko računanje. Program je besplatan kako bi se zajedničkim radom još više poboljšao. Ovaj program razvio je Rstudio, komercijalno poduzeće J.J. Allairea, također tvorac programskog jezika ColdFusion. Rstudio nema formalnu vezu sa R neprofitnom organizacijom koja se nalazi u Beču.

⁵⁵ Jureković P.: „Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustava u različitim stanjima svemirskog vremena“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

⁵⁶ Gogala, Z.: *Osnove statistike*, Sinergija, Zagreb, 2001.

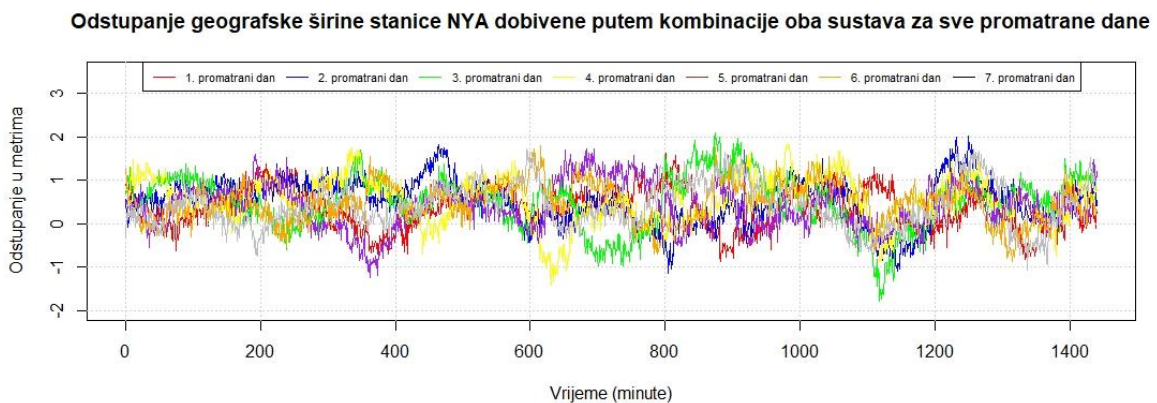
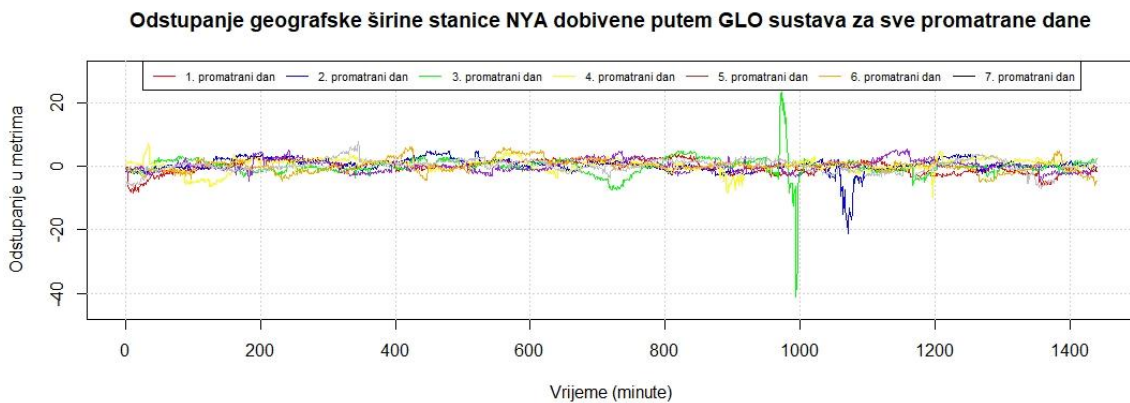
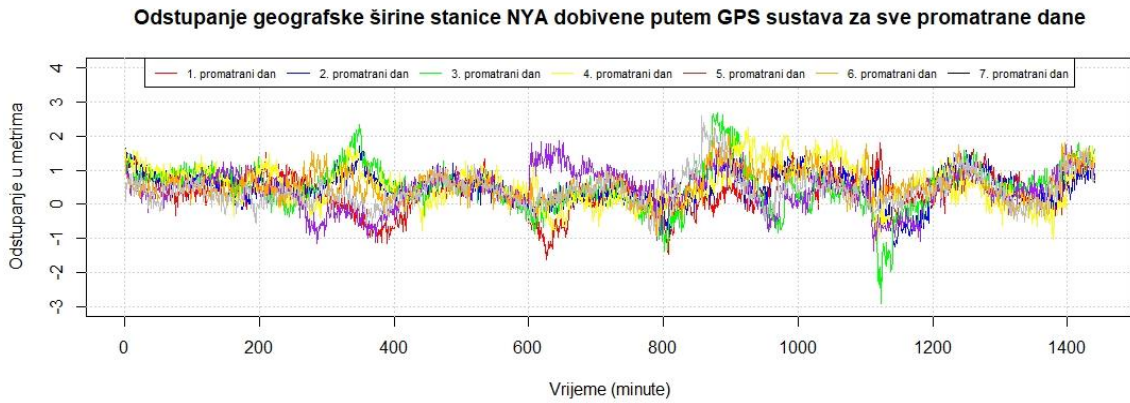
5. USPOREDNO PARCIJALNA ANALIZA RELATIVNIH ODSUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA U POLARNIM PREDJELIMA

Valja spomenuti da je prilikom prikupljanja podataka o mjerenjima položaja napravljena prilagodba kuta maskiranja (*engl. elevation mask*) satelita od 15°.

Nadalje, predstavljeni rezultati istraživanja obrađeni su u obliku statističke analize. Za početak prikazani su dobiveni rezultati odstupanja položaja stanica koje su u istraživanju putem GPS, GLONASS i kombinacije ova oba GNSS sustava. Nakon grafičkog prikaza izmjerenih položaja stanica prikazani su statistički parametri odstupanja položaja. Zatim, predstavljena je skupna analiza kojom su prikazana odstupanja svih komponenti u periodu od sedam dana za svih četiri promatranih IGS stanica. Za kraj napravljeno je ispitivanje korelacije između pogrešaka i pokazatelja svemirskog vremena.

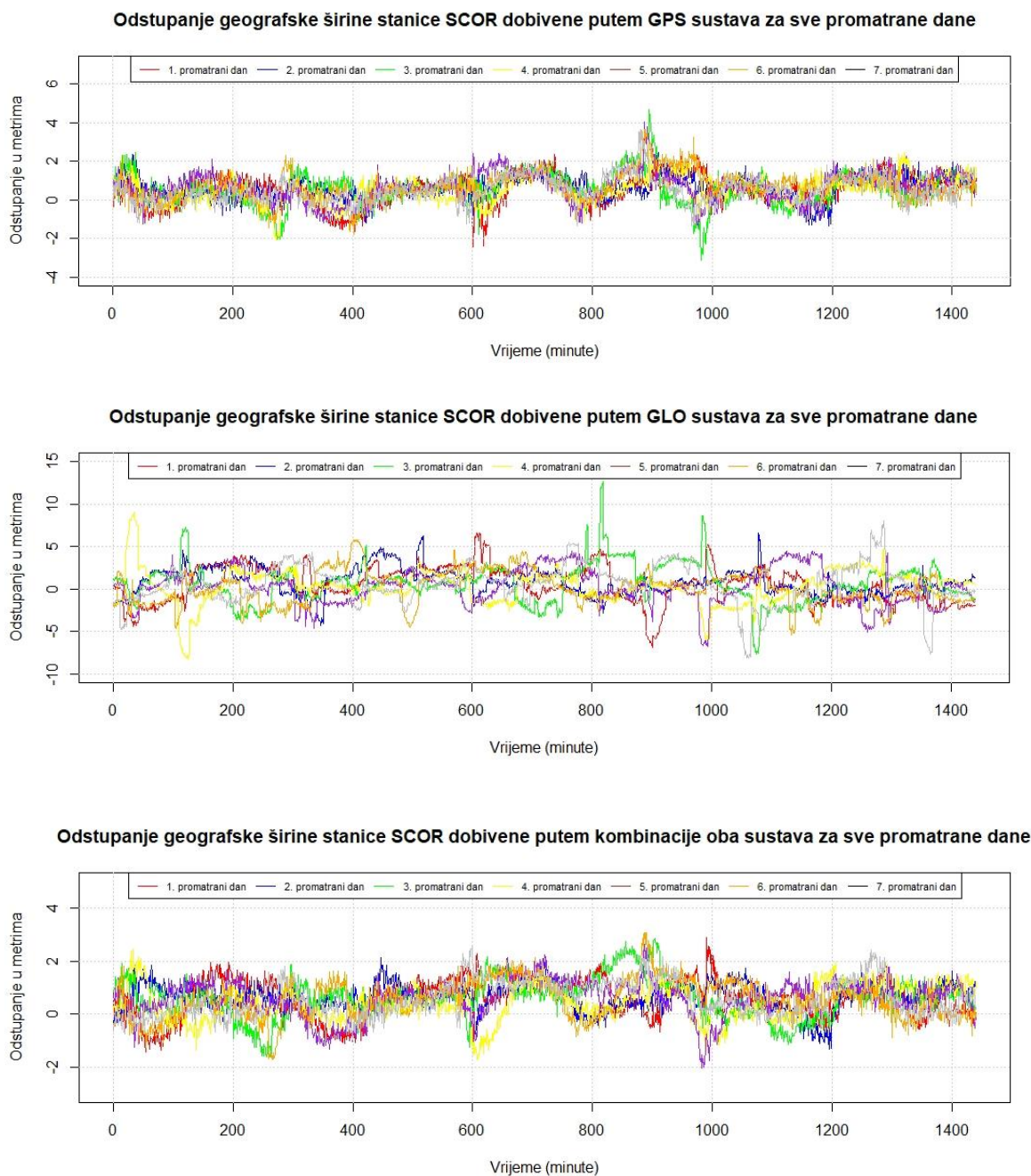
5.1. ANALIZA RELATIVNIH ODSUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA U SJEVERNIM POLARNIM PREDJELIMA

U ovome potpoglavlju analizirati će se položaji dviju odabranih stanica iznad sjeverne obratnice, tj. iznad 66°33' sjeverno. Prikaz izmjerenog položaja stanica dan je u slijedećim slikama. Na svakoj idućoj stranici nalazi se slika sa 3 grafa. Svaki graf pokazuje odstupanje širine, dužine ili nadmorske visine za određenu stanicu kroz cijeli promatrani period od 7 dana. Glavni cilj istraživanja bio je ustanoviti veličine odstupanja geografske širine, dužine i nadmorske visine, odnosno koordinata položaja, dvaju najveća satelitska sustava i njihovom kombinacijom za promatrani vremenski period od 7 dana. Ispitivanju se pristupilo statističkim mjerama nad izvučenim podacima odstupanja položaja stanica. Provedeno istraživanje je pokazalo da je u promatranom vremenskom periodu od 7 dana GPS sustav imao manja relativna odstupanja položaja od GLONASS sustava kod sve četiri odabrane IGS stanice, no budući da je uzorak istraživanja premalen ovo se ne može uzeti kao opća zakonitost.



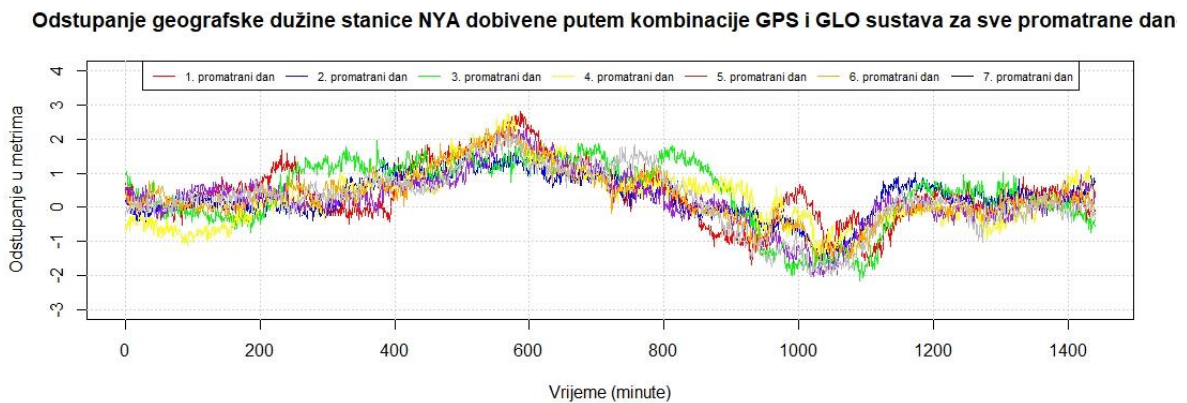
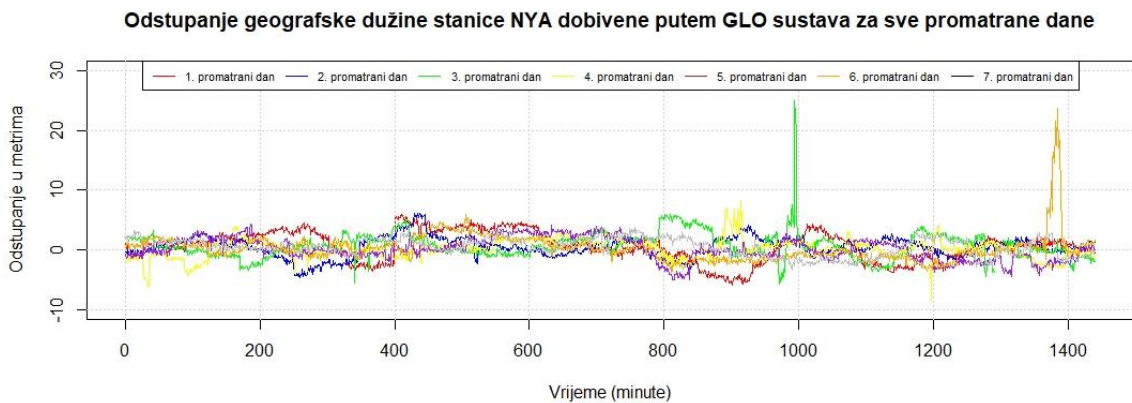
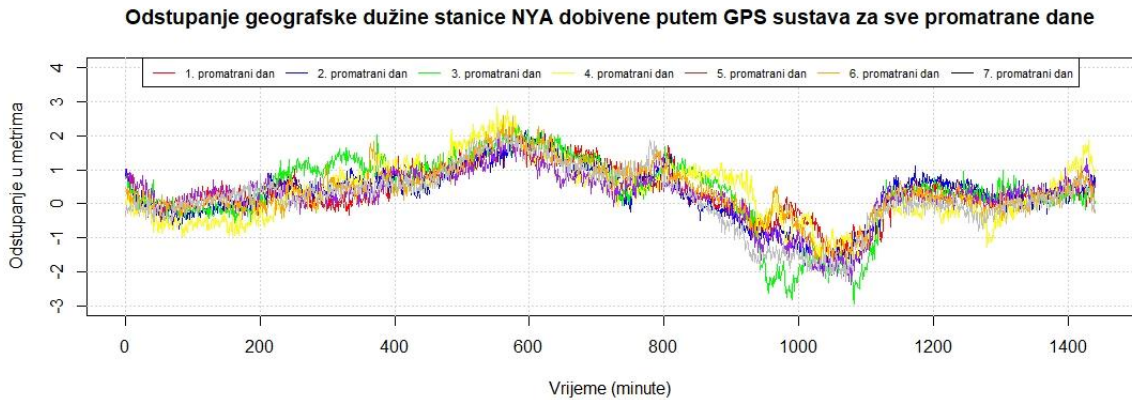
Slika 6. Odstupanje geografske širine stanice NYA putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 6. vidljivo je da su relativna odstupanja geografske širine na stanici NYA bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 2,9 [m], kod GLONASS sustava čak 41[m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 2,1 [m].



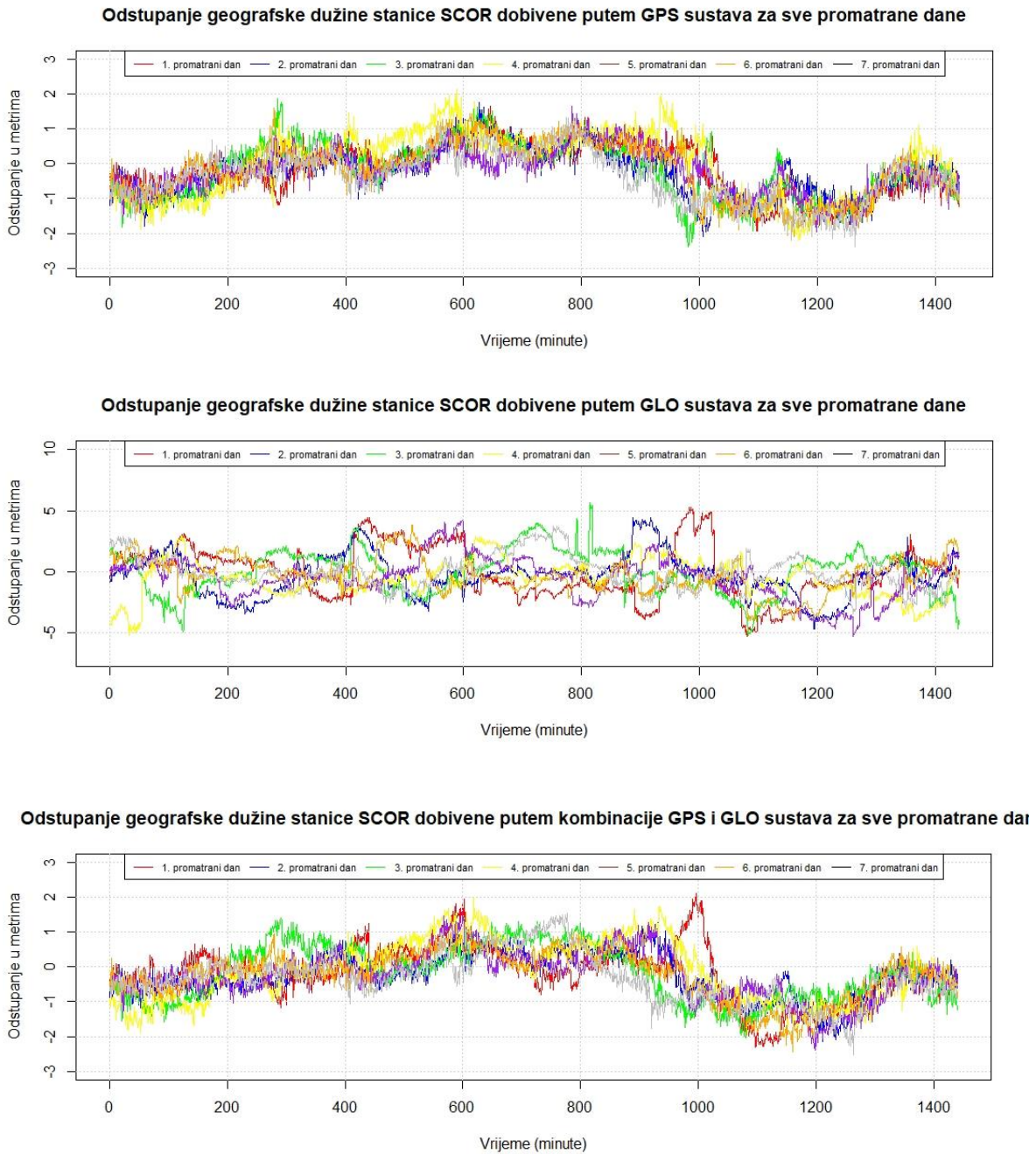
Slika 7. Odstupanje geografske širine stanice SCOR putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 7. vidljivo je da su relativna odstupanja geografske širine na stanici SCOR bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 4,7 [m], kod GLONASS sustava čak 12,6 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 3 [m].



