

Univerzitet u Beogradu
Građevinski fakultet
Odsek za geodeziju i geoinformatiku

Miloš Marković, dipl. geod. inž.

OPTIMIZACIJA VREMENA OPAŽANJA U
APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU
KOMBINOVANJEM MODELA DOMINANTNIH
IZVORA GREŠAKA

Doktorska disertacija

BEOGRAD, 2025. GODINE

INFORMACIJE O MENTORU I ČLANOVIMA KOMISIJE

Mentor:

Prof. dr Dragan Blagojević, dipl. geod. inž.
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Članovi komisije:

V. prof. dr Oleg Odalović, dipl. geod. inž.
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Doc. dr Sanja Grekulović, dipl. geod. inž.
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

Prof. dr Vladimir Bulatović, dipl. geod. inž.
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

Datum odbrane: _____, Beograd.

REZIME

U radu je predstavljeno istraživanje usmereno ka optimizaciji trajanja opažanja u okviru tehnike Apsolutnog preciznog pozicioniranja. Fokus je stavljen na identifikaciju minimalnog potrebnog trajanja opažanja koje omogućava postizanje stabilnih i tačnih koordinata, uz uvažavanje uticaja različitih izvora grešaka kao što su efemeride i satelitski časovni fajlovi.

Numerički deo istraživanja odnosi se na obradu podataka korišćenjem softverskog paketa *Bernese GNSS Software* verzije 5.2, pri čemu su primenjeni različiti ulazni parametri — uključujući četiri tipa efemerida (CODE, IGS, IGR i IGU), kao i časovne fajlove sa intervalima od 5 i 30 sekundi. Opažanja su obavljena na tri permanentne stanice, tokom višegodišnjeg perioda (2017–2019), a svi rezultati izraženi su u referentnom okviru IGS14.

Rezultati su organizovani u tri strukture podataka, koje omogućavaju procenu uticaja efemerida, sezonske stabilnosti i vremenske dinamike konvergencije koordinata. Analiza je pokazala da postoji jasan trend konvergencije rešenja u zavisnosti od kvaliteta efemerida i dužine trajanja opažanja, kao i da li upotreba časovnih fajlova sa kraćim intervalom može doprineti preciznijem pozicioniranju. Istraživanje pruža direktan doprinos racionalizaciji merenja u naučnim i tehničkim aplikacijama, omogućavajući efikasnije planiranje trajanja opažanja bez gubitka tačnosti rezultata.

Ključne reči: apsolutno precizno pozicioniranje, GNSS, efemeride, časovni fajlovi, optimizacija vremena opažanja, modeli izvora grešaka.

PRIZNANJA

Izrada ove doktorske disertacije predstavlja krunu jednog dugogodišnjeg akademskog i naučnoistraživačkog puta, a sama njena realizacija ne bi bila moguća bez podrške, saradnje i ohrabrenja brojnih ljudi kojima ovde želim da izrazim svoju najdublju zahvalnost.

Najpre, zahvaljujem se svom mentoru, profesoru dr Draganu Blagojeviću, dipl. geod. inž., na ulozi koju je imao tokom izrade ove disertacije. Njegova podrška bila je važna u okviru procesa realizacije rada i u usmeravanju kroz korake potrebne za završetak doktorskih studija.

Posebnu zahvalnost upućujem članovima komisije: vanrednom profesoru dr Olegu Odaloviću, docentkinji dr Sanji Grekulović i profesoru dr Vladimiru Bulatoviću. Njihovi komentari i sugestije doprineli su unapređenju sadržaja rada i bili su dragoceni u završnoj fazi disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem kolegama i prijateljima, dr Marku Stankoviću i dr Dušanu Petkoviću, na pomoći i savetima tokom izrade rada. Njihova podrška i iskustvo značili su mi mnogo u trenutku kada je bilo najpotrebnije.

Takođe, zahvaljujem se svom ocu, dr Draganu Markoviću, na pažljivom čitanju i komentaranju teksta. Njegova pomoć oko recenzije i strukture disertacije bila je od posebne koristi, a njegova podrška – kako stručna, tako i lična – neizmerno mi je značila.

Od srca se zahvaljujem i svojoj majci, Mili Marković, na stalnoj podršci, razumevanju i ljubavi tokom celog mog obrazovanja i rada na disertaciji.

Na kraju, najveću zahvalnost dugujem svojoj supruzi Jovani i ćerki Tari. Njihova podrška, strpljenje i ljubav tokom ovog dugog procesa bili su moja najveća snaga. Hvala im što su me istrpele i bodrile čak i u najzahtevnijim trenucima.

Bez svih ovih ljudi, ovaj rad ne bi bio moguć. Svima sam iskreno zahvalan.

Sadržaj

REZIME	ii
PRIZNANJA	iii
1 UVOD	1
1.1 Ciljevi istraživanja	1
1.2 Pregled postojećih studija o Apsolutnom preciznom pozicioniranju i optimizaciji vremena opažanja	2
1.3 Značaj istraživanja i doprinos oblasti	5
1.4 Pregled strukture disertacije	6
2 GLOBALNI NAVIGACIONI SATELITSKI SISTEM	8
2.1 Principi GNSS pozicioniranja	8
2.1.1 Dvodimenzionalno pozicioniranje	8
2.1.2 Trodimenzionalno GNSS pozicioniranje	10
2.2 Arhitektura globalnih navigacionih satelitskih sistema	12
2.2.1 NAVSTAR GPS	13
2.2.1.1 Kosmički segment	13
2.2.1.2 Kontrolni segment	17
2.2.1.3 Korisnički segment	18
2.2.2 GLONASS	19
2.2.2.1 Kosmički segment	19
2.2.2.2 Kontrolni segment	22
2.2.3 GALILEO	23
2.2.3.1 Kosmički segment	23
2.2.3.2 Kontrolni segment	25
2.2.4 BEIDOU	27

2.2.4.1	Kosmički segment	27
2.2.4.2	Kontrolni segment	28
2.3	Struktura signala	29
2.3.1	GPS signali	30
2.3.1.1	GPS navigaciona poruka	31
2.3.2	GLONASS signali	34
2.3.2.1	GLONASS navigaciona poruka	35
2.3.3	Galileo signali	35
2.3.3.1	Galileo navigaciona poruka	36
2.3.4	Beidou signali	38
2.3.4.1	Beidou navigaciona poruka	38
2.4	Jednačine opažanja	39
2.4.1	Linearna kombinacija opažanja	40
2.4.1.1	Linearna kombinacija oslobođena uticaja jonosfere	41
2.4.1.2	Linearna kombinacija oslobođena uticaja geometrije	41
2.4.1.3	„Melbourne-Wübbena” linearna kombinacija	41
3	REFERENTNI OKVIRI I SISTEMI U GNSS	43
3.1	Konvencionalni nebeski referentni sistem	43
3.2	Konvencionalni terestrički referentni sistem	44
3.3	Hronologija razvoja IGS referentnih okvira	45
4	IZVORI GREŠAKA I NJIHOVO MODELIRANJE U APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU	50
4.1	Koncept apsolutnog preciznog pozicioniranja	50
4.2	Geofizički procesi	51
4.2.1	Plima čvrste Zemlje	51
4.2.2	Opterećenje okeanskom plimom	52
4.2.3	Opterećenje atmosferom	54
4.2.4	Rotaciona deformacija usled polarnog kretanja	54
4.2.5	Pomeranje tektonskih ploča	55
4.3	Greške prostiranja signala kroz atmosferu	56
4.3.1	Troposfera	58

4.3.1.1	Troposferski modeli	61
4.3.1.2	Funkcije mapiranja	64
4.3.2	Jonosfera	71
4.3.2.1	Slojevi jonosfere	74
4.3.2.2	Karakteristične regije jonosfere	75
4.3.2.3	Jonosferski poremećaji	77
4.3.2.4	Prostiranje satelitskog signala kroz jonosferu	79
4.3.2.5	Modeliranje determinističkih komponenti jonosfere	85
4.3.2.6	Modeliranje stohastičkih komponenti jonosfere	90
4.4	Instrumentalne greške	92
4.4.1	Višestruka refleksija	92
4.4.2	Fazne „wind-up” greške	93
4.4.3	Varijacija faznog centra antene	94
4.4.3.1	Fazni centar antene prijemnika i referentna tačka antene	95
4.4.3.2	Fazni centar antene satelita	96
4.4.4	Greške časovnika	97
4.4.4.1	Relativistički uticaji	98
4.4.5	Šum prijemnika	99
4.4.6	Diferencijalni kodni uticaji	99

5 FORMATI PODATAKA I NJIHOVA PRIMENA U APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU 102

5.1	RINEX format podataka	104
5.1.1	Istorijat RINEX formata	104
5.1.2	Generalni opis formata i konvencija o nazivima RINEX fajlova	106
5.2	GNSS orbitalni proizvodi	109
5.3	IGS i IERS fajlovi sa koordinatama pola	112
5.4	ANTEX format podataka	112
5.5	IONEX format podataka	113
5.6	Troposferski fajlovi	115
5.7	Časovni fajlovi	115
5.8	Meteorološki fajlovi	117
5.9	DCB fajlovi	117

5.10	Ostali formati podataka	118
5.10.1	Koordinate stanica	118
5.10.2	Brzine pomeranja stanica	118
5.10.3	Opterećenje okeanskom plimom	119
5.10.4	Opterećenje atmosferskom plimom	119
5.10.5	Tabela skraćenica naziva stanica	120
5.10.6	Pripadnost stanica tektonskim pločama	120
6	NUMERIČKA ISTRAŽIVANJA	121
6.1	Polazne hipoteze	122
6.2	Prikupljanje i izvori podataka	123
6.2.1	Receiver Independent Exchange Format (RINEX) „Observation” fajlovi	123
6.2.2	Precizne efemeride	125
6.2.3	Časovni fajlovi	126
6.3	Priprema opažačkih podataka	126
6.4	Obrada podataka	127
6.4.1	Softver za obradu podataka – <i>Bernese GNSS Software</i> v5.2	128
6.4.2	Postupak obrade Globalni navigacioni satelitski sistem (Global Navigation Satellite System) (GNSS) podataka	129
6.5	Prikaz i analiza rezultata	132
6.5.1	Vremenska rezolucija časovnih fajlova: procena značaja u obradi podataka	133
6.5.2	Struktura obrađenih podataka	133
6.5.3	Vizuelizacija rezultata	137
6.5.4	Analiza rezultata	146
6.6	Diskusija o rezultatima	155
7	ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	158
7.1	Sažetak istraživanja i dobijenih rezultata	158
7.2	Predlozi za buduća istraživanja	159
Prilozi		161
1	RINEX2.11 format	163
2	RINEX3.05 format	164
3	SP3c format	165

4	ERP format	166
5	ANTEX format	167
6	INX format	168
7	ION format	169
8	TRO format	170
9	CLK 5s format	171
10	CLK 30s format	172
11	Format RINEX Meteorološkog fajla	173
12	Format DCB P1C1	174
13	Format DCB P1P2	175
14	Koordinate stanica	176
15	IGS Koordinate stanica	176
16	Brzine pomeranja stanica	177
17	Opterećenje okeanskom plimom	178
18	Opterećenje atmosferskom plimom	179
19	Tabela skraćenica naziva stanica	180
20	Pripadnost stanica tektonskim pločama	180
21	PowerShell skripta za podelu RINEX fajla	182
22	Tabele koordinata GNSS stanica za različite efemeride, intervale i datume	186
23	Dijagrami promena koordinata GNSS stanica za različite efemeride, intervale i datume	223
24	Dijagrami promena koordinata GNSS stanica po svim efemeridama po datumima posmatranja	237
25	Dijagrami ponašanja pojedinačne efemeride kroz više godina za svaku koordinatu	241
26	Dijagrami koordinata GNSS stanica kroz sve efemeride i sve godine	246
27	Statistička analiza odstupanja koordinata GNSS stanica po vremenskim segmentima	248
28	Objedinjeni statistički pregled efemerida kroz više vremenskih epoha	267
	Literatura	274

Spisak slika

2.1	Neodređenost pozicije broda	9
2.2	Moguće lokacije broda (Subirana et al., 2013a)	11
2.3	Moguće lokacije broda uvođenjem trećeg svetonika (Subirana et al., 2013a)	12
2.4	GNSS arhitektura	13
2.5	Dva različita pogleda na satelitske orbite (Dach et al., 2015)	14
2.6	Primer trajektorija Globalni pozicioni sistem (Global Positioning System) (GPS) satelita (Dach et al., 2015)	15
2.7	GPS satelit Block II generacije (Dach et al., 2015)	16
2.8	Lokacije objekata kontrolnog segmenta (Marković, 2012)	17
2.9	Princip rada kontrolnog segmenta (Marković, 2012)	19
2.10	Uporedni prikaz trajektorije GLONASS i GPS satelita (Dach et al., 2015)	20
2.11	Promena broja aktivnih satelita u periodu od 1996. do 2016. godine (Dach et al., 2015)	21
2.12	Infrastruktura kontrolnog segmenta GLONASS (Subirana et al., 2013a)	22
2.13	Arhitektura Galileo sistema (European Space Agency, 2023)	23
2.14	Prototipovi Galileo satelita (Bartolomé et al., 2014)	24
2.15	Antena TTCF S-opsega (Bartolomé et al., 2014)	26
2.16	Opsezi frekvencija u GNSS (Subirana et al., 2013a)	31
2.17	Struktura GPS signala (Subirana et al., 2013a)	32
2.18	Struktura GPS navigacione poruke	33
2.19	Struktura GLONASS navigacione poruke (Subirana et al., 2013a)	36
2.20	Struktura Galileo navigacione poruke	37
3.1	Konvencionalni nebeski referentni sistem (Subirana et al., 2013a)	44
3.2	Konvencionalni terestrički referentni sistem (Subirana et al., 2013a)	45
4.1	Interakcija Sunca, Meseca i Zemlje	53

4.2	Poprečni presek litosfere i astenosfere	55
4.3	Karta tektonskih ploča (Witchayangkoon, 2000)	56
4.4	Slojevi atmosfere (Marković, 2012)	59
4.5	Hopfieldov troposferski model	61
4.6	Sastamoinenov troposferski model	63
4.7	Jonosfera i plazmasfera (Marković, 2012)	71
4.8	Vertikalni profil jonosfere (Komjathy, 1997)	72
4.9	Formiranje sloja maksimalne gustine elektrona (Webster, 1993)	73
4.10	Jedanaestogodišnji ciklus Sunca (Marković, 2012)	74
4.11	Glavne jonosferske regije (Komjathy, 1997)	76
4.12	Solarna baklja (Marković, 2012)	77
4.13	Nastanak solarne oluje (Marković, 2012)	78
4.14	Pojam refrakcije zraka (Marković, 2012)	80
4.15	Putanja EM talasa duž ortogonalnog koordinatnog sistema (Komjathy, 1997)	81
4.16	Disperziona kriva (Webster, 1993)	83
4.17	Jednoslojni model (Dach et al., 2015)	88
4.18	Primer višestruke refleksije	92
4.19	Raspored orijentacije dipola radi određivanja efekta (European Space Agency, 2024)	94
4.20	Referentna antena AOA Dorne Margolin T (Subirana et al., 2013a)	95
4.21	Šematski prikaz uticaja hardverskih komponenti na kašnjenje signala (Dach et al., 2015)	100
4.22	Raznovrsnost satelitskih signala praćenih od strane prijemnika (Dach et al., 2015)	101
6.1	Prikaz stanice GOET i njene lokacije u Nemačkoj	123
6.2	Prikaz stanice VIGO i njene lokacije u Španiji	124
6.3	Prikaz stanice NICO i njene lokacije na Kipru	124
6.4	Algoritam procesa obrade GNSS podataka	132
6.5	(a) Vrednosti X koordinate, IGS, stanica GOET, 15.08.2018.	139
6.5	(b) Vrednosti Y koordinate, IGS, stanica GOET, 15.08.2018.	139
6.5	(c) Vrednosti Z koordinate, IGS, stanica GOET, 15.08.2018.	140
6.6	(a) Vrednosti X koordinate po efemeridama, stanica GOET, 15.01.2017.	141

6.6	(b) Vrednosti Y koordinate po efemeridama, stanica GOET, 15.01.2017. . . .	141
6.6	(c) Vrednosti Z koordinate po efemeridama, stanica GOET, 15.01.2017. . . .	142
6.7	(a) Vrednosti X koordinate kroz više godina, efemerida IGR, stanica VIGO . .	143
6.7	(b) Vrednosti Y koordinate kroz više godina, efemerida IGR, stanica VIGO . .	143
6.7	(c) Vrednosti Z koordinate kroz više godina, efemerida IGR, stanica VIGO . .	144
6.8	(a) Stabilnost X koordinate za stanicu VIGO tokom vremena	145
6.8	(b) Stabilnost Y koordinate za stanicu VIGO tokom vremena	145
6.8	(c) Stabilnost Z koordinate za stanicu VIGO tokom vremena	146

Spisak tabela

2.1	Lista svih GPS signala	31
2.2	Lista svih Galileo signala	37
2.3	Lista svih Beidou signala (Subirana et al., 2013a)	38
4.1	Vektori rotacije pojedinačnih ploča primenom kinematičkih modela ploča NNR-NUVEL1A. Jedinice su radijani po milion godina ($\frac{\text{rad}}{10^6 \text{ god}}$) (Witchayangkoon, 2000)	57
4.2	Koeficijenti hidrostatičke komponente Nilova funkcija mapiranja (Niel Mapping Function) (NMF) (Witchayangkoon, 2000)	69
4.3	Koeficijenti vlažne komponente NMF (Witchayangkoon, 2000)	70
5.1	Nazivi skraćenica shodno satelitskom sistemu i vrsti RINEX fajla	109
5.2	Identifikatori satelitskih sistema	109
5.3	Ekstenzije orbitalnih fajlova do 2237 GPS nedelje	111
6.1	Pregled datuma opažanja sa odgovarajućom GPS nedeljom i danom u nedelji .	125
6.2	Pregled korišćenih tipova efemerida	126
6.3	Oznake korišćene u imenovanju .csv fajlova	130
6.4	S20191015U05.csv fajl	131
6.5	Statistička analiza razlika između 30 s i 5 s časovnih fajlova	133
6.6	C20170115X.csv fajl prve strukture podataka (na 5 decimala)	135
6.7	CRZ.csv fajl druge strukture podataka (na 5 decimala)	136
6.8	GY.csv fajl treće strukture podataka	138
6.9	Statistički pregled razlika X koordinate za stanicu NICO, efemeride CODE, 2017. godina	148
6.10	Statistički pregled razlika Y koordinate za stanicu NICO, efemeride IGS, 2018. godina	148

6.11 Statistički pregled razlika Z koordinate za stanicu NICO, efemeride IGR, 2019. godina	149
6.12 Prosečni rasponi i maksimalne standardne devijacije za Z koordinatu stanice NICO, efemeride CODE, za tri godine	150
6.13 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride CODE, X koordinata	151
6.14 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride CODE, Y koordinata	151
6.15 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride CODE, Z koordinata	151
6.16 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGS, X koordinata	152
6.17 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGS, Y koordinata	152
6.18 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGS, Z koordinata	152
6.19 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGR, X koordinata	153
6.20 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGR, Y koordinata	153
6.21 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGR, Z koordinata	153
6.22 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGU, X koordinata	154
6.23 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGU, Y koordinata	154
6.24 Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGU, Z koordinata	154

1. UVOD

1.1 Ciljevi istraživanja

Apsolutno precizno pozicioniranje (PPP) je napredna tehnika pozicioniranja u Globalnom navigacionom satelitskom sistemu (GNSS), koja obezbeđuje visoku tačnost određivanja koordinata tačaka, često na nivou centimetra, bez potrebe za referentnim stanicama. Ova metoda ima primenu u mnogim oblastima, uključujući geodeziju, geodinamiku, geofiziku i sl. Algoritam PPP kombinuje precizne podatke časovnika i satelitskih orbita (precizne efemeride), te obrađuje merenja pseudodužina i faze nosećeg talasa, na osnovu čega je moguće računati precizne pozicije korišćenjem jednog prijemnika koji može biti jedno ili dvo-frekventni. Koristeći složene matematičke modele i numeričke metode, algoritam PPP teži da ublaži ili modelira različite izvore grešaka koji utiču na tačnost i preciznost pozicioniranja, kao što su jonosferske i troposferske refrakcije, greške časovnika i sl.

Jedan od značajnih izazova u vezi sa PPP je vreme opažanja potrebno radi postizanja visoke tačnosti. Period opažanja može da varira od nekoliko sati pa čak do celog dana (24 h), u zavisnosti od primene i potrebne tačnosti. Ovaj dugotrajan proces ograničava primenu PPP u realnom vremenu. Stoga je smanjenje vremena opažanja bez kompromitovanja tačnosti i preciznosti pozicioniranja od izuzetnog značaja.

Optimizacija vremena opažanja usko je povezana sa tačnošću i efikasnošću primenjenih modela izvora grešaka u procesu obrade. Različiti izvori grešaka doprinose ukupnoj nesigurnosti u proceni pozicije. Razumevanje i tačno modeliranje ovih grešaka može značajno poboljšati tačnost PPP rešenja i omogućiti kraće vreme opažanja. U tom kontekstu, efemeride, časovni fajlovi i parametri atmosferskog modeliranja igraju ključnu ulogu u dinamici konvergencije rešenja.

U okviru ovog istraživanja, akcenat je stavljen na kvantitativnu analizu vremena potrebnog da PPP rešenje dostigne stabilnost u zavisnosti od kvaliteta efemerida i frekvencije časovnih korekcija. Analiza je sprovedena za više stanica, više vremenskih perioda i u različitim sezonskim

uslovima, čime je omogućeno sagledavanje konzistentnosti rešenja kroz vreme i prostor. Podaci su obrađeni putem softverskog paketa *Bernese GNSS Software* verzije 5.2, u okviru kog su implementirani najprecizniji dostupni modeli izvora grešaka i podešavanja parametara za analizu.

Eksperimentalni deo rada obuhvata obradu skraćenih „Receiver Independent Exchange Format” (RINEX) fajlova sa različitim trajanjem opažanja, čime se u potpunosti simulira proces konvergencije rešenja kroz vreme. Korišćenjem različitih kombinacija efemerida (Centra za određivanje orbita u Evropi (CODE), Međunarodne GNSS službe (IGS), IGR, IGU) i časovnih fajlova (30 s i 5 s), omogućen je detaljan uvid u uticaj kvaliteta ulaznih parametara na tačnost pozicioniranja. Posebna pažnja posvećena je posmatranju obrazaca konvergencije, pri čemu su izrađene funkcionalne strukture za organizaciju i analizu rezultata u zavisnosti od efemerida, stanice i datuma.

Ovakav pristup pruža čvrst osnov za definisanje optimalnih uslova za primenu PPP tehnike u operativnim i naučnim aplikacijama, kao i preporuke u vezi sa izborom ulaznih podataka i potrebnim trajanjem opažanja za postizanje željenog nivoa tačnosti.

1.2 Pregled postojećih studija o Apsolutnom preciznom pozicioniranju i optimizaciji vremena opažanja

Početna istraživanja o PPP uglavnom su se fokusirala na osnovne aspekte tačnosti pozicioniranja i potencijalne prednosti ove tehnike u odnosu na tradicionalne metode diferencijalnog globalnog pozicionog sistema (DGPS). U radu (Zumberge et al., 1997) postavljene su osnove uvođenjem koncepta PPP, koji je značajno smanjio potrebu za gustim mrežama referentnih stanica.

Gao and Shen (2002) istraživali su faktore koji utiču na vreme konvergencije PPP rešenja i predložili metode za ublažavanje tih faktora. Njihova istraživanja su pokazala da satelitska geometrija i atmosferski uslovi igraju ključnu ulogu u određivanju optimalnog vremena opažanja potrebnog za tačno pozicioniranje.

Chen and Gao (2005) predložili su poboljšani model za brzu konvergenciju u PPP aplikacijama, naglašavajući važnost korekcija atmosferskih uticaja u smanjenju vremena opažanja. Ovaj model je pružio osnovu za dalja unapređenja PPP tehnika.

Kouba (2009) je pokazao da uvođenje preciznih satelitskih orbita značajno smanjuje vreme konvergencije za PPP rešenja. Njegova istraživanja su naglasila ključnu ulogu preciznih efemerida u postizanju brzog i tačnog pozicioniranja.

Laurichesse et al. (2009) razvili su metodu nulte razlike („zero-difference”) PPP, što je dodatno poboljšalo vreme konvergencije i tačnost PPP rešenja. Ova metoda je omogućila pouzdanije i brže pozicioniranje direktnim rešavanjem celobrojnih neodređenosti.