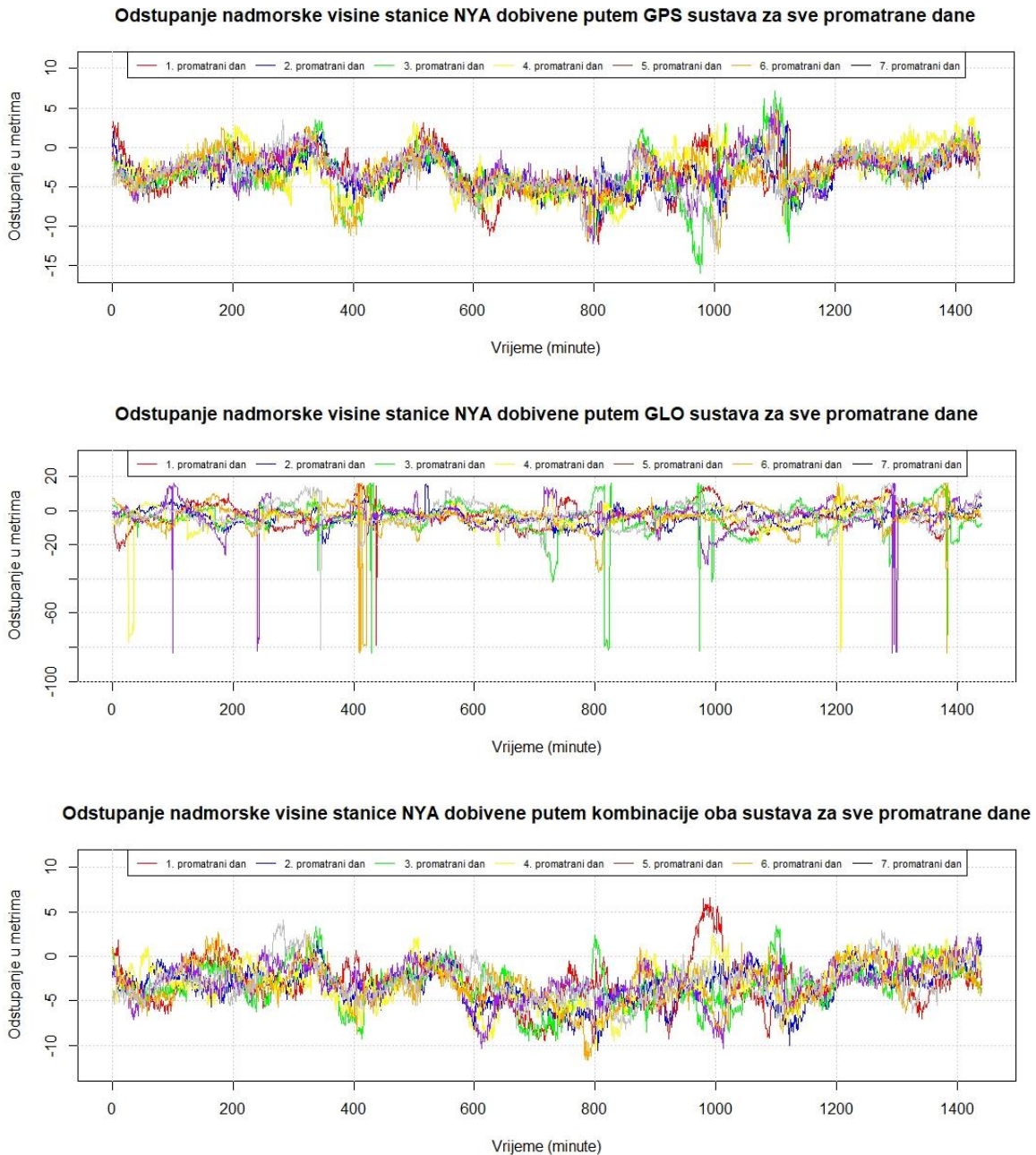
Slika 8. Odstupanje geografske dužine stanice NYA putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 8. je vidljivo da su relativna odstupanja geografske dužine na stanici NYA bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 3 [m], kod GLONASS sustava čak 25 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 2,8 [m].



Slika 9. Odstupanje geografske dužine stanice SCOR putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

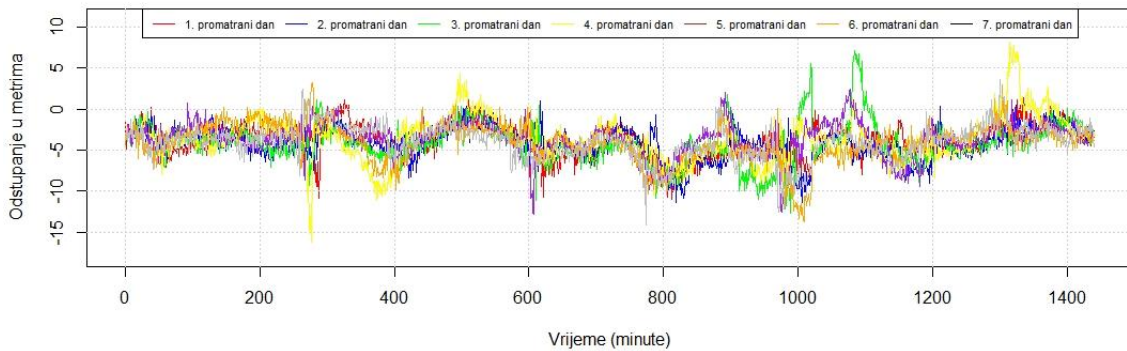
Slika 9. prikazuje relativna odstupanja geografske dužine na stanici SCOR, a odstupanja su bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 2,4 [m], kod GLONASS sustava čak 5,6 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 2,5 [m].



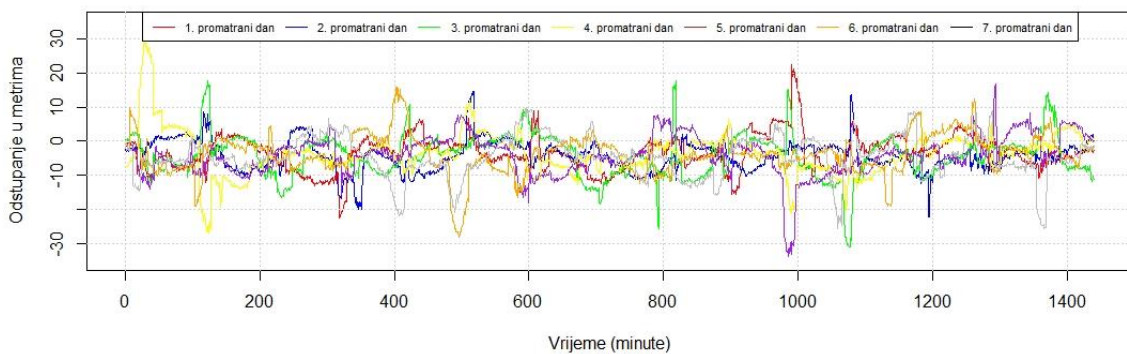
Slika 10. Odstupanje nadmorske visine stanice NYA putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Kao što je već poznato, pogreške GNSS sustava u vertikalnoj ravnini su najveće, pa je tomu tako i u ovoj statističkoj analizi. Na Slici 10. prikazana su relativna odstupanja nadmorske visine na stanici NYA, a najviša su bila kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 15,9 [m], kod GLONASS sustava čak 83,6 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 11,6 [m].

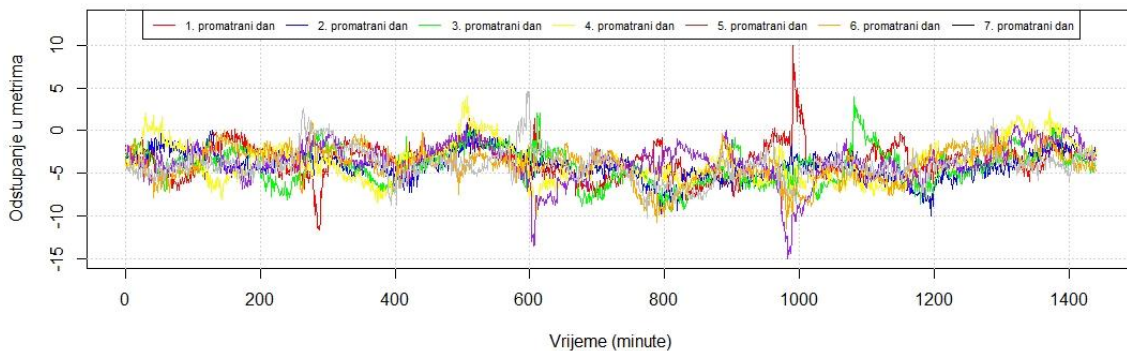
Odstupanje nadmorske visine stanice SCOR dobivene putem GPS sustava za sve promatrane dane



Odstupanje nadmorske visine stanice SCOR dobivene putem GLO sustava za sve promatrane dane



Odstupanje nadmorske visine stanice SCOR dobivene putem kombinacije oba sustava za sve promatrane dane



Slika 11. Odstupanje nadmorske visine stanice NYA putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 11. vidljivo je da su relativna odstupanja nadmorske visine na stanici SCOR bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 16,2 [m], kod GLONASS sustava čak 33,9 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 15,1 [m].

Iz predočenih slika vidljivo je kako GLONASS sustav ima najviše te najveća relativna odstupanja naspram GPS sustava i kombinacije oba ova sustava kod promatranih stanica u sjevernim polarnim predjelima. Isto tako vidljivo je da je kombinacija oba sustava najtočnija tj. da ima najmanja relativna odstupanja. Nadalje, u Tablici 4. se može vidjeti prosjek relativnih odstupanja po koordinatama za stanice u sjevernim polarnim predjelima.

Tablica 4. Prosječne vrijednosti relativnih odstupanja za stanice u sjevernim polarnim predjelima

		<i>minimum</i>	<i>1. kvartil</i>	<i>medijan</i>	<i>Srednja vrijednost</i>	<i>3. kvartil</i>	<i>Standardna devijacija</i>	<i>maksimum</i>
nya gps	φ	-1,45029	0,155534	0,485456	0,47611	0,804746	0,532316	2,161244
	λ	-2,16068	-0,10373	0,32285	0,3	0,823523	0,83893	2,333631
	h	-12,4297	-4,70053	-3,03821	-3,0965	-1,39339	2,477973	4,464571
nya glo	φ	-14,0479	-0,98762	0,23133	0,1387	1,379551	2,018215	8,313646
	λ	-5,25914	-0,74014	0,36034	0,40516	1,593666	1,971642	11,00201
	h	-73,3857	-6,70961	-3,14925	-3,5803	0,2214	7,220325	15,91473
nya gps + glo	φ	-1,2	0,112551	1,117	0,4562	0,815157	0,52781	1,8299
	λ	-1,8057	-0,1367	0,2965	0,3133	0,82901	0,814987	2,376977
	h	-10,046	-4,45867	-2,9826	-3,0178	-1,48047	2,263882	3,427386
scor gps	φ	-1,94032	0,145341	0,59175	0,58974	1,049675	0,708995	3,353
	λ	-2,14613	-0,79827	-0,1172	-0,1998	0,369957	0,746711	1,713357
	h	-13,1337	-5,09743	-3,76457	-3,9127	-2,58371	2,207336	3,829286
scor glo	φ	-6,76517	-0,81333	0,449514	0,44127	1,679853	2,026745	7,606657
	λ	-4,71179	-1,25444	-0,22529	-0,2450	0,733157	1,638202	4,294213
	h	-27,2534	-7,21813	-3,9459	-4,0171	-0,83617	5,609555	18,10366
scor gps + glo	φ	-1,54462	0,147939	0,59938	0,57801	1,052516	0,670905	2,660014
	λ	-2,24745	-0,71576	-0,18988	-0,2156	0,320143	0,733682	1,595447
	h	-11,1414	-5,10587	-3,83097	-3,8801	-2,61184	2,097108	3,595386

Izvor: pripremio student

Prosjek standardne devijacije sustava GPS na stanici NYA za svih 7 promatranih dana iznosi 0,53 za geografsku širinu, 0,84 za geografsku dužinu i 2,5 za nadmorsku visinu. Kod GLONASS sustava prosjek standardne devijacije je 2,01 za geografsku širinu, 1,97 za

geografsku dužinu i 7,22 za nadmorsku visinu, dok je kod kombinacije oba sustava 0,53 za širinu, 0,82 za geografsku dužinu i 2,26 nadmorsku visinu.

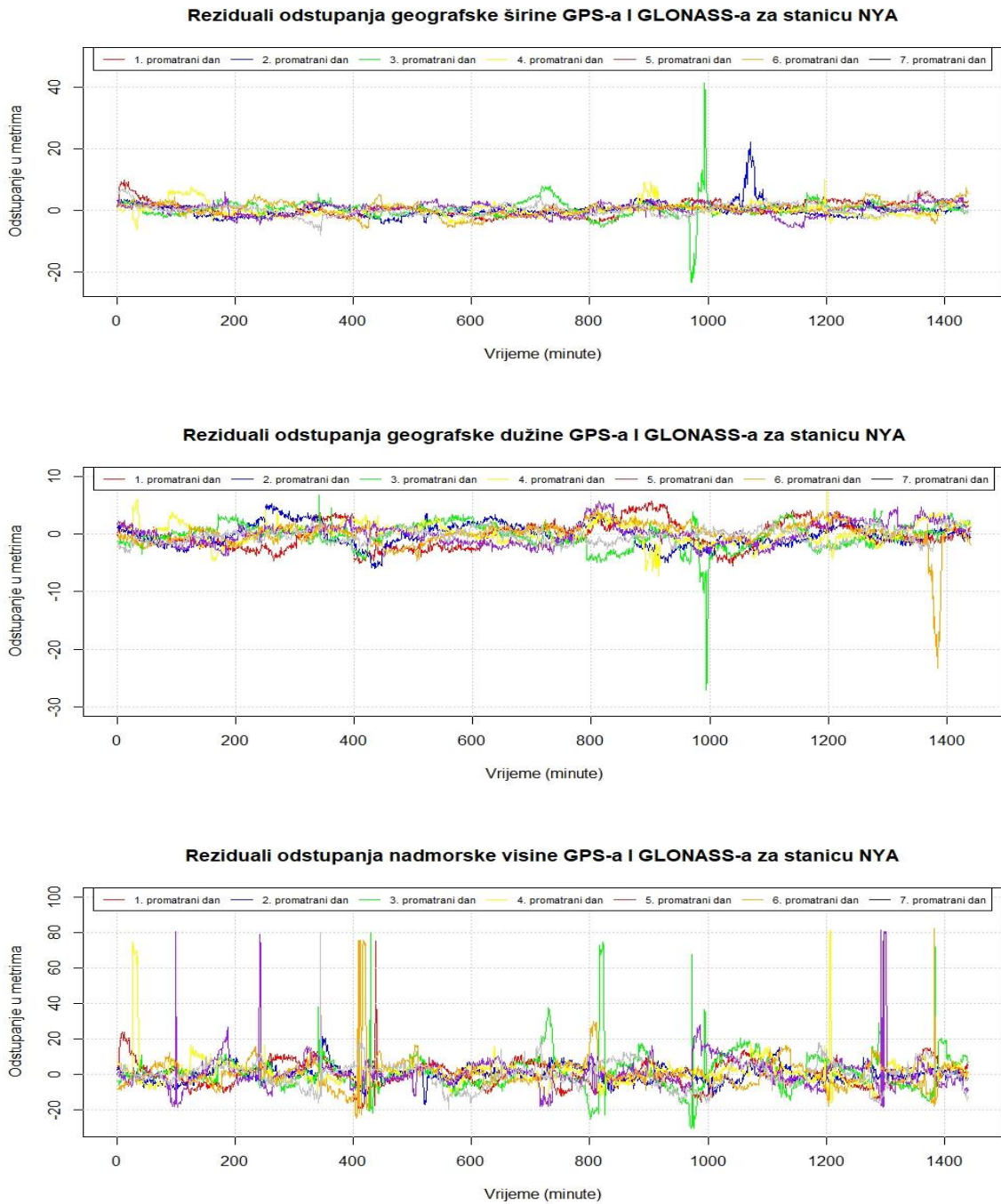
Prosjek standardne devijacije sustava GPS na stanici SCOR za svih 7 promatranih dana iznosi 0,71 za geografsku širinu, 0,75 za geografsku dužinu i 2,21 za nadmorsku visinu. Kod GLONASS sustava prosjek standardne devijacije je 2,03 za geografsku širinu, 1,64 za geografsku dužinu i 5,61 nadmorsku visinu, dok je kod kombinacije oba sustava 0,67 za širinu, 0,73 za geografsku dužinu i 2,1 nadmorsku visinu.

Svi statistički podaci o odstupanjima položaja stanica NYA dani su u tablicama 5, 6 i 7, dok su podaci za stanicu SCOR dani su u tablicama 11, 12 i 13.

Promatranjem dinamike pogrešaka svakog sustava pojedinačno kroz sedam dana potvrđeno je da su sustavi bili najprecizniji kod određivanja geografske širine. Istraživanje je pokazalo i najveći problem, također kod sva tri promatranja (GPS, GLONASS i GPS+GLONASS), a to je određivanje nadmorske visine.

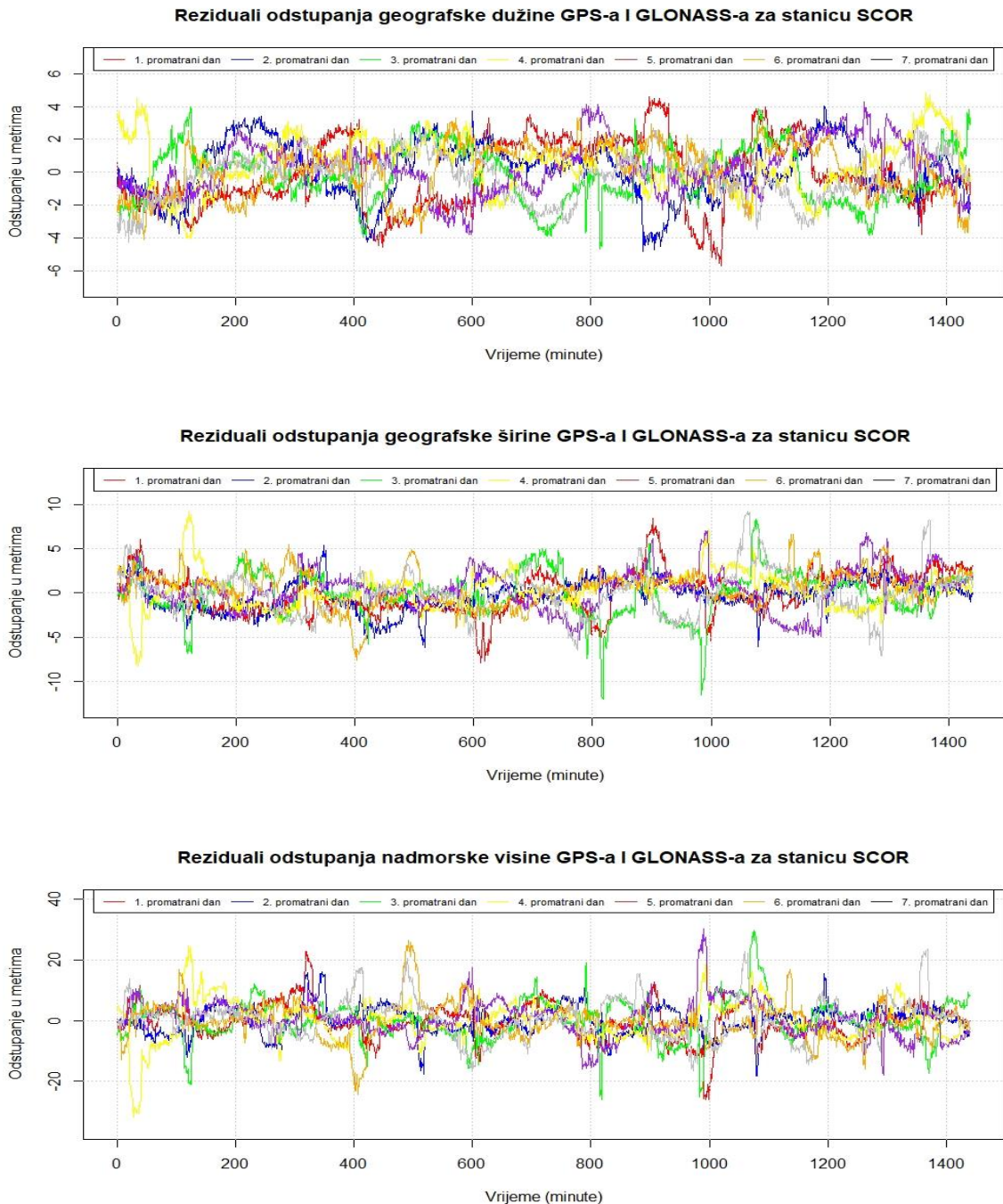
5.1.1. Reziduali odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava za stanice u sjevernim polarnim predjelima

U ovome poglavlju obrađeni su statistički podaci reziduala odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava za stanice u sjevernim polarnim predjelima. Podaci su prvo prikazani grafički pa onda i numerički s ciljem da se ustanovi pravilnost između odstupanja.



Slika 12. Reziduali odstupanja geografske širine (gornja slika), geografske dužine (srednja slika) i nadmorske visine (donja slika) GPS i GLONASS sustava za NYA stanicu, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Relativna odstupanja reziduala GPS i GLONASS sustava na stanici NYA (Slika 12.) bila su najviša kod promatranja nadmorske visine, dok su ona nešto manja kod geografske širine i dužine. Najveće odstupanje geografske širine iznosilo je 14,85 [m], dok je ono bilo nešto manje kod geografske dužine 10,9 [m]. Najveća odstupanja su kod određivanja nadmorske visine, a najveće odstupanje je čak 71,68 [m].



Slika 13. Reziduali odstupanja geografske širine (gornja slika), geografske dužine (srednja slika) i nadmorske visine (donja slika) GPS i GLONASS sustava za SCOR stanicu, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Relativna odstupanja reziduala GPS i GLONASS sustava na stanici SCOR (Slika 13.) bila su najviša kod promatranja nadmorske visine, dok su ona nešto manja kod geografske širine i dužine. Najveće odstupanje geografske širine iznosilo je 7,74 [m], dok je ono bilo nešto manje kod geografske dužine 4,47 [m]. Najveća odstupanja su kod određivanja nadmorske visine, a najveće odstupanje je 24,74 [m].

Svi statistički podaci o prosječnim vrijednostima relativnih odstupanja GPS i GLONASS sustava za NYA i SCOR stanicu vidljivi su numerički u Tablici 5.

Tablica 5. Prosječne vrijednosti relativnih odstupanja GPS i GLONASS sustava za stanice u sjevernim polarnim predjelima

		<i>minimum</i>	<i>1. kvartil</i>	<i>medijan</i>	<i>Srednja vrijednost</i>	<i>3. kvartil</i>	<i>Standardna devijacija</i>	<i>maksimum</i>
nya	φ	-8,34826	-1,01756	0,2882	0,3371	1,552571	2,275741	14,85843
	λ	-10,9364	-1,35029	-0,10913	-0,1079	1,145657	1,962229	5,616914
	h	-21,3625	-3,87334	0,081621	0,48539	4,1995	8,089243	71,68967
scor	φ	-7,73809	-1,19521	0,198057	0,14475	1,42988	2,161153	7,73671
	λ	-4,47239	-1,01754	0,050843	0,04541	1,284814	1,642336	3,979471
	h	-23,0744	-3,35784	0,079857	0,10346	3,615243	6,025736	24,74247

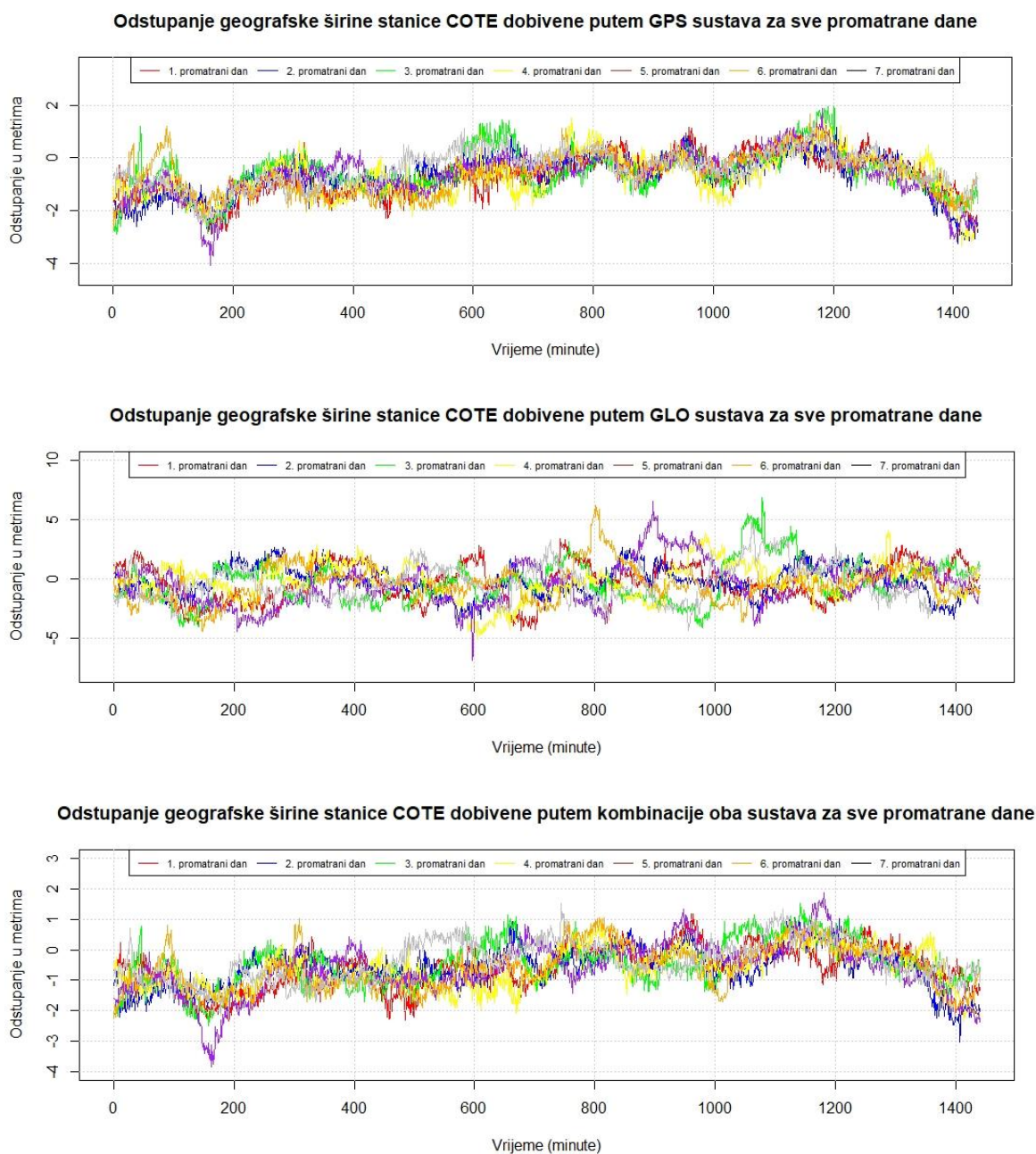
Izvor: pripremio student

U Tablici 5. vidimo da je prosjek standardne devijacije za stanicu NYA za svih 7 promatranih dana iznosi 2,28 za geografsku širinu, 1,96 za geografsku dužinu i 8,09 za nadmorsku visinu. Kod stanice SCOR prosjek standardne devijacije je 2,16 za geografsku širinu, 1,64 za geografsku dužinu i 6,03 nadmorsku visinu.

Glavni cilj u ovome poglavlju bio je ustanoviti prosječne vrijednosti relativnih odstupanja koordinata položaja GPS i GLONASS sustava za stanice u sjevernim polarnim predjelima. Ispitivanje je pokazalo da su vrijednosti puno veće kod prosječnih relativnih odstupanja GPS i GLONASS sustava nego kod reziduala odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava.

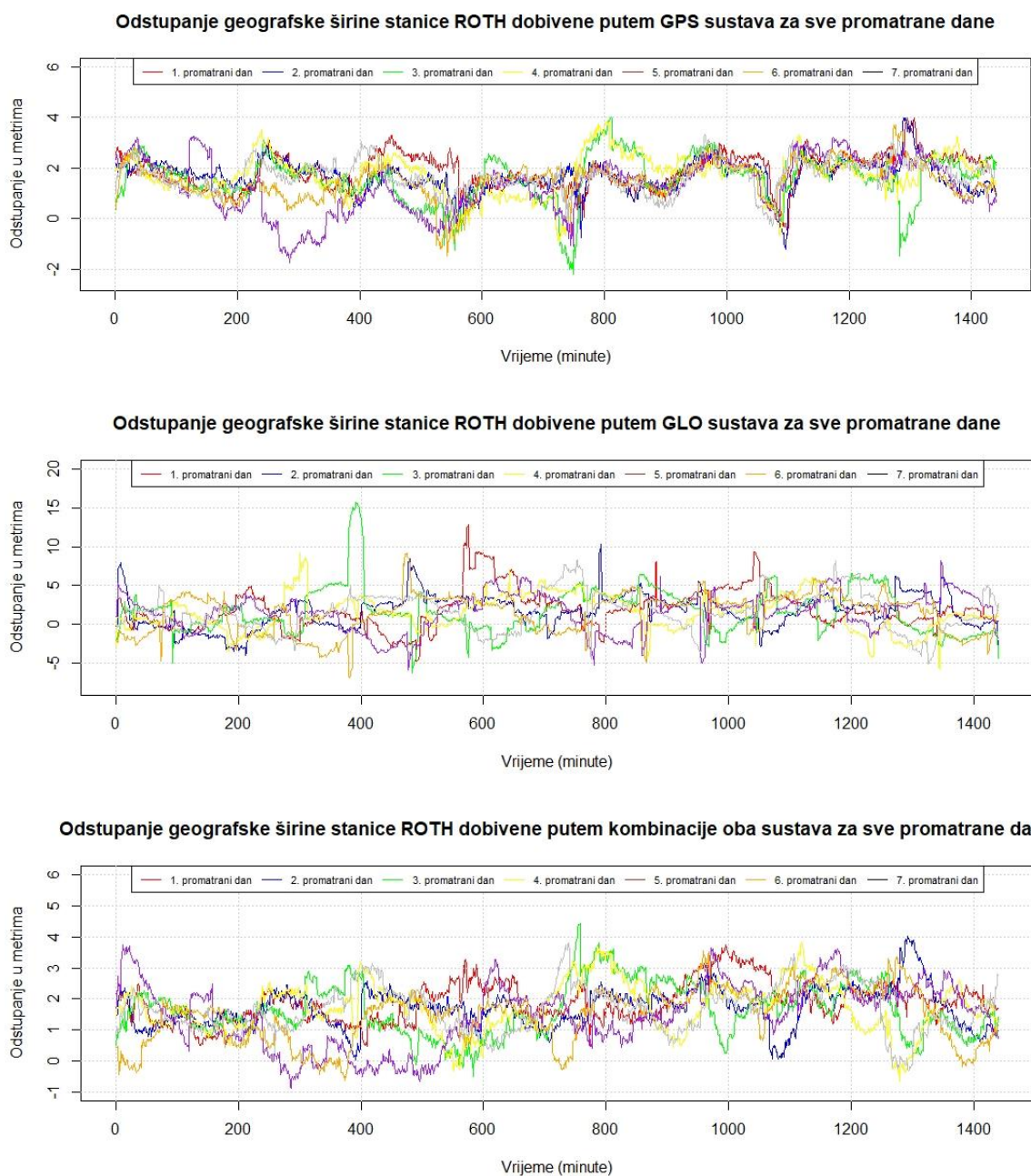
5.2. ANALIZA RELATIVNIH ODSUPANJA GPS I GLONASS POLOŽAJA U JUŽNIM POLARNIM PREDJELIMA

U ovome potpoglavlju analizirati će se položaji dviju odabranih stanica ispod južne obratnice, tj. iznad 66°33' južno. Prikaz izmjerenog položaja stanica dan je u slijedećim slikama. Na svakoj idućoj stranici nalaze se slika sa 3 grafa. Svaki graf pokazuje odstupanje širine, dužine ili nadmorske visine za određenu stanicu kroz promatrani period od 7 dana.



Slika 14. Odstupanje geografske širine stanice COTE putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

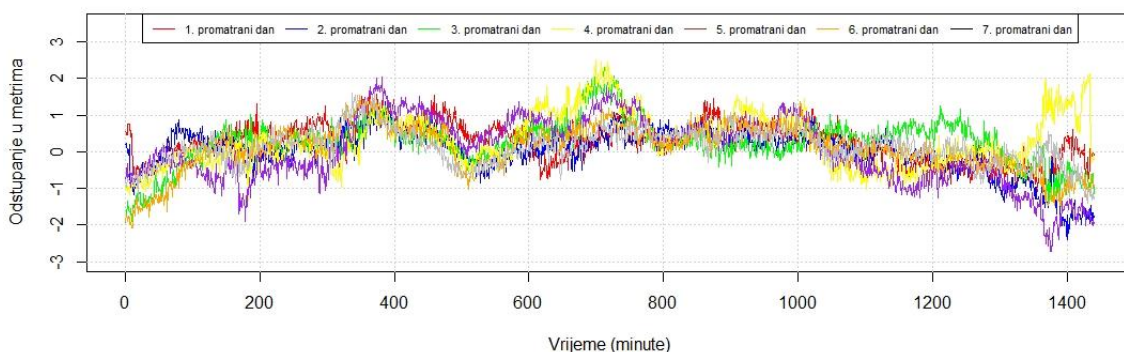
Na Slici 14. prikazana su relativna odstupanja geografske širine stanice COTE, a ona su bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 4,1 [m], kod GLONASS sustava čak 6,9 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 3,8 [m].



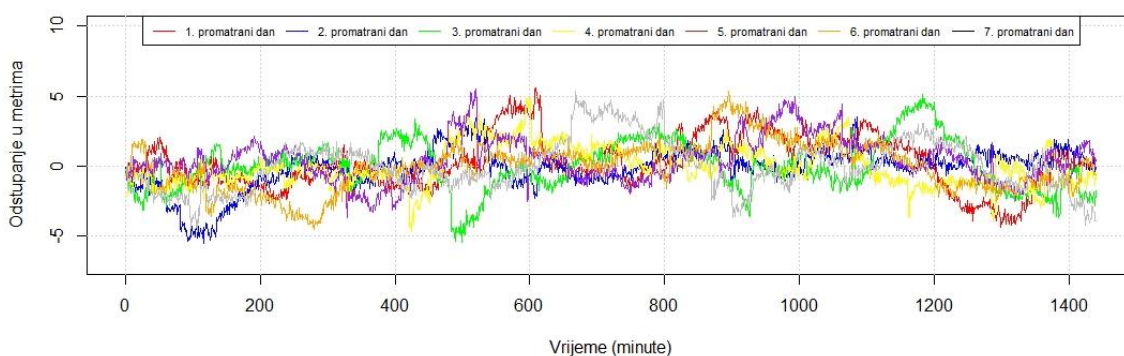
Slika 15. Odstupanje geografske širine stanice ROTH putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 15. vidljivo je da su relativna odstupanja geografske širine stanice ROTH bila najviša kod GLONASS sustava, dok je GPS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 4 [m], kod GLONASS sustava čak 15,7 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 4,4 [m].