U periodu od 2010. do 2020. godine došlo je do značajnih poboljšanja PPP algoritama i uvođenje „real-time” PPP usluga. Ova unapređenja su bila vođena poboljšanim satelitskim konstelacijama, boljim atmosferskim modelima i sofisticiranim tehnikama korekcije grešaka.

Banville and Langley (2010) analizirali su uticaj GNSS grešaka na performanse PPP i predložili metode za njihovo ublažavanje, čime su smanjili vreme opažanja. Njihov rad je naglasio važnost modeliranja grešaka u poboljšanju tačnosti PPP.

Geng et al. (2010) su predstavili prednosti multi-GNSS PPP u poboljšanju tačnosti i smanjenju vremena opažanja. Njihova istraživanja su pokazala da korišćenje signala iz više satelitskih konstelacija kao što su GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou poboljšava robusnost i efikasnost PPP.

Choy and Kearsley (2008) proučavali su integraciju PPP sa regionalnim augmentacionim sistemima, otkrivši da takva integracija može značajno smanjiti vreme opažanja potrebno za visoku tačnost pozicioniranja. Istraživanje prikazuje potencijal regionalnih sistema u podršci PPP primenama.

Shi et al. (2012) poboljšali su konvergenciju PPP koristeći multi-frekvencijska GNSS opažanja, pokazujući da multi-frekvencijski podaci mogu ubrzati proces konvergencije i poboljšati tačnost pozicioniranih rešenja. Njihov rad je otvorio put za korišćenje naprednih GNSS signala u PPP.

Choy et al. (2013) raspravljali su o korišćenju PPP u raznim „real-time” aplikacijama, naglašavajući važnost obrade podataka u realnom vremenu i korekcije grešaka u smanjenju

vremena opažanja.

El-Mowafy (2012) istraživao je performanse PPP u realnom vremenu sa različitim GNSS konstelacijama, pokazujući da „real-time” korekcije i multi-konstelacijski podaci mogu poboljšati efikasnost i pouzdanost PPP, što je doprinelo razvoju „real-time” PPP usluga.

Gao and Chen (2004) predložili su novi algoritam za brzu konvergenciju PPP, koji se fokusirao na poboljšanje faze inicijalizacije PPP rešenja. Njihov algoritam je značajno smanjio vreme potrebno za postizanje preciznog pozicioniranja.

Novija istraživanja fokusirana su na dalje smanjenje vremena opažanja potrebnog za PPP, integracijom različitih izvora podataka i primenom naprednih računarskih tehnika. Jedan značajan pristup je korišćenje mašinskog učenja za predviđanje i korekciju grešaka u pozicioniranju u realnom vremenu.

Zhang et al. (2021) koristili su modele dubokog učenja („deep learning”) za poboljšanje brzine konvergencije PPP rešenja, pokazujući značajno smanjenje vremena opažanja u poređenju sa tradicionalnim metodama. Njihova istraživanja su naglasila potencijal veštačke inteligencije u optimizaciji PPP.

Li et al. (2022) istraživali su sinergiju između PPP i inercijalnih navigacionih sistema (INS), naglašavajući da takva integracija može pružiti kontinualno i precizno pozicioniranje čak i u izazovnim okruženjima gde su GNSS signali opterećeni određenim smetnjama.

Mao and Gao (2017) koristili su PPP za precizno „real-time” kinematičko pozicioniranje, pokazujući da kombinacija PPP sa kinematičkim modelima može poboljšati tačnost i smanjiti vreme opažanja za dinamičke aplikacije. Glavni fokus ovog istraživanja jeste demonstracija izvodljivosti „real-time” PPP u mobilnim okruženjima.

Zhang and Li (2019) integrisali su PPP sa atmosferskim podacima radi poboljšanja vremena konvergencije, otkrivši da uključivanje „real-time” atmosferskih korekcija može poboljšati efikasnost PPP rešenja. Njihov rad je doprineo razvoju tačnijih i pouzdanijih atmosferskih modela za PPP.

Gao and Chen (2004) razvili su hibridni PPP pristup kombinovanjem GNSS i zemaljskih signala, pokazujući da integracija zemaljskih podataka sa GNSS opažanjima može smanjiti vreme

opažanja i poboljšati tačnost pozicioniranja.

Choi and Lee (2018) istraživali su korišćenje PPP u pomorskim navigacionim aplikacijama, pokazujući da PPP može pružiti tačno i pouzdano pozicioniranje za pomorske korisnike, čime je prikazana svestranost PPP u različitim okruženjima.

Liu and Xie (2020) primenili su veštačku inteligenciju za poboljšanje performansi PPP, pokazujući da algoritmi mašinskog učenja mogu predvideti i korigovati greške u pozicioniranju u realnom vremenu.

Wang and Zhao (2023) istraživali su buduće trendove i izazove u PPP tehnologiji, naglašavajući potrebu za kontinuiranim inovacijama i integracijom naprednih tehnologija kako bi se dodatno smanjilo vreme opažanja i poboljšala tačnost.

Evolucija PPP od njegovog nastanka do danas ističe značajan napredak postignut u optimizaciji vremena opažanja. Rani istraživački radovi su se fokusirali na razumevanje i ublažavanje faktora koji utiču na vreme konvergencije, dok se nedavne inovacije oslanjaju na napredne algoritme i integraciju multi-senzorskih sistema kako bi se postigla brža i pouzdanija poziciona rešenja. Ciljevi budućih istraživanja jesu dalja smanjenja vremena opažanja, vođena stalnim napredovanjem u satelitskoj tehnologiji, računarskim metodama i tehnikama fuzije senzora.

1.3 Značaj istraživanja i doprinos oblasti

Istraživanje prikazano u okviru ove disertacije ima za cilj unapređenje razumevanja procesa konvergencije u PPP tehnici, uz fokus na efekte vremenskog trajanja opažanja i tipova korišćenih ulaznih podataka, pre svega efemerida i časovnih fajlova. Analizom stabilnosti koordinatnih rešenja u zavisnosti od dužine trajanja opažanja i vrste efemerida, kao i kroz različite sezonske i vremenske uslove, omogućeno je precizno praćenje dinamike konvergencije pozicionih rešenja.

Primenom pažljivo struktuiranog eksperimentalnog pristupa, kao i obradom velikog broja kombinacija ulaznih parametara u softverskom okruženju *Bernese GNSS Software*, istraživanje je pružilo konkretne uvide u intervale tačnosti koji se mogu očekivati u zavisnosti od trajanja PPP merenja. Ovi rezultati doprinose optimizaciji planiranja GNSS kampanja, naročito u

situacijama kada je trajanje merenja ograničeno, kao što su inženjerske aplikacije, monitoring infrastrukture i mobilna geodetska merenja.

Dodatno, sam način sistematizacije i prikaza rezultata omogućava jednostavnu upotrebu dobijenih podataka za dalje statističke i vizuelne analize, čime se otvaraju mogućnosti za replikaciju i proširenje istraživanja drugim modelima izvora grešaka.

1.4 Pregled strukture disertacije

Disertacija je organizovana u sedam poglavlja, koja logički prate tok istraživanja – od osnovnih pojmova i teorijskih postavki, preko analize izvora grešaka i formata podataka, sve do numeričke obrade i diskusije rezultata.

Prvo poglavlje, **Globalni navigacioni satelitski sistem**, daje uvid u osnovne principe rada GNSS sistema, arhitekturu i strukturu signala, kao i matematičku formulaciju jednačina opažanja koje čine osnovu za sve dalje proračune u pozicioniranju.

U drugom poglavlju, **Referentni okviri i sistemi u GNSS**, razmatraju se koncepti nebeskog i terestričkog referentnog sistema, kao i evolucija referentnih okvira koji predstavljaju ključnu osnovu za precizne pozicione proračune.

Treće poglavlje, **Izvori grešaka i njihovo modeliranje u apsolutnom preciznom pozicioniranju**, obuhvata sve dominantne izvore nesigurnosti koji utiču na rezultat PPP tehnike – uključujući geofizičke procese, atmosferske uticaje i instrumentalne greške, uz odgovarajuće modele za njihovu eliminaciju ili ublažavanje.

U četvrtom poglavlju, **Formati podataka i njihova primena u apsolutnom preciznom pozicioniranju**, detaljno su predstavljeni svi relevantni GNSS fajlovi koji se koriste u PPP obradi, poput RINEX fajlova, kao i fajlove sa satelitskim efemeridama, vremenskim i meteorološkim parametrima i sl. Posebna pažnja posvećena je objašnjenju njihove uloge u procesu modelovanja grešaka.

Peto poglavlje, **Numerička istraživanja**, čini eksperimentalni deo rada i obuhvata definisanje hipoteza, opis prikupljenih podataka, pripremu za obradu, izradu sopstvenih MATLAB skripti

i vizuelizaciju rezultata. Na kraju ovog poglavlja daje se diskusija o uočenim obrascima i karakteristikama konvergencije.

U okviru šestog poglavlja, **Zaključna razmatranja**, sumirani su najvažniji zaključci rada i razmatrane mogućnosti dalje primene dobijenih rezultata. Dodatno su predloženi pravci za buduća istraživanja u cilju unapređenja efikasnosti PPP metode.

Na kraju, u posebnom poglavlju **Prilozi**, nalaze se dodatne tabele, slike i podaci koji dopunjuju analitički deo rada i služe za uvid u kompletne rezultate istraživanja.

2. GLOBALNI NAVIGACIONI SATELITSKI SISTEM

Globalni navigacioni satelitski sistem (GNSS) obuhvata skup satelita koji kruže oko Zemlje, stalno emitujući signale koji korisnicima omogućavaju da utvrde svoju trodimenzionalnu (3D) poziciju širom sveta. Dugi niz godina, jedini potpuno funkcionalni GNSS bio je američki GPS. Ruski Globalni Navigacioni Satelitski Sistem (GLONASS) vraćen je u potpunu funkciju u decembru 2011. Kineski sistem BeiDou završio je svoju globalnu mrežu 2020. godine i sada pruža punu operativnu pokrivenost širom sveta. Evropski sistem Galileo je postao operativan 2020. godine, pružajući visoku preciznost i pouzdanost globalnog pozicioniranja. Japanski Kvazi-Zenitni Sistem (QZSS) pojačava GPS signal u Japanu i drugim azijsko-pacifičkim regijama, dok indijski NavIC nudi regionalne navigacione usluge u Indiji i okolnim područjima.

Osnovni princip pozicioniranja temelji se na rešavanju elementarnog geometrijskog problema koji uključuje određivanje udaljenosti korisnika do najmanje četiri GNSS satelita sa definisanim koordinatama. Na osnovu signala i navigacionih podataka emitovanih sa satelita ka prijemniku, moguće je odrediti udaljenosti kao i koordinate satelita. Svakako, definitivni rezultat jesu koordinate korisnika koje se mogu izračunati sa tačnošću od nekoliko metara. Tačnost na nivou centimetra može se postići upotrebom sofisticiranijih tehnika.

2.1 Principi GNSS pozicioniranja

2.1.1 Dvodimenzionalno pozicioniranje

Ključni element pri GNSS pozicioniranju predstavlja vreme koje protekne tokom prostiranja signala od satelita do prijemnika. Proizvod vremena i brzine svetlosti, predstavlja prividnu udaljenost između satelita i prijemnika i naziva se pseudoudaljenost, tj. pseudodužina.

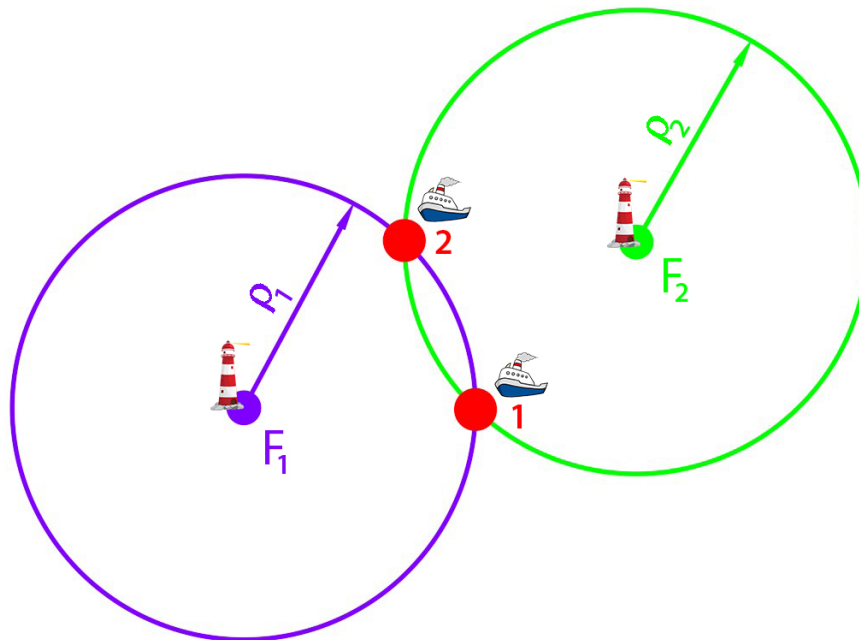
Osnovni koncept GNSS pozicioniranja može se jednostavno objasniti primerom

dvodimenzionalnog pozicioniranja (Kaplan and Hegarty, 2006).

Neka svetionik F_1 na svakih 10 min emituje zvučne signale intenziteta dovoljnog da se registruju na udaljenosti od nekoliko kilometara. Takođe, brod opremljen časovnikom koji je savršeno usklađen sa časovnikom u svetioniku, prima ove signale sa kašnjenjem od 20 s, tačnije $t = n \cdot 10 \text{ min} + 20 \text{ s}$.

Kašnjenje od 20 sekundi je u stvari vreme koje je potrebno zvuku da stigne od svetionika (emitera) do broda (prijemnika). Proizvod vremena kašnjenja od 20 s i brzine zvuka $v \approx 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ daje rastojanje ρ između svetionika i broda, tj. $\rho = 20 \text{ s} \cdot 340 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,8 \text{ km}$.

Međutim, pošto se svetionik može smatrati centrom u odnosu na koji se meri rastojanje do broda, jasno je da brod može biti na bilo kojoj tački kružnice poluprečnika ρ . Ukoliko bi postojao i drugi svetionik F_2 , pozicija broda bi se mogla odrediti presekom dve kružnice čiji su centri u svetionicima: F_1 (prikazano ljubičastom bojom) i F_2 (prikazano zelenom bojom). S obzirom da se kružnice seku u dve tačke, brod bi se mogao nalaziti na jednoj od te dve tačke, što je i prikazano na slici 2.1. Na osnovu navedenog, jasno je da je tačna pozicija broda i dalje neodređena, te bi uvođenjem trećeg svetionika, tj. treće kružnice bio rešen ovaj problem, jer je presekom tri kružnice definisana samo jedna tačka.



Slika 2.1: Neodređenost pozicije broda

U datom primeru pretpostavka je da su časovnici između svetionika i broda savršeno

sinhronizovani, što u praksi nije ostvarivo. Neusklađenost u sinhronizaciji časovnika rezultira netačnim merenjem vremena prostiranja signala, što dovodi do pojave greške merenja dužine.

Neka je časovnik na brodu pomeren za određeni vremenski pomak $d\tau$ u odnosu na časovnike u svetionicima (za koje se pretpostavlja da su savršeno sinhronizovani). Tada će vrednosti rastojanja (slika 2.1), R_1 i R_2 biti pomerene za $dr + vd\tau$, što se može napisati kao (Subirana et al., 2013a):

$$R_1 = \rho_1 + dr, \quad R_2 = \rho_2 + dr. \quad (2.1)$$

S obzirom da su vrednosti poluprečnika kružnica opterećene greškom dr , jasno je da to nisu istinite vrednosti dužina. Usled ove neodređenosti, dužine se nazivaju pseudodužinama.

Shodno navedenom, kružnice će se u stvari presecati na granama hiperbole čiji fokusi F_1 i F_2 odgovaraju pozicijama svetionika, što je prikazano na slici 2.2. Konačno, moguće lokacije broda moraju zadovoljavati sledeću jednačinu (Subirana et al., 2013a):

$$R_1 - R_2 = \rho_1 - \rho_2 = \text{const}, \quad (2.2)$$

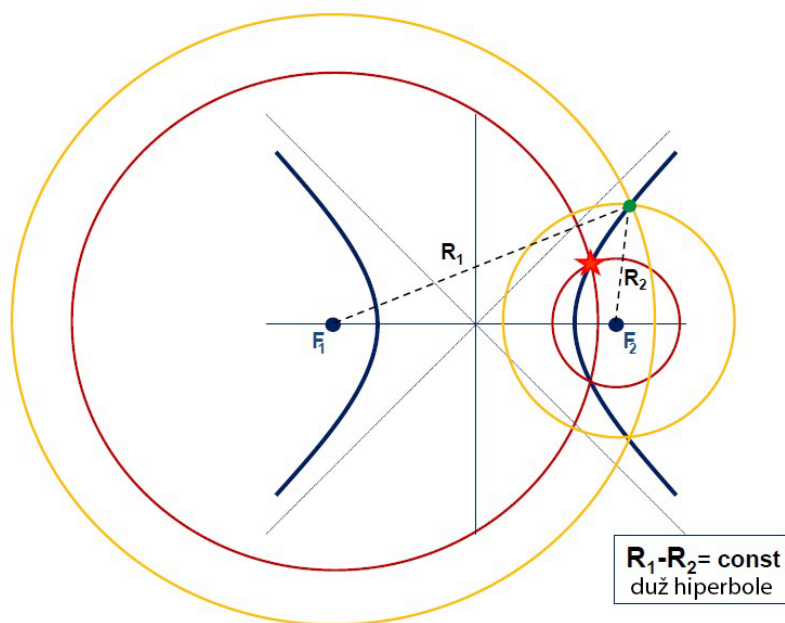
što ujedno definiše i jednačinu hiperbole.

Uvođenjem trećeg svetionika smanjuje se neodređenost pozicije broda na samo dve moguće tačke. Takva rešenja dobijaju se presekom dve hiperbole, što je prikazano na slici 2.3.

2.1.2 Trodimenzionalno GNSS pozicioniranje

Sličan koncept može se primeniti i na 3D GNSS pozicioniranje. Kod primera sa svetionicima pretpostavka je da su koordinate poznate, dok se kod satelita koordinate mogu dobiti na osnovu navigacionih podataka (u daljem tekstu efemeride) koje emituju sateliti. Merenje pseudodužina se određuje na osnovu vremena putovanja elektromagnetnog talasa (Subirana et al., 2013a).

Satelitski časovnici spadaju među najkritičnije komponente GNSS. Da bi se obezbedila stabilnost ovih časovnika, sateliti su opremljeni atomskim oscilatorima visoke dnevne stabilnosti

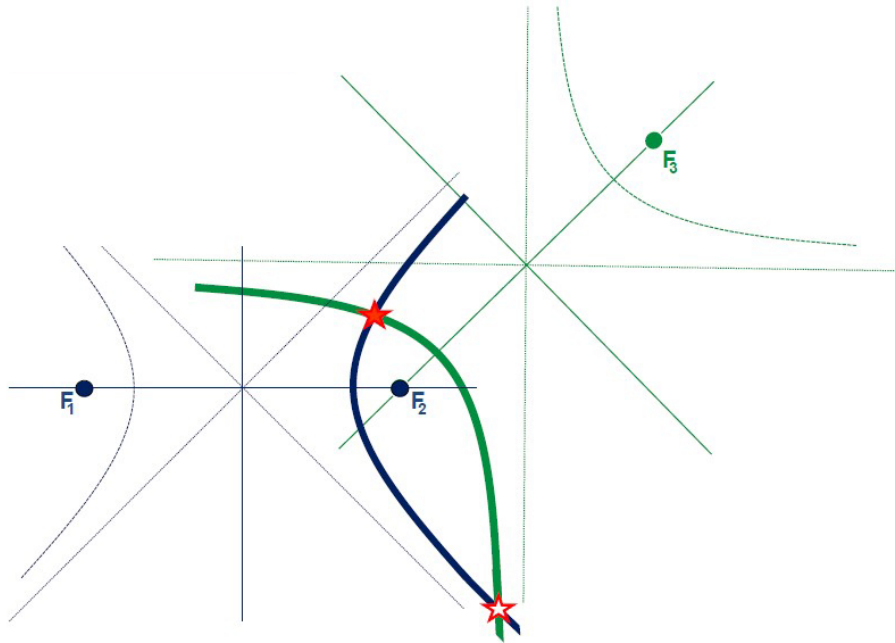


Slika 2.2: Moguće lokacije broda (Subirana et al., 2013a)

$\Delta f/f$ oko 10^{-13} do 10^{-14} . Međutim, uprkos ovoj visokoj stabilnosti, časovnici na satelitima akumuliraju određena odstupanja tokom vremena. Ova odstupanja časovnika kontinuirano se procenjuju od strane kontrolnog segmenta i prenose korisnicima radi korekcije merenja. Prijemnici, s druge strane, opremljeni su kvarcnim časovnicima, koji su znatno jeftiniji ali sa lošijom stabilnošću (oko 10^{-9}).

Slično kao i kod 2D pozicioniranja, u slučaju 3D GNSS pozicioniranja potrebno je najmanje četiri satelita da bi računanje koordinata prijemnika i vremena bilo moguće. U ovom slučaju, kružnice i hiperbole se menjaju u sfere i hiperboloide, koji se seku na dva moguća načina. Za prijemnik na tlu, jedno od rešenja nalazi se na površini Zemlje, a drugo daleko u svemiru.

Važno je napomenuti da na tačnost 3D GNSS pozicioniranja utiče i geometrija satelita (način na koji korisnik vidi satelite). Ovaj efekat naziva se „Dillution of Precision” (DOP).



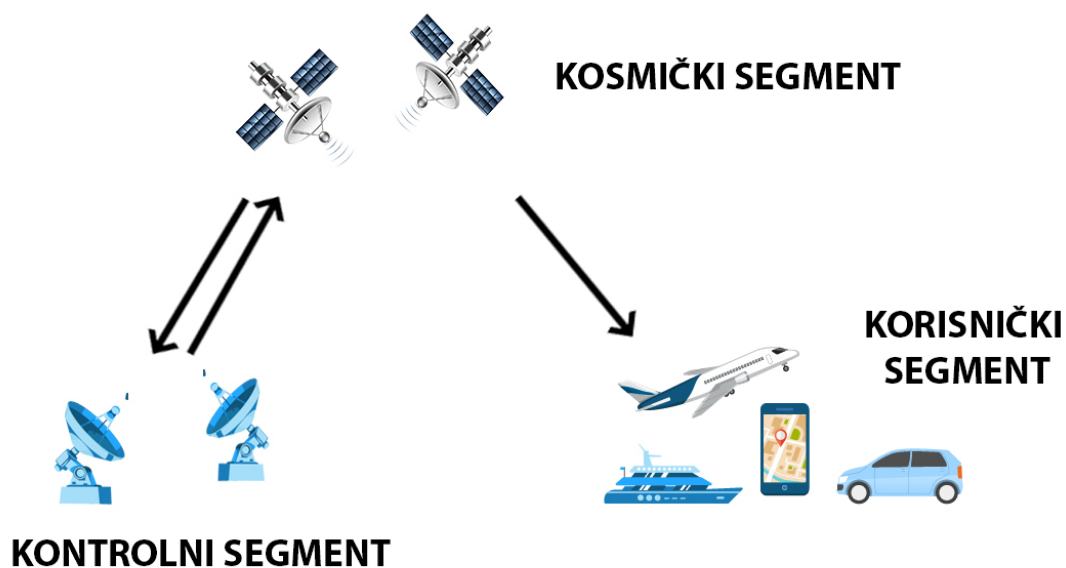
Slika 2.3: Moguće lokacije broda uvođenjem trećeg svetionika (Subirana et al., 2013a)

2.2 Arhitektura globalnih navigacionih satelitskih sistema

Globalni navigacioni satelitski sistem se u osnovi sastoji od tri glavna segmenta (slika 2.4) i to:

1. **kosmičkog segmenta** - sateliti u orbitama u svemiru,
2. **kontrolnog segmenta** - praćenje i kontrola funkcionisanja sistema i
3. **korisničkog segmenta** - GNSS prijemnici koji korisnicima pružaju usluge pozicioniranja, kao i određivanja brzine i preciznog vremena.

U nastavku poglavlja dat je detaljni prikaz arhitekture pojedinačnih sistema.