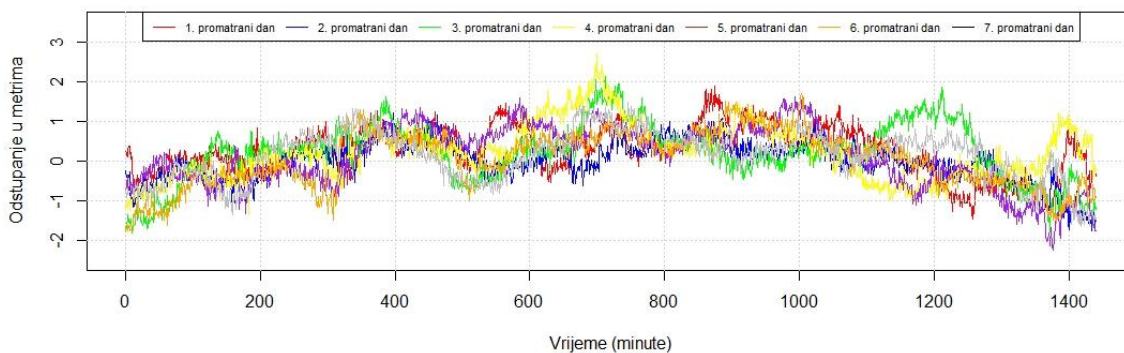
Odstupanje geografske dužine stanice COTE dobivene putem GPS sustava za sve promatrane dane



Odstupanje geografske dužine stanice COTE dobivene putem GLO sustava za sve promatrane dane



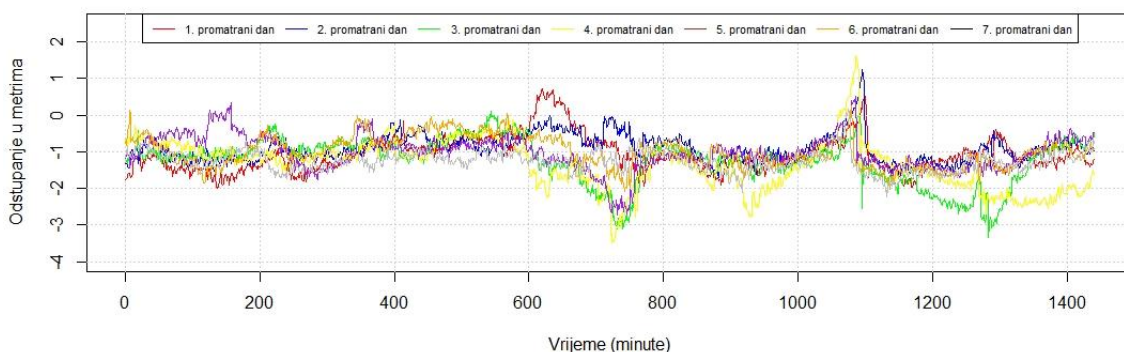
Odstupanje geografske dužine stanice COTE dobivene putem kombinacije GPS i GLO sustava za sve promatrane dane



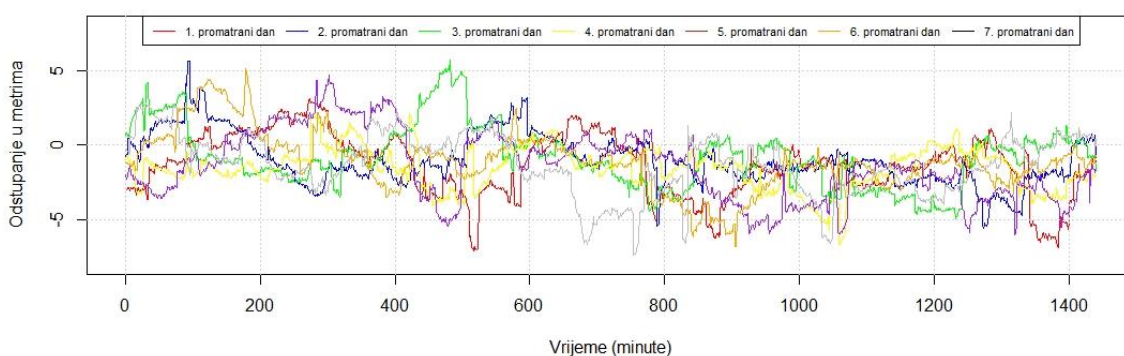
Slika 16. Odstupanje geografske dužine stanice COTE putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 16. vidljivo je da su relativna odstupanja geografske dužine stanice COTE bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 3,3 [m], kod GLONASS sustava čak 5,6 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 2,7 [m].

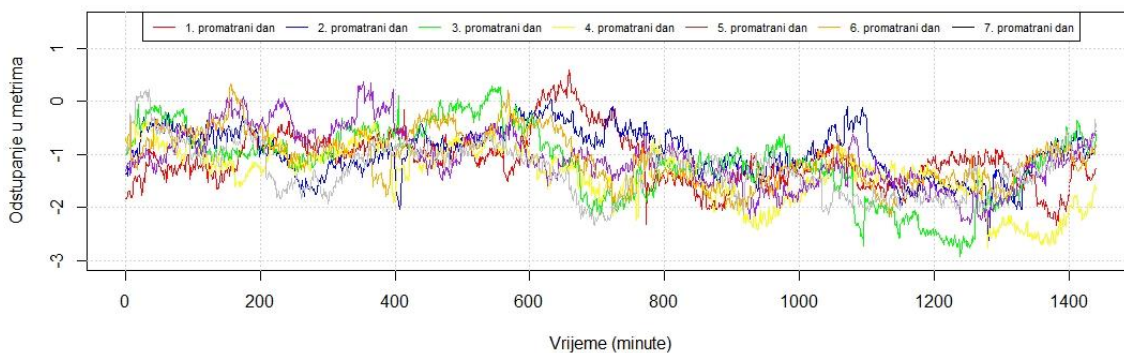
Odstupanje geografske dužine stanice ROTH dobivene putem GPS sustava za sve promatrane dane



Odstupanje geografske dužine stanice ROTH dobivene putem GLO sustava za sve promatrane dane

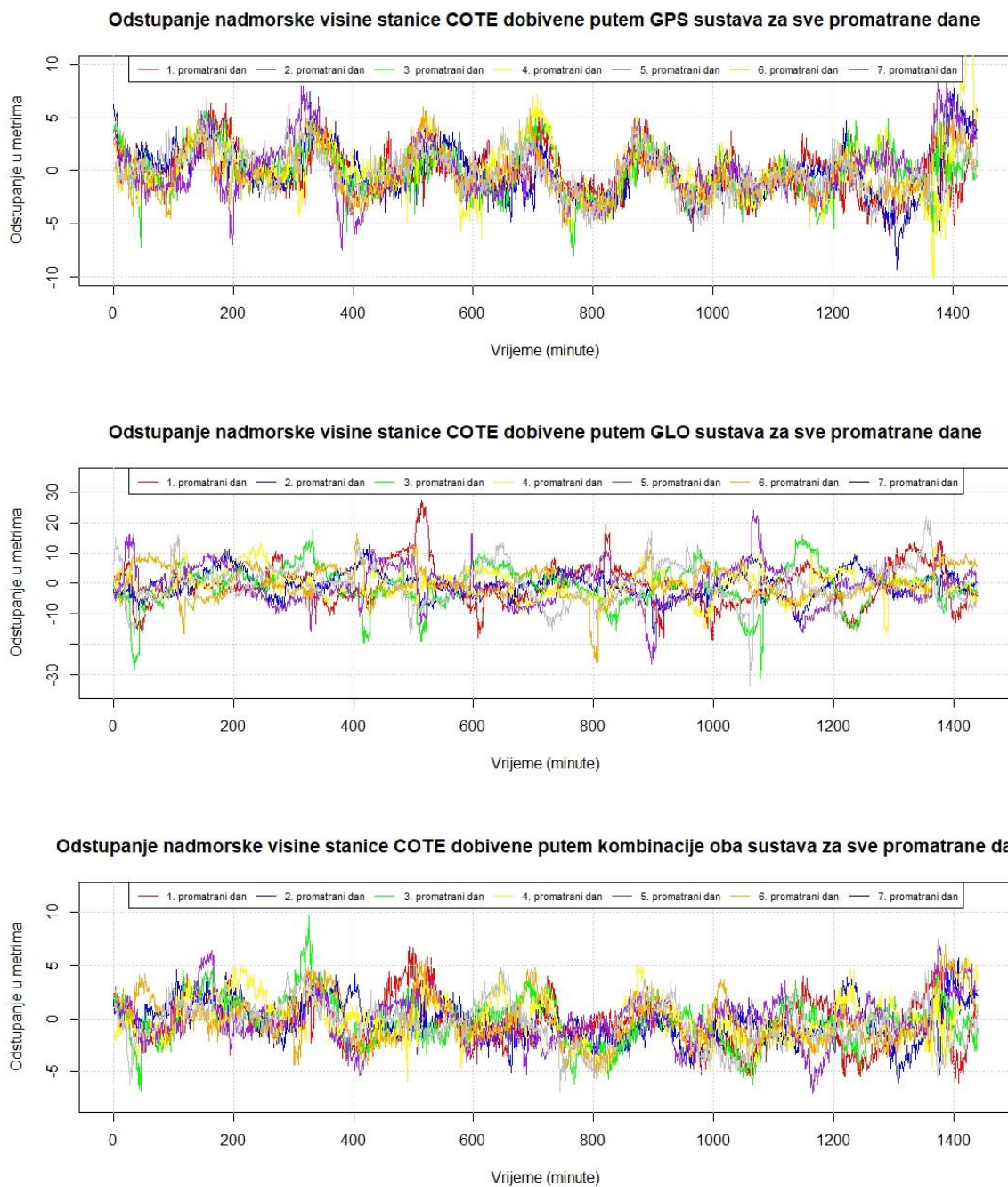


Odstupanje geografske dužine stanice ROTH dobivene putem kombinacije GPS i GLO sustava za sve promatrane dan



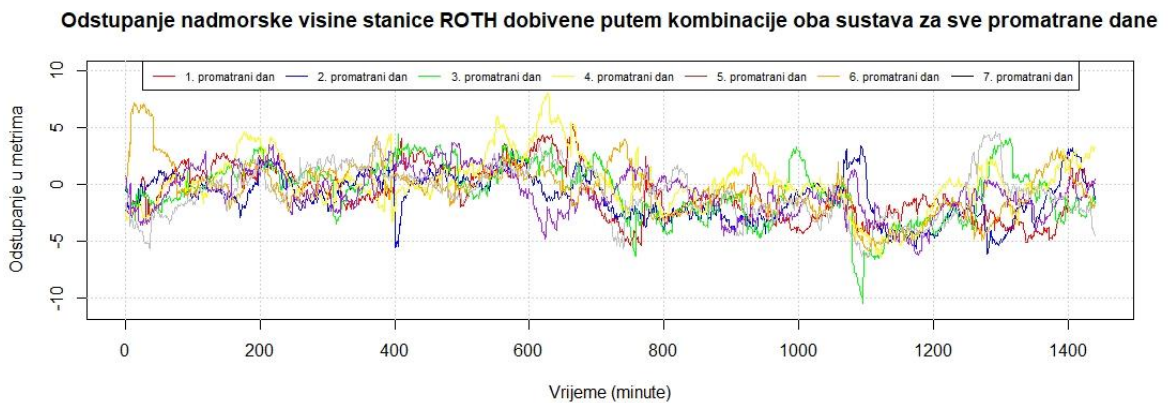
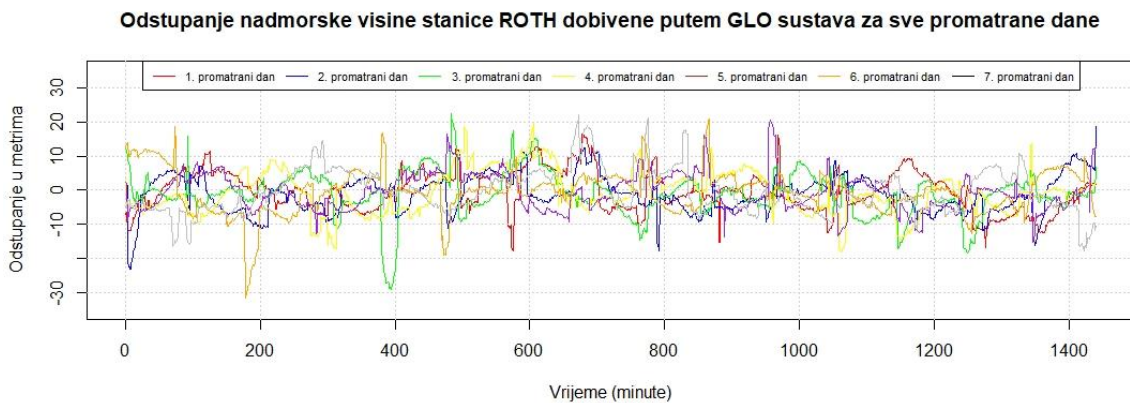
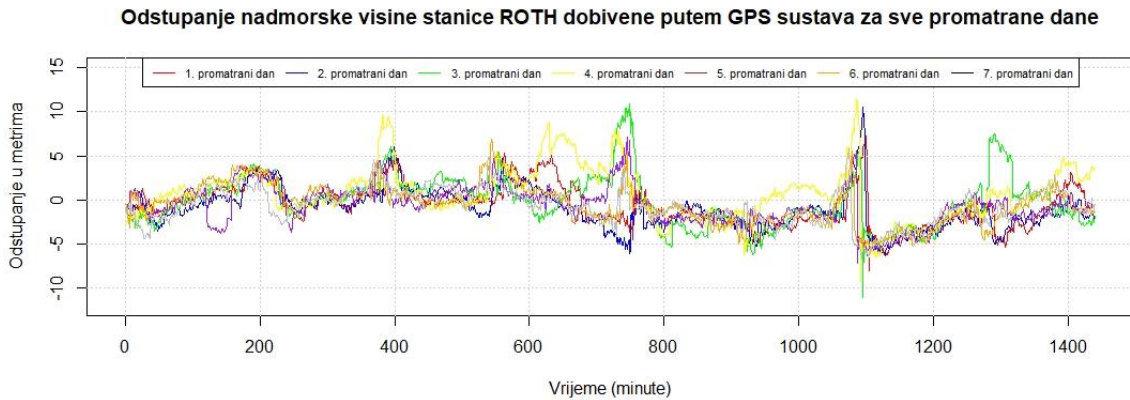
Slika 17. Odstupanje geografske dužine stanice ROTH putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 17. vidljivo je da su relativna odstupanja geografske dužine stanice ROTH bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 3,5 [m], kod GLONASS sustava čak 7,4 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 2,9 [m].



Slika 18. Odstupanje nadmorske visine stanice COTE putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 18. vidljivo je da su Relativna odstupanja nadmorske visine stanice COTE bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 15,9 [m], kod GLONASS sustava čak 83,6 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 9,8 [m].



Slika 19. Odstupanje nadmorske visine stanice ROTH putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na Slici 19. vidljivo je da su relativna odstupanja nadmorske visine stanice ROTH bila najviša kod GLONASS sustava, dok je kod kombinacije GPS i GLONASS sustava ona bila najmanja. Najveće odstupanje kod GPS sustava je iznosilo 11,5 [m], kod GLONASS sustava čak 31,7 [m], dok je kod kombinacije oba sustava ta vrijednost 10,5 [m].

Iz predočenih slika opet je očigledno kako je GLONASS sustav imao najviše i najveća relativna odstupanja naspram kombinacije oba sustava i GPS sustava kod promatranih zemaljskih stanica u južnim polarnim predjelima.

Nadalje, u Tablici 6. dan je prosjek relativnih odstupanja GPS, GLONASS, te kombinacije oba sustava po koordinatama za zadane stanice u južnim polarnim predjelima.

Tablica 6. Prosječne vrijednosti relativnih odstupanja za stanice u južnim polarnim predjelima

		<i>minimum</i>	<i>1. kvartil</i>	<i>medijan</i>	<i>Srednja vrijednost</i>	<i>3. kvartil</i>	<i>Standardna devijacija</i>	<i>maksimum</i>
cote gps	φ	-3,10751	-1,11367	-0,58371	-0,6185	-0,06893	0,784301	1,532433
	λ	-1,85735	-0,2204	0,203146	0,16656	0,610962	0,640053	1,87655
	h	-7,44099	-1,68549	-0,23889	-0,1336	1,325404	2,282773	7,549157
cote glo	φ	-4,73109	-1,3846	-0,37529	-0,3283	0,697171	1,539509	4,934271
	λ	-4,67157	-0,98544	0,009687	0,08611	1,139023	1,65801	5,064265
	h	-24,2201	-3,88549	-0,53011	-0,4054	3,251	5,70162	19,15816
cote gps + glo	φ	-2,64539	-1,02549	-0,55179	-0,5491	-0,04016	0,708153	1,303307
	λ	-1,72116	-0,29911	-0,19935	0,14179	0,602747	0,6588	1,813297
	h	-6,24123	-1,63256	-0,35247	-0,2375	1,124986	2,098867	6,7295
roth gps	φ	-1,22761	1,16413	1,696843	1,62291	2,170386	0,773066	3,89471
	λ	-2,50946	-1,41793	-0,97808	-1,1186	-0,86846	0,472809	0,665689
	h	-7,75606	-1,97101	-0,47083	-0,4082	0,994943	2,336985	8,6
roth glo	φ	-5,61509	-0,13439	1,71112	1,61819	3,188944	2,434983	10,54267
	λ	-6,33364	-2,44343	-1,27973	-1,2177	-0,0024	1,910553	4,180286
	h	-21,8641	-4,5381	-0,89769	-0,7048	3,0509	5,921167	20,12026
roth gps + glo	φ	-0,35571	1,10115	1,669683	1,66014	2,204981	0,78805	3,8783
	λ	-2,5	-1,49362	-1,12178	-1,1401	-0,77111	0,52218	0,2475
	h	-6,68566	-2,07911	-0,55224	-0,6074	0,947057	2,21907	5,25627

Izvor: pripremio student

Prosjek standardne devijacije sustava GPS na stanici COTE za svih 7 promatranih dana iznosi 0,78 za geografsku širinu, 0,64 za geografsku dužinu i 2,28 za nadmorsku visinu. Kod GLONASS sustava prosjek standardne devijacije je 1,54 za geografsku širinu, 1,66 za

geografsku dužinu i 5,7 nadmorsku visinu, dok je kod kombinacije oba sustava 0,71 za širinu, 0,66 za geografsku dužinu i 2,1 nadmorsku visinu.

Prosjek standardne devijacije sustava GPS na stanici ROTH za svih 7 promatranih dana iznosi 0,77 za geografsku širinu, 0,47 za geografsku dužinu i 2,34 za nadmorsku visinu. Kod GLONASS sustava prosjek standardne devijacije je 2,43 za geografsku širinu, 1,91 za geografsku dužinu i 5,92 nadmorsku visinu, dok je kod kombinacije oba sustava 0,79 za širinu, 0,52 za geografsku dužinu i 2,22 nadmorsku visinu.

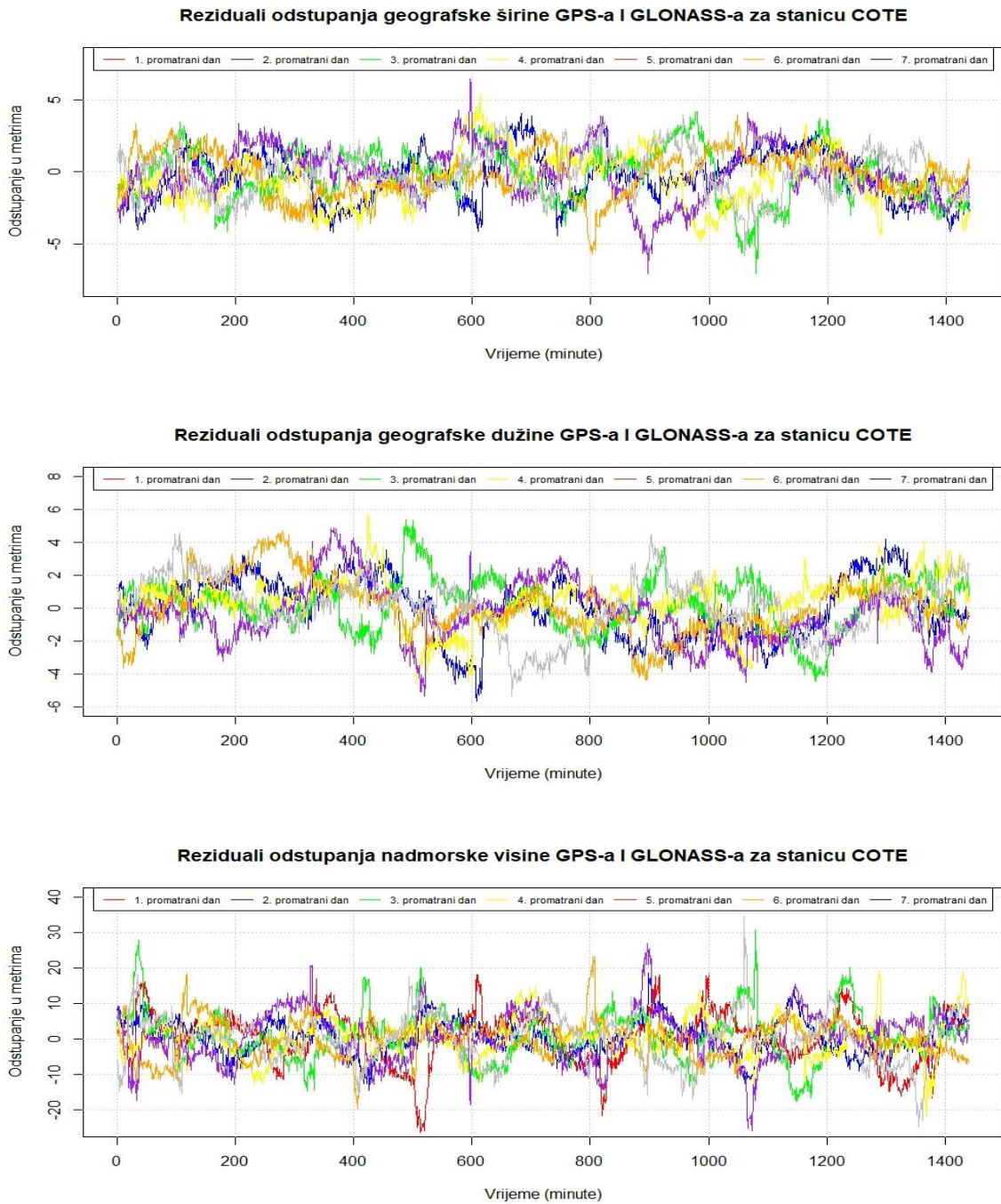
Statistički podaci o odstupanjima položaja stanica COTE dani su u tablicama 2., 3. i 4. dok su podaci za stanicu ROTH dani su u tablicama 8., 9. i 10.

Promatranjem dinamike pogrešaka svakog sustava pojedinačno kroz sedam dana potvrđeno je da su sustavi bili najprecizniji kod određivanja geografske širine. Istraživanje je pokazalo i najveći problem, također kod sva tri promatranja (GPS, GLONASS i GPS+GLONASS), a to je određivanje nadmorske visine.

Ovi rezultati istraživanja mogu biti referentni okvir za daljnja istraživanja, uzimajući u obzir korištenu metodologiju i podatke položaja promatranih stanica u polarnim predjelima. U radu je identificirano dnevno odstupanje za sedam dana što pruža temelje za daljnje istraživanje odstupanja dva najveća globalna navigacijska satelitska sistema u polarnim područjima, također rezultati istraživanja su otvorili nekoliko novih ideja i razmišljanja koje bi mogle obogatiti ovo područje, a odnose se na pristup ispitivanju pogrešaka.

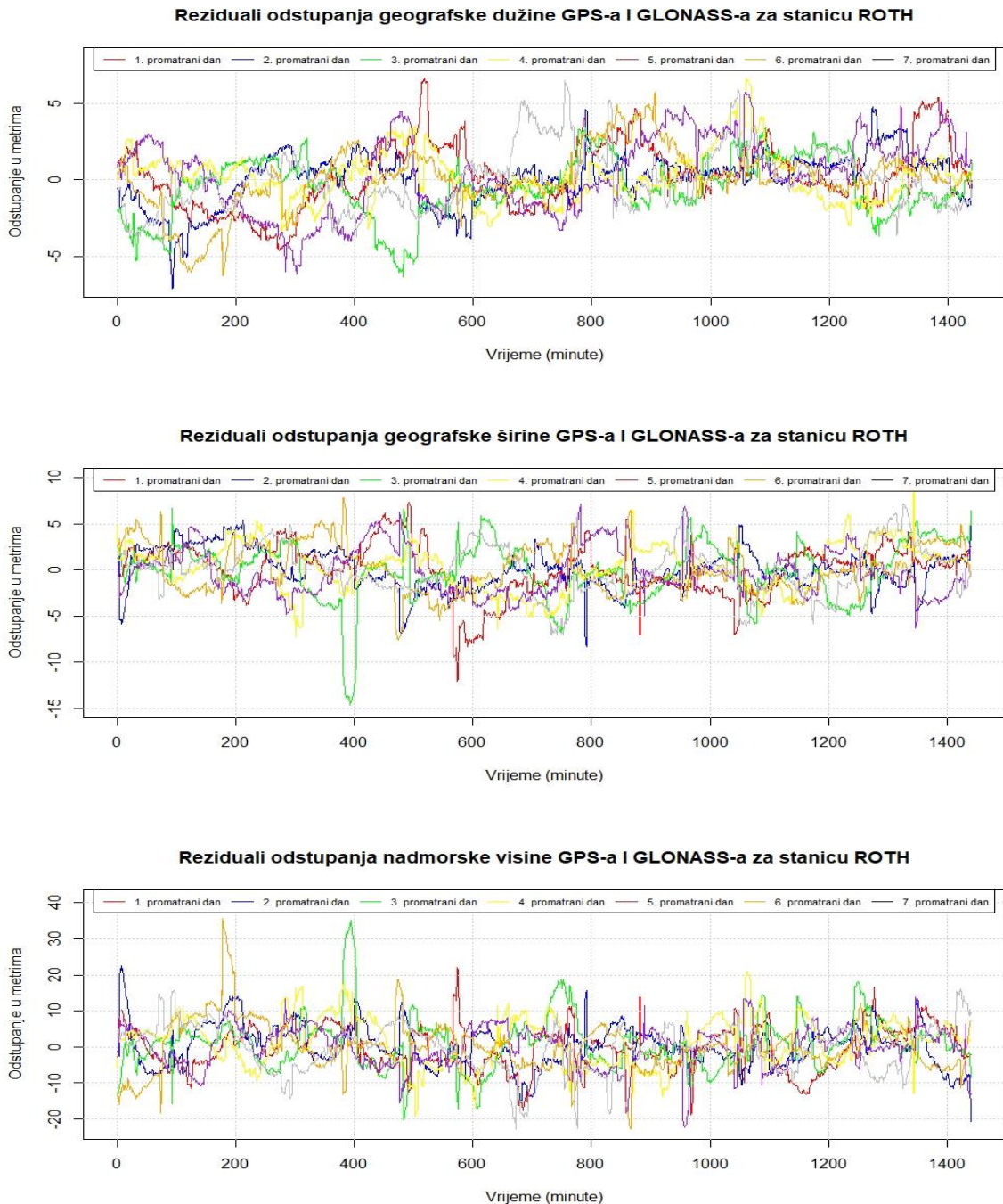
5.2.1. Reziduali odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava za stanice u južnim polarnim predjelima

U ovome poglavlju obrađeni statistički podaci reziduala odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava za stanice u južnim polarnim predjelima. Podaci su prikazani grafički i numerički s ciljem da se ustanovi pravilnost između odstupanja.



Slika 20. Reziduali odstupanja geografske širine (gornja slika), geografske dužine (srednja slika) i nadmorske visine (donja slika) GPS i GLONASS sustava za COTE stanicu, Izvor: izradio student u programu RStudio

Na Slici 20. vide se da su relativna odstupanja reziduala GPS i GLONASS sustava na stanici COTE bila su najviša kod promatranja nadmorske visine, dok su ona nešto manja kod geografske širine i dužine. Najveće odstupanje geografske širine iznosilo je 5,41 [m], dok je ono bilo nešto manje kod geografske dužine 5,05 [m]. Najveća odstupanja su kod određivanja nadmorske visine, a najveće odstupanje je čak 24,35 [m].



Slika 21. Reziduali odstupanja geografske širine (gornja slika), geografske dužine (srednja slika) i nadmorske visine (donja slika) GPS i GLONASS sustava za NYA stanicu, Izvor: Izradio student u programu RStudio

Na slici 21. uočljivo je da su relativna odstupanja reziduala GPS i GLONASS sustava na stanici SCOR bila su najviša kod promatranja nadmorske visine, dok su ona nešto manja kod geografske širine i dužine. Najveće odstupanje geografske širine iznosilo je 9,05 [m], dok je ono bilo nešto manje kod geografske dužine 5,38 [m]. Najveća odstupanja su kod određivanja nadmorske visine, a najveće odstupanje je čak 24,74 [m].

Svi statistički podaci o prosječnim vrijednostima relativnih odstupanja GPS i GLONASS sustava za NYA i SCOR stanicu vidljivi su numerički u Tablici 6.

Tablica 6. Prosječne vrijednosti relativnih odstupanja GPS i GLONASS sustava za stanice u južnim polarnim predjelima

		<i>minimum</i>	<i>1. kvartil</i>	<i>medijan</i>	<i>Srednja vrijednost</i>	<i>3. kvartil</i>	<i>Standardna devijacija</i>	<i>maksimum</i>
cote	φ	-5,4058	-1,41622	-0,26905	-0,2899	0,851829	1,621698	4,482823
	λ	-4,83011	-0,96889	0,109744	0,07861	1,1212	1,667186	5,048629
	h	-21,6647	-3,6502	0,457886	0,29593	4,198286	6,154507	24,3557
roth	φ	-9,04761	-1,63912	-0,00804	0,0116	1,762836	2,571977	7,144643
	λ	-5,38003	-1,2055	0,123514	0,09807	1,358197	1,9379	5,609281
	h	-23,0732	-3,35799	0,079886	0,10339	3,6154	6,025669	24,74247

Izvor: pripremio student

U Tablici 6. vidimo da je prosjek standardne devijacije za stanicu COTE za svih 7 promatranih dana iznosi 1,62 za geografsku širinu, 1,67 za geografsku dužinu i 6,15 za nadmorsku visinu. Kod stanice SCOR prosjek standardne devijacije je 2,57 za geografsku širinu, 1,94 za geografsku dužinu i 6,03 nadmorsku visinu

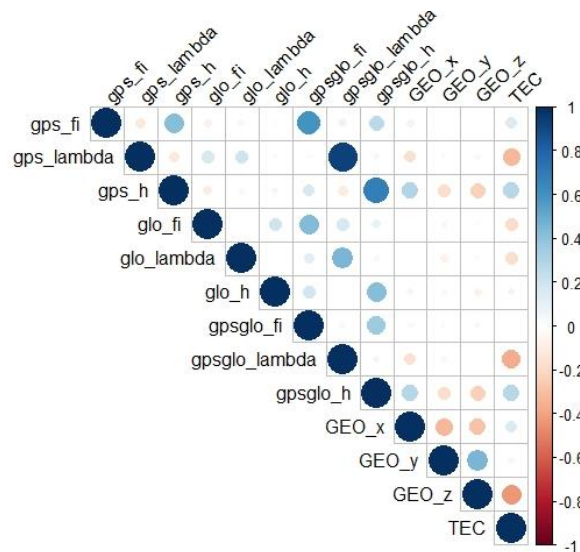
Glavni cilj u ovome poglavlju bio je ustanoviti prosječne vrijednosti relativnih odstupanja koordinata položaja GPS i GLONASS sustava za stanice u sjevernim polarnim predjelima. Ispitivanje je pokazalo da su vrijednosti puno veće kod prosječnih relativnih odstupanja GPS i GLONASS sustava nego kod reziduala odstupanja položaja GPS i GLONASS sustava.

5.3. KORELACIJSKA ANALIZA

Korelacijskom matricom prikazana je povezanost odstupanja položaja promatranih sustava. Navedene su korelacije između pojedinih komponenti pogrešaka. Vrlo je lako uvidjeti povezanost komponenata pogrešaka GPS sustava, dok je povezanost pogrešaka GLONASS sustava nešto manja.

Sljedeće korelacijske matrice daju vrijednosti koeficijenta korelacije što predstavlja temelj za korelacijsku analizu. Ako promotrimo povezanost između komponenata pogrešaka GPS i GLONASS sustava s pokazateljima svemirskog vremena, dolazi se do zaključka da

pogreške GPS sustava pokazuju međuovisnost s nekim indikatorima svemirskog vremena dok pogreške GLONASS sustava ukazuju na slabu ili nikakvu povezanost.



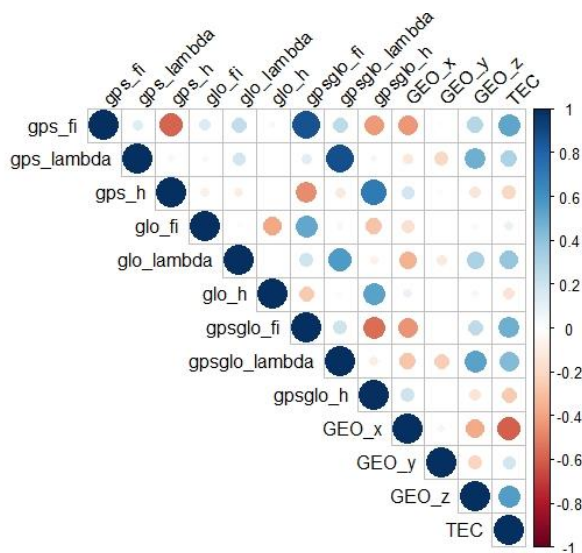
Slika 22. Korelacija između komponenta odstupanja položaja i pokazatelja svemirskog vremena za stanicu NYA

Kako vidimo na Slici 22. pogreška geografske širine GPS sustava *gps_fi* i pogreška geografske širine kombinacije sustava *gpsglo_fi* pokazuju vrlo slabu pozitivnu povezanost s komponentom geomagnetskog polja *GEO_x* od 0,07 za GPS i 0,04 za kombinaciju oba sustava, dok pogreška širine GLONASS sustava *glo_fi* pokazuje nikakvu povezanost s istom komponentom geomagnetskog polja. Također, pogreška geografske širine GPS sustava *gps_fi* prati ukupni sadržaj elektrona *TEC* vrlo slabom pozitivnom povezanošću od 0,15, dok pogreška širine GLONASS sustava *glo_fi* ima vrlo slabu negativnu povezanost od - 0,18. Pogreška geografske širine kombinacije sustava *gpsglo_fi* nema nikakvu povezanost s ukupnim sadržajem elektrona *TEC*, tj. povezanost je jednaka nuli.

Pogreška geografske dužine GPS sustava *gps_lambda* i kombinacije oba sustava *gpsglo_lambda* pokazuju negativan stupanj korelacije s komponentom geomagnetskog polja *GEO_y* od - 0,16. Nadalje, pogreška geografske dužine GLONASS sustava *glo_lambda* sa komponentom geomagnetskog polja *GEO_y* jednaka je nuli, dok je vrlo malo povezana sa ukupnim sadržajem elektrona negativnom korelacijom od - 0,17. Pogreška geografske dužine GPS sustava, kao i kombinacija oba sustava, povezane su sa ukupnim sadržajem elektrona *TEC* negativnom korelacijom od -0,33 za GPS i - 0,37 za GPS i GLONASS.

Pogreška mjerenja visine *gps_h* i *gpsglo_h* pokazuju slabu negativnu korelaciju s komponentom geomagnetskog polja *GEO_z* od - 0,23 za GPS i -0,24 za kombinaciju oba

sustava. Pogreška mjerenja visine GLONASS sustavom *glo_h* ima gotovo nikakvu negativnu korelaciju s istom komponentom geomagnetskog polja vrijednosti $-0,07$. Pogreška mjerenja visine *gps_h* i *gpsglo_h* prati ukupan sadržaj elektrona *TEC* sa slabom povezanošću od $0,28$ za oboje, dok pogreška mjerenja visine GLONASS sustavom *glo_h* nema gotovo nikakvu povezanost sa ukupnim sadržajem elektrona od $0,06$.



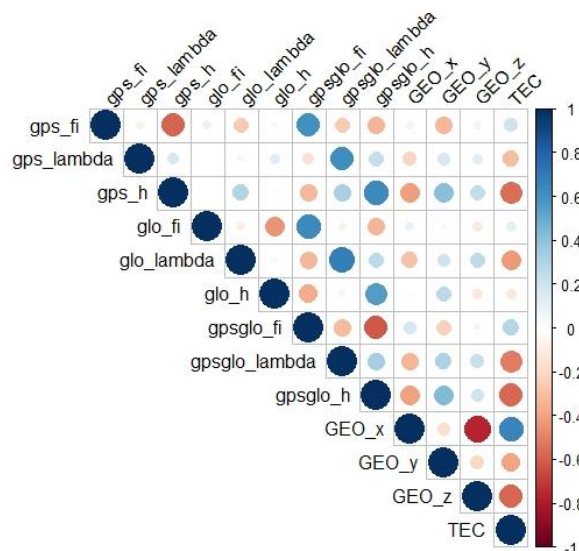
Slika 23. Korelacija između komponenta odstupanja položaja i pokazatelja svemirskog vremena za stanicu COTE

Nadalje, na Slici 23. jasno je uočljivo da pogreška geografske širine GPS sustava *gps_fi* i pogreška širine kombinacije sustava *gpsglo_fi* pokazuju značajnu negativnu povezanost s komponentom geomagnetskog polja *GEO_x* od $-0,44$ za oboje, dok pogreška širine GLONASS sustava *glo_fi* pokazuje vrlo slabu negativnu povezanost s istom komponentom *GEO_x* vrijednosti $-0,17$. Pogreška širine *gps_fi* i *gpsglo_fi* prati ukupni sadržaj elektrona *TEC* značajnom pozitivnom povezanošću od $0,53$ za GPS i $0,49$ za kombinaciju sustava, dok pogreška širine *glo_fi* ima vrlo slabu povezanost od $0,10$.

Pogreška geografske dužine *gps_lambda* i kombinacije oba sustava *gpsglo_lambda* pokazuju negativan stupanj korelacije s komponentom geomagnetskog polja *GEO_y* od $-0,22$. Pogreška geografske dužine *glo_lambda* sa istom komponentom geomagnetskog polja ima vrijednost od $0,12$. Pogreške geografske dužine *gps_lambda*, *glo_lambda* i *gpsglo_lambda* značajno su povezane sa ukupnim sadržajem elektrona pozitivnom korelacijom od $0,53$ za GPS, $0,38$ za GLONASS i $0,43$ za kombinaciju oba sustava.

Pogreška mjerenja visine *gps_h* i *gpsglo_h* pokazuju vrlo slabu negativnu korelaciju s komponentom geomagnetskog polja *GEO_z* od $-0,13$ za GPS i $-0,24$ za oboje. Pogreška

mjerenja visine *glo_h* ima gotovo nikakvu negativnu korelaciju s istom komponentom geomagnetskog polja vrijednosti $-0,05$. Pogreška mjerenja visine *gps_h* i *gpsglo_h* prati ukupan sadržaj elektrona *TEC* sa slabom povezanošću od $-0,22$ za oboje, dok pogreška mjerenja visine GLONASS sustavom *glo_h* ima slabu povezanost sa ukupnim sadržajem elektrona od $-0,14$.