Slika 2.4: GNSS arhitektura

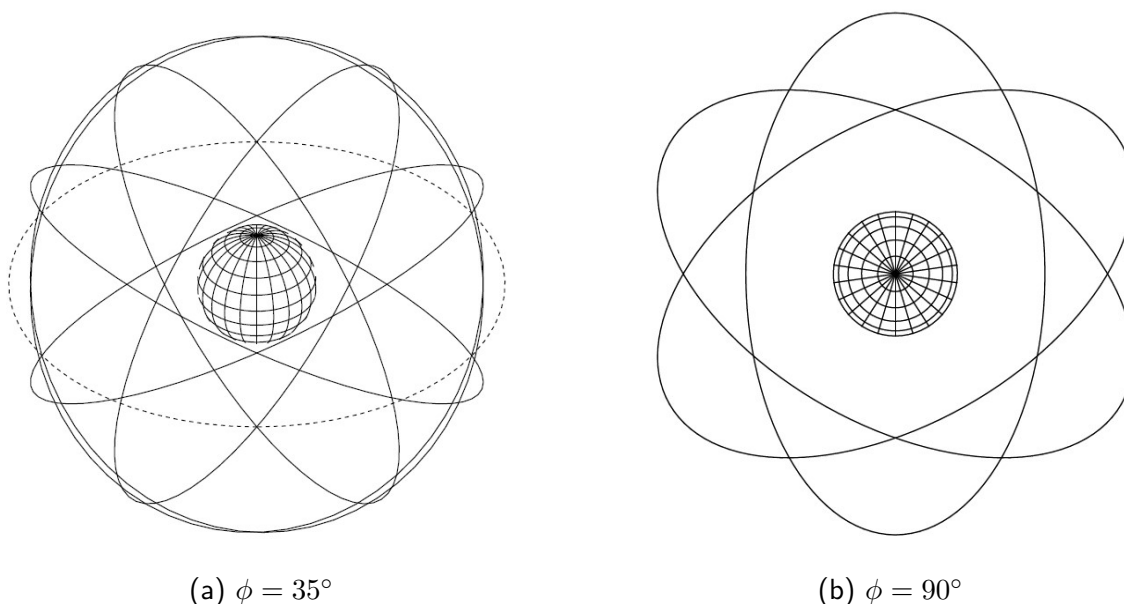
2.2.1 NAVSTAR GPS

2.2.1.1 Kosmički segment

Sateliti su raspoređeni u šest orbitalnih ravni srednje Zemljine orbite (MEO) na visini od oko 20 200 km iznad površi Zemlje, sa nagibom od 55° u odnosu na ekvator (slika 2.5). Orbitalni period je približno 11 h i 58 min. Na slici 2.6 prikazana je putanja GPS satelita oko Zemlje. Generalno, GPS sateliti ne moraju biti jednako raspoređeni unutar orbitalnih ravni kako bi se obezbedila globalna pokrivenost za potrebe navigacije (Dach et al., 2015).

Sateliti se uobičajeno obeležavaju korišćenjem dve oznake (dva broja) i to: Serijski broj satelita (SVN) i Pseudo-slučajni šum (PRN). Pseudo-slučajni šum je deo koda koji svaki satelit prenosi kako bi se jedinstveno identifikovao unutar same konstelacije. Dok je SVN jedinstven za svaki GPS satelit, PRN brojevi se mogu permutovati unutar konstelacije. Prvi GPS satelit, PRN 04, lansiran je 22. februara 1978. godine. Ovo je bio prvi satelit u seriji od 11 satelita Block I (prva generacija satelita). U nastavku, dat je kratak prikaz svih generacija (Blokova) NAVSTAR GPS satelita (Subirana et al., 2013a).

Block I (Navigation Development Satellites) - tokom 1978. i 1985. godine lansirano je 11 satelita ove generacije. Selektivna dostupnost (S/A) još uvek nije bila implementirana. Sateliti



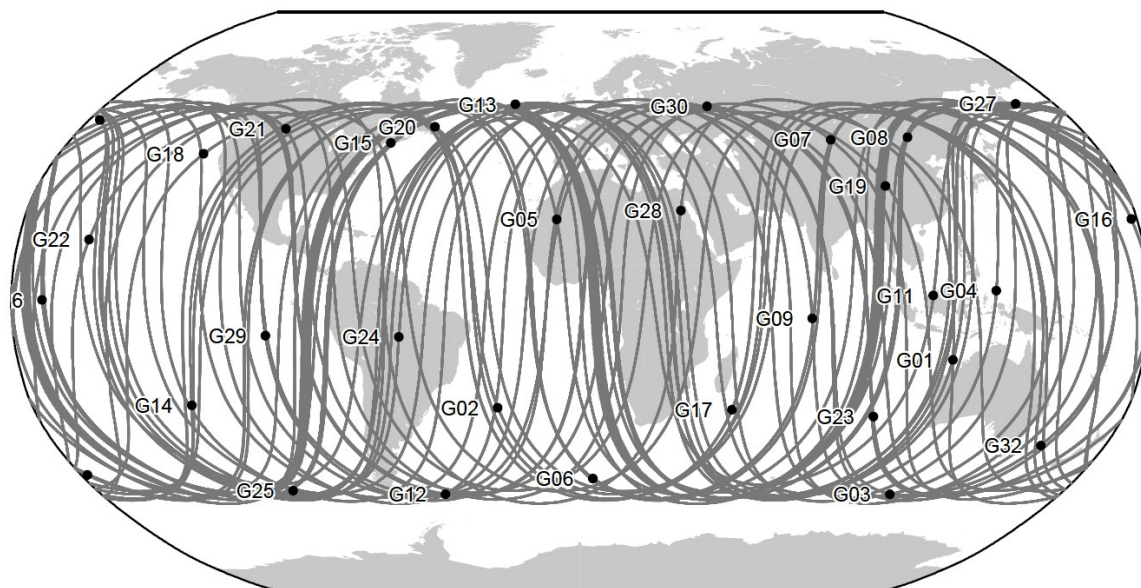
Slika 2.5: Dva različita pogleda na satelitske orbite (Dach et al., 2015)

su bili mase od oko 845 kg sa planiranim prosečnim vekom trajanja oko 4,5 godine, iako su neki od njih trajali i do 10 godina. Pružali su usluge pozicioniranja do četiri dana bez ikakvog kontakta sa kontrolnim centrom.

Block II i Block IIA (Operational Satellites) - počevši od 1989. godine lansirano je 28 satelita ove generacije. Mnogi od njih i dalje funkcionišu. Sateliti su mase 1 500 kg sa planiranim prosečnim vekom trajanja od oko 7,5 godina. Od 1990. godine u primeni je naprednija generacija satelita, tj. Block IIA (A - advanced), sa mogućnošću međusobne komunikacije između satelita. Pružaju usluge pozicioniranja 180 dana bez kontakta sa kontrolnim segmentom.

Block IIR (Replacement Operational Satellites) - zamena generacije II/IIA. Sateliti su mase oko 2 000 kg sa planiranim prosečnim vekom trajanja od 10 godina. Sateliti poseduju sposobnost autonomnog određivanja svojih orbita i generisanja navigacione poruke. Dodatna mogućnost jeste određivanje udaljenosti između njih, kao i prenošenje opažanja drugim satelitima ili kontrolnom segmentu. Cilj ove generacije satelita jeste velika autonomija, tj. funkcionisanje oko pola godine bez bilo kakve podrške od strane kontrolnog segmenta i bez degradacije u smislu tačnosti efemerida.

Block IIR-M (Modernised Satellites) - nadograđena verzija generacije IIR, koje čine okosnicu



Slika 2.6: Primer trajektorija GPS satelita (Dach et al., 2015)

savremene GPS konstelacije. Implementiran je novi vojni signal i robustniji civilni signal L2C. Prvi satelit Block IIR-M lansiran je 26. septembra 2005. godine.

Block IIF (Follow-on Operational Satellites) - 28. maja 2010. godine lansiran je prvi satelit (SVN62) ove generacije. Generacija IIF proširuje mogućnosti serije IIR-M dodavanjem trećeg civilnog signala (L5) za potrebe „Safety-of-Life” (SoL) aplikacija. Prosečni vek trajanja je oko 15 godina. U ovoj generaciji satelita implementiran je i sistem za inercijalnu navigaciju.

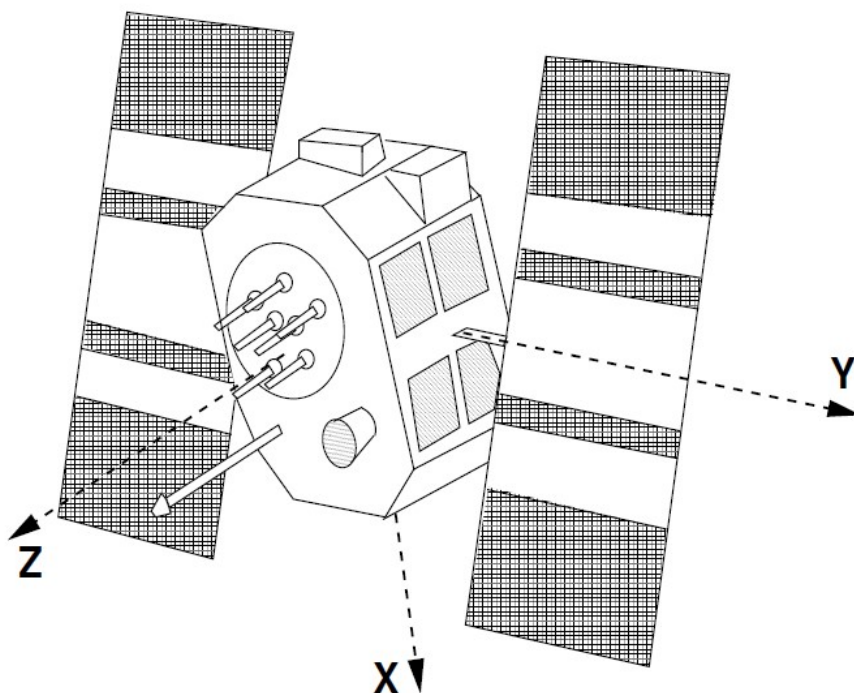
Block III - predstavlja značajan tehnološki napredak u globalnom pozicionom sistemu. Ovi sateliti su dizajnirani da poboljšaju navigacione usluge globalno, povećaju otpornost sistema na ometanje i produže vek trajanja GPS konstelacije. Prvi satelit lansiran je u decembru 2018. godine, u cilju zamene starijih satelita i poboljšanja ukupne arhitekture globalnog pozicionog sistema. Sistem nije još uvek potpuno operativan. U nastavku dat je kratak prikaz ključnih detalja o ovoj generaciji satelita (Lockheed Martin, 2024):

1. Poboljšana tačnost signala - sateliti su dizajnirani da pruže tri puta bolju tačnost u poređenju sa prethodnim verzijama. Ovo poboljšanje je od ključnog značaja za vojne i civilne aplikacije;
2. Poboljšane sposobnosti protiv ometanja - Ovi sateliti imaju poboljšane sposobnosti da odole ometanjima, čineći sistem sigurnijim i pouzdanijim, što je posebno važno za vojne

operacije gde GPS signali mogu biti mete;

3. Duži operativni vek - sateliti imaju projektovani vek trajanja od 15 godina, što je za 25% duže u poređenju sa satelitima Block IIF generacije, čime se smanjuje učestalost lansiranja satelita i povećava stabilnost GPS usluge tokom vremena;
4. Kompatibilnost i interoperabilnost - sateliti su kompatibilni sa drugim satelitskim sistemima, čime se poboljšava interoperabilnost i pruža korisnicima bolja usluga kroz robustniji GNSS;
5. Civilni signal L1C - uveden je novi civilni signal pod nazivom L1C. Ovaj signal je dizajniran da bude interoperabilan sa drugim međunarodnim GNSS signalima i nudi poboljšano praćenje, veći opseg frekvencija i robustniju uslugu, što je posebno korisno za civilne navigacione aplikacije.

Na slici 2.7 dat je šematski prikaz GPS satelita generacije Block II sa fiksnim koordinatnim sistemom.



Slika 2.7: GPS satelit Block II generacije (Dach et al., 2015)

2.2.1.2 Kontrolni segment

Kontrolni segment čini globalna mreža objekata na površi Zemlje, koji prate GPS satelite i navigacione poruke, vrše analize i korekcije i šalju podatke i komande satelitima (United States Department of Defense, 1996).

Trenutni kontrolni segment se sastoji od: glavne kontrolne stanice (MCS), alternativne glavne kontrolne stanice (AMCS), 12 komandnih i kontrolnih zemaljskih antena i 16 stanica za praćenje. Na slici 2.8 prikazane su lokacije ovih objekata.



Slika 2.8: Lokacije objekata kontrolnog segmenta (Marković, 2012)

Glavna kontrolna stanica nalazi se u Koloradu, gde se obavljaju osnovne funkcije kontrolnog segmenta u smislu upravljanja sistemom i pružanja usluga komandovanja, kontrole i održavanja kosmičkog segmenta. Glavna kontrolna stanica generiše i učitava navigacione poruke i obezbeđuje ispravnost i tačnost satelitske konstelacije. Osnovna funkcija ovog segmenta jeste primanje navigacionih informacija sa stanica za praćenje, korišćenje istih u cilju računanja preciznih efemerida GPS satelita, kao i emitovanje efemerida i dodatnih podataka ka satelitima. U slučaju kvara na satelitu, moguća je aktivacija nekog od rezervnih satelita, održavajući tako optimalnu GPS konstelaciju. Kao deo plana modernizacije, uspostavljena je nova, potpuno funkcionalna rezervna stanica, poznata kao Alternativna glavna kontrolna stanica, locirana u

vazduhoplovnoj bazi Vandenberg.

Stanice za praćenje su raspoređene širom sveta kao što je i prikazano na slici 2.8. Opremljene su atomskim časovnicima kao i GPS prijemnicima radi neprekidnog prikupljanja GPS podataka za sve satelite koji su vidljivi sa njihovih lokacija. Prikupljeni podaci se šalju u MCS gde se obrađuju radi ocene efemerida i grešaka časovnika kao i za generisanje navigacione poruke.

U početku, mreža stanica za praćenje je obuhvatala pet lokacija Vazduhoplovnih snaga SAD (USAF), lociranih na Havajima, u Kolorado Springsu, na ostrvu Asension (Južni Atlantik), Dijego Garsija (Indijski okean) i Kvajalein (Severni Pacifik). Stanica na Kejpu Kanaveralu (Florida) je uspostavljena 2001. godine. Od 2005. godine, mreža je proširena sa još šest stanica kojima upravlja Nacionalna agencija za geoprostornu obaveštajnu službu (NGA) Ministarstva odbrane SAD (DoD) i to u: Adelaid (Australija), Buenos Aires (Argentina), Hermitaž (UK), Manama (Bahrein), Kito (Ekvador) i Vašington DC (SAD). Pet dodatnih stanica je izgrađeno tokom 2006. godine i to: Ferbanks (Aljaska), Osan (Južna Koreja), Papite (Tahiti), Pretorija (Južna Afrika) i Velington (Novi Zeland). Sa ovakvom konfiguracijom, svaki satelit je vidljiv sa minimum tri stanice, što omogućava preciznije računanje orbita i efemerida, što doprinosi povećanju tačnosti.

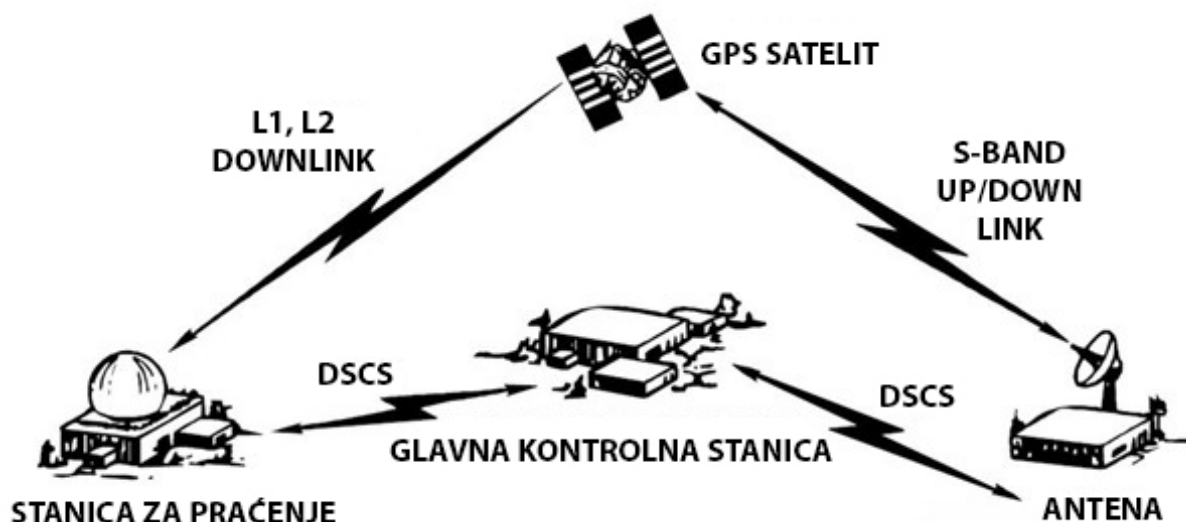
Zemaljske antene, preko S-opsega radio signala, šalju satelitima efemeride i informacije o korekciji časovnika unutar navigacione poruke, kao i komandnu telemetriju iz USAF. Svaki satelit može biti ažuriran tri puta dnevno, odnosno svakih osam sati. Međutim, obično se ažurira samo jednom dnevno. Antene su postavljene na četiri lokacije i to: ostrvo Asension, Kejpu Kanaveral, Dijego Garsija i Kvajalein.

Princip rada kontrolnog segmenta dat je na slici 2.9.

2.2.1.3 Korisnički segment

Korisnički segment predstavlja krajnji segment u lancu komponenti GNSS. To su, u stvari, prijemnici čija je glavna funkcija prijem GNSS signala, određivanje pseudoduzina i rešavanje navigacionih jednačina u cilju određivanja koordinata tačaka i obezbeđivanja tačnog vremena.

Osnovni elementi generičkog GNSS prijemnika su: antena sa predpojačanjem,



Slika 2.9: Princip rada kontrolnog segmenta (Marković, 2012)

radio-frekvencijski deo, mikroprocesor, oscilator srednje preciznosti, izvor napajanja, memorija za skladištenje podataka i interfejs sa korisnikom. Izračunata pozicija odnosi se na fazni centar antene.

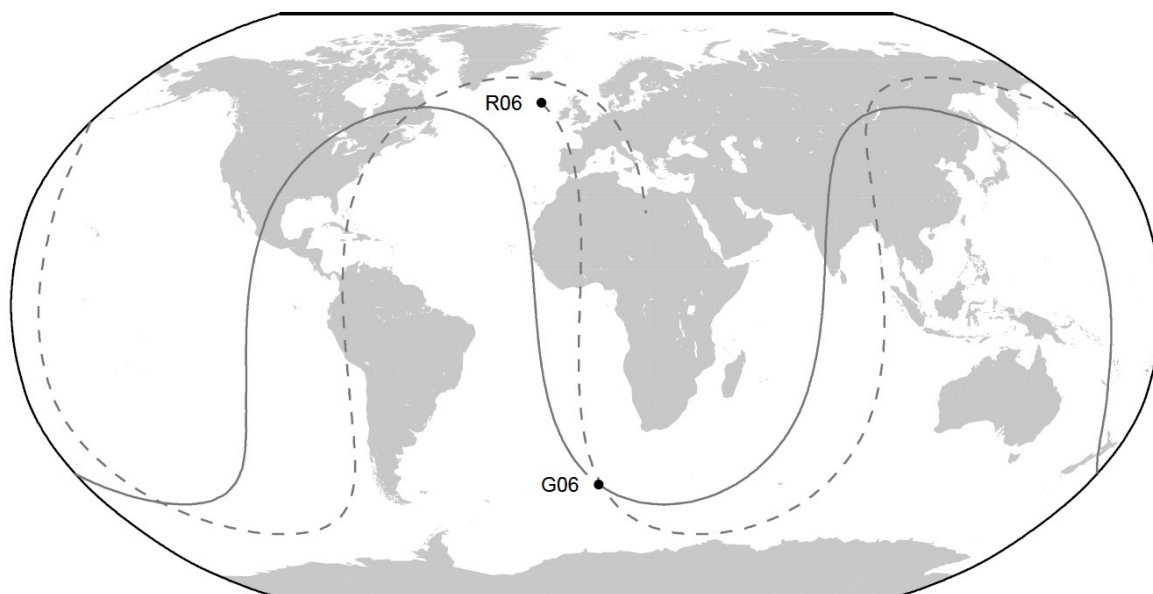
Uzimajući u obzir da većina savremenih prijemnika poseduje sposobnost prijema signala bilo kojeg satelitskog sistema, može se zaključiti da je korisnički segment univerzalan za sve komponente GNSS, stoga opis istog neće biti prikazan u kontekstu preostalih sistema.

2.2.2 GLONASS

2.2.2.1 Kosmički segment

Sateliti GLONASS sistema su u orbiti na visini od 19 100 km iznad površi Zemlje, jednako raspoređenih u 3 orbitalne ravni MEO od po osam satelita, što ukupno čini 24 satelita. Orbitalni period je 11 h 15 min 44 s, s tim da je nagib orbitalne ravni $64,8^\circ$, što doprinosi boljoj pokrivenosti regija na višim latitudama u odnosu na GPS (Dach et al., 2015). Na slici 2.10 dat je prikaz trajektorija jednog GLONASS i jednog GPS satelita.

Usled finansijskih teškoća, broj satelita se smanjio sa 24, koji su bili dostupni 1996. godine, na svega šest u 2001. U avgustu 2001. godine, doneta je odluka o obnovi konstelacije i modernizacije sistema od strane ruske vlade, te su odobrena nova sredstva za finansiranje. Do



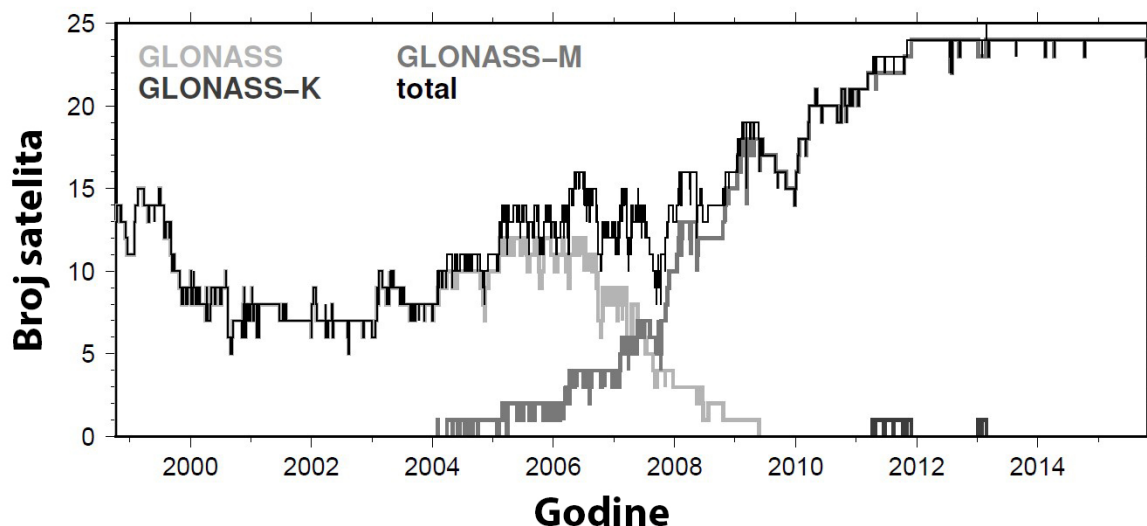
Slika 2.10: Uporedni prikaz trajektorije GLONASS i GPS satelita (Dach et al., 2015)

decembra 2011. godine, konstelacija je ponovo bila kompletna sa ukupno 24 operativna satelita, sa još dva dodatna. Na slici 2.11 prikazana je promena broja satelita u orbiti u periodu od 1996. do 2016. godine. U nastavku, dat je prikaz svih generacija GLONASS satelita (Subirana et al., 2013a).

Prototipovi (Nulta generacija) - prvi prototipovi satelita GLONASS (Uragan) lansirani su u orbitu u oktobru 1982. godine, a između 1982. i 1985. godine lansirano je 18 takvih satelita. Kao i kod GPS satelita, GLONASS sateliti ove generacije su takođe poznati kao sateliti tipa Block 1.