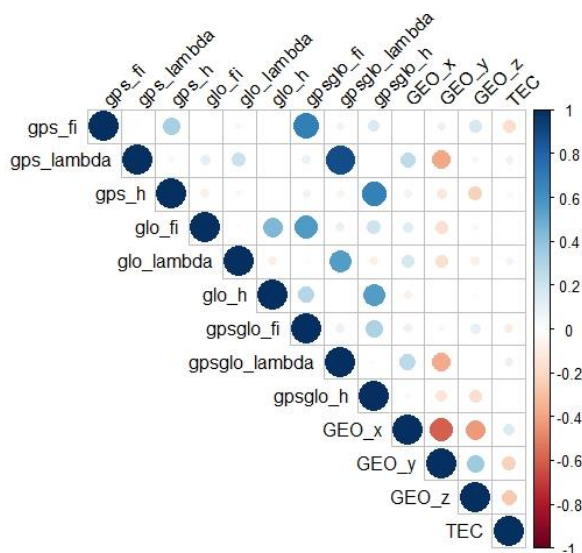


Slika 24. Korelacija između komponenta odstupanja položaja i pokazatelja svemirskog vremena za stanicu ROTH

Na Slici 24. se može uočiti da pogreške geografske širine GPS sustava *gps_fi* i GLONASS sustava *glo_fi* i kombinacije oba sustava *gpsglo_fi* pokazuju vrlo slabu pozitivnu povezanost s komponentom geomagnetskog polja *GEO_x* od 0,06 za GPS, 0,09 za GLONASS i 0,17 za kombinaciju oba sustava. Pogreška geografske širine GPS sustava *gps_fi* prati ukupan sadržaj elektrona slabom pozitivnom povezanošću od 0,2 dok pogreška širine kombinacije sustava *gpsglo_fi* prati ukupan sadržaj elektrona *TEC* značajnom pozitivnom povezanošću od 0,29. Pogreška geografske širine *glo_fi* ima vrlo slabu povezanost sa *TEC*- om vrijednosti 0,11.

Pogreška geografske dužine *gps_lambda* i kombinacije oba sustava *gpsglo_lambda* pokazuju pozitivan stupanj korelacije s komponentom geomagnetskog polja *GEO_y* od 0,17 za GPS i 0,30 za kombinaciju sustava. Pogreška geografske dužine *glo_lambda* sa istom komponentom geomagnetskog polja ima vrijednost od 0,19. Pogreške geografske dužine *gps_lambda*, *glo_lambda* i *gpsglo_lambda* značajno su povezane sa ukupnim sadržajem elektrona negativnom korelacijom od $-0,30$ za GPS, $-0,43$ za GLONASS i $-0,52$ za kombinaciju oba sustava.

Pogreška mjerenja visine *gps_h* i *gpsglo_h* pokazuju slabu pozitivnu korelaciju s komponentom geomagnetskog polja *GEO_z* od 0,25 za GPS i 0,19 za kombinaciju sustava. Pogreška mjerenja visine *glo_h* ima vrlo slabu negativnu korelaciju s istom komponentom geomagnetskog polja vrijednosti - 0,12. Pogreška mjerenja visine *gps_h* i *gpsglo_h* prati ukupan sadržaj elektrona *TEC* sa slabom povezanošću od - 0,56 za oboje, dok pogreška mjerenja visine GLONASS sustavom *glo_h* ima slabu povezanost sa ukupnim sadržajem elektrona od - 0,12



Slika 25. Korelacija između komponenta odstupanja položaja i pokazatelja svemirskog vremena za stanicu SCOR

Nadalje, na Slici 25. jasno je uočljivo da pogreška geografske širine GPS sustava *gps_fi* i pogreška širine kombinacije sustava *gpsglo_fi* pokazuju slabu pozitivnu povezanost s komponentom geomagnetskog polja *GEO_x* od 0,06 za GPS i 0,15 za kombinaciju oba sustava, dok pogreška širine GLONASS sustava *glo_fi* također pokazuje vrlo slabu pozitivnu povezanost s istom komponentom *GEO_x* vrijednosti 0,08. Također, pogreška širine *gps_fi* i *gpsglo_fi* prati ukupni sadržaj elektrona *TEC* pozitivnom povezanošću od 0,20 za GPS i 0,29 za kombinaciju sustava, dok pogreška širine *glo_fi* ima vrlo slabu povezanost od 0,11.

Pogreška geografske dužine *gps_lambda* i kombinacije oba sustava *gpsglo_lambda* pokazuju pozitivan stupanj korelacije s komponentom geomagnetskog polja *GEO_y* od - 0,17 za GPS i 0,30 za kombinaciju sustava. Pogreška geografske dužine *glo_lambda* sa istom komponentom geomagnetskog polja ima vrijednost od 0,18. Pogreške geografske dužine *gps_lambda*, *glo_lambda* i *gpsglo_lambda* značajno su povezane sa ukupnim sadržajem elektrona negativnom korelacijom od - 0,30 za GPS, - 0,43 za GLONASS i - 0,52 za kombinaciju oba sustava.

Pogreška mjerenja visine *gps_h* i *gpsglo_h* pokazuju slabu korelaciju s komponentom geomagnetskog polja *GEO_z* od 0,25 za GPS i 0,19 za kombinaciju. Pogreška mjerenja visine *glo_h* ima negativnu korelaciju s istom komponentom vrijednosti – 0,12. Pogreška mjerenja visine *gps_h* i *gpsglo_h* prati ukupan sadržaj elektrona *TEC* sa značajnom negativnom povezanošću od - 0,55 za GPS i – 0,57 za kombinaciju, dok pogreška mjerenja visine GLONASS sustavom *glo_h* ima slabu povezanost sa ukupnim sadržajem elektrona od - 0,12.

6. ZAKLJUČAK

Istraživanju se pristupilo redom: prikupljanjem podataka, pripremom i obradom istih, proračunom pogrešaka, te je analizirana njihova dinamika i statistička obilježja. Istraživanje završava tumačenjem rezultata i donošenjem zaključaka.

Dobiveni rezultati provedene statističke analize relativnih odstupanja GPS i GLONASS položaja u polarnim predjelima ukazuju da GPS sustav, u promatranom vremenskom periodu od sedam dana, ima manja relativna odstupanja položaja od GLONASS sustava na svim promatranim IGS stanicama, iako teorija kaže da je GLONASS sustav precizniji u određivanju položaja u polarnim predjelima. Zbog malog uzorka istraživanja ova konstatacija ne može se uzeti kao opća zakonitost. Također istraživanjem je potvrđena podhipoteza da su relativna odstupanja položaja dobivenog satelitskom navigacijom kad se istovremeno koristi kombinacija GPS i GLONASS sustava najmanja.

Dobiveni rezultati također ukazuju na to kako je globalnim sustavima najveći problem, točno, odrediti nadmorsku visinu, tj. drugim riječima, pogreške odstupanja položaja najveće su kod određivanja nadmorske visine. Istraživanje također pokazuje da su pogreške relativnih odstupanja geografske širine veće od pogrešaka relativnih odstupanja geografske dužine. U ovome slučaju teorija se potvrđuje kao ispravna.

Kod korelacijske analize može se vidjeti povezanost odstupanja položaja promatranih sustava. Navedene korelacije pokazuju u kojoj mjeri utječu odstupanja položaja promatranih satelitskih sustava s obzirom na svemirsko vrijeme. Povezanost komponenata

pogrešaka GPS sustava lako je uočiti, dok je povezanost pogrešaka GLONASS sustava nešto manja, tj. zanemariva. Kako što je već rečeno, između pogrešaka GLONASS sustava i pokazatelja svemirskog vremena povezanost je neznatna ili gotovo nikakva te u svakom slučaju manja od 0,2 što je granična vrijednost koeficijenta korelacije. Ova pojava govori da pogreške GLONASS sustava ne ovise u tolikoj mjeri o uvjetima svemirskog vremena kao pogreške GPS sustava tj. GLONASS sustav, iako manje točnosti, ima veću toleranciju na geomagnetsku te ionosfersku aktivnost. U ovome slučaju teorija se, također, potkrepljuje kao ispravna.

Nadalje, ovim se istraživanjem također donosi niz polaznih postavki za daljnja sustavna istraživanja uzimajući u obzir korištenu metodologiju i podatke položaja promatranih stanica u polarnim predjelima. Također, rezultati istraživanja su otvorili nekoliko novih ideja i razmišljanja koje bi mogle obogatiti ovo područje, a odnose se na pristup ispitivanju pogrešaka. Novo istraživanje trebalo bi biti opsežnije zbog raznih drugih potencijalnih uzroka pogrešaka.

Polarni predjeli na našoj planeti postaju sve zanimljiviji u pomorstvu zbog novih pomorskih puteva i neiskorištenosti tih predjela. Kako bi se pomorstvo, kao i sve ostale grane industrije mogle razvijati, prijeko je potrebna satelitska navigacija sa iznimnom točnošću. Budućnost GNSS sustava, i pokrivenosti na cijeloj planeti, je u spajanju više sustava u jedan veliki sustav, te nadogradnji postojećeg u cilju nastanka idealnog GNSS sustava. To bi značilo da bi svi ti sustavi iz svih tih različitih zemalja trebali raspodijeliti zadatke na način da se dobije savršena konstelacija i kontrolni segment pravilno raspoređen po Zemlji, a sve to u svrhu što preciznijeg određivanja položaja. Također, potrebno je što bolje poznavanje i razumijevanje dinamike svemirskog vremena, od početka stvaranja poremećaja na Suncu, preko širenja energije i materije kroz svemir, pa sve do međudjelovanja s geoprostorom i manifestacijom na Zemlji.

LITERATURA

Hund A.J.: „*Antartica and the Artic Circle: A Geographic Encyclopedia of the Earth's Polar Regions*“, ABC-CLIO, Santa Barbara, 2014, online: <https://products.abc-clio.com/abc-cliocorporate/product.aspx?pc=A4091C>

Jensen A.B.O.: „*Challenges for positioning and navigation in the Artic*“, online: <https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2015/RussiaGNSS/Presentations/52.pdf>

Department of Space – Indian Space Research Organisation, „*Indian Regional Navigation Satellite System - IRNSS*“, online: <http://www.isro.gov.in/irnss-programme> (16.07.2020.)

European GNSS Service Centre, „System“, online: <https://www.gsc-europa.eu/galileo/system> (27.08.2020)

European Global Navigation Satellite Systems Agency, „*Programme*“, online: <https://www.gsa.europa.eu/galileo/programme> (16.07.2020)

Gogala, Z.: *Osnove statistike*, Sinergija, Zagreb, 2001.

Government of India, Department of Space, „*GAGAN – GPS Aided GEO Augmented Navigation*“, online: <http://www.isac.gov.in/navigation/gagan.jsp> (16.10.2019.)

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E.: *GNSS – Global Navigation Satellite System – GPS, GLONASS, Galileo and more*, 1. izdanje, SpringerWienNewYork, Beč, 2008.

Information and analysis center for positioning, navigation and timing (IAC), „*GLONASS Constellation Status*“, online: <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/index.php> (13.07.2020.)

Inside GNSS – Global Navigation Satellite Systems Engineering, Policy and Design, „*About Augmentation/Regional Systems*“, online: <http://www.insidegnss.com/aboutregional> (13.07.2020.)

Jureković P.: „*Komparativna parcijalna analiza raspršenja položajne točnosti GPS i GLONASS sustavima u različitim stanjima svemirskog vremena*“, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2018.

Parkinson B.W. et al.: *A History of Satellite Navigation*, 1. izdanje, Stanford University, California, 1995.

Petrovski I.G., Tsuji T.: *Digital Satellite Navigation and Geophysics – A Practical Guide with GNSS Signal Simulator and Receiver Laboratory*, 1. izdanje, Cambridge University Press, Cambridge, 2012.

Sanz Subirana J., Zornoza J., Hernández-Pajares M.: „*GNSS DATA PROCESSING – Fundamentals and Algorithms*“, 1. izdanje, ESA Communications, Noordwijk, Nizozemska, 2013.

U.S. government, information about the Global Positioning System (GPS), „*Interface Control Documents*“, online: <https://www.gps.gov/technical/icwg/> (17.07.2020.)

Quasi-Zenith Satellite System, „*Overview of the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)*“, online: http://qzss.go.jp/en/overview/services/sv01_what.html (16.07.2020)

Žarković N.: „*GLONASS sustav*“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2017.

KAZALO KRATICA

GPS (engl. *Global Positioning System*) je globalni sustav za određivanje položaja.

GLONASS (rus. *Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema*) je globalni navigacijski satelitski sustav razvijen od Ruske Federacije.

GPS+GLONASS (*kombinacija oba sustava*)

DGPS (engl. *Differential Global Positioning System*) je diferencijalni GPS

DGLONASS (engl. *Differential Global Navigation Satellite System*) je diferencijalni GLONASS.

EGNOS (engl. *European Geostationary Navigation Overlay Service*) je europska geostacionarna navigacijska usluga

GAGAN (engl. *The GPS Aided GEO Augmented Navigation*) je satelitski sustav za poboljšanje rada i usluga razvijen od Indije.

GIS (engl. *Geographic Information System*) je geografski informacijski sustav..

GNSS (engl. *Global Navigation Satellite System*) je globalni navigacijski satelitski sustav.

IGS (engl. *International GNSS Service*)

IRNSS (engl. *Indian Regional Navigation Satellite System*) je Indijski regionalni navigacijski satelitski sustav.

MSAS (engl. *Multi-functional Satellite Augmentation System*) je multifunkcionalni satelitski sustav za poboljšanje rada i usluga.

QZSS (engl. *Quasi-Zenith Satellite System*) je kvazizenitni satelitski sustav.

SBAS (engl. *Satellite-Based Augmentation System*) je sustav za poboljšanje rada satelitskog sustava.

SNS (engl. *Satellite Navigation System*) predstavlja satelitski navigacijski sustav.

MEO (engl. *Medium Earth Orbit*) je srednja zemljina orbita na visini od 2.000 do 35.786 km i u njoj se nalazi većina satelita.

SPS (engl. *Standard Positioning Service*) je standardna usluga.

UTC (engl. *Coordinated Universal Time*) je vremenski standard koji se koristi diljem svijeta.

WAAS (engl. *Wide Area Augmentation System*) je širokopojasni sustav za poboljšanje rada i usluga satelitskog sustava.

CDMA (engl. *Code-division multiple access*) je kodna raspodjela s višestrukim pristupom.

FDMA (engl. *Frequency-division multiple access*) je frekvencijski odjeljak višestrukog pristupa.

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela satelitskih sustava.....	10
Tablica 2. Položaj IGS stanica.....	41
Tablica 3. Tumačenje koeficijentata korelacije	45
Tablica 4. Prosječne vrijednosti relativnih odstupanja za stanice u sjevernim polarnim predjelima.....	53
Tablica 5. Prosječne vrijednosti relativnih odstupanja GPS i GLONASS sustava za stanice u sjevernim polarnim predjelima	57
Tablica 6. Prosječne vrijednosti relativnih odstupanja za stanice u južnim polarnim predjelima.....	64

POPIS SLIKA

Slika 1. Kontrolni segment GPS sustava.....	17
Slika 2. Parkerova spirala.....	29
Slika 3. Zemljina magnetosfera	36
Slika 4. Položaj promatranih IGS stanica.....	40
Slika 5. IGS i INTERMAGNET stanice	42
Slika 6. Odstupanje geografske širine stanice NYA putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	47
Slika 7. Odstupanje geografske širine stanice SCOR putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	48
Slika 8. Odstupanje geografske dužine stanice NYA putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	49
Slika 9. Odstupanje geografske dužine stanice SCOR putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	50
Slika 10. Odstupanje nadmorske visine stanice NYA putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	51
Slika 11. Odstupanje nadmorske visine stanice NYA putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	52

Slika 12. Reziduali odstupanja geografske širine (gornja slika), geografske dužine (srednja slika) i nadmorske visine (donja slika) GPS i GLONASS sustava za NYA stanicu	55
Slika 13. Reziduali odstupanja geografske širine (gornja slika), geografske dužine (srednja slika) i nadmorske visine (donja slika) GPS i GLONASS sustava za SCOR stanicu	56
Slika 14. Odstupanje geografske širine stanice COTE putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	58
Slika 15. Odstupanje geografske širine stanice ROTH putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	59
Slika 16. Odstupanje geografske dužine stanice COTE putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	60
Slika 17. Odstupanje geografske dužine stanice ROTH putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	61
Slika 18. Odstupanje nadmorske visine stanice COTE putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	62
Slika 19. Odstupanje nadmorske visine stanice ROTH putem GPS (gornja slika), GLONASS (srednja slika) i kombinacije oba sustava (donja slika) za sve promatrane dane	63
Slika 20. Reziduali odstupanja geografske širine (gornja slika), geografske dužine (srednja slika) i nadmorske visine (donja slika) GPS i GLONASS sustava za COTE stanicu	66
Slika 21. Reziduali odstupanja geografske širine (gornja slika), geografske dužine (srednja slika) i nadmorske visine (donja slika) GPS i GLONASS sustava za NYA stanicu	67
Slika 22. Korelacija između komponenata odstupanja položaja i pokazatelja svemirskog vremena za stanicu NYA.....	69
Slika 23. Korelacija između komponenata odstupanja položaja i pokazatelja svemirskog vremena za stanicu COTE.....	70
Slika 24. Korelacija između komponenata odstupanja položaja i pokazatelja svemirskog vremena za stanicu ROTH	71
Slika 25. Korelacija između komponenata odstupanja položaja i pokazatelja svemirskog vremena za stanicu SCOR.....	72

PRILOZI

NYA - GPS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dani	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS	1	φ	-1,63791	0,09779	0,40559	0,35696	0,70922	0,5381795	1,78681
		λ	-1,8821	0	0,2859	0,3474	0,8178	0,6987413	2,0806
		h	-12,248	-4,729	-2,846	-3,069	-1,448	2,474109	3,278
	2	φ	-1,2531	0,2173	0,509	0,4918	0,7962	0,4616611	1,7047
		λ	-2,0941	-0,1336	0,367	0,2821	0,7448	0,8015013	2,1373
		h	-10	-4,87	-3,321	-3,378	-2,004	2,02617	3,408
	3	φ	-2,9087	0,1404	0,5492	0,5029	0,8488	0,6622835	2,6888
		λ	-2,93389	-0,01857	0,45851	0,35308	1,08659	1,05795	2,43617
		h	-15,894	-4,948	-3,452	-3,323	-1,406	3,008278	7,085
	4	φ	-1,1699	0,1368	0,5580	0,5686	0,9741	0,5819169	2,2411
		λ	-1,8035	-0,3851	0,3044	0,3143	0,9107	0,8857414	2,8511
		h	-9,8458	-4,7137	-2,7275	-2,8098	-0,8807	2,766607	4
	5	φ	-1,3888	0,1264	0,4806	0,4399	0,8283	0,5674	1,8802
		λ	-2,37828	0,06604	0,34478	0,2621	0,69218	0,7675998	2,00805
		h	-12,2	-4,375	-2,794	-2,826	-1,287	2,24746	5,142
	6	φ	-0,9266	0,2571	0,5196	0,5524	0,8241	0,4425452	2,244
		λ	-1,75828	-0,05788	0,29726	0,36512	0,84429	0,7663792	2,586
		h	-13,545	-4,676	-3,118	-3,163	-1,355	2,411594	4,795
	7	φ	-0,867	0,1116	0,3762	0,4202	0,6525	0,4722282	2,5831
		λ	-2,2746	-0,1970	0,2021	0,1689	0,6683	0,8945983	2,2362
		h	-13,275	-4,592	-3,009	-3,107	-1,373	2,411594	3,544
Prosjek	7 dana	φ	-1,45028714	0,1555341	0,485456	0,476109	0,804746	0,532316	2,161244
		λ	-2,16067857	-0,10373	0,32285	0,3	0,823523	0,83893	2,333631
		h	-12,4296857	-4,70053	-3,03821	-3,09654	-1,39339	2,477973	4,464571

NYA - GLONASS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GLO	1	φ	-8,46179	-1,5754	-0,07112	-0,236	1,37983	2,015977	3,60251
		λ	-5,845	-0,8099	0,8183	0,6262	2,413	2,469788	5,9133
		h	-78,8063	-7,0046	-3,2461	-3,2176	-0,1061	6,736145	16,1949
	2	φ	-21,3295	-0,5124	0,3384	0,3555	1,5395	2,335052	4,9108
		λ	-4,6857	-0,4411	0,506	0,4697	1,5296	1,651702	6,2037
		h	-19,527	-6	-3	-3,303	-0,313	4,19667	15,398
	3	φ	-41,10484	-1,13359	0,05112	-0,02488	1,23293	N/A	23,21030
		λ	-5,6887	-0,5366	0,5016	0,7046	1,8227	N/A	24,9574
		h	-83,6058	-8,2834	-2,8894	-4,3335	0,9388	N/A	16,2577
	4	φ	-9,5601	-0,4909	0,7132	0,4005	1,6227	N/A	7,1292
		λ	-8,4757	-0,7101	0,1939	0,1861	1,1016	N/A	8,2064
		h	-83,0573	-6,3895	-3,281	-3,9615	-0,9634	N/A	15,2726
	5	φ	-4,80172	-1,15673	0,08062	0,16706	1,23090	1,80185	5,31431
		λ	-5,00461	-1,00894	-0,097	0,10992	1,50487	1,858195	4,27833
		h	-83,5912	-6,0364	-2,9668	-3,6498	0,1207	9,122635	16,1679
	6	φ	-6,1098	-1,068	0,1316	0,1345	1,0995	1,942307	6,1244
		λ	-3,72538	-1,09477	-0,01262	0,26422	1,14819	2,409058	23,70593
		h	-83,6396	-6,6824	-3,1765	-3,8434	0,5698	9,347378	16,2730
	7	φ	-6,9676	-0,9763	0,3755	0,1742	1,5515	1,99589	7,904
		λ	-3,3889	-0,5796	0,6122	0,4754	1,6357	1,469469	3,749
		h	-81,473	-6,571	-3,485	-2,753	1,303	6,698798	15,839
Prosjek	7 dana	φ	-14,0479071	-0,98762	0,23133	0,138697	1,379551	2,018215	8,313646
		λ	-5,25914143	-0,74014	0,36034	0,405163	1,593666	1,971642	11,00201
		h	-73,385743	-6,70961	-3,14925	-3,58026	0,2214	7,220325	15,91473

NYA - GPS+GLONASS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS + GLO	1	φ	-0,86007	0,02667	0,36614	0,35535	0,71	0,4638227	1,63124
		λ	-1,70822	-0,09207	0,31109	0,395	0,9	0,8513294	2,8
		h	-9,521	-4,39	-2,9	-2,854	-1,4	2,450708	6,606
	2	φ	-1,1548	0,1674	0,5561	0,5058	0,8314	0,6076649	2,0238
		λ	-1,62648	-0,06299	0,29136	0,30645	0,75282	0,6330676	1,78134
		h	-10,602	-4,66	-3,114	-3,311	-1,872	2,044885	2,22
	3	φ	-1,7941	0,1248	0,5535	0,4847	0,8930	0,6176649	2,0872
		λ	-2,1755	-0,1560	0,5687	0,4121	1,2096	0,9611962	1,9738
		h	-9,513	-4,542	-3,097	-3,16	-1,524	2,379051	3,412
	4	φ	-1,41	0,2092	0,5788	0,5506	0,9569	0,5391771	1,8329
		λ	-1,4422	-0,3268	0,2119	0,2793	0,7511	0,7989821	2,7379
		h	-10,5346	-4,6697	-2,8344	-2,9328	-0,9943	2,438176	2,4597
	5	φ	-1,23932	0,02972	0,38209	0,39208	0,73542	0,5125182	1,72303
		λ	-2,04639	-0,09363	0,21697	0,24461	0,65236	0,7977044	2,46924
		h	-10,3	-4,111	-2,787	-2,895	-1,332	2,127093	2,553
	6	φ	-0,8644	0,1584	4,989	0,48	0,8041	0,4449087	1,7893
		λ	-1,6	-0,08964	0,22627	0,31764	0,73989	0,775385	2,56436
		h	-11,633	-4,658	-3,1	-3,164	-1,54	2,308302	2,68
	7	φ	-1,07875	0,07167	0,39336	0,42487	0,77528	0,5089132	1,72203
		λ	-2,0412	-0,1358	0,2493	0,238	0,7973	0,8872441	2,3122
		h	-8,22	-4,18	-3,046	-2,808	-1,701	2,098612	4,061
Prosjek	7 dana	φ	-1,2	0,112551	1,117	0,4562	0,815157	0,52781	1,8299
		λ	-1,8057	-0,1367	0,2965	0,3133	0,82901	0,814987	2,376977
		h	-10,046	-4,45867	-2,9826	-3,01783	-1,48047	2,263882	3,427386

COTE - GPS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS	1	φ	-2,8683	-1,1865	-0,702	-0,6851	-0,1028	0,7567288	1,1524
		λ	-1,0897	-0,1078	0,3157	0,2698	0,6450	0,5202975	1,696
		h	-6,1219	-1,6543	-0,2575	-0,1785	1,0542	2,091	6,3084
	2	φ	-3,2505	-1,066	-0,5848	-0,6877	-0,1109	0,783	1,18
		λ	-2,4094	-0,229	0,1573	0,0359	0,4352	0,6050207	1,3633
		h	-9,3487	-1,8203	-0,1702	-0,1198	1,4764	2,367657	7,778
	3	φ	-2,8818	-0,9887	-0,556	-0,52244	-0,08117	0,81439	1,95227
		λ	-1,934334	-0,00174	0,312625	0,260676	0,597935	0,6222664	2,298185
		h	-8,0917	-1,7011	-0,15245	-0,08894	1,50253	2,211926	5,7623
	4	φ	-3,31	-1,3268	-0,7452	-0,729	-0,1324	0,819825	1,511
		λ	-1,3485	-0,2218	0,2211	0,3188	0,8354	0,7191151	2,4993
		h	-10,1668	-1,5324	-0,0505	-0,1019	1,6003	2,689806	12,9645
	5	φ	-4,097	-1,0684	-0,491	-0,6327	-0,1003	0,8581772	1,876
		λ	-2,72283	-0,56138	0,0559	0,04589	0,75094	0,8944597	2,04167
		h	-7,545	-1,61332	-0,23385	0,05785	1,3361	2,541221	8,873
	6	φ	-2,665	-1,24688	-0,597	-0,617	-0,02372	0,7623013	1,67558
		λ	-2,0818	-0,2577	0,1929	0,09818	0,55986	0,642555	1,55729
		h	-5,3718	-1,8292	-0,596	-0,2525	1,1263	2,038903	6,0854
	7	φ	-2,68	-0,91241	-0,41	-0,45571	0,06878	0,6956852	1,37978
		λ	-1,4149	-0,1634	0,1665	0,1367	0,4524	0,4766544	1,6801
		h	-5,441	-1,6478	-0,2117	-0,2516	1,182	2,0389	5,0725
Prosjek	7 dana	φ	-3,1075143	-1,11367	-0,583714	-0,61852	-0,06893	0,784301	1,532433
		λ	-1,857352	-0,2204	0,203146	0,166564	0,610962	0,640053	1,87655
		h	-7,4409857	-1,68549	-0,2388857	-0,13363	1,325404	2,282773	7,549157

COTE - GLONASS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GLO	1	φ	-4,3946	-1,5325	-0,3122	-0,3279	1,0011	1,568168	3,4095
		λ	-4,3514	-1,03822	0,09248	0,25733	1,41979	1,878824	5,58848
		h	-19,076	-4,6702	-0,7792	-0,4475	3,3112	6,803285	27,4904
	2	φ	-3,7302	-1,0308	-0,2535	-0,2337	0,6777	1,254391	2,6898
		λ	-5,47232	-0,73099	0,07357	-0,13909	0,65328	1,446923	3,61912
		h	-16,4758	-3,3679	-0,5981	-0,5597	1,9851	4,215275	12,8518
	3	φ	-4,1064	-1,52	-0,3216	-0,2753	0,7795	1,7366	6,8295
		λ	-5,431054	-1,158317	-0,07093	-0,006105	1,222781	1,777165	5,109804
		h	-31,4182	-3,9051	-0,444	-0,8826	3,1907	6,65803	17,6612
	4	φ	-5,1043	-1,0303	-0,1502	-0,1921	0,8053	1,472557	3,9881
		λ	-4,6289	-0,96277	-0,29796	0,01697	1,13723	1,437045	4,92408
		h	-16,1107	-2,9458	-0,2168	-0,1606	2,6533	4,477123	13,643
	5	φ	-6,9333	-1,7976	-0,6064	-0,5029	0,5869	1,788501	6,5415
		λ	-3,6578	-0,5236	0,3287	0,4748	1,3224	1,539533	5,4876
		h	-26,6607	-4,4298	-0,6402	-0,5357	3,5791	6,330357	24,082
	6	φ	-4,4347	-1,3952	-0,49	-0,4513	0,2808	1,473971	6,1749
		λ	-4,46671	-1,23798	0,08859	-0,0181	1,0931	1,716415	5,33743
		h	-26,1063	-3,42853	-0,8374	-0,06716	3,9	5,089483	16,4843
	7	φ	-4,4141	-1,3858	-0,4931	-0,3151	0,7489	1,482373	4,9066
		λ	-4,69284	-1,24619	-0,14664	0,01696	1,12458	1,810163	5,38334
		h	-33,6927	-4,4511	-0,1951	-0,1849	4,1376	6,337787	21,8944
Prosjek	7 dana	φ	-4,7310857	-1,3846	-0,3752857	-0,32833	0,697171	1,539509	4,934271
		λ	-4,6715748	-0,98544	0,0096871	0,086109	1,139023	1,65801	5,064265
		h	-24,220057	-3,88549	-0,5301143	-0,40545	3,251	5,70162	19,15816

COTE - GPS+GLO odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS + GLO	1	φ	-2,35352	-1,03967	-0,56243	-0,59328	-0,08309	0,6830045	1,19087
		λ	-1,4609	-0,1283	0,304	0,2671	0,7066	0,6102584	1,8945
		h	-6,0494	-1,8714	-0,3838	-0,3326	1,1806	2,204893	6,7647
	2	φ	-3,0359	-0,9741	-0,5404	-0,5925	-0,1415	0,667871	1,0596
		λ	-1,759614	-0,291554	0,040124	-0,001846	0,351986	0,5172857	1,199192
		h	-6,0684	-1,4932	-0,383	-0,2645	0,9663	1,872212	5,7292
	3	φ	-2,49653	-0,94969	-0,49937	-0,46287	0,00789	0,7332892	1,53968
		λ	-1,8164	-0,1789	0,2766	0,2158	0,6327	0,7294221	2,1206
		h	-6,8038	-1,7	-0,2284	-0,234	1,1105	2,189742	9,7856
	4	φ	-2,34997	-1,1082	-0,62488	-0,61867	-0,09365	0,651652	0,8644
		λ	-1,36	-0,2934	0,1897	0,2242	0,6475	0,6748599	2,6858
		h	-5,8657	-1,445	-0,2351	-0,045	1,2915	2,03674	5,6106
	5	φ	-3,85253	-1,05186	-0,56366	-0,61326	-0,08001	0,8392295	1,88204
		λ	-2,2261	-0,4475	0,1881	0,1074	0,7286	0,7653195	1,6179
		h	-6,9634	-1,4953	-0,3293	-0,1902	1,134	2,137409	7,415
	6	φ	-2,26229	-1,18404	-0,64077	-0,59067	-0,03828	0,7217822	1,05686
		λ	-1,78912	-0,47921	0,1501	0,04545	0,60384	0,7	1,68859
		h	-5,082	-1,71	-0,489	-0,157	1,181	2,20551	6,987
	7	φ	-2,1670	-0,8709	-0,431	-0,3725	0,1475	0,6602431	1,5297
		λ	-1,636	-0,2749	0,2468	0,1344	0,548	0,6144571	1,4865
		h	-6,8559	-1,713	-0,4187	-0,4391	1,011	2,045562	4,8144
Prosjek	7 dana	φ	-2,64539	-1,02549	-0,551787	-0,54911	-0,04016	0,708153	1,303307
		λ	-1,721162	-0,29911	-0,199346	0,141786	0,602747	0,6588	1,813297
		h	-6,24122857	-1,63256	-0,35247	-0,23749	1,124986	2,098867	6,7295

SCOR - GPS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS	1	φ	-2,4562	0,0881	0,60816	0,53637	1,03258	0,7434058	2,35274
		λ	-1,9211	-0,6799	-0,1525	-0,1717	0,4059	0,7205873	1,6566
		h	-11,038	-5,081	-3,738	-3,845	-2,507	1,964674	1,417
	2	φ	-1,3584	0,2633	0,6210	0,6193	1,0552	0,589	2,4772
		λ	-2,0846	-0,7835	-0,2125	-0,263	0,1873	0,6702721	1,7513
		h	-11,375	-5,19	-4,026	-4,19	-2,862	1,923616	1,004
	3	φ	-3,13147	0,09667	0,58332	0,56196	1,05942	0,8175158	4,66359
		λ	-2,3965	-0,8826	-0,1068	-0,1914	0,4486	0,7966888	1,8609
		h	-12,68	-5,317	-4,103	-4,084	-2,86	2,421837	7,111
	4	φ	-2,06794	0,094	0,51	0,52603	0,946486	0,6595	2,61776
		λ	-2,1985	-0,92	0,223	-0,0233	0,716	0,9246751	2,1337
		h	-16,223	-5,177	-3,514	-3,555	-2,11	2,690916	8,103
	5	φ	-1,4168	0,1749	0,6931	0,6686	1,1794	0,74811	4,0578
		λ	-1,9439	-0,6403	-0,1829	-0,2020	0,2363	0,6181461	1,6616
		h	-12,768	-4,587	-3,465	-3,644	-2,348	2,044947	2,396
	6	φ	-1,7829	0,244	0,6562	0,6991	1,1409	0,7374344	3,6675
		λ	-2,1013	-0,837	-0,1076	-0,1923	0,4248	0,7840596	1,6107
		h	-13,711	-5,207	-3,719	-4,017	-2,581	2,335557	3,164
	7	φ	-1,36855	0,05642	0,47048	0,51684	0,93374	0,668	3,6344
		λ	-2,377	-0,8446	-0,2811	-0,355	0,1708	0,7125467	1,3187
		h	-14,141	-5,123	-3,787	-4,054	-2,818	2,069808	3,61
Prosjek	7 dana	φ	-1,9403228	0,145341	0,59175	0,589743	1,049675	0,708995	3,353
		λ	-2,14612857	-0,79827	-0,1172	-0,19981	0,369957	0,746711	1,713357
		h	-13,133714	-5,09743	-3,76457	-3,91271	-2,58371	2,207336	3,829286

SCOR - GLONASS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GLO	1	φ	-6,8497	-1,0405	0,5094	0,5045	2,1082	2,143733	6,6155
		λ	-5,23514	-1,41608	-0,24165	-0,03278	1,28491	2,119135	5,27423
		h	-22,6467	-6,5944	-3,4644	-3,4633	-0,6402	5,075803	22,3195
	2	φ	-4,3468	-0,2008	0,773	0,8357	1,8208	1,506055	6,6051
		λ	-4,6413	-1,1133	-0,2389	-0,3063	0,5168	1,651572	4,4239
		h	-22,325	-6,888	-4,3	-4,252	-1,824	4,367163	14,716
	3	φ	-7,6803	-0,6783	0,6924	0,6222	1,8621	2,25538	12,6486
		λ	-5,221108	-1,427864	0,316666	-0,003279	1,227298	1,784286	5,642302
		h	-30,9702	-8,3681	-3,7572	-4,3046	-0,39	6,196027	17,7915
	4	φ	-8,2161	-0,8465	0,2736	0,2402	1,392	1,994125	9,0279
		λ	-5,174	-1,3027	-0,5027	-0,5234	0,3571	1,438474	2,9435
		h	-27,0385	-6,803	-3,6223	-3,6	-0,7044	6,275032	29,426
	5	φ	-6,7675	-1,1153	0,2997	0,2176	1,28867	2,048496	4,4532
		λ	-5,2986	-1,5103	-0,264	-0,4779	0,5284	1,698281	4,1951
		h	-33,89	-7,597	-3,965	-4,168	-1,022	5,749126	16,698
	6	φ	-5,3962	-1,19	0,1614	0,1458	1,4398	1,951158	5,8272
		λ	-4,0043	-1,1249	-0,3398	-0,275	0,5594	1,433313	3,8481
		h	-28,1067	-7,0229	-3,7965	-3,7878	-0,8648	5,690359	15,8622
	7	φ	-8,0996	-0,6219	0,4371	0,5229	1,8474	2,288268	8,0691
		λ	-3,40808	-0,88596	-0,30664	-0,09656	0,65819	1,342351	3,73236
		h	-25,7966	-7,2535	-4,716	-4,5443	-0,4078	5,913375	9,9124
Prosjek	7 dana	φ	-6,76517	-0,81333	0,449514	0,441271	1,679853	2,026745	7,606657
		λ	-4,7117897	-1,25444	-0,225289	-0,24503	0,733157	1,638202	4,294213
		h	-27,253385	-7,21813	-3,9459	-4,01714	-0,83617	5,609555	18,10366