Prva generacija - prvi funkcionalni GLONASS sateliti lansirani su između 1985. i 1990. godine. Postoji više generacija (Block IIa, IIb i IIv), sa različitim projektovanim vekom trajanja. Sateliti su mase od oko 1 250 kg i opremljeni su osnovnim pogonskim sistemom za omogućavanje premeštanja unutar konstelacije. U odnosu na prototip, poseduju povećanu stabilnost frekvencije.

Druga generacija - sateliti ove generacije imaju oznaku GLONASS-M (ili Uragan-M), gde oznaka „M” ukazuje na modernizaciju ili modifikaciju. Razvijani su od 1990. godine, a prvi je poslat u orbitu 2001. godine sa produženim projektovanim vekom trajanja od sedam godina zahvaljujući unapređenjima u pogonskom sistemu i implementacijom cezijumskih časovnika.



Slika 2.11: Promena broja aktivnih satelita u periodu od 1996. do 2016. godine (Dach et al., 2015)

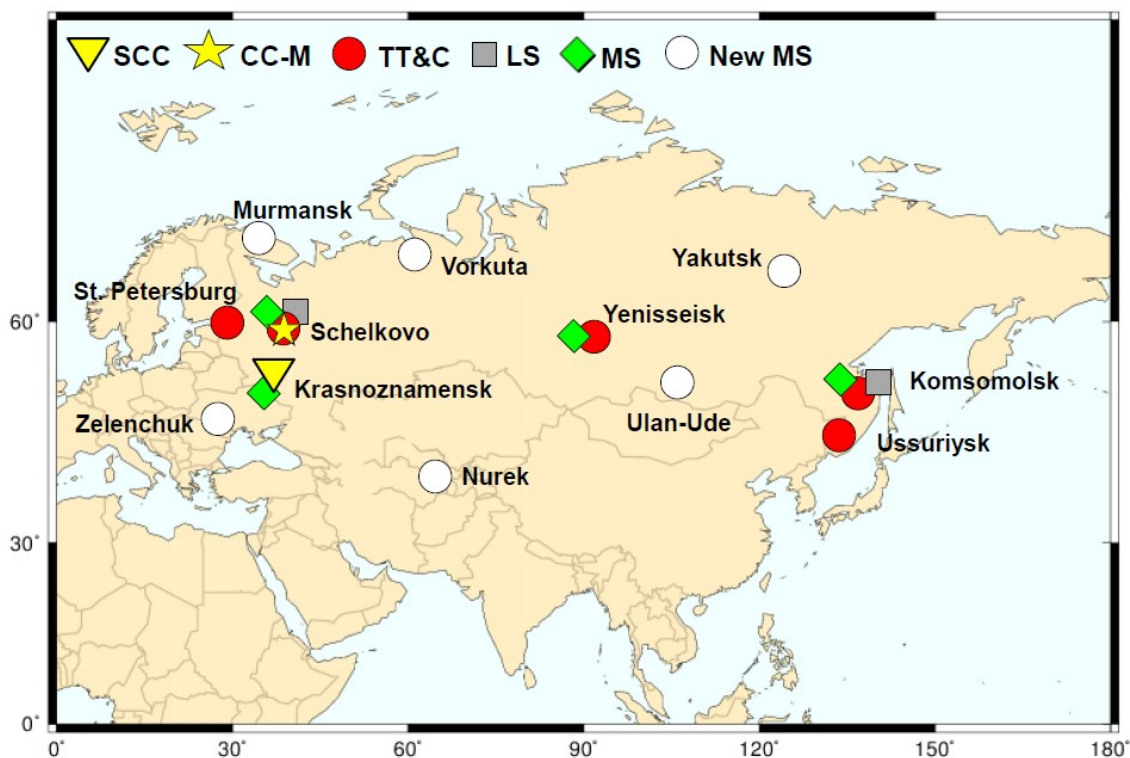
Sateliti su mase od oko 1480 kg, prečnikom od 2,4 m i visinom od 3,7 m, sa dvostrukim solarnim panelima dužine 7,2 m. Takođe su opremljeni laserskim reflektorima za precizno određivanje orbite i geodetska istraživanja. U ovoj generaciji satelita obezbeđen je drugi civilni signal u G2 frekvencijskom opsegu, što omogućava civilnim korisnicima eliminisanje jonosferske refrakcije.

Treća generacija - sateliti ove generacije nose oznaku GLONASS-K (ili Uragan-K). Sateliti imaju projektovan vek trajanja od 10 do 12 godina i smanjenu težinu od samo 750 kg. Obezbeđen je novi signal za višestruki pristup deljenjem koda (CDMA) za civilne primene u novom G3 opsegu, sa uključenom opcijom za pretragu i spasavanje (SAR). Prvi satelit GLONASS-K lansiran je 26. februara 2011. godine.

Pun operativni kapacitet (FOC) - konstelacija je dostigla FOC 8. decembra 2011. godine, nakon što je satelit lansiran 4. novembra proglašen operativnim u 11:42 po moskovskom vremenu. Sa 24 operativna satelita, ovakva GLONASS konstelacija omogućava kompletno pokrivanje površi Zemlje.

2.2.2.2 Kontrolni segment

Kontrolni segment GLONASS, poput kontrolnog segmenta GPS, služi za nadgledanje statusa satelita, određivanje efemerida i odstupanja časovnika, te se dva puta dnevno emituju navigacione poruke ka satelitima. Ovaj segment obuhvata: Centar za sistemsku kontrolu (SCC), koji se nalazi u Krasnoznamensku (Moskovski region), mrežu stanica za komandovanje i praćenje, koje se u potpunosti nalaze na teritoriji bivšeg Sovjetskog Saveza i Centralni sinhronizator (CC-M) – sistemski časovnik koji se nalazi u Ščelkovu (Moskovski region). U centru za sistemsku kontrolu procesuiraju se informacije sa stanica za komandovanje i praćenje kako bi se odredilo stanje časovnika i orbita satelita, na osnovu čega se ažuriraju navigacione poruke za svaki satelit. Stanice za komandovanje i praćenje čine glavnu mrežu od pet stanica za telemetriju, praćenje i kontrolu raspoređenih širom ruske teritorije (u Sankt Peterburgu, Ščelkovu, Jenisejsku, Komsomolsku i Ussurijsku), od kojih su neke opremljene laserskim merenjem, kao i drugim nadzornim objektima. Centralni sinhronizator je odgovoran za održavanje tačnog vremena GLONASS sistema (Russian Institute of Space Device Engineering, 2008). Na slici 2.12 prikazana je infrastruktura kontrolnog segmenta GLONASS.

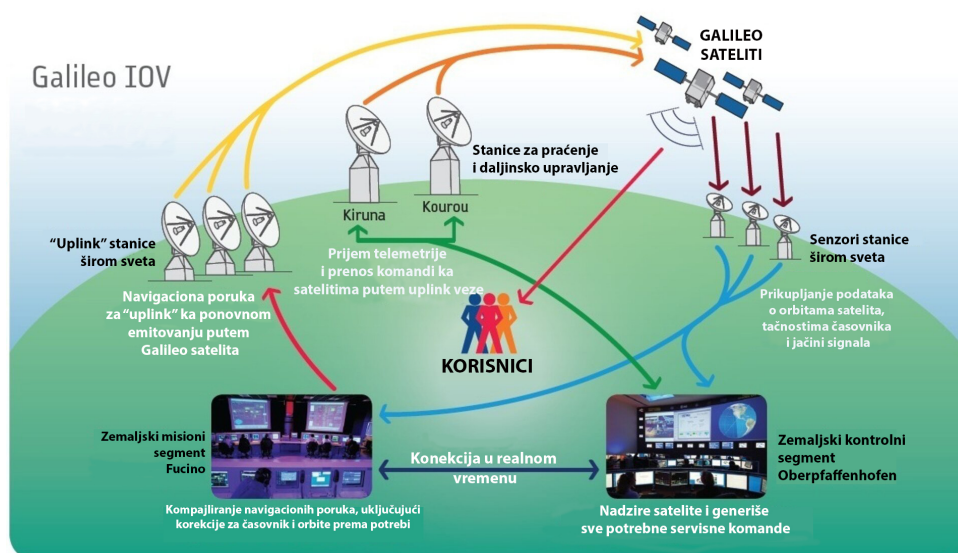


Slika 2.12: Infrastruktura kontrolnog segmenta GLONASS (Subirana et al., 2013a)

2.2.3 GALILEO

2.2.3.1 Kosmički segment

Galileo je razvijen od strane Evropske unije (EU) i Evropske svemirske agencije (ESA) pod upravljanjem Evropske agencije za svemirski program (EUSPA), koji takođe nadgleda Evropski geostacionarni navigacioni sistem (EGNOS). Za razliku od GPS, koji je vojnog porekla, Galileo je primarno namenjen civilnoj upotrebi i stoga je pod civilnom kontrolom. Ovaj sistem pruža kontinuiranu uslugu i funkcioniše nezavisno, te je i kompatibilan sa drugim GNSS sistemima. Kada dostigne FOC nivo, sistem će obuhvatati 30 satelita raspoređenih u fazama, zajedno sa pratećim kontrolnim segmentom (Cabanillas, 2021). Na slici 2.13 prikazana je arhitektura Galileo sistema.



Slika 2.13: Arhitektura Galileo sistema (European Space Agency, 2023)

Galileo sateliti su u kružnoj orbiti na visini od 23 222 km sa nagibom od 56° . Sistem uključuje 3 ravnomerno raspoređene orbitalne ravni, sa 10 ravnomerno raspoređenih satelita po ravni, uz dva rezervna satelita koja takođe emituju signale. Orbitalni period satelita je 14 h 4 min i 45 s, s tim da je najmanje 6 satelita uvek vidljivo. Postizanje FOC obavlja se u tri faze, što je objašnjeno u nastavku poglavlja (Subirana et al., 2013a).

Eksperimentalna faza - dva eksperimentalna MEO satelita, GIOVE-A i GIOVE-B (slika 2.14), lansirana su u periodu između 2005. i 2008. godine kao deo „Galileo In-Orbit Validation”

(GIOVE) u cilju: očuvanja i upravljanja Galileo frekvencijom u skladu sa Međunarodnom telekomunikacionom unijom (ITU), verifikacijom tehnologija koje će se koristiti u operativnom klasteru Galileo sistema, praćenjem uslova na MEO i generisanja Galileo signala za razvoj korisničke opreme. GIOVE-A, razvijen od strane Surrey Satellite Technology Ltd. (SSTL), lansiran je 28. decembra 2005 godine. Sa masom od oko 600 kg, na sebi ima dva redundantna rubidijumova atomska časovnika, sa dnevnom stabilnošću od 10 ns. Njegov planirani vek trajanja od 27 meseci produžen je da bi se osigurao kontinuitet validacije u orbiti pre lansiranja GIOVE-B i posle toga. GIOVE-B, razvijen od strane Astrium i Thales Alenia Space, uspešno je lansiran 27. aprila 2008. godine. Njegova masa i očekivani vek trajanja su slični kao kod GIOVE-A, sa tim da satelit ima četiri redundantna časovnika: dva rubidijumova atomska časovnika sa stabilnošću od 10 ns i dva pasivna vodonikova mazerska časovnika, sa stabilnošću od 1 ns na dnevnom nivou.



(a) GIOVE-A



(b) GIOVE-B

Slika 2.14: Prototipovi Galileo satelita (Bartolomé et al., 2014)

Faza orbitalne validacije (IOV) - ova faza podrazumeva pripremu i ocenu kosmičkog i korisničkog segmenta Galileo sistema kroz opsežne testove u orbiti i na Zemlji. Tokom ove faze, lansirana su četiri operativna satelita čime su dopunjena dva eksperimentalna satelita (GIOVE-A i GIOVE-B) koja su već u orbiti. Prva dva operativna satelita lansirana su i postavljena na prvu orbitalnu ravan 21. oktobra 2011. godine raketom Sojuz. Preostala dva satelita lansirana su 12. oktobra 2012. godine i postavljena na drugu orbitalnu ravan. Svaki satelit ima masu od oko 700 kg i kombinuje dva rubidijumova i dva pasivna vodonikova mazerska časovnika sa snažnim predajnikom za emitovanje preciznih navigacionih podataka.

Pun operativni kapacitet (FOC) - predstavlja ključni segment dizajniran da pruža visoko precizno pozicioniranje pod civilnom kontrolom. Ova faza uključuje raspoređivanje operativnih satelitskih konstelacija koje obezbeđuju potpunu i neprekidnu globalnu pokrivenost. Od početka FOC faze 2014. godine, lansirano je ukupno 30 satelita koji čine ovu operativnu mrežu. Poslednje lansiranje dogodilo se 5. decembra 2021. godine. Ovi sateliti su opremljeni sofisticiranom tehnologijom, uključujući dva tipa atomskih časovnika: rubidijumskog i pasivnog vodonikovog mazerskog časovnika (eoPortal, 2024). U planu je i lansiranje dodatnih šest satelita u narednim godinama u cilju proširenja funkcionalnosti sistema, kao i zamena neoperativnih satelita i poboljšanje ukupne robustnosti sistema (Pont et al., 2023).

2.2.3.2 Kontrolni segment

Galileo kontrolni segment podeljen je na dva dela: Zemaljski kontrolni segment (GCS) i Zemaljski misioni segment (GMS). Za operativno upravljanje i kontrolu konstelacije satelita zadužen je GCS, dok se GMS fokusira na generisanje i distribuciju navigacionih podataka, osiguravajući tačnu i pouzdanu dostavu usluga korisnicima. U nastavku poglavlja date su detaljnije informacije o svakom segmentu (Bartolomé et al., 2014).

Segment GCS sistema Galileo odgovoran je za upravljanje konstelacijom Galileo tokom normalnog funkcionisanja sistema. Da bi postigao ovaj cilj, GCS može razmenjivati signale za praćenje i kontrolu sa pojedinačnim satelitima Galileo tokom zakazanih kontakata. Osim podataka za praćenje i kontrolu, GCS može prenositi i podatke misije Galileo kroz kanal za telekomandni „uplink” kako bi osigurao kontinuitet navigacionih usluga Galileo u režimima rada smanjenih kapaciteta GMS.

Elementi GCS sistema Galileo locirani su širom sveta i obuhvataju dve glavne vrste objekata i to:

1. Centri za kontrolu konstelacije Galileo (GCC) - zaduženi za praćenje i kontrolu konstelacije satelita, planiranje konstelacije, dinamike leta i pripremu operacija, kao i implementacija mrežnog interfejsa GCS sa spoljnim entitetima Galileo koji su uključeni u operacije sistema, kao što su Evropski centar za koordinaciju svemirskih komponenti (ESCC) i Stanica za testiranje u orbiti (IOT) koja se nalazi u Reduu, Belgija.

2. Stanice za telemetriju, praćenje i komandovanje (TT&C) - predstavljaju globalnu mrežu stanica za telemetriju, praćenje i kontrolu ili objekata povezanih sa Galileo kontrolnim centrima. Mreža objekata za telemetriju, praćenje i komandovanje (TTCF) obuhvata stanice na 6 lokacija. Svaki TTCF podržava telemetrijski (TM) „downlink”, telekomandni (TC) „uplink” i takođe može podržavati prikupljanje podataka o praćenju satelita za upravljanje konstelacijom. Poslati podaci TC signala i primljeni TM podaci, zajedno sa podacima za praćenje i kontrolu TT&C, razmenjuju se između TT&C stanica i GCC preko odgovarajuće komunikacione mreže. Pod normalnim operativnim uslovima, TTCF su autonomni i manuelna intervencija je potrebna samo u svrhu ispitivanja pojave anomalija ili održavanja. U rutinskim operacijama, TT&C stanice se koriste za slanje TC i prijem TM sa Galileo satelita preko radio-frekventnih (RF) kanala za prenos podataka. Osim što podržavaju rutinske zadatke održavanja satelita, preko TTCF je moguće prikupljati podatke o praćenju satelita. Veza između stanice TTCF i Galileo satelita uspostavlja se preko antene visine 11 m i to na specifično dodeljenim RF S opsezima, između 2 GHz_z i 2,2 GHz_z. Na slici 2.15 prikazana je jedna takva antena.



Slika 2.15: Antena TTCF S-opsega (Bartolomé et al., 2014)

2.2.4 BEIDOU

2.2.4.1 Kosmički segment

Narodna Republika Kina sprovodi svemirske aktivnosti od 1970. godine, radom na prvom satelitu. Ideja o satelitskoj navigaciji se razvijala od osamdesetih godina prošlog veka, prateći regionalni koncept sistema sličan onom koji je predložila i izgradila američka korporacija GEOSTAR. Koncept predviđa upotrebu dva satelita u Geostacionarnoj orbiti (GEO) za određivanje pozicije metodom dvosmernog merenja rastojanja. Godine 1989., dva komunikaciona satelita uspešno su korišćena za prve testove u okviru programa „Twin-Star”. Godine 1993., Kina je odlučila da implementira nezavisan navigacioni sistem nazvan BeiDou. Ime BeiDou označava sedmozvezdano sazvežđe poznato kao Veliki medved ili Velika kola, koje je inače vekovima korišćeno za identifikaciju zvezde Polaris, koja označava pravac severa na severnoj hemisferi (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

Izgradnja i razvoj BeiDou navigacionog satelitskog sistema (BDS) podeljeni su u tri faze i to:

Prva faza (BDS-1) - predstavlja realizaciju regionalnog koncepta sistema „Twin-Star”. Primenuje se sistem dvosmernog merenja rastojanja, pri čemu se signali emituju iz kontrolnog centra ka satelitima i prosleđuju korisniku. Signal se zatim od satelita šalje nazad u kontrolni centar. U kontrolnom centru se zatim transformišu merenja u informacije o poziciji, koje se zatim šalju korisniku. Prva dva navigaciona satelita lansirana su 2000. godine. Treći satelit je lansiran 2003. godine, kao aktivna rezerva. Sateliti su označeni kao BeiDou-1A, 1B i 1C, a u literaturi su poznati i kao testni navigacioni sateliti BeiDou (BNTS). Sva tri satelita postavljena su u GEO orbitu. Sistem je obuhvatao područje od 5° do 55° severne geografske širine, kao i od 70° do 140° istočne geografske dužine. Iako se bilo koji par satelita može koristiti za određivanje pozicije, sateliti BeiDou-1A i 1B pružaju najbolju geometriju. S obzirom da BDS-1 koristi koncept dvosmernog merenja rastojanja sa signalima koji potiču iz kontrolnog centra, sateliti ne zahtevaju visoko precizne časovnike. U svakom slučaju, radi tačnog određivanja pozicije korisnika, pozicije satelita moraju se neprekidno nadgledati i određivati.

Druga faza (BDS-2) - poznat i pod imenom COMPASS, predstavlja proširenje BDS-1, tako da je u BDS-2 proširena funkcionalnost radi pružanja regionalne i globalne navigacione usluge.

Sistem uključuje satelite u tri različita tipa orbita i to: 5 do 6 GEO satelita, 5 do 7 satelita u nagnutoj geosinhronoj orbiti (IGSO) i 27 MEO satelita. Civilni signal obezbeđuje tačnost pozicioniranja od 10 m, tačnost brzine od $0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i tačnost merenja vremena od 50 ns.

Treća faza (BDS-3) - predstavlja proširenje BDS-1 i BDS-2 u cilju pružanja potpunog globalnog satelitskog navigacionog sistema, konkurentnog drugim GNSS. Poput BDS-2, BDS-3 uključuje satelite u tri različita tipa orbita i to: 24 MEO satelita, 3 IGSO satelita i 3 GEO satelita. Sistem koristi naprednije satelite sa poboljšanom tačnošću signala, stabilnošću i dodatnim frekvencijskim opsezima, što poboljšava kompatibilnost i interoperabilnost sa drugim navigacionim satelitskim sistemima. Prvi satelit lansiran je 30. marta 2015. godine. Sistem je zvanično postigao FOC 23. juna 2020. godine sa dva nivoa usluge: otvorenu uslugu koja pruža tačnost pozicioniranja od oko 10 m globalno i ograničenu uslugu koja nudi veću tačnost i namenjena je ovlašćenim korisnicima (BeiDou-SIS-ICD, 2019).

2.2.4.2 Kontrolni segment

Kontrolni segment je paralelno razvijan sa kosmičkim segmentom tokom sve tri faze (od BDS-1 do BDS-3). Svaka faza razvoja podrazumevala je i unapređenje zemaljske infrastrukture u cilju podržavanja povećane sposobnosti i pokrivenosti satelitske konstelacije (BeiDou-SIS-ICD, 2019).

Kontrolni segment BDS-1 je pokrenut tokom 2000-tih, te je uglavnom podržavao regionalni navigacioni sistem koji je pokrivao Kinu i neke regije susednih država. To je podrazumevalo ograničen broj stanica koje su locirane unutar Kine i bile su zadužene za kontrolu i praćenje nekoliko GEO satelita. U glavnoj kontrolnoj stanici se upravljalo celokupnim radom satelitske konstelacije, uključujući rutinske kontrolne komande i provere sistema.

Prelaskom na BDS-2, kontrolnom segmentu je povećan broj stanica i to unutar i izvan Kine, povećavajući pokrivenost i tačnost sistema. Uspostavljeno je više glavnih kontrolnih centara za upravljanje proširenom konstelacijom, što je pored GEO satelita uključivalo i MEO i IGSO satelite. Pored toga unapređeni su i objekti za slanje navigacionih poruka i sistemskih komandi, osiguravajući pouzdano funkcionisanje i pružanje usluga.

Što se tiče kontrolnog segmenta BDS-3, znatno je složeniji i robustniji, te obuhvata globalnu

mrežu zemaljskih stanica širom sveta, uključujući nove i nadograđene stanice BDS-2. Više visokotehnoloških glavnih kontrolnih centara radi sa poboljšanim računarskim sposobnostima za upravljanje složenom konstelacijom uključujući MEO, IGSO i GEO satelite.

2.3 Struktura signala

Sateliti GNSS kontinuirano šalju navigacione signale na dve ili više frekvencija unutar L opsega. Ovi signali obuhvataju kodove za merenje rastojanja i navigacione podatke, što korisnicima omogućava računanje vremena prenosa signala od satelita do prijemnika, kao i pozicije satelita u bilo kojem vremenskom trenutku. Osnovne komponente signala definisane su na sledeći način (Subirana et al., 2013a):

- nosilac - radio-frekventni sinusoidalni signal na određenoj frekvenciji,
- kod za merenje rastojanja - nizovi nula i jedinica koji omogućavaju prijemniku utvrđivanje vremena prenosa radio signala od satelita do prijemnika, poznatiji kao PRN sekvence ili PRN kodovi i
- navigacioni podaci - binarno kodirane poruke koje sadrže informacije o efemeridama satelita, vrednostima parametara koji utiču na časovnik, almanahu (sa setom podataka o efemeridama smanjene preciznosti), statusu stanja satelita i drugim relevantnim informacijama.

Na slici 2.16 prikazani su frekvencijski opsezi koji su određeni Službi satelitske radionavigacije (RNSS). U pitanju je gornji deo L opsega ($1559 - 1610 \text{ MHz}$) rezervisano za GPS L1, Galileo E1, GLONASS G1 i Beidou B1 opsege, kao i donji deo nižeg L opsega ($1151 - 1214 \text{ MHz}$) rezervisano za GPS L5, GLONASS G3, Galileo E5 i Beidou B2 opsege.

Signali GPS L2, GLONASS G2, Galileo E6 i Beidou B3 nalaze se u opsezima od $1215,6 \text{ MHz}$ do 1350 MHz . Signali u ovim opsezima su podložniji smetnjama u odnosu na prethodne.

2.3.1 GPS signali

Kao što je već napomenuto, GPS signali se nalaze u L opsegu kao Link 1 (L1) i Link 2 (L2) opsezi. Frekvencije L1 i L2 su izvedene iz osnovne frekvencije $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$, koja se direktno generiše atomskim časovnikom instaliranim na satelitu i to (Subirana et al., 2013a):

$$L1 = 154 \cdot 10,23 \text{ MHz} = 1575,420 \text{ MHz}$$

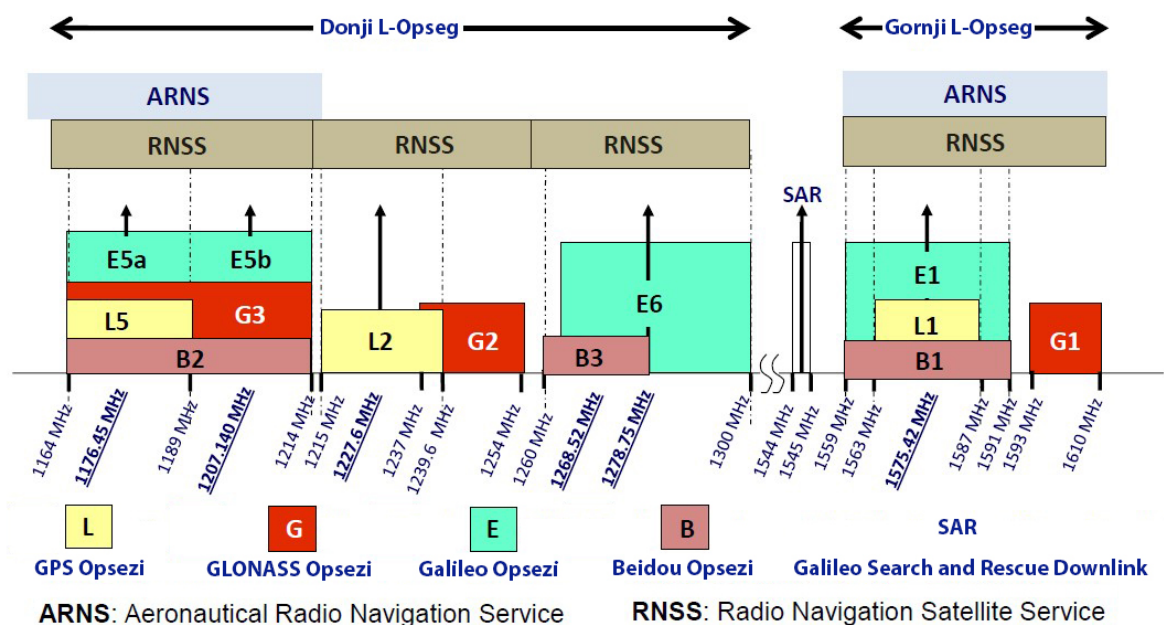
$$L2 = 120 \cdot 10,23 \text{ MHz} = 1227,600 \text{ MHz}.$$

Na frekvencijama L1 i L2 modulirani su PRN kodovi kao i poruke, tj.:

- „Coarse-Acquisition” kod (C/A), poznat i kao civilni kod $C(t)$, modulisan samo na L1 i osnova je pri upotrebi standardnog servisa za pozicioniranje (SPS),
- precizni kod $P(t)$, rezervisan za vojnu upotrebu i ovlašćene civilne korisnike, modulisan je i na L1 i na L2 i osnova je pri upotrebi preciznog servisa za pozicioniranje (PPS) i
- navigaciona poruka $D(t)$ - takođe modulirana na obe frekvencije, pruža informacije o efemeridama i „driftu” satelitskog sata, koeficijentima jonosferskog modela i statusu konstelacije i sl.

Na slici 2.17 šematski je prikazana struktura GPS signala. Detaljnije informacije o tehnikama slanja različitih signala na istoj RF, kao i metodama modulacije signala date su u (Rodríguez, 2008).

Tokom 2005. godine započeta je modernizacija sistema, lansiranjem prvog IIR-M satelita, koji su podržavali novi vojni M signal i drugi civilni signal L2C. Signal L2C je posebno dizajniran za komercijalne potrebe, omogućavajući razvoj niskobudžetnih, dvostruko frekventnih civilnih GPS prijemnika. U decembru 2010. godine devet GPS satelita emitovalo je L2C kod. Sateliti generacije Block IIF imaju mogućnost emitovanja signala i na novoj frekvenciji, poznatoj kao L5. Civilni signal L5C je dizajniran za korisnike SoL aplikacija. Sateliti Block III generacije emituju još jedan civilni signal - L1C. Ovaj signal je dizajniran kako bi postojala interoperabilnost između GPS i ostalih GNSS sistema. U tabeli 2.1 prikazani su svi signali emitovani sa GPS satelita.



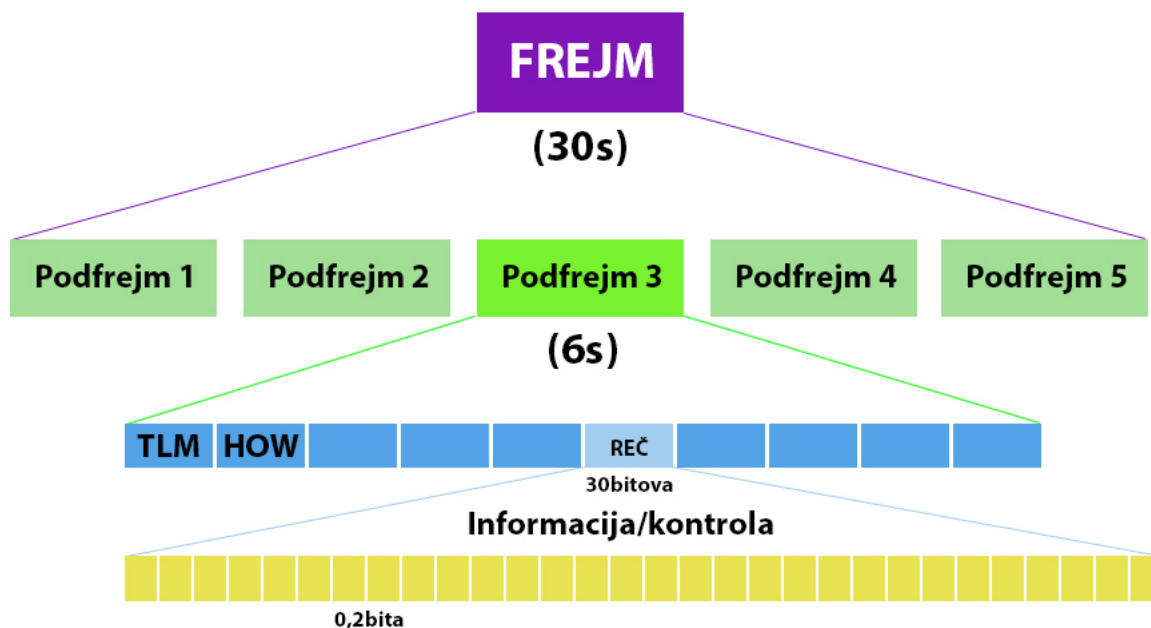
Slika 2.16: Opsezi frekvencija u GNSS (Subirana et al., 2013a)

Tabela 2.1: Lista svih GPS signala

Signal	Frekvencija [MHz]	PRN kod	Vrsta servisa
L1	1575,420	C/A	Civilni
		P(Y)	Vojni
		M	Vojni
		L1C	Civilni
L2	1227,600	P	Vojni
		L2C	Civilni
		M	Vojni
L5	1176,450	L5	Civilni

2.3.1.1 GPS navigaciona poruka

Antene kontrolnog segmenta emituju navigacione podatke ka svim satelitima, koji se potom šalju korisnicima putem navigacione poruke (LNAV). Navigaciona poruka sadrži sve neophodne informacije koje omogućavaju korisnicima određivanje pozicije poput efemerida potrebnih za precizno određivanje koordinata satelita, vremenskih parametara i korekcija satelitskih



Slika 2.18: Struktura GPS navigacione poruke

- „podfrejm 1” sadrži informacije o parametrima za korekciju statusa satelitskog časovnika, kao i informacije o stanju satelita,
- „podfrejm 2” i „podfrejm 3” sadrže satelitske efemeride,
- „podfrejm 4” obezbeđuje parametre jonsoferskog modela, informacije o koordinisanom univerzalnom vremenu (UTC), deo almanaha i indikacije o tome da li je „Anti-Spoofing” (A/S) aktiviran i
- „podfrejm 5” sadrži podatke o almanahu i o statusu konstelacije.

Sadržaji „podfrejmova” 4 i 5 su zajednički za sve satelite. Stoga se podaci almanaha za sve satelite u orbiti mogu dobiti od jednog satelita.

Modernizacijom GPS sistema uvedena su četiri nova tipa navigacione poruke i to: civilnom navigacionom porukom (CNAV), CNAV-2, L5-CNAV i vojnom navigacionom porukom (MNAV), s tim da su prve tri poruke za civilne potrebe, dok je MNAV za vojne potrebe.

Poruke CNAV i MNAV imaju sličnu strukturu i modernizovan format podataka. Novi format omogućava veću fleksibilnost, bolju kontrolu i poboljšan sadržaj. Njegov dizajn zamenjuje upotrebu „frejmova” i „podfrejmova” podataka originalne LNAV poruke pomoću

komunikacionog protokola zasnovanog na paketima, gde se pojedinačne poruke mogu emitovati u fleksibilnom redosledu sa različitim ciklusima ponavljanja. Pored toga, u primeni je i unapređena korekcija grešaka (FEC) i napredna detekcija grešaka (CRC) u cilju smanjenja grešaka i smanjenja vremena prikupljanja podataka. Navigaciona poruka L5-CNAV je modulirana na L5, a u osnovi sadrži iste informacije kao LNAV i CNAV samo u drugačijem formatu, dok CNAV-2 pruža tačnije podatke od CNAV. Detaljniji opis strukture CNAV/LNAV dat je u (Flores and Nicholas, 2021).

2.3.2 GLONASS signali

Signali GLONASS se takođe nalaze u L opsegu, sa oznakom G1, G2 i G3. Za razliku od GPS satelita koji dele iste frekvencije, svaki GLONASS satelit emituje signal na određenoj frekvenciji unutar L opsega. Po ovom principu, frekvencija koju emituje satelit određuje broj frekvencijskog kanala satelita k i omogućava prijemnicima identifikaciju satelita (Subirana et al., 2013a).

Frekvencija prenosa GLONASS signala na G1 i G2 opsegu može se odrediti na osnovu broja frekvencijskog kanala k i to:

$$\begin{aligned} G1 : f_1(k) &= 1602 + k \cdot \frac{9}{16} = (2848 + k) \cdot \frac{9}{16} \text{ MHz} \text{ i} \\ G2 : f_2(k) &= 1246 + k \cdot \frac{7}{16} = (2848 + k) \cdot \frac{7}{16} \text{ MHz.} \end{aligned}$$

Signal CDMA na G3 opsegu je na frekvenciji $f = 1202,025 \text{ MHz}$.

Brojevi frekvencijskog kanala su predviđeni da obezbede 24 kanala, i to $k = 1, \dots, 24$, ali prema smernicama Međunarodne unije za elektronske komunikacije (IECU), svi GLONASS sateliti lansirani posle 2005. godine morali su koristiti $k = -7, \dots, 6$. Ova promena je uvedena kako bi se izbegla interferencija sa frekvencijama radio-astronomije i satelitskim komunikacionim uslugama. Smanjenje sa 24 na 12 kanala je kompenzovano na način da dva satelita u istoj orbiti emituju na istoj frekvenciji, ali zauzimaju dijametralno suprotne lokacije. Kao rezultat, nikada neće biti istovremeno vidljivi od strane korisnika na površini Zemlje.

Kao i kod GPS, C/A kod je inicijalno modulisan samo na G1 opsegu, dok je vojni P kod modulisan i na G1 i na G2. Međutim, GLONASS-M sateliti takođe emituju C/A signal u

G2 frekvencijskom opsegu. Za razliku od GPS, kod GLONASS sistema PRN sekvence takvih kodova su zajedničke za sve satelite, jer prijemnik identifikuje satelit prema frekvenciji.

2.3.2.1 GLONASS navigaciona poruka

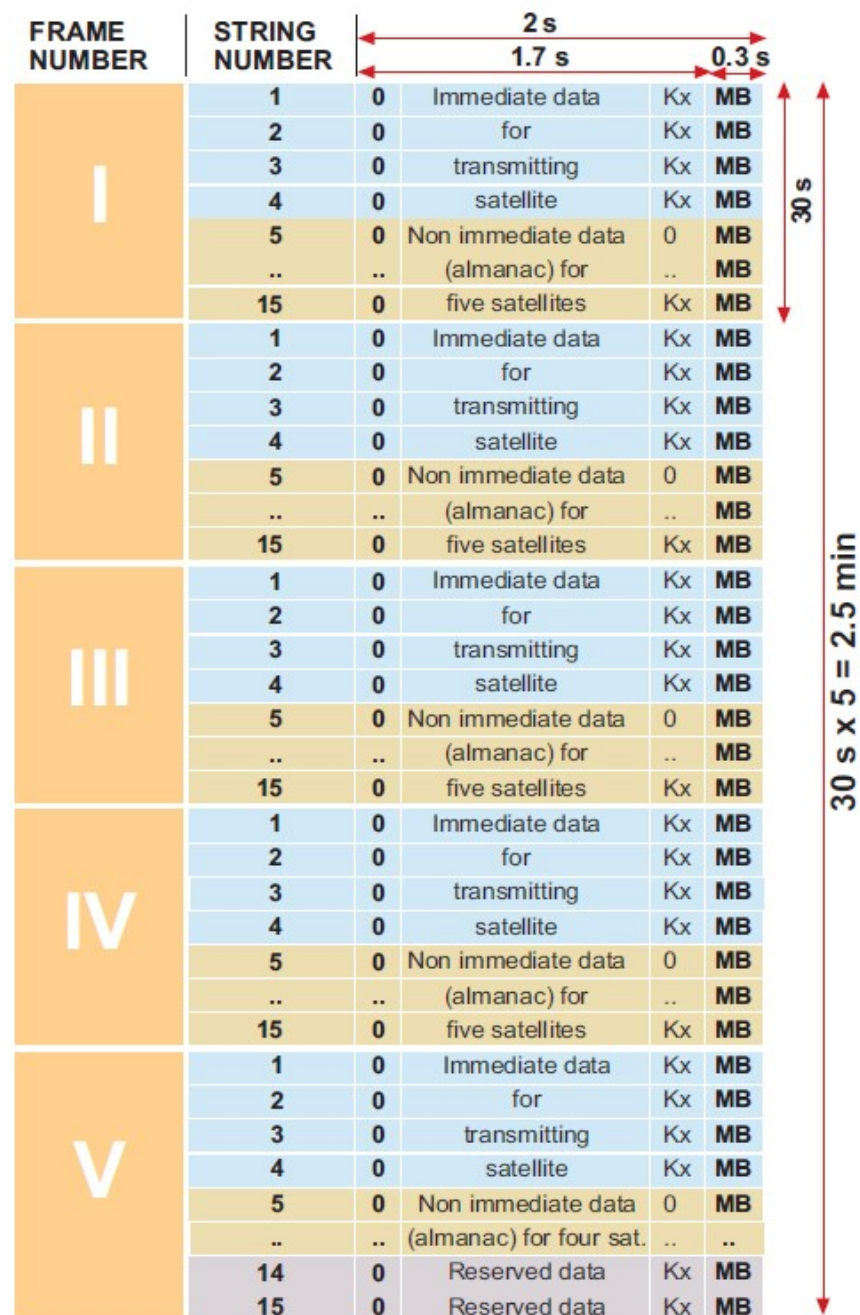
GLONASS sateliti modulišu jednu navigacionu poruku na C/A i jednu na P signalu, pri čemu svaka poruka korisnicima pruža neophodne informacije za pozicioniranje. Navigaciona poruka C/A emituje se kao kontinuirano ponavljajući „superfrejm” u trajanju od 2,5 minuta. Svaki „superfrejm” se sastoji od pet „frejmova” po 30 sekundi, a svaki „frejm” se sastoji od 15 „stringova” po 2 sekunde trajanja (Subirana et al., 2013a). Na slici 2.19 prikazana je struktura navigacione poruke.

Sadržaj poruke se deli na trenutne podatke emitujućeg satelita i ne-trenutne podatke za ostale satelite. Trenutni podaci se ponavljaju u prva četiri „stringa” svakog „frejma” i sadrže parametre efemerida, odstupanja satelita, oznaku stanja satelita i relativnu razliku između frekvencije satelita i njegove nominalne vrednosti. Ne-trenutni podaci se emituju u „stringovima” od 5 do 15 svakog „frejma” (almanah za 24 satelita). „Frejmovi” I do IV sadrže almanah za 20 satelita (po 5 po „frejmu”), dok peti „frejm” sadrži almanah za 4 satelita. Poslednja dva „stringa” petog „frejma” su rezervisani bitovi (almanah svakog satelita koristi dva „stringa”).

Struktura navigacione poruke visoko preciznog signala (P) nije zvanično objavljena, ali su je različite istraživačke grupe dešifrovale. Prema tim istraživanjima, svaki satelit prenosi „superfrejm” koji se sastoji od 72 „frejma”, od kojih svaki sadrži pet „stringova” po 100 bita. Prenos jednog „frejma” traje 10 sekundi, tako da je ukupna dužina poruke 12 minuta. Prva tri „frejma” sadrže efemeride za prenoseći satelit.

2.3.3 Galileo signali

Signali Galileo sistema nalaze se u četiri frekventna opsega E1, E5 (E5a i E5b) i E6, omogućavajući širok opseg prenosa signala (European Union, 2023). U tabeli 2.2 dat je prikaz signala Galileo sistema sa odgovarajućim frekvencijama.



Slika 2.19: Struktura GLONASS navigacione poruke (Subirana et al., 2013a)

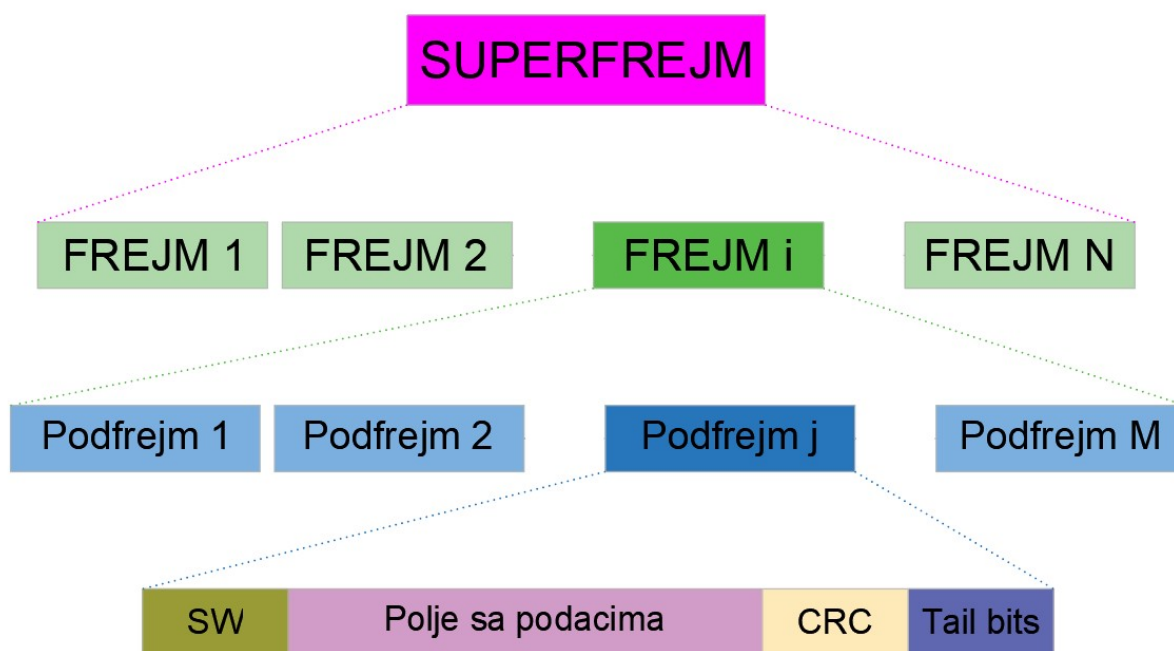
2.3.3.1 Galileo navigaciona poruka

Galileo sateliti emituju četiri navigacione poruke pod nazivom: slobodno dostupna navigaciona poruka (F/NAV), navigaciona poruka o integritetu (I/NAV), komercijalna navigaciona poruka (C/NAV) i vladina navigaciona poruka (G/NAV) (Subirana et al., 2013a).

Tabela 2.2: Lista svih Galileo signala

Signal	Frekvencija [MHz]	Vrsta signala
E1	1575,420	Javno regulisani servis (PRS) Otvoreni servis (OS), Komercijalni servis (CS), SoL
E5	1191,795	
E5a	1176,450	OS
E5b	1207,140	OS, CS, SoL
E6	1278,750	PRS CS

Kompletna navigaciona poruka se prenosi kao sekvenca „frejmova”. „Frejm” se sastoji od određenog broja „podfrejmova”, a „podfrejm” se sastoji od nekoliko stranica. Struktura Galileo navigacione poruke data je na slici 2.20.



Slika 2.20: Struktura Galileo navigacione poruke

Na slici 2.20, stranica počinje rečju za sinhronizaciju (SW) nakon koje sledi polje sa podacima. Nakon polja sa podacima, sledi polje CRC radi detekcije prijema oštećenih podataka. Na kraju stranice sledi polje FEC.

2.3.4 Beidou signali

Beidou sateliti emituju signale na tri radio frekvencije u L opsegu pod nazivom B1, B2 i B3. U tabeli 2.3 dat je prikaz signala Beidou sistema sa odgovarajućim frekvencijama.

Tabela 2.3: Lista svih Beidou signala (Subirana et al., 2013a)

Signal	Frekvencija [MHz]	PRN kod	Vrsta servisa
B1	1561,098	B1-I	Otvoreni
		B1-Q	Autorizovani
B2	1207,14	B2-I	Otvoreni
		B2-Q	Autorizovani
B3	1268,52	B3	Autorizovani

2.3.4.1 Beidou navigaciona poruka

U zavisnosti od strukture, navigacione poruke su formatirane kao D1 i D2 (BeiDou-SIS-ICD, 2019).

Navigaciona poruka D1 se primenjuje kod BDS-2 MEO i IGSO satelita. Brzina prenosa poruke je 50 bita po sekundi. Strukturno, D1 poruka se sastoji od „frejmova”, svaki dužine 600 bita, podeljenih u pet „podfrejmova” od po 120 bita. Kompletan „frejm” se prenosi svakih 12 sekundi.

Sadržaj D1 poruke obuhvata ključne podatke potrebne za određivanje orbite satelita i korekciju časovnika. „Podfrejm 1” pruža informacije o statusu satelita i odstupanju časovnika. „Podfrejmovi 2 i 3” pružaju precizne informacije o orbiti satelita (precizne efemeride), s tim da je u „podfrejmu 3” uključen i almanah, koji nudi opšte informacije o orbiti i status svih satelita unutar konstelacije. „Podfrejmovi 4 i 5” pružaju informacije o vremenu, parametre jonosferskog kašnjenja i poruke vezane za integritet sistema, kao i pomoćne informacije.

Navigaciona poruka D2 se primenjuje kod BDS-3 MEO satelita. Brzina prenosa podataka je 500 bita po sekundi (bps), sa češćim ažuriranjem podataka. Svaki D2 „frejm” ima dužinu od

300 bita i prenosi se svakih 1,2 sekunde.

Struktura D2 poruke, za razliku od D1 poruke, ne uključuje „podfrejmove”, omogućavajući brži i efikasniji prenos informacija. Sadržaj D2 poruke daje informaciju o statusu satelita, odstupanju časovnika, precizne efemeride, vreme i parametre jonosferskog kašnjenja. Brža stopa prenosa D2 poruke je posebno korisna za aplikacije koje zahtevaju visoku preciznost.

2.4 Jednačine opažanja

Osnovne jednačine opažanja za kodna $P_{R,i}^S$ i fazna $L_{R,i}^S$ merenja glase (Karabatić, 2011):

$$P_{R,i}^S = [\vec{r}_R(t_R) - \vec{r}^S(t_R - \tau_R^S)] + c\Delta t_R - c\Delta t^S \quad (2.3)$$

$$L_{R,i}^S = [\vec{r}_R(t_R) - \vec{r}^S(t_R - \tau_R^S)] + c\Delta t_R - c\Delta t^S + \lambda_i N_{R,i}^S, \quad (2.4)$$

gde indeks R označava prijemnik, eksponent S satelit, indeks i broj frekvencije nosećeg talasa. Dalje, $\vec{r}_R$ predstavlja geocentrični vektor stanice (prijemnika) u trenutku prijema signala t_R , $\vec{r}^S$ predstavlja geocentrični vektor ka satelitu u trenutku emitovanja signala $t^S = t_R - \tau_R^S$, τ_R^S jeste vreme putovanja signala od satelita do prijemnika, dok Δt_R i Δt^S predstavljaju odstupanja časovnika prijemnika i satelita respektivno, a c predstavlja brzinu svetlosti. Za fazna merenja, potrebno je uzeti u obzir i faznu neodređenost $\lambda_i N_{R,i}^S$, gde λ_i predstavlja talasnu dužinu noseće frekvencije, a $N_{R,i}^S$ broj celih ciklusa (talasnih dužina) između satelita i prijemnika.