SCOR - GPS+GLONASS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS + GLO	1	Φ	-1,42989	0,09123	0,66027	0,57936	1,12509	0,7149946	2,88979
		λ	-2,3103	-0,5465	-0,1172	-0,173	0,281	0,7735902	2,1139
		h	-11,653	-4,784	-3,44	-3,516	-2,292	1,954996	9,964
	2	φ	-1,3378	0,3422	0,6862	0,6424	0,9912	0,5098149	2,1439
		λ	-2,1472	-0,6555	-0,2855	-0,2564	0,2863	0,6367546	1,2658
		h	-10	-5,0917	-4,0564	-4,0936	-3,0504	1,635591	0,8809
	3	φ	-1,6139	0,1999	0,6433	0,6146	1,0183	0,7451529	2,8350
		λ	-2,0359	-0,8587	-0,1864	-0,1717	0,5538	0,7882155	1,417
		h	-9,371	-5,773	-3,936	-4,088	-2,539	2,13449	4,005
	4	φ	-1,72358	-0,0287	0,44442	0,43553	0,9633	0,6698762	2,44364
		λ	-1,86841	-0,93045	-0,09582	-0,12155	0,61	0,8692571	2,00553
		h	-10,063	-5,466	-3,929	-3,706	-2,202	3	4,086
	5	φ	-2,0252	0,2749	0,6821	0,6015	1,0513	0,68212	2,6362
		λ	-2,4014	-0,6383	-0,2175	-0,2398	0,2014	0,686134	1,5946
		h	-15,0735	-4,6364	-3,6414	-3,758	-2,4365	2,183827	0,6748
	6	φ	-1,71692	0,07606	0,59994	0,58073	1,09739	0,7162391	3,06547
		λ	-2,43938	-0,60959	-0,07853	-0,21769	0,27944	0,6948468	1,21559
		h	-11,549	-5,066	-3,791	-4,025	-2,654	1,919122	0,976
	7	φ	-0,96508	0,07998	0,47943	0,59196	1,12103	0,6581368	2,6061
		λ	-2,52958	-0,77125	-0,3482	-0,32913	0,02906	0,686979	1,55571
		h	-10,28	-4,924	-4,023	-3,974	-3,109	1,851731	4,581
Prosjek	7 dana	φ	-1,5446243	0,147939	0,59938	0,578011	1,052516	0,670905	2,660014
		λ	-2,247453	-0,71576	-0,189878	-0,21561	0,320143	0,733682	1,595447
		h	-11,14136	-5,10587	-3,83097	-3,88009	-2,61184	2,097108	3,595386

ROTH - GPS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS	1	φ	-0,6367	1,3316	1,9408	1,8723	2,41	0,683126	4,034
		λ	-2,0041	-1,3746	-1,1415	-1,0611	-0,8324	0,4802792	0,73
		h	-8,0781	-2,1753	-0,73	-0,6496	0,7356	2,287732	7,3074
	2	φ	-1,211	1,366	1,72	1,691	2,091	0,6240598	3,994
		λ	-1,6987	-1,1728	-0,9372	-0,8984	-0,6869	0,3752842	1,2575
		h	-6,1558	-2,4186	-1,1436	-1,002	0,2217	2,250972	10,5488
	3	φ	-2,205	1,107	1,677	1,575	2,203	0,9222692	4,031
		λ	-3,32994	-1,50238	-1,11694	-1,24150	-0,84313	0,6184876	0,09492
		h	-11,0893	-2,0584	-0,1522	-0,1192	1,5	2,854461	10,8523
	4	φ	-0,903	1,314	1,839	1,746	2,27	0,8040925	3,87
		λ	-3,4934	-1,7975	-1,259	-1,3469	-0,9359	0,6672844	1,6418
		h	-9,3091	-1,2091	0,5748	0,7031	2,2161	2,975	11,487
	5	φ	-1,7398	0,5963	1,4149	1,3091	2,1135	1,060808	3,87
		λ	-2,7145	-1,3163	-1,0439	-1,028	-0,7303	0,4656398	0,5146
		h	-7,1642	-1,9713	-0,6157	-0,5865	0,7151	2,107926	7,1518
	6	φ	-1,463	1,084	1,57	1,52	2,026	0,7245429	3,731
		λ	-2,087	-1,3172	-0,10322	-0,9969	-0,6942	0,4182242	0,2422
		h	-5,828	-1,9925	-0,451	-0,5009	0,765	1,941402	6,9401
	7	φ	-0,4348	1,35	1,7162	1,647	2,0792	0,5925645	3,3463
		λ	-2,2386	-1,4447	-1,2448	-1,2573	-1,0764	0,2844624	0,1788
		h	-6,6679	-1,9719	-0,7781	-0,7021	0,8111	1,941402	5,9058
Prosjek	7 dana	φ	-1,2276143	1,16413	1,6968428	1,622914	2,170386	0,773066	3,89471
		λ	-2,509463	-1,41793	-0,97808	-1,11859	-0,86846	0,472809	0,665689
		h	-7,756057	-1,97101	-0,47083	-0,40817	0,994943	2,336985	8,6

ROTH - GLONASS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GLO	1	φ	-4,8039	0,3833	1,5693	1,869	3,007	2,493401	12,837
		λ	-7,0797	-2,8161	-1,2506	-1,3737	0,1635	2,069205	3,1067
		h	-17,7552	-4,6632	-0,6927	-0,4612	3,9279	5,837433	16,5268
	2	φ	-4,3977	0,1448	1,8226	1,6908	3,0259	2,09802	10,3472
		λ	-5,5447	-2,029	-1,2708	-0,9642	0,1057	1,651905	5,6565
		h	-23,187	-4,969	-1,046	-1,267	2,343	5,418607	18,644
	3	φ	-6,298	-0,459	1,389	1,675	3,374	2,91195	15,736
		λ	-4,9378	-2,1406	-0,8799	-0,78	0,2043	2,061121	5,687
		h	-29,151	-3,724	-1,101	-1,108	2,166	6,394785	22,518
	4	φ	-5,8237	0,0307	1,3354	1,5215	3,2258	2,221247	9,1388
		λ	-6,6308	-2,3944	-1,508	-1,5683	-0,6553	1,383313	2,1502
		h	-18,2246	-5	-1,0986	-0,6838	3,465	6,153329	19,6231
	5	φ	-5,878	0,2159	1,9077	1,5195	2,9643	2,309307	8,2434
		λ	-5,9776	-3,242	-1,5177	-1,4474	0,2062	2,292609	4,6947
		h	-15,2609	-4,4903	-0,8196	-0,508	3,0183	5,209338	20,4923
	6	φ	-6,8979	-0,9325	2,418	1,4012	3,265	2,554803	9,1553
		λ	-6,794	-2,0106	-1,1664	-1,09	-0,2686	1,936125	5,1134
		h	-31,6932	-4,1391	-0,4419	-0,5652	2,4791	6,165344	21,0311
	7	φ	-5,20642	-0,3239	1,53584	1,65031	3,46061	2,45615	8,341
		λ	-7,3709	-2,4713	-1,3647	-1,3003	0,2274	1,97959	2,8535
		h	-17,7765	-4,7811	-1,084	-0,3404	3,957	6,269334	22,0065
Prosjek	7 dana	φ	-5,615088	-0,13439	1,71112	1,618187	3,188944	2,434983	10,54267
		λ	-6,333643	-2,44343	-1,27973	-1,2177	-0,0024	1,910553	4,180286
		h	-21,864057	-4,5381	-0,897686	-0,7048	3,0509	5,921167	20,12026

ROTH - GPS+GLONASS odstupanja

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS + GLO	1	φ	0,4727	1,4396	1,8616	1,8931	2,2595	0,6182681	3,7375
		λ	-2,333	-1,4296	-1,1373	-1,1054	-0,8472	0,4911783	0,5858
		h	-5,3916	-2,6177	-1,1584	-0,8262	0,9534	2,2533374	5,4434
	2	φ	0,01845	1,26905	1,74008	1,70888	2,09767	0,6241151	4,01966
		λ	-2,66513	-1,24862	-0,92166	-0,95202	-0,5971	0,4537892	0,04825
		h	-6,0824	-2,6058	-0,9903	-1,0892	0,3965	1,967882	3,438
	3	φ	-0,496	1,063	1,542	1,668	2,339	0,845363	4,443
		λ	-2,9183	-1,5484	-1,06	-1,1369	-0,6706	0,6749776	0,2896
		h	-10,4529	-2,2944	-0,4638	-0,6083	1,2332	2,495375	4,4033
	4	φ	-0,6626	1,2023	1,7121	1,7252	2,2312	0,7957859	3,8436
		λ	-2,7548	-1,6515	-1,2875	-1,3722	-0,9854	0,5291001	-0,1118
		h	-6,3853	-0,9544	0,0032	0,2113	1,5052	2,435965	8,0612
	5	φ	-0,8763	0,7761	1,533	1,4713	2,2362	1,033752	3,7262
		λ	-2,3252	-1,4407	-1,1281	-1,0722	-0,6902	0,535502	0,3635
		h	-6,1791	-2,0487	-0,8902	-0,7758	0,7441	1,953161	3,6496
	6	φ	-0,6172	0,821	1,657	1,4875	2,1363	0,8833792	3,5621
		λ	-2,1674	-1,4447	-1,0498	-1,0598	-0,6665	0,4932895	0,3356
		h	-5,8861	-1,7628	0,3388	-0,4314	0,8892	2,249504	7,1447
	7	φ	-0,329	1,137	1,642	1,667	2,135	0,7156777	3,816
		λ	-2,3296	-1,6918	-1,2681	-1,2824	-0,9408	0,4774371	0,2213
		h	-6,4222	-2,27	-0,705	-0,7324	0,9078	2,178261	4,6537
Prosjek	7 dana	φ	-0,355707	1,10115	1,669683	1,66014	2,204981	0,78805	3,8783
		λ	-2,5	-1,49362	-1,12178	-1,14013	-0,77111	0,52218	0,2475
		h	-6,685657	-2,07911	-0,552243	-0,60743	0,947057	2,21907	5,25627

Reziduali položajnih odstupanja GPS i GLONASS sustava stanice NYA

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS - GLO	1	φ	-4,4879	-1,1252	0,4975	0,593	2,13	2,25383	10
		λ	-5,4784	-2,1044	-0,5759	-0,2788	1,2782	2,325993	5,698
		h	-20,8471	-4,7248	0,0365	0,1484	4,9854	7,155509	75,2127
	2	φ	-4,31568	-1,23032	-0,0304	0,13628	1,08428	2,40946	22,11
		λ	-5,9762	-1,5161	-0,4037	-0,1876	1,289	1,951894	5,2744
		h	-17,1702	-3	-0,36235	-0,07472	2,74655	4,52	21,1382
	3	φ	-23,5647	-0,7464	0,4427	0,5278	1,755	N/A	41,63
		λ	-27,1363	-1,4998	-0,2294	-0,3514	1,1391	N/A	6,759
		h	-30,5897	-5,0763	-0,1364	1,0104	6,2632	N/A	80
	4	φ	-6,3652	-1,1908	-0,1577	0,168	1,2175	N/A	10,1011
		λ	-7,3266	-1,0606	0,1864	0,1276	1,269	N/A	8,4817
		h	-17,717	-2,562	1,04	1,15	3,7	N/A	81,409
	5	φ	-5,8822	-1,0591	0,5305	0,2728	1,6375	1,935678	5,942
		λ	-4,0072	-1,3079	0,1999	0,1522	1,2744	1,85946	5,7536
		h	-18,8	-3,2022	-0,2742	0,8242	4	9,331275	81,577
	6	φ	-5,8474	-0,6817	0,5545	0,4179	1,6416	2,080121	7,3993
		λ	-23,2544	-0,703	0,3129	0,1	1,2415	2,339253	4,6
		h	-24,9584	-3,6596	0,1218	0,6804	3,842	9,217101	82,5475
	7	φ	-7,9746	-1,0852	0,1822	0,246	1,3888	1,986983	6,8273
		λ	-3,3733	-1,2553	-0,2492	-0,3065	0,5469	1,209356	2,7488
		h	-19,9584	-4,8926	0,1354	-0,3538	3,9462	7,126365	79,9632
Prosjek	7 dana	φ	-8,34824	-1,01696	0,288471	0,337397	1,550669	2,133214	14,85853
		λ	-10,9360571	-1,34959	-0,10843	-0,10636	1,1483	1,937191	5,6165
		h	-21,4344	-3,87393	0,080107	0,483554	4,211907	7,47005	71,69251

Reziduali položajnih odstupanja GPS i GLONASS sustava stanice COTE

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS - GLO	1	φ	-4,4119	-1,6413	-0,3331	-0,3571	0,8521	1,651424	4,0525
		λ	-5,6748	-1,38319	0,06717	0,01243	1,47432	1,822235	4,20405
		h	-26,626	-3,993	1,177	0,27	5,093	7,152437	19,594
	2	φ	-4,1747	-1,3528	0,422	-0,454	0,4428	1,303124	4,0525
		λ	-3,96535	-0,76311	0,07	0,175	0,94172	1,657764	5,98387
		h	-14,5193	-2,7188	0,1224	0,4389	3,8191	4,77823	18,4888
	3	φ	-7,0798	-1,5229	-0,1712	-0,2472	1,0397	1,810723	4,1767
		λ	-4,4832	-0,804	0,4152	0,2546	1,2722	1,561248	5,3702
		h	-17,6762	-3,2203	0,6677	0,7937	4,5045	6,954638	30,7444
	4	φ	-4,85	-1,6879	-0,6175	-0,537	0,6015	1,728342	5,3733
		λ	-4,5722	-0,3165	0,4984	0,3019	1,1576	1,467427	5,6735
		h	-22,0916	-3,1007	0,0495	0,2625	3,3166	5,355363	19,0333
	5	φ	-7,0932	-1,2701	-0,1633	-0,13	1,2143	1,812706	6,4845
		λ	-5,3731	-1,6725	-0,521	-0,4289	0,5407	1,786658	4,85
		h	-26,1227	-4,0421	0,4329	0,5936	5,3075	7,036027	26,9098
	6	φ	-5,72513	-1,21507	-0,07434	-0,16565	0,93124	1,511437	3,94476
		λ	-4,388	-0,96319	-0,04054	0,11629	1,15835	1,687566	4,70866
		h	-19,7903	-3,6859	0,1857	-0,1854	3,0909	5,198555	23,3501
	7	φ	-5,86914	-1,22582	-0,09532	-0,14063	0,8891	1,544788	3,97187
		λ	-5,3544	-0,8853	0,2833	0,1197	1,3139	1,692882	4,5503
		h	-24,8272	-4,76652	0,58155	-0,06675	4,23833	6,68057	34,5641
Prosjek	7 dana	φ	-5,600553	-1,41656	-0,14754	-0,29023	0,852963	1,623221	4,579447
		λ	-4,83015	-0,96968	0,110361	0,078717	1,22684	1,667969	5,048654
		h	-21,6647571	-3,64676	0,459536	0,300936	4,195704	6,165117	24,66921

Reziduali položajnih odstupanja GPS i GLONASS sustava stanice SCOR

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS - GLO	1	φ	-7,86274	-1,67686	-0,14496	0,03182	1,72814	2,350208	8,41756
		λ	-5,6767	-1,6231	-0,4707	-0,1389	1,7911	2,117461	4,5751
		h	-26,13	-3,3706	-0,4637	-0,3819	3,1761	5,686736	22,765
	2	φ	-6,1692	-1,2283	-0,0959	-0,2164	1,0044	1,698814	5,3382
		λ	-4,8	-1,05046	0,1137	0,04337	1,25039	1,714817	4,00366
		h	-18,2164	-2,86	0,1744	0,06116	2,8827	4,596267	16,1267
	3	φ	-11,97563	-1,41795	0,04289	-0,06023	1,38331	2,437667	8,36767
		λ	-4,6762	-1,4113	-0,2823	-0,1881	1,113	1,66396	3,9796
		h	-26,07	-3,34825	-0,09875	0,22017	4,30875	6,7	29,5876
	4	φ	-8,2183	-1,0113	0,3539	0,2859	1,3353	1,996594	9,1714
		λ	-4,035	-0,4931	0,5191	0,5	1,5033	1,547684	4,824
		h	-31,9849	-4,1348	0,30625	0,04452	3,8	6,628646	24,56
	5	φ	-5,2728	-0,7932	0,5371	0,4509	1,6774	2,223105	7,0345
		λ	-3,7828	-0,8685	0,2164	0,276	1,3641	1,551298	4,2727
		h	-18,0334	-3,0078	0,2686	0,5239	4,1812	5,91587	30,3372
	6	φ	-7,5779	-0,7418	0,7676	0,5534	1,7461	2,014124	6,627
		λ	-4,08741	-1,07649	0,3116	0,08275	1,31322	1,541697	3,31688
		h	-24,4326	-3,2058	-0,4325	-0,2294	3,2667	6,189039	26,3543
	7	φ	-7,08968	-1,48837	0,06562	-0,0061	1,15554	2,376819	9,2014
		λ	-4,24873	-1,17	-0,04245	-0,25839	0,65918	1,364892	2,88448
		h	-16,6449	-3,5636	0,8107	0,4907	3,7347	6,472236	23,4672
Prosjek	7 dana	φ	-7,3803571	-1,19397	0,218036	0,14847	1,432884	2,156762	7,736819
		λ	-4,4724057	-1,099	0,052193	0,045247	1,2849	1,643116	3,979489
		h	-23,0731714	-3,35584	0,080714	0,104164	3,62145	6,026971	24,74257

Reziduali položajnih odstupanja GPS i GLONASS sustava stanice ROTH

Globalni navigacijski sustav	Promatrani dan	Odstupanje položaja [m]	Najmanja vrijednost	Prvi kvartil	Medijan	Srednja vrijednost	Treći kvartil	Standardna devijacija	Najveća vrijednost
GPS - GLO	1	φ	-12,082744	-1,53779	0,337138	0,003338	1,723305	2,752936	7,308029
		λ	-4,6132	-1,1766	0,1284	0,3126	1,8758	2,111715	6,672
		h	-18,8412	-4,0661	-0,2497	-0,1884	4,1842	5,953313	21,9539
	2	φ	-8,332333	-1,385944	-0,038559	0,000115	1,391445	2,133097	5,381764
		λ	-7,04941	-0,76843	0,42307	0,06574	1,02653	1,652372	4,74091
		h	-20,7255	-3,4701	0,04555	0,265	3,71243	5,762936	22,5728
	3	φ	-14,68762	-1,44928	0,08256	-0,09992	1,9156	3,118885	6,67631
		λ	-6,2984	-1,5665	-0,4782	-0,4615	1,0874	1,939481	3,3877
		h	-20,3398	-3,2494	0,9781	0,9886	3,9218	7,208724	35,1958
	4	φ	-7,2708	-1,4435	0,4913	0,2246	1,8068	2,445147	8,4606
		λ	-3,3162	-0,8505	0,1627	0,2214	1,0868	1,597314	6,6
		h	-19,217	-4,098	1,841	1,387	6,686	6,746684	20,823
	5	φ	-6,2709	-2,1221	-0,6538	-0,2103	1,3501	2,441046	7,1928
		λ	-6,1471	-1,3876	0,5435	0,4193	2,303	2,365319	5,7142
		h	-22,4848	-3,71362	0,3377	-0,07845	3,8664	5,45556	13,6826
	6	φ	-7,6061	-1,8258	-0,3892	0,1183	2,4648	2,528712	7,7878
		λ	-6,24393	-0,62235	0,08975	0,09336	1,01797	1,949848	5,7083
		h	-22,8137	-4,30123	0,02565	0,06425	3,27	6,71885	35,5432
	7	φ	-7,08468	-1,6725	0,10612	0,04437	1,68747	2,576718	7,20469
		λ	-4	-1,47405	-0,01128	0,043	1,13126	1,950783	6,48677
		h	-22,7951	-4,8255	0,4851	-0,3618	4,1832	6,433537	16,2243
Prosjek	7 dana	φ	-9,04788243	-1,63384	-0,00921	0,0115	1,762789	2,570934	7,14457
		λ	-5,38117714	-1,12086	0,122563	0,099129	1,361251	1,938119	5,615697
		h	-21,0310143	-3,96056	0,494771	0,2966	4,260576	6,325658	23,71366