Za postizanje milimetarske tačnosti PPP, pored korekcije odstupanja časovnika, potrebno je uzeti u obzir i ostale izvore grešaka koje utiču na tačnost kodnih i faznih merenja. Sami izvori grešaka mogu se podeliti na: instrumentalne greške (greške satelitskog porekla i greške prijemnika), greške usled geofizičkih procesa i greške pri prostiranju signala. Shodno navedenom, jednačine 2.3 i 2.4 se mogu napisati u sledećem obliku (Karabatić, 2011):

$$P_{R,i}^S = \rho + c\Delta t_R - c\Delta t^S + \Delta\rho_{iono,i} + \Delta\rho_{tropo} + \Delta\rho_{rel} + \Delta\rho_{mp,i} + c\beta_R - c\beta^S + \epsilon_{P,i} \quad (2.5)$$

$$L_{R,i}^S = \rho + c\Delta t_R - c\Delta t^S - \Delta\rho_{iono,i} + \Delta\rho_{tropo} + \Delta\rho_{rel} + \Delta\rho_{mp,i} + \lambda_i\omega + \Delta\rho_{pcv,i} + \lambda_i\alpha_{R,i} + \lambda_i\alpha_i^S + \lambda_iN_i + \epsilon_{L,i}. \quad (2.6)$$

gde je:

- ρ - geometrijsko rastojanje između satelita i prijemnika, tj. $\rho = [\vec{r}_R(t_R) - \vec{r}^S(t_R - \tau_R^S)]$,
- $\Delta\rho_{iono,i}$ - jonosferska refrakcija, zavisi od frekvencije,
- $\Delta\rho_{tropo}$ - troposferska refrakcija,
- $\Delta\rho_{rel}$ - uticaj relativističkih efekata,
- $\Delta\rho_{mp,i}$ - uticaj višestruke refleksije,
- β_R i β^S - uticaji na kodna merenja, a vezani za prijemnik i satelit respektivno,
- $\lambda_i\alpha_{R,i}$ i $\lambda_i\alpha_i^S$ - uticaji na fazna merenja, a vezani za prijemnik i satelit, pomnoženi sa respektivnom talasnom dužinom λ_i ,
- ω - fazna „wind-up” korekcija,
- $\Delta\rho_{pcv,i}$ - uticaj faznog centra antene, zavisi od frekvencije,
- N_i - fazna neodređenost za respektivnu frekvenciju i i
- $\epsilon_{P,i}$ i $\epsilon_{L,i}$ - ostatak nemodelovanih grešaka i belog šuma za kodna i fazna merenja.

2.4.1 Linearna kombinacija opažanja

Zbog različitih potreba, moguće je formirati posebne linearne kombinacije osnovnih faznih ili kodnih merenja. U nastavku poglavlja biće razmatrane neke od linearnih kombinacija koje su primenjene u toku istraživanja.

2.4.1.1 Linearna kombinacija oslobođena uticaja jonosfere

Linearna kombinacija oslobođena uticaja jonosfere definisana je dvema jednačinama (Dach et al., 2015) i to:

$$L_3 = \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2), \quad (2.7)$$

za fazna merenja, kao i:

$$P_3 = \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 P_1 - f_2^2 P_2), \quad (2.8)$$

za kodna merenja.

Na ovaj način moguće je eliminisati jonosfersko kašnjenje prvog reda.

2.4.1.2 Linearna kombinacija oslobođena uticaja geometrije

Kao i u prethodno prikazanom, ova linearna kombinacija je definisana sledećim jednačinama:

$$\begin{aligned} L_4 &= L_1 - L_2 \text{ i} \\ P_4 &= P_1 - P_2. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Ovakva kombinacija u suštini omogućava nezavisnost od uticaja časovnika prijemika i satelita, kao i uticaja orbita i koordinata stanice. Može se koristiti za procenu modela jonosfere s obzirom da nije otklonjeno jonosfersko kašnjenje signala.

2.4.1.3 „Melbourne-Wübbena” linearna kombinacija

Ovom kombinacijom eliminišu se uticaj jonosfere, geometrije, časovnika i troposfere, a definisana je sledećom jednačinom:

$$L_6 = \frac{1}{f_1 - f_2}(f_1 L_1 - f_2 L_2) - \frac{1}{f_1 + f_2}(f_1 P_1 + f_2 P_2). \quad (2.10)$$

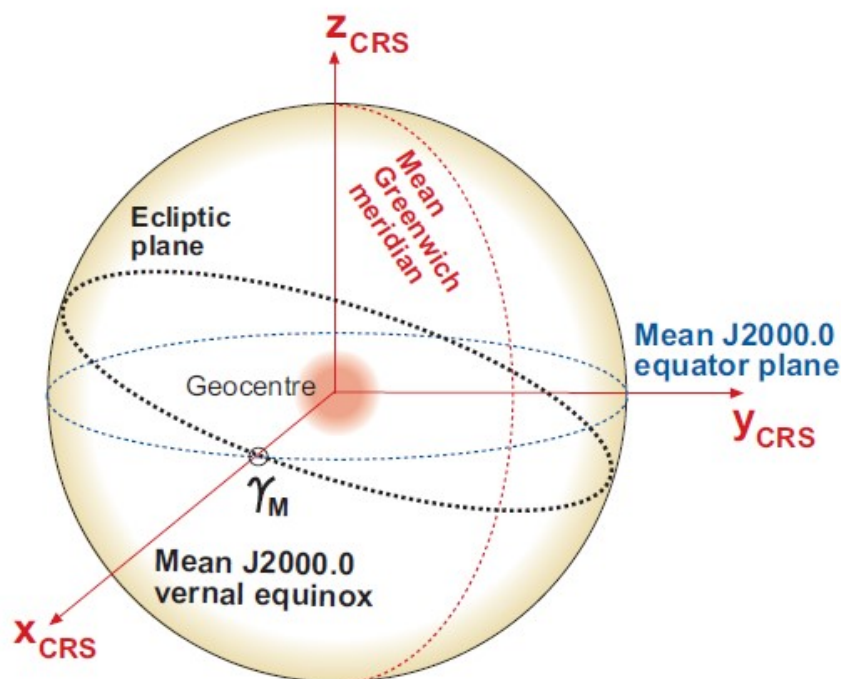
3. REFERENTNI OKVIRI I SISTEMI U GNSS

U satelitskoj navigaciji i geodeziji, precizno pozicioniranje i orijentacija objekata u svemiru i na Zemlji zavise od korišćenja dobro definisanih referentnih sistema i okvira. Ovi sistemi pružaju standardizovani način za određivanje koordinata satelita i prijemnika, osiguravajući tačnost i konzistentnost pozicije. Dva osnovna referentna sistema koja se koriste u satelitskoj navigaciji su Konvencionalni nebeski referentni sistem (CRS) i Konvencionalni terestrički referentni sistem (TRS) (Subirana et al., 2013a).

3.1 Konvencionalni nebeski referentni sistem

Konvencionalni nebeski referentni sistem (slika 3.1), poznat i kao Konvencionalni inercijalni sistem (CIS), predstavlja kvaziinercijalni referentni sistem koji igra ključnu ulogu u definisanju položaja objekata u odnosu na udaljena nebeska tela. Sistem je geocentričan, tj. centar sistema se poklapa sa centrom mase Zemlje. Takođe CRS je fiksiran u odnosu na udaljene vangalaktičke radio-izvore, čime se efektivno održava kao inercijalni sistem tokom dugih vremenskih perioda.

U geometrijskom smislu, X-osa je usmerena ka tački srednje prolećne ravnodnevice γ za epohu J2000.0, dok je Z-osa upravna na ravan definisanu srednjim ekvatorom za istu epohu. Y-osa dopunjuje ovaj desno orijentisani trodimenzionalni pravougli koordinatni sistem. Realizacija CRS se ostvaruje kroz Nebeski referentni okvir (CRF), koji se određuje pomoću koordinata udaljenih vangalaktičkih objekata, osiguravajući da sistem ostane stabilan i konzistentan tokom vremena.



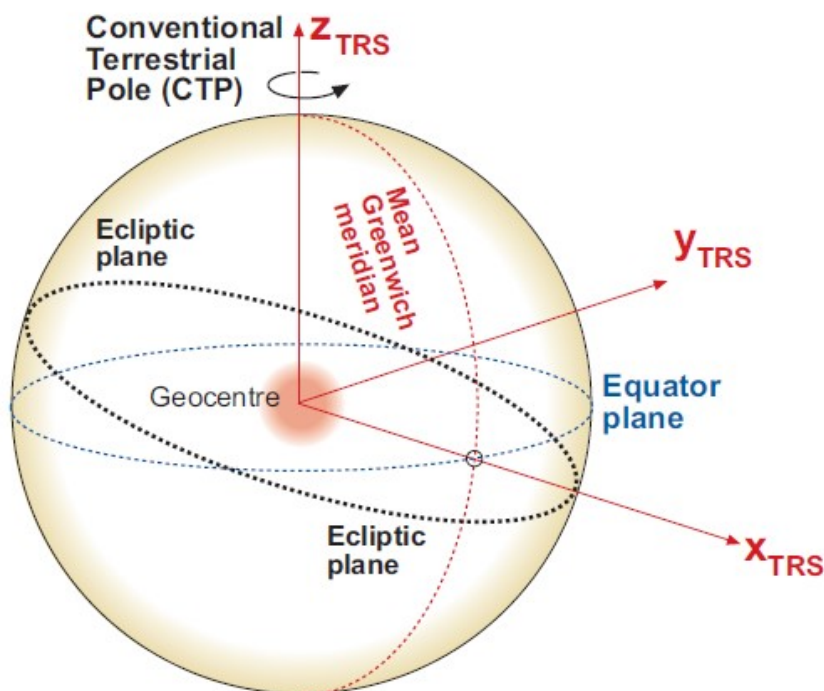
Slika 3.1: Konvencionalni nebeski referentni sistem (Subirana et al., 2013a)

3.2 Konvencionalni terestrički referentni sistem

Komplementarno CRS, Konvencionalni terestrički referentni sistem (slika 3.2) definiše okvir za opisivanje položaja na Zemljinoj površi, a poznat je i kao „Earth-Centered Earth-Fixed” (ECEF) sistem, jer se rotira zajedno sa Zemljom. Ovaj sistem je ključan za precizno određivanje položaja koji variraju tokom vremena usled geofizičkih uticaja, kao što su kretanje tektonskih ploča, plimne sile i ostale dinamičke promene na Zemlji.

Kao i CRS, TRS je geocentrični. Z-osa se poklapa sa Zemljinom osom rotacije. X-osa je usmerena ka preseku ekvatorijalne ravni i srednjeg Griničkog meridijana, a Y-osa dopunjuje koordinatni sistem kao i kod CRS. Realizacija ovog referentnog sistema se ostvaruje kroz Terestrički referentni okvir (TRF), koji se definiše pomoću koordinata mreže tačaka na Zemljinoj površi (referentne tačke).

Za potrebe ovog istraživanja, korišćen je Međunarodni terestrički referentni okvir (ITRF), razvijen i održavan od strane Međunarodne službe za rotaciju Zemlje i referentne sisteme (IERS), konkretnije modifikovanog ITRF od strane IGS. U nastavku poglavlja dat je kratak



Slika 3.2: Konvencionalni terestrički referentni sistem (Subirana et al., 2013a)

prikaz svih IGS referentnih okvira.

Drugi značajni TRF uključuju Svetski geodetski sistem 1984 (WGS84) za GPS, „Parametry Zemli 1990” (PZ90) za GLONASS, Galileo terestrički referentni okvir (GTRF) za Galileo i Kineski geodetski koordinatni sistem 2000 (CGCS2000) za Beidou.

Precizna definicija i realizacija referentnih sistema i okvira su od ključne važnosti za precizno funkcionisanje GNSS. Koordinate satelita i pozicija moraju biti konzistentno izražene u ovim referentnim okvirima kako bi se osigurala interoperabilnost između različitih sistema. Na primer, korišćenje WGS84 za GPS omogućava precizno pozicioniranje koje je konzistentno širom sveta, dok ITRF pruža stabilan referentni okvir za dugoročne geodetske studije.

3.3 Hronologija razvoja IGS referentnih okvira

Shodno ažuriranju ITRF, IGS je menjao svoje referentne okvire. Hronologija promena IGS referentnih okvira je sledeća (IGS, 2024):

- **ITRF92**

- od 02.01.1994. do 31.12.1994.
- GPS nedelje: od 0730 do 0781
- do 13 referentnih stanica kolociranih putem satelitskih laserskih opažanja (SLR) i/ili interferometrijom sa veoma dugim baznim linijama (VLBI)

- **ITRF93**

- od 01.01.1995. do 29.06.1996.
- GPS nedelje: od 0782 do 0859
- ITRF93 je veštački rotiran u odnosu na ranije i kasnije verzije ITRF, čime nije poštovano globalno pravilo bez-net-rotacije
- do 13 referentnih stanica kolociranih putem SLR i/ili VLBI

- **ITRF94**

- od 30.06.1996. do 28.02.1998.
- GPS nedelje: od 0860 do 0946
- datum ITRF94 resetovan da bi se poštovalo globalno pravilo bez-net-rotacije
- do 13 referentnih stanica kolociranih putem SLR i/ili VLBI

- **ITRF96**

- od 01.03.1998. do 31.07.1999.
- GPS nedelje: od 0947 do 1020
- datum ITRF94 zadržan
- do 47 referentnih stanica

- **ITRF97**

- od 01.08.1999. do 26.02.2000.
- GPS nedelje: od 1020 do 1050
- datum ITRF94 zadržan
- do 51 referentne stanice

- **ITRF97 sa konzistentnim poravnanjem rotacije orbita**

- od 27.02.2000. do 03.06.2000.
- GPS nedelje: od 1051 do 1064
- datum ITRF94 zadržan
- do 51 referentne stanice

- **IGS97**

- od 04.06.2000. do 01.12.2001.
- GPS nedelje: od 1065 do 1142
- poravnat sa datumom ITRF97
- do 51 referentne stanice

- **IGS00**

- od 02.12.2001. do 10.01.2004.
- GPS nedelje: od 1143 do 1252
- poravnat sa datumom ITRF2000, ažuriranim iz prethodnih realizacija
- do 54 referentne stanice

- **IGb00**

- od 11.01.2004. do 04.11.2006.
- GPS nedelje: od 1253 do 1399
- poravnat sa datumom ITRF2000, ažuriranim iz prethodnih realizacija
- do 99 referentnih stanica
- Tokom ovog okvira korišćene su samo relativne kalibracije faza antena za zemaljske stanice, bez kalibracija za satelitske antene

- **IGS05**

- od 05.11.2006. do 16.04.2011.
- GPS nedelje: od 1400 do 1631
- poravnat sa datumom ITRF2005, ažuriranim iz ITRF2000

- do 132 referentne stanice
- počevši od ovog okvira, primenjene su apsolutne kalibracije faza antena za zemaljske stanice i satelitske antene
- okvir korišćen i za prvu reprocesing kampanju IGS repro1, čiji su proizvodi dostupni unazad do 1994 (detaljno objašnjeno u poglavlju 5.2)

- **IGS08**

- od 17.04.2011. do 06.10.2012.
- GPS nedelje: od 1632 do 1708
- poravnat sa datumom ITRF2008
- do 232 referentne stanice, od kojih je do 91 označeno kao „core network” IGS08
- apsolutne kalibracije faza antena (za zemaljske stanice i satelitske antene)

- **IGb08**

- od 07.10.2012. do 28.01.2017.
- GPS nedelje: od 1709 do 1933
- poravnat sa datumom ITRF2008
- ažuriranje IGS08
- ažuriranje kalibracija antena, uključujući nove procene za Block IIF satelite
- Ovaj okvir je korišćen i za drugu reprocesing kampanju IGS repro2

- **IGS14**

- od 29.01.2017. do 16.05.2020.
- GPS nedelje: od 1934 do 2105
- poravnat sa datumom ITRF2014
- do 252 referentne stanice

- **IGb14**

- 17.05.2020. do 26.11.2022.
- GPS nedelje: od 2106 do 2237

- poravnat sa datumom ITRF2014
- ažuriranje IGS14

- **IGS20**

- od 27.11.2022. do sadašnjeg perioda
- GPS nedelje: od 2238 do sadašnjeg perioda
- poravnat sa datumom ITRF2020
- do 332 referentne stanice
- praćeno novim korekcijama faznih centara antena za zemaljske i satelitske antene

4. IZVORI GREŠAKA I NJIHOVO MODELIRANJE U APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU

4.1 Koncept apsolutnog preciznog pozicioniranja

Apsolutno precizno pozicioniranje predstavlja tehniku pozicioniranja GNSS koja obezbeđuje visoko tačno određivanje lokacije koristeći samo jedan GNSS prijemnik, bez potrebe za referentnom stanicom. Sama metoda PPP podrazumeva kombinaciju dvofrekventnih opažanja i preciznih efemerida kako bi bilo moguće dobiti jedno PPP rešenje sa centimetarskom tačnošću.

Koncept PPP prvi put je predstavljen 1970-ih od strane R. R. Anderle i karakterisan je kao pozicioniranje jedne stanice sa fiksnim preciznim rešenjima orbite i Doplerovim posmatranjima satelita (Kouba and Héroux, 2001). Ipak, do kraja 1990-ih godina relativno pozicioniranje je predstavljalo dominantnu tehniku pozicioniranja i obrade podataka, nakon čega je pri NASA laboratoriji za mlazni pogon (JPL) uspešno pokazano da tačnost koja se može postići primenom PPP može biti uporediva sa tačnošću dobijenom relativnim pozicioniranjem. Na osnovu tog zaključka, u JPL su implementirali novu tehniku PPP u svoj softver za obradu GPS signala „GIPSY/OASIS-II” (Zumberge et al., 1997).

Prednost PPP tehnike nulte razlike (u daljem tekstu „zero-difference”) jeste u tome što ne postoji nikakva regionalna mrežna korelacija, kao ni potreba za podacima o referentnoj stanici u cilju obrade. Samim tim, moguća je provera doslednosti uvedenih modela grešaka orbite, časovnika i atmosfere. Primenom „zero-difference” tehnike značajno se smanjuje vreme potrebno za dobijanje PPP rešenja. Međutim, hardverska ograničenja, kako sa satelita, tako i sa prijemnika, ostaju i moraju se pažljivo uzeti u obzir, a neophodni modeli izvora grešaka moraju biti implementirani (Karabatić, 2011).

Ključne karakteristike PPP:

1. korišćenje jednog prijemnika - za razliku od metoda diferencijalnog GPS pozicioniranja koje zahtevaju najmanje dva prijemnika, gde jedan prijemnik mora imati određenu poziciju, PPP može postići visoku tačnost samo s jednim prijemnikom,
2. korišćenje preciznih podataka - PPP se oslanja na korišćenje preciznih efemerida, kao i korekcija časovnika, koji su obično javno dostupne na web servisima,
3. visoka tačnost - primenom PPP moguće je ostvariti tačnost od nekoliko centimetara, što ga čini uporedivim sa složenijim tehnikama diferencijalnog GPS pozicioniranja poput pozicioniranja u realnom vremenu (RTK),
4. duže vreme konvergencije - za postizanje maksimalne tačnosti PPP rešenja potrebno je duže vreme opažanja (od nekoliko sati do celog dana) iz razloga rešavanja neodređenosti i prikupljanja dovoljno podataka za tačno modeliranje atmosferskih uticaja i ostalih faktora i
5. globalna primenljivost - s obzirom da PPP ne zavisi od blizine referentne stanice, može se koristiti bilo gde na Zemlji gde postoji jasan pogled na nebo i pristup potrebnim korektivnim podacima.

4.2 Geofizički procesi

4.2.1 Plima čvrste Zemlje

Planeta Zemlja nije čvrst objekat u pravom smislu reči, već reaguje na gravitacione sile Sunca i Meseca uzrokujući pomeranja Zemljine kore na nivou decimetra, što je i prikazano na slici 4.1. Plima čvrstog tla zavisi od lokacije stanice i zvezdanog vremena (Abdel-Salam, 2005).

Efekat u vertikalnom pravcu je značajan i može dostići 30 cm, dok u horizontalnom pravcu može dostići 5 cm. Faktički, uticaj plime može se razložiti na dve komponente i to: stalnu komponentu, koja može dostići 12 cm na srednjim geografskim širinama i periodičnu komponentu, koja se karakteriše dnevnim i poludnevnim oscilacijama. Plimu čvrstog tla je moguće modelirati sa visokom tačnošću od nekoliko milimetara. Sam model je definisan sledećom jednačinom (McCarthy, 1996):

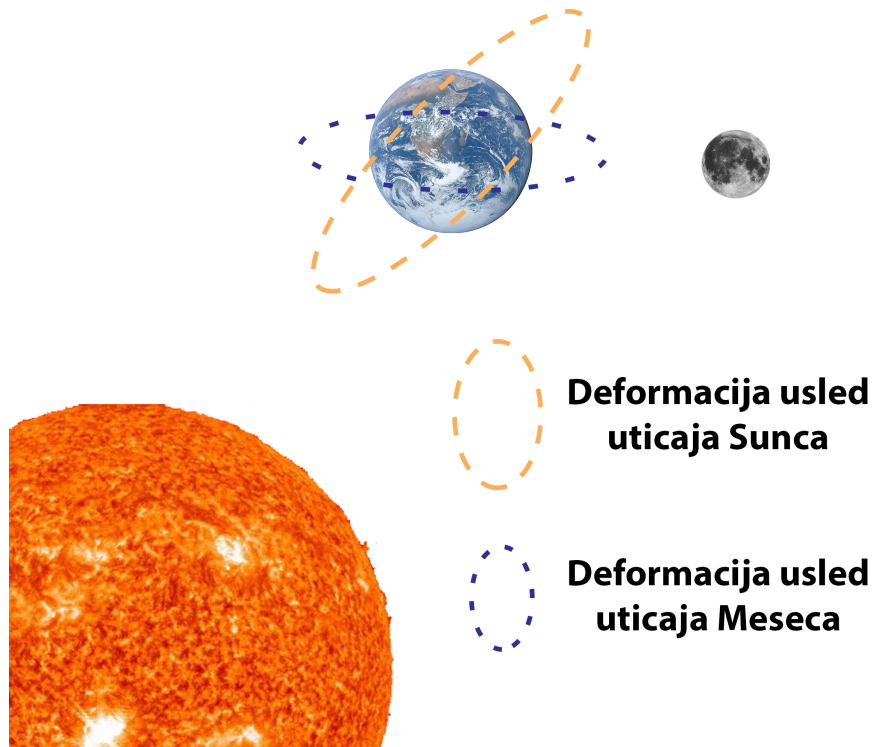
$$\Delta \vec{r} = \sum_{j=2}^3 \frac{GM_j}{GM} \frac{r^4}{R_j^3} \left\{ \left[3l_2(\hat{R}_j \cdot \hat{r}) \right] \hat{R}_j + \left[3 \left(\frac{h_2}{2} - l_2 \right) (\hat{R}_j \cdot \hat{r})^2 - \frac{h_2}{2} \right] \hat{r} \right\} + \left[-0,025 \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi \cdot \sin(\theta_g + \lambda) \right] \cdot \hat{r}. \quad (4.1)$$

gde su:

- GM - gravitacioni parametri Zemlje,
- GM_j - gravitacioni parametri Meseca ($j = 2$) i Sunca ($j = 3$),
- r - geocentrični vektori položaja i brzine stanice,
- R_j - geocentrični vektori položaja i brzine Meseca ($j = 2$) i Sunca ($j = 3$),
- $\hat{r}$ - geocentrični jedinični vektori položaja i brzine stanice,
- $\hat{R}_j$ - geocentrični jedinični vektori položaja i brzine Meseca ($j = 2$) i Sunca ($j = 3$),
- l_2 - nominalni Loveov broj drugog stepena (0,609),
- h_2 - nominalni bezdimenzioni Šidini brojevi (0,085),
- ϕ - latituda stanice,
- λ - longituda stanice i
- θ_g - Griničko srednje zvezdano vreme.

4.2.2 Opterećenje okeanskom plimom

Slično uticaju Meseca i Sunca na čvrstu Zemlju, voda u okeanima je u stalnom stanju redistribucije zbog uticaja gravitacione sile, što stvara opterećenje na obalna područja, uzrokujući pomeranje površi koje može dostići 5 cm u vertikalnom i 2 cm u horizontalnom pravcu. Karakteriše ga dnevno i poludnevno pomeranje. Efekat ove greške se može smatrati zanemarljivim kada je stanica udaljena od obalskih linija okeana. Sledeća jednačina definiše model opterećenja okeanskom plimom (McCarthy, 1996):



Slika 4.1: Interakcija Sunca, Meseca i Zemlje

$$\delta x = \sum_j f_j A_{cj} \cos(\omega_j t + \chi_j + u_j - \Phi_{cj}), \quad (4.2)$$

gde su:

- δx - pomak usled opterećenja okeana,
- j - predstavlja 11 plimskih talasa poznatih kao $M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_f, M_m$ i S_{sa} ,
- f_j, u_j - funkcije longitudinalnog lunarnog čvora,
- A_{cj} i Φ_{cj} - elementi specifični za lokaciju koji odražavaju obalnu geografiju, elastičnost i gustinu modela Zemlje,
- ω_j - ugaona brzina u trenutku $t = 0$ h i
- χ_j - astronomski argument u trenutku $t = 0$ h.

4.2.3 Opterećenje atmosferom

Težina atmosferskog stuba iznad Zemlje izaziva opterećenje na samoj površi. Ovo opterećenje varira u skladu sa promenom atmosferskog pritiska, uzrokujući vertikalne i horizontalne pomake reda veličine 20 mm za vertikalnu komponentu i 3 mm za horizontalnu komponentu. Pomak zavisi od geografske lokacije s tim da najveću vrednost ima na srednjoj geografskoj širini. Pomak je moguće definisati sledećom jednačinom (Rabbel and Schuh, 1986):

$$\delta r = -0,35p - 0,55\bar{p}, \quad (4.3)$$

gde su:

- δr - pomak usled atmosferskog opterećenja,
- p - razlika pritiska u odnosu na standardnu vrednost i
- $\bar{p}$ - anomalija pritiska u krugu radijusa 2000 km oko stanice.

4.2.4 Rotaciona deformacija usled polarnog kretanja

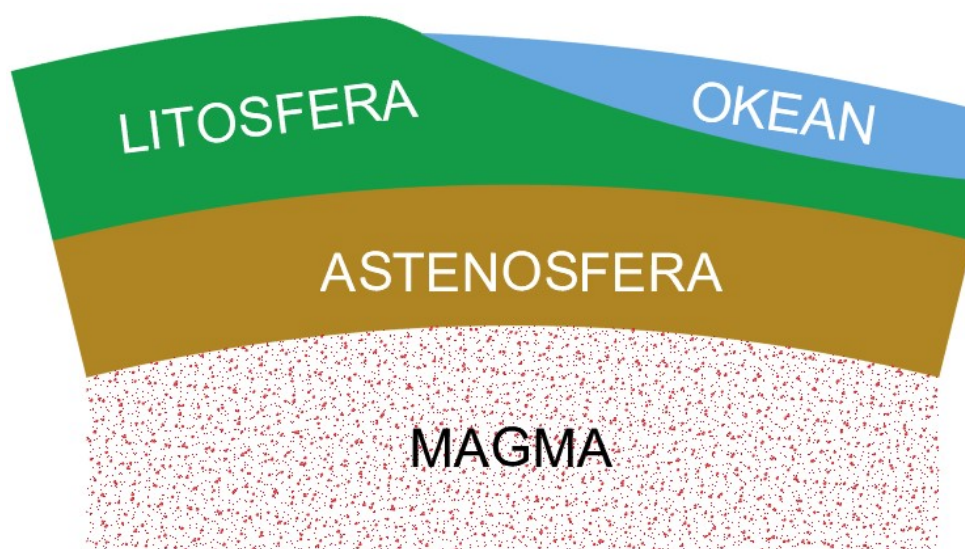
Promene ose rotacije Zemlje u odnosu na Zemljinu koru uzrokuju periodične deformacije koje mogu dostići i do nekoliko centimetara. Približne korekcije za geografsku širinu, dužinu i visinu izražene u milimetrima date su kao (Karabatić, 2011):

$$\begin{aligned} \delta\phi &= -9 \cos 2\phi [(X_p - \bar{X}_p) \cos \lambda - (Y_p - \bar{Y}_p) \sin \lambda], \\ \delta\lambda &= 9 \sin \phi [(X_p - \bar{X}_p) \sin \lambda + (Y_p - \bar{Y}_p) \cos \lambda], \\ \delta h &= -32 \sin 2\phi [(X_p - \bar{X}_p) \cos \lambda - (Y_p - \bar{Y}_p) \sin \lambda], \end{aligned} \quad (4.4)$$

gde $(X_p - \bar{X}_p)$ i $(Y_p - \bar{Y}_p)$ predstavljaju odstupanja od srednjeg pola $(\bar{X}_p, \bar{Y}_p)$.

4.2.5 Pomeranje tektonskih ploča

Zemljina kora, čija se debljina kreće od 40 do 90 km, je sastavljena od velikih i malih ploča, koje sve zajedno čine litosferu, sa prosečnom gustinom $2,67 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Litosfera se kreće po i leži na mekšem sloju delimično rastopljenih stena, usled toplote i pritiska, pod nazivom astenosfera, sa gustinom $3,27 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Na slici 4.2 je dat poprečni presek litosfere i astenosfere (Witchayangkoon, 2000).



Slika 4.2: Poprečni presek litosfere i astenosfere

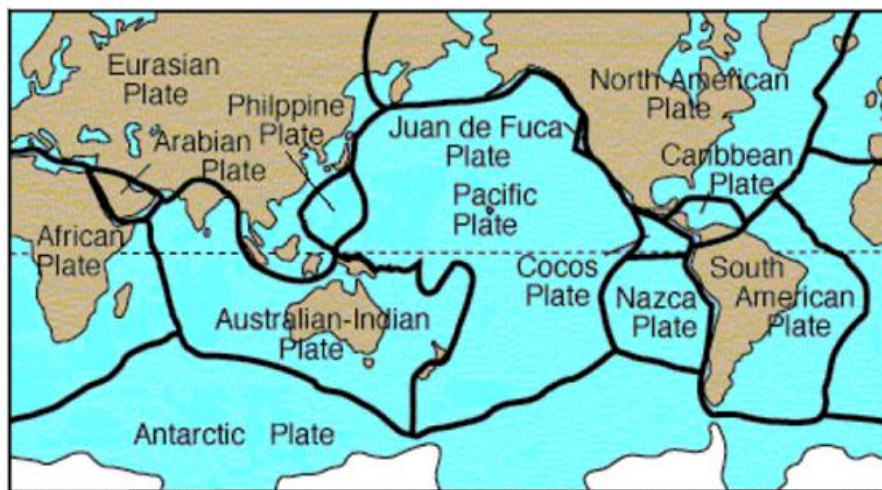
Teorija tektonskih ploča se odnosi na tvrdnju da je litosfera podeljena na manji broj ploča koji plutaju ili se nezavisno pomeraju preko Zemljinog pokrivača. Velika i iznenadna pomeranja ploča dovode do zemljotresa ili vulkanskih aktivnosti. Ova hipoteza je razvijena radi razumevanja Zemljinog dinamičkog ponašanja. Geodezija igra veliku ulogu u teoriji tektonskih ploča, obezbeđujući podatke o kretanju ploča, sa velikom tačnošću i rezolucijom, primenom GNSS tehnologije. Polazne aksiome vezane za teoriju tektonskih ploča, a od značaja za geodeziju su (Lambeck, 1990):

- pomeranja tektonskih ploča su uniformna na vremenskoj skali veličine od milion godina ili više, a ova aksioma se slaže sa geodetskim opažanjima da su pomeranja ploča veoma slična prosečnim pomeranjima tokom proteklih nekoliko miliona godina,
- sva kretanja i interakcija između ploča dešavaju se na granicama istih, a geodetske tehnologije se koriste radi opažanja apsorpcije između dve susedne ploče usled kretanja

ploča i

- za proizvoljne tačke koje se ne nalaze na granicama ploča, ploče se ponašaju kao čvrsta tela, pomerajući se relativno jedna u odnosu na drugu, bez deformacija, što dovodi do zaključka da su deformacije male u poređenju sa kretanjem na granicama ploča.

Na slici 4.3 prikazana je karta sa položajima tektonskih ploča na Zemlji.



Slika 4.3: Karta tektonskih ploča (Witchayangkoon, 2000)

Kartezijanski vektori rotacije za svaku ploču pojedinačno, dati su u tabeli 4.1. Ove vrednosti odnose se na model tektonskih ploča pod nazivom NNR-NUVEL1A. Transformacija Kartezijanskih koordinata (X_0, Y_0, Z_0) i (X, Y, Z) za epohe t_0 i t je data sledećim jednačinama:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + 10^{-6}[\Omega_Y Z_0 - \Omega_Z Y_0](t - t_0), \\ Y &= Y_0 + 10^{-6}[\Omega_Z X_0 - \Omega_X Z_0](t - t_0) \text{ i} \\ Z &= Z_0 + 10^{-6}[\Omega_X Y_0 - \Omega_Y X_0](t - t_0). \end{aligned} \quad (4.5)$$

4.3 Greške prostiranja signala kroz atmosferu

Zemljina atmosfera ima višestruku ulogu. Ona štiti Zemlju od manjih meteora tako što uzrokuje njihovo potpuno sagorevanje pre nego što stignu do njene površi. Azot i kiseonik u atmosferi, udruženi sa Zemljinim magnetnim poljem, štite njenu površ od radijacije koja bi bila pogubna za život.

Tabela 4.1: Vektori rotacije pojedinačnih ploča primenom kinematičkih modela ploča NNR-NUVEL1A. Jedinice su radijani po milion godina ($\frac{\text{rad}}{10^6 \text{ god}}$) (Witchayangkoon, 2000)

Naziv ploče	Ω_X	Ω_Y	Ω_Z
Pacifička	-0,001510	0,004840	-0,009970
Afrička	0,000891	-0,003099	0,003922
Antarktička	-0,000821	-0,001701	0,003706
Arabijska	0,006685	-0,000521	0,006760
Australijska	0,007839	0,005124	0,006282
Karipska	-0,000178	-0,003385	0,001581
Kokos	-0,010425	-0,021605	0,010925
Evroazijska	-0,000981	-0,002395	0,003153
Indijska	0,006670	0,000040	0,006790
Nazka	-0,001532	-0,008577	0,009609
Severnoamerička	0,000258	-0,003599	-0,000153
Južnoamerička	-0,001038	-0,001515	-0,000870
Huan de Fuka	0,005200	0,008610	-0,005820
Filipinska	0,010090	-0,007160	-0,009670
Rivera	-0,009390	-0,030960	-0,012050
Skotia	-0,000410	-0,002660	-0,001270

Zemljina atmosfera nema tačno određenu granicu, jer polako postaje sve ređa i bleđa prema svemiru. Čini je više slojeva, a proteže se više stotina kilometara iznad površi. Sastavljena je od 78% azota, 21% kiseonika, 0,93% argona, 0,03% ugljen-dioksida, nešto vodene pare i drugih gasova.

Na slici 4.4 prikazani su slojevi atmosfere.

Troposfera (do visine od oko 12 km) je najniži i najgušći deo atmosfere u kojem se događaju sve vremenske pojave. U ovom sloju temperatura opada sa visinom. Sadrži velike količine vodene pare.

Stratosfera (do oko 30 km) sadrži ozon koji štiti od štetnog zračenja iz svemira. Temperatura je u nižim slojevima stratosfere stalna, a u višim slojevima raste zbog prisustva velike količine

ozona (90% ukupnog ozona u atmosferi), koji se zagreva upijanjem štetnih ultraljubičastih zraka, štiteći na taj način živi svet na Zemlji. Zbog male vlažnosti vazduha, u stratosferi nema oblaka. Vetrovi koji duvaju u stratosferi dostižu brzine od nekoliko stotina $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. U donjem delu stratosfere dominiraju zapadni vetrovi, dok se u gornjem sloju javljaju istočni vetrovi, naročito tokom leta.

Mezosfera (do oko 50 km) je sloj u kom dolazi do naglog pada temperature sa porastom visine, tako da je gornja granica najhladniji deo Zemljine atmosfere. Tačna visina i debljina sloja nisu precizno definisani, zbog učestalih promena u relativno kratkom vremenskom periodu. Glavne dinamičke karakteristike u mezosferi su snažni zonalni (istočni i zapadni) vetrovi, atmosferske plime, atmosferski gravitacioni talasi i planetarni talasi. Većina tih talasa i plima potiče iz troposfere i donje stratosfere i širi se prema gore. U mezosferi, veličina gravitacionih talasa može biti jako velika, tako da talasi postaju nestabilni i rasipaju se. To rasipanje stvara moment sile koja dalje stvara strujanja u atmosferi.

Jonosfera ili termosfera (do oko 1000 km) sadrži jone, naelektrisane čestice. U ovom sloju se pod uticajem sunčevog vetra stvara polarna svetlost. Temperatura raste, sve do visine od 400 km.

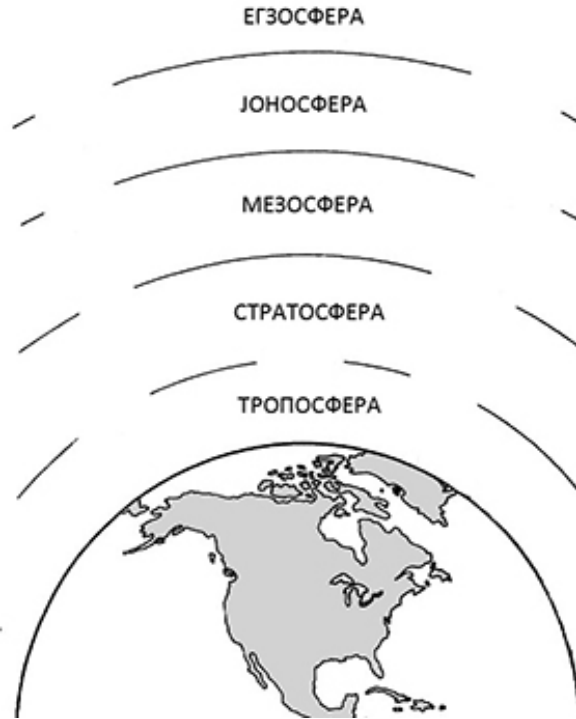
Plazmasfera (egzosfera ili protonosfera) je prelazno područje prema vakuumu. Ovo je sloj sa vrlo razređenim gasom, prostire se iznad 1000 km visine. Temperatura dostiže i do 1500° C. Vazduh je izuzetno razređen, a njegove čestice se kreću brzinom od 11 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$, a nalaze se na međusobnoj udaljenosti od nekoliko stotina metara. Usled toga joni azota i kiseonika odlaze u međuplanetarni prostor.

Prelazna područja između slojeva atmosfere su tropopauza, stratopauza i mezopauza.

S obzirom da na tačnost PPP najviše utiču jonosfera i troposfera, u nastavku je dat detaljniji prikaz ovih slojeva atmosfere.

4.3.1 Troposfera

Troposfera se može se podeliti na dve komponente: hidrostatistički (suvi) i vlažni deo troposfere. Hidrostatistička komponenta se sastoji uglavnom od suvih gasova, dok je vlažna



Slika 4.4: Slojevi atmosfere (Marković, 2012)

komponenta rezultat prisustva vodene pare. Troposfera izaziva kašnjenje radio signala i spada u jedan od dominantnih izvora grešaka. Hidrostatistička frakcija doprinosi otprilike 90% ukupne troposferske refrakcije. Za potrebe PPP, neophodno je primeniti korekcije na kašnjenje signala pri prolasku kroz troposferu. Troposferski efekat je nezavistan od frekvencije i ne može se eliminisati putem dvostrukih frekventnih opažanja. Troposferska refrakcija je definisana sledećom jednačinom (Janes et al., 1991):

$$T_k^p = \int_{\text{Path}} [n(r) - 1] \cos \theta(r) dr + \left[\int_{\text{Path}} \csc \theta(r) dr - \int_{\text{Path}} \csc \varepsilon(r) dr \right], \quad (4.6)$$

gde r predstavlja geocentrični radijus, n indeks prelamanja, dok se θ i ε odnose na prelomljeni (prividni) i neprelomljeni (geometrijski ili pravi) satelitski nagibni ugao. Indeks prelamanja n je povezan sa troposferskom refrakcijom N^{Trop} i to:

$$N^{\text{Trop}} = (n - 1) \cdot 10^6. \quad (4.7)$$

Jednačina 4.6 važi za sferno simetričnu atmosferu, gde je n u funkciji geocentričnog

radijusa r i može da varira duž puta signala. Prvi deo ove jednačine predstavlja odstupanje putanje elektromagnetnog talasa od geometrijskog. Član u zagradama predstavlja geometrijsko kašnjenje uzimajući u obzir zakrivljenost puta (zakrivljenje zraka), što predstavlja razliku geometrijskih dužina elektromagnetnog i pravolinijskog puta od satelita do stanice. Ovaj efekat je značajan kod satelita sa nagibnim uglom od 10 do 20 stepeni. Konačno, za satelitske signale, troposfersko kašnjenje se može napisati kao (Witchayangkoon, 2000):

$$T_k^p = 10^{-6} \int_{\text{Path}} N^{Trop} ds. \quad (4.8)$$

Ukoliko se uzmu u obzir hidrostatička i vlažna komponenta troposfere, jednačina 4.8 se može transformisati u:

$$T_k^p = 10^{-6} \int_{\text{Path}} (N_d^{Trop} + N_w^{Trop}) ds = 10^{-6} \left[\int_{\text{Path}} N_d^{Trop} ds + \int_{\text{Path}} N_w^{Trop} ds \right], \quad (4.9)$$

gde N_d^{Trop} i N_w^{Trop} predstavljaju troposferske refrakcije hidrostatičke i vlažne komponente respektivno.

Generalno, refrakcija je u funkciji apsolutne temperature T_0 , kao i parcijalnog pritiska suvih gasova P_d i vodene pare e_0 , pa se može napisati u sledećem obliku (Mendes and Langley, 1994):

$$N^{Trop} = K_1 \frac{P_d}{T_0} Z_d^{-1} + \left[K_2 \frac{e_0}{T_0} + K_3 \frac{e_0}{T_0^2} \right] Z_w^{-1}, \quad (4.10)$$

gde su koeficijenti K_1 , K_2 , K_3 empirijski definisani, a Z_d i Z_w predstavljaju faktore kompresibilnosti za suvi vazduh i vodenu paru. Prvi član na desnoj strani jednačine 4.10 odnosi se na N_d^{Trop} , dok se član u zagradi odnosi na N_w^{Trop} . Shodno tome, jednačina 4.8 se može napisati kao:

$$T_k^p = 10^{-6} \left[\int_{\text{Path}} K_1 \frac{P_d}{T_0} Z_d^{-1} ds + \int_{\text{Path}} \left[K_2 \frac{e_0}{T_0} + K_3 \frac{e_0}{T_0^2} \right] Z_w^{-1} ds \right], \quad (4.11)$$

Pritisak vodene pare e_0 je moguće odrediti na osnovu apriori informacija samog okruženja

merne stanice kao što su relativna vlažnost i temperatura. Pritisak vodene pare u milibarima, preporučen od strane IERS iznosi (McCarthy, 1996):

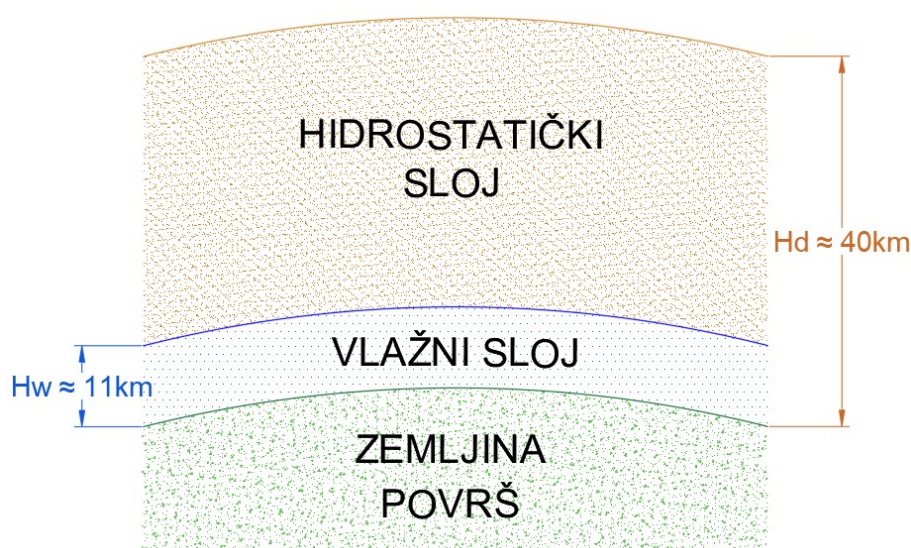
$$e_0 = 0,0611RH10^{\frac{7,5(T_0-273,15)}{237,3+T_0-273,15}}, \quad (4.12)$$

gde RH predstavlja relativnu vlažnost vazduha na mernoj stanici izraženu u procentima.

4.3.1.1 Troposferski modeli

Hopfieldov model

Hopfield je empirijski razvila troposferski model 1969. godine koristeći globalne podatke. Ovaj model primenjuje jednoslojni politropski model atmosfere, koji se prostire od površi Zemlje do visina od oko 11 km za vlažni sloj i 40 km za hidrostatski sloj što je i prikazano na slici 4.5 (Hopfield, 1969).



Slika 4.5: Hopfieldov troposferski model

Prema Hopfieldovom modelu, hidrostatska i vlažna komponenta su u funkciji visine h stanice za praćenje u odnosu na površ Zemlje. Mogu se napisati u sledećem obliku:

$$\begin{aligned} N_d^{Trop} &= N_{d,0}^{Trop} \left[\frac{H_d - h}{H_d} \right]^\mu; \\ N_w^{Trop} &= N_{w,0}^{Trop} \left[\frac{H_w - h}{H_w} \right]^\mu, \end{aligned} \quad (4.13)$$

gde H_d i H_w predstavljaju debljine slojeva hidrostatičkog i vlažnog dela respektivno, $N_{d,0}^{Trop}$ predstavlja hidrostatičku komponentu troposferske refrakcije za stanicu na površi Zemlje u funkciji pritiska i temperature, $N_{w,0}^{Trop}$ je vlažna komponenta troposferske refrakcije za stanicu na površi Zemlje u funkciji vodene pare, pritiska i temperature, dok μ predstavlja empirijski određen stepen shodno odnosu $\frac{H_d}{H_w}$.

Ubacivanjem jednačine 4.13 u 4.8, i daljom integracijom duž vertikalnog pravca (od $h = 0$ do $h = H_d$ za suvi deo i od $h = 0$ do $h = H_w$ za vlažni deo), moguće je dobiti troposfersko zenitno kašnjenje u metrima i to:

$$T_k^Z = \frac{10^{-6}}{5} [N_{d,0}^{Trop} H_d + N_{w,0}^{Trop} H_w]. \quad (4.14)$$

Jednačina 4.14 u kombinaciji sa nekom od funkcija mapiranja omogućava određivanje troposferskog kašnjenja pri poznatom nagibnom uglu satelita. O samim funkcijama mapiranja biće reči u poglavlju 4.3.1.2.

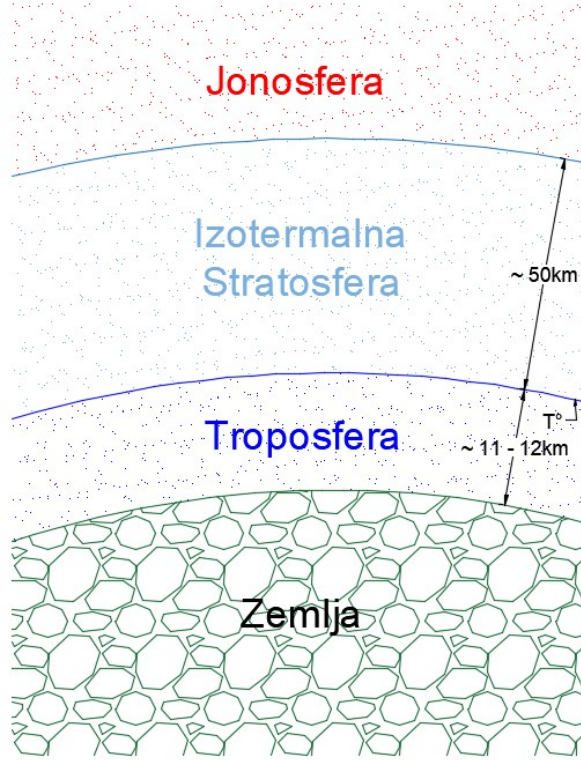
Sastamoinenov model

Sastamoinen je primenio princip gde je visinski integral $\int (n - 1) dr$ atmosferske refrakcije radio talasa uzeto od Zemljine površi do vrha stratosfere, za suhu atmosferu, direktno proporcionalan pritisku na površi Zemlje (Saastamoinen, 1972).

Za razumevanje Sastamoinenovog modela, potrebno je pretpostaviti da je atmosfera kombinacija dva idealna gasa i to suvog vazduha i vodene pare. Na osnovu toga je moguće primeniti termodinamičke zakone gasova radi određivanja refrakcije. Temperatura u troposferi se smanjuje ravnomerno sa rastom nadmorske visine, s tim da je promena u funkciji latitude i godišnjeg doba.

Sastamoinen je podelio suhu atmosferu na dva sloja: politropska troposfera koja se proteže od Zemljine površi do visine od oko 12 km i na izotermalnu stratosferu koja se nastavlja od

troposfere do visine od oko 50 km (što ujedno predstavlja i granicu sa jonosferom). Ovaj model prikazan je na slici 4.6. Po ovom modelu, atmosferska vodena para se nalazi samo u troposferi.



Slika 4.6: Sastamoinenov troposferski model

Za normalne srednje latitude, Sastamoinenov model je dat u metrima kao:

$$T_k^p = 0,002277 \sec z \left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0,05 \right) e_0 - \Omega \operatorname{tg} z^2 \right], \quad (4.15)$$

gde z predstavlja istinitu vrednost zenitnog odstojanja, a P_0 pritisak na stanici na kojoj se vrše opažanja u milibarima.

Koeficijent Ω se računa na osnovu:

$$\Omega = \frac{R}{rg} \left[\frac{P_0 T_0 - (R_g^\beta) p^0 T^0}{1 - R_g^\beta} \right], \quad (4.16)$$

gde su R gasna konstanta, r poluprečnik Zemlje, T_0 temperatura stanice, p^0 pritisak na donjoj granici stratosfere, T^0 temperatura na donjoj granici stratosfere i β vertikalni gradijent temperature.

Prema (Janes et al., 1991) u sam model je potrebno uvrstiti i korekciju za standardnu gravitaciju i to sa stanice sa koje se opaža tj.:

$$T_k^p = \frac{0,002277}{g'} \left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0,05 \right) e_0 - \Omega \operatorname{tg}^2 z \right], \quad (4.17)$$

s tim da je $g' = 1 - 0,0026 \cos 2\varphi - 0,00028h_0$, gde φ predstavlja geografsku širinu, a h_0 ortometrijsku visinu stanice sa koje se opaža.

Sastamoinen je procenio da je tačnost određivanja hidrostatičke i vlažne komponente oko 2 – 3 mm , tj. 3 – 5 mm respektivno.

4.3.1.2 Funkcije mapiranja

Radi daljeg modeliranja troposfere i razumevanja grešaka i procesa koji utiču na tačnost PPP, u nastavku poglavlja dato je objašnjenje i primeri pojma funkcije mapiranja i modeliranja primenom iste.

Prema (Niell, 1996), funkcije mapiranja prikazuju zavisnost nagibnog ugla od kašnjenja signala koji putuje kroz neutralnu atmosferu. Svaka komponenta neutralne atmosfere, zenitno kašnjenje i funkcija mapiranja se koriste za modeliranje odstupanja signala od direktnog puta između satelita i prijemnika. Parametri funkcije mapiranja se obično odnose na temperaturu, pritisak i relativnu vlažnost. Neki modeli koriste još i latitudu i nadmorsku visinu kao parametre. Generalno, popravka za troposfersko kašnjenje je definisana na osnovu uticaja hidrostatičke i vlažne komponente. Tako da se totalno troposfersko kašnjenje može napisati na sledeći način (Witchayangkoon, 2000):

$$\tau_a(E) = \tau_d^z m_d(E) + \tau_w^z m_w(E), \quad (4.18)$$

gde E predstavlja opažani nagibni ugao, a τ_d^z , τ_w^z , m_d i m_w označavaju zenitna kašnjenja kao i funkcije mapiranja za hidrostatičku i vlažnu komponentu respektivno.

Nominalno zenitno kašnjenje za lokaciju na nivou mora iznosi 2300 mm za suvu i 100 mm za vlažnu komponentu. Ekstremne vrednosti zenitnog kašnjenje za vlažnu komponentu se kreću

od 300 mm na srednjim geografskim širinama i od 400 mm za tropske regione (Niell, 1996).

Zbog atmosferske zakrivljenosti, funkcija mapiranja se ne menja samo u funkciji nagibnog ugla, što bi se očekivalo za ravno-paralelni refraktivni medijum. Funkcija mapiranja hidrostatičke komponente će se menjati u skladu sa promenama odnosa atmosferske debljine prema Zemljinom poluprečniku, kao rezultat promena u temperaturi. Stoga je vremenska promena funkcije mapiranja povezana sa varijabilnošću temperature na različitim visinama atmosfere.

Marinijeva funkcija mapiranja

Marini je razvio popravku za troposfersko kašnjenje, koja pokazuje da se zavisnost nagibnog ugla E od bilo koje horizontalno slojevite atmosfere može aproksimirati kontinuiranim razvojem funkcije $\frac{1}{\sin E}$ u obliku višestrukog razvoja (Marini, 1972):

$$m(E) = \frac{1}{\sin E + \frac{a}{\sin E + \frac{b}{\sin E + \frac{c}{\sin E + \dots}}}}, \quad (4.19)$$

gde su E geometrijski nagibni ugao satelita, a , b i c koeficijenti zavisni od atmosferskih profila.

Marinijeva funkcija mapiranja ne razdvaja eksplicitno hidrostatičku i vlažnu komponentu troposferske refrakcije.

Marini-Marijeva funkcija mapiranja

Marini-Marijeva funkcija mapiranja mapira totalno kašnjenje bazirano na Sastamoinenovom zenitnom kašnjenju i to (Marini and Murray, 1973):

$$m(E) = \frac{1 + \zeta}{\sin E + \frac{\frac{\zeta}{1+\zeta}}{\sin E + 0,015}}, \quad (4.20)$$

gde:

$$\zeta = \frac{G}{T_k^Z}, \quad (4.21)$$

$$G = \frac{0,002644}{g'} e^{[-0,14372h_0]} . \quad (4.22)$$

Meteorološki podaci, kao i visina i latituda stanice su takođe komponente Marini-Marijeve funkcije mapiranja. Jednačina 4.20 je validna za nagibni ugao veći od 10° .

Čaova funkcija mapiranja

Čao je razvio troposfersku funkciju mapiranja za potrebe radio praćenja i kontrole svemirske letelice „Mariner Mars”. On je odvojeno tretirao hidrostatičku i vlažnu komponentu na osnovu podataka izvedenih iz dvogodišnjeg opažanja radiosonde. Funkcije su sledeće (Witchayangkoon, 2000):

$$m_h(E) = \frac{1}{\sin E + \frac{a_h}{\operatorname{tg} E + b_h}} \quad \text{i} \quad (4.23)$$

$$m_w(E) = \frac{1}{\sin E + \frac{a_w}{\operatorname{tg} E + b_w}} , \quad (4.24)$$

gde su:

- $a_h = 0,00143$,
- $b_h = 0,0445$,
- $a_w = 0,00035$ i
- $b_w = 0,0170$.

Trebalo bi napomenuti da je u jednačinama 4.23 i 4.24 namerno korišćen $\operatorname{tg} E$, da bi se obezbedilo da su obe komponente jednake jedinici u zenitu.

Laniova funkcija mapiranja

Ova funkcija mapiranja sadrži i hidrostatičku i vlažnu komponentu, s tim da je bilo predviđeno da bude primenljiva čak do nagibnog ugla vrednosti od 6° . Parametrizacija Laniove funkcije mapiranja uključuje površinsku temperaturu, visinu izotermalnog sloja i temperaturni gradijent.

Veća parametrizacija u temperaturnom profilisanju omogućava uključivanje izotermnog sloja promenljive visine počevši od površi (Lanyi, 1984). Prema (McCarthy, 1996), ukoliko su dostupne informacije o vertikalnoj temperaturnoj distribuciji u atmosferi predlaže se korišćenje ove funkcije mapiranja.

Dejvisova funkcija mapiranja

Marini-Marijeva i Čaova funkcija mapiranja su generalizovanog oblika, te su izložene uticaju varijabiliteta refraktivnog profila i bočnih gradijenata. Radi povećanja tačnosti za niske nagibne uglove i za bolju akomodaciju lokalnih i sezonskih varijacija, Dejvis je predložio modifikovanje Čaove funkcije dodavanjem sinusne funkcije razlomku. Shodno tome, jednačina 4.23 se može napisati kao (Davis et al., 1985):

$$m_h(\varepsilon) = \frac{1}{\sin \varepsilon + \frac{a}{\operatorname{tg} \varepsilon + \frac{b}{\sin \varepsilon + c}}}, \quad (4.25)$$

gde su:

- $a = 0,001185[1 + 6,071 \cdot 10^{-5}(P_0 - 1000) - 1,471 \cdot 10^{-4}e_0 + 3,072 \cdot 10^{-3}(T_0 - 20) + 0,01965(\alpha + 6,5) - 0,005645(H_t - 11,231)]$,
- $b = 0,001144[1 + 1,164 \cdot 10^{-5}(P_0 - 1000) - 2,795 \cdot 10^{-4}e_0 + 3,109 \cdot 10^{-3}(T_0 - 20) + 0,03038(\alpha + 6,5) - 0,001217(H_t - 11,231)]$,
- $c = -0,0090$,
- H_t - visina tropopauze u kilometrima i
- α - gradijent promene temperature.

Parametri a i b su ocenjeni metodom najmanjih kvadrata koristeći idealizovane profile pritiska, temperature i vlažnosti sferno simetrične slojevite atmosfere. Međutim, greške veličine 1 do 2 mm su prisutne kod nagibnih uglova u intervalu od 20° do 60° . Ovo je usled toga što $\operatorname{tg} E$ ne prilazi $\sin E$ dovoljno brzo. Međutim, prednost ove funkcije jeste jednostavnost, kako u izračunavanju same funkcije mapiranja, tako i u izračunavanju parcijalnih izvoda funkcije mapiranja u odnosu na parametre koje treba oceniti.

Gradijent promene temperature α ima vrednosti u rasponu od -6 do $-7 \frac{\text{K}}{\text{km}}$, dok je standardna vrednost $-6,5 \frac{\text{K}}{\text{km}}$ prema (Oceanic et al., 1976) (U.S. Standard Atmosphere). Međutim, prema (Mendes and Langley, 1998) prosečna globalna vrednost iznosi $6,17 \pm 0,82 \frac{\text{K}}{\text{km}}$. Takođe, prema istom istraživanju primećena je korelacija između α i površinske temperature i to:

$$\alpha = -5,930 - 0,0359(T_0 - 273,16). \quad (4.26)$$

Heringova funkcija mapiranja

Hering je modifikovao Marinijevu funkciju mapiranja na sledeći način (Herring, 1992):

$$m(E) = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1+c}}}{\sin E + \frac{a}{\sin E + \frac{b}{\sin E + c}}}. \quad (4.27)$$

Koeficijenti a , b i c se mogu proceniti na osnovu idealizovanih profila temperature i vlažnosti i to za različite vrednosti pritiska, temperature itd. Ovi koeficijenti linearno zavise od površinske temperature, kosinusa latitude stanice i visine stanice iznad geoida.

Nilova funkcija mapiranja

Nilova funkcija mapiranja (NMF) zasniva se na vremenskim promenama i geografskim lokacijama, što je različito od ostalih funkcija koje se vezuju za meteorološke parametre. Prema (Niell, 1996) sve prethodne funkcije su bile ograničene zbog zavisnosti od površinske temperature. Razlog ovome jeste veća varijabilnost temperature u atmosferskom graničnom sloju, od površi Zemlje do 2000 m. Dnevne promene temperature površine izazivaju mnogo manje varijacije nego one dobijene preko funkcija mapiranja, a sezonske promene temperature površi su obično veće nego promene u gornjoj atmosferi (funkcije mapiranja daju veštački velike sezonske varijacije). Isto tako, izračunata funkcija mapiranja za hladne letnje dane može se neznatno razlikovati od one za tople zimske dane. Na primer, stvarne funkcije mapiranja se značajno razlikuju od izračunatih vrednosti zbog razlika u gradijentima temperature i visinama troposfere.

Nove funkcije mapiranja izvedene su iz profila temperature i relativne vlažnosti, koji su na neki način prosci preko širih varirajućih geografskih regiona. Na osnovu upoređivanja dobijenih

GLAVA 4. IZVORI GREŠAKA I NJIHOVO MODELIRANJE U APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU

rezultata i podataka dobijenih putem radiosondi, za period od oko godinu dana ili više, pokrivajući širok raspon geografskih širina i različitih visina iznad nivoa mora, utvrđena je validnost i primenljivost NMF.

Za hidrostatičku komponentu funkcije mapiranja, koeficijent a na tabelarno definisanoj latitudi φ_i (tabela 4.2) u trenutku t za januar 0.0 (Univerzalno vreme (UT)), za usvojenu fazu T_0 i dan u godini (DoY) 28 iznosi (Niell, 1996):

$$a(\varphi_i, t) = a_{avg}(\varphi_i) + a_{amp}(\varphi_i) \cos\left(\frac{t - T_0}{365,25} 2\pi\right). \quad (4.28)$$

Tabela 4.2: Koeficijenti hidrostatičke komponente NMF (Witchayangkoon, 2000)

Koeficijenti	Latituda φ_i				
	15°	30°	45°	60°	75°
Prosečna vrednost					
a	1,2769934e-3	1,2683230e-3	1,2465397e-3	1,2196049e-3	1,2045996e-3
b	2,9153695e-3	2,9152299e-3	2,9288445e-3	2,9022565e-3	2,9024912e-3
c	62,610505e-3	62,837393e-3	63,721774e-3	63,824265e-3	64,258455e-3
Amplituda					
a	0,0	1,2709626e-5	2,6523662e-5	3,4000452e-5	4,1202191e-5
b	0,0	2,1414979e-5	3,0160779e-5	7,2562722e-5	11,723375e-5
c	0,0	9,0128400e-5	4,3497037e-5	84,795348e-5	170,37206e-5
Visinska korekcija					
a_{ht}	2,53e-5				
b_{ht}	5,49e-3				
c_{ht}	1,14e-3				

Linearnom intepolacijom između dva najbliža koeficijenta $a(\varphi_i, t)$ moguće je odrediti koeficijent $a(\varphi, t)$. Ista procedura se primenjuje i za koeficijente b i c .

Koeficijenti za vlažnu komponentu funkcije mapiranja prikazani su u tabeli 4.3. Kod određivanja koeficijenata vlažne komponente ne postoji vremenska zavisnost, pa je dovoljna samo linearna

interpolacija po geografskoj širini za svaki koeficijent. Korekcija visine povezana sa NMF definisana je kao (Witchayangkoon, 2000):

$$\Delta m(E) = \frac{dm(E)}{dh} H \quad (4.29)$$

$$\frac{dm(E)}{dh} = \frac{1}{\sin E} - f(E, a_{ht}, b_{ht}, c_{ht}), \quad (4.30)$$

gde $f(E, a_{ht}, b_{ht}, c_{ht})$ predstavlja višestruki razlomak definisan jednačinom 4.27. Koeficijenti a_{ht} , b_{ht} i c_{ht} prikazani u tabeli 4.2, određeni su metodom najmanjih kvadrata za korekciju visine za devet nagibnih uglova, dok je H visina stanice iznad nivoa mora.

Tabela 4.3: Koeficijenti vlažne komponente NMF (Witchayangkoon, 2000)

Koeficijenti	Latituda φ_i				
	15°	30°	45°	60°	75°
a_w	5,8021897e-4	5,6794847e-4	5,8118019e-4	5,9727542e-4	6,1641693e-4
b_w	1,4275268e-3	1,5138625e-3	1,4572752e-3	1,5007428e-3	1,7599082e-3
c_w	4,3472961e-2	4,6729510e-2	4,3908931e-2	4,4626982e-2	5,4736038e-2

Viena funkcija mapiranja

Viena funkcija mapiranja (VMF), zavisi samo od nagibnog ugla ali ne i od azimuta uz pretpostavku da je troposfera simetrična oko stanice.

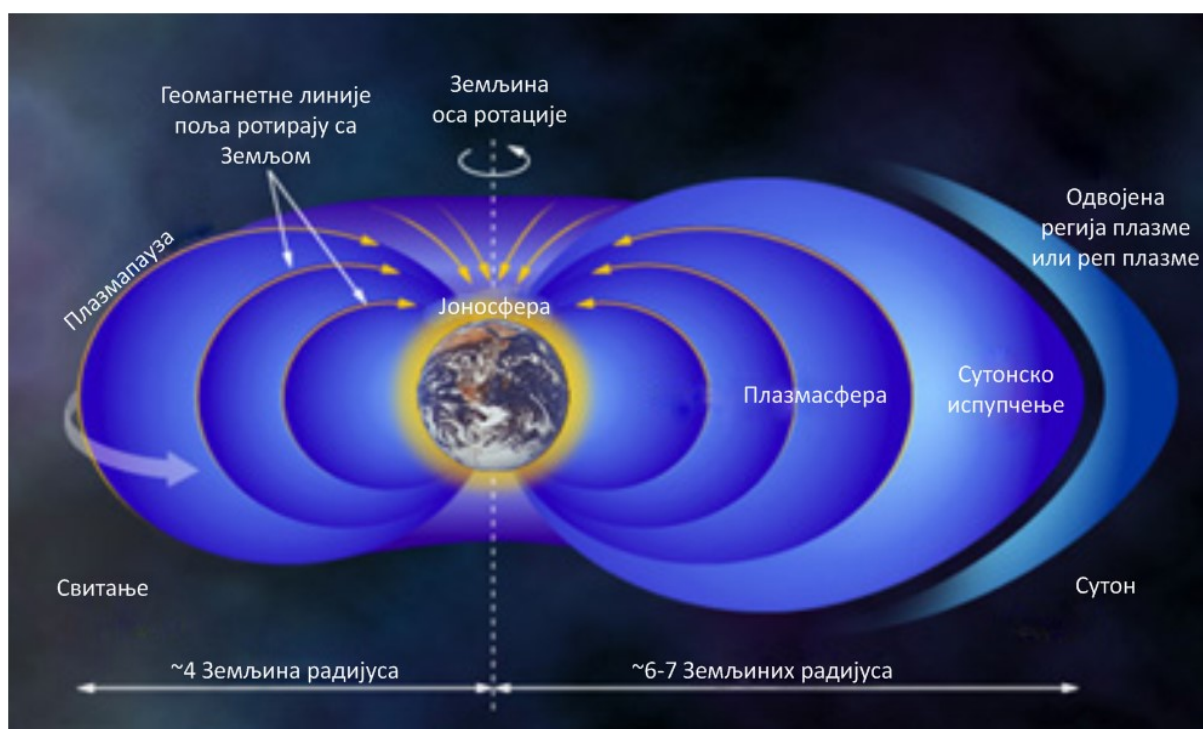
Koeficijent a je određen na osnovu podataka o praćenju zraka, dok su koeficijenti b i c empirijski određeni kao funkcije geografske širine stanice i dana u godini i simetrični su u odnosu na ekvator. Međutim, uslov simetrije koeficijenata b i c pokazao je određena neslaganja iznad antarktičkih i ekvatorijalnih regiona, reda veličine do 4 mm. Da bi se rešili ovi nedostaci, razvijena je VMF1 sa novim koeficijentima b i c . Poređenje VMF1 i NMF sa radiosondnim podacima pokazuje poboljšanje preciznosti visine stanice sa ± 1 mm za NMF na ± 3 mm za VMF1.

Globalna mreža VMF1 može se primeniti za izračunavanje koeficijenata za bilo koju lokaciju sa

odstupanjem od 1 mm u horizontalnoj i 1 mm u vertikalnoj komponenti pozicije u poređenju sa specifičnim VMF1 za lokaciju (Kouba, 2009). Ukratko, VMF1 je i dalje najpreciznija troposferska funkcija mapiranja, međutim, glavni nedostatak je relativno komplikovana implementacija u softverske pakete u poređenju sa drugim funkcijama mapiranja. Za više detalja pogledati (Boehm et al., 2006).

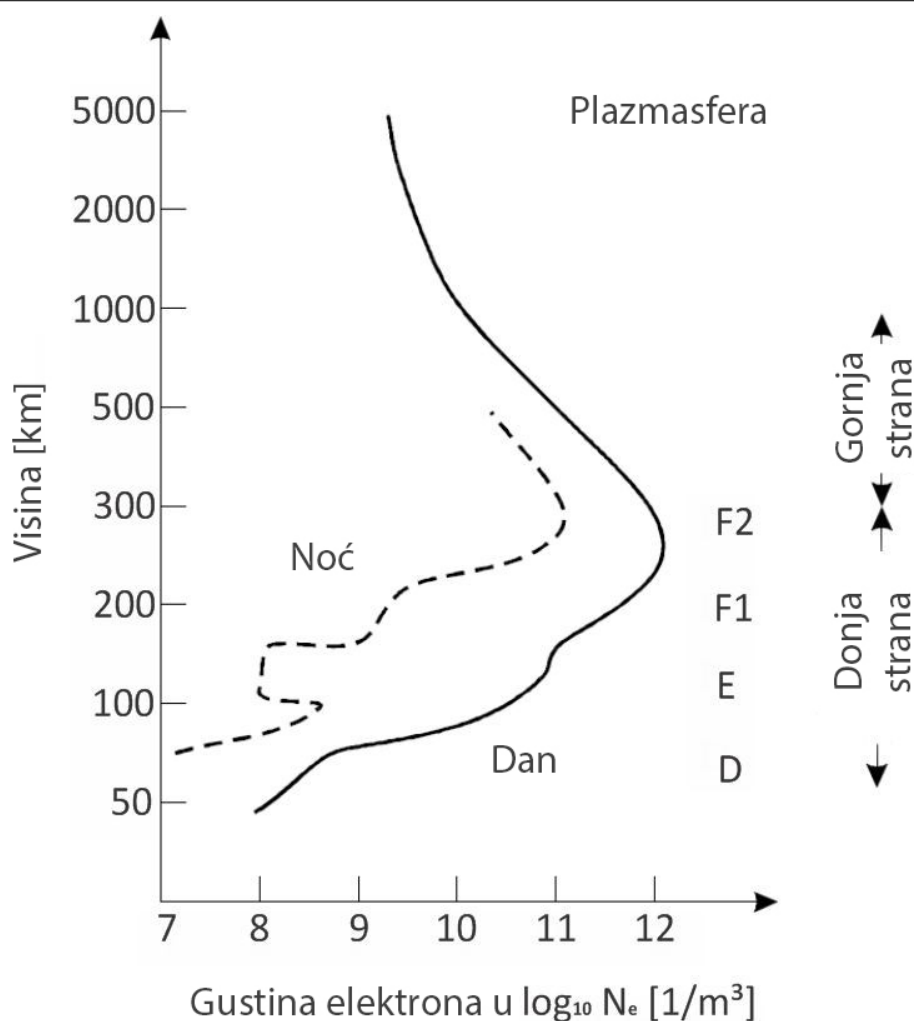
4.3.2 Jonosfera

Jonosfera (slika 4.7) nastaje na visini preko 50 km do 1000 km (u nekim literaturama i do 2000 km). Gornja granica nije jasno definisana, jer na visinama preko 1000 km gustina elektrona postepeno opada, pa je teško tačno odrediti prelaz iz jonosfere u plazmasferu. Slika 4.8 pokazuje kako se gustina elektrona menja sa promenom visine.



Slika 4.7: Jonosfera i plazmasfera (Marković, 2012)

Osnovni izvor energije koji formira jonosferu jeste elektromagnetno (EM) zračenje sa Sunca i to u vidu sunčevog ekstremno-ultravioletnog (VMF) i X zračenja. Sudari čestica Ekstremno-ultravioletno (Extreme-Ultraviolet) (EUV) zraka, nazvanih fotoni, sa atomima i molekulima gasa u atmosferi, mogu stvoriti dovoljno energije za pojavu fotonizacije, čime nastaju pozitivno naelektrisani joni (katjoni) i negativno naelektrisani slobodni elektroni. Drugi



Slika 4.8: Vertikalni profil jonosfere (Komjathy, 1997)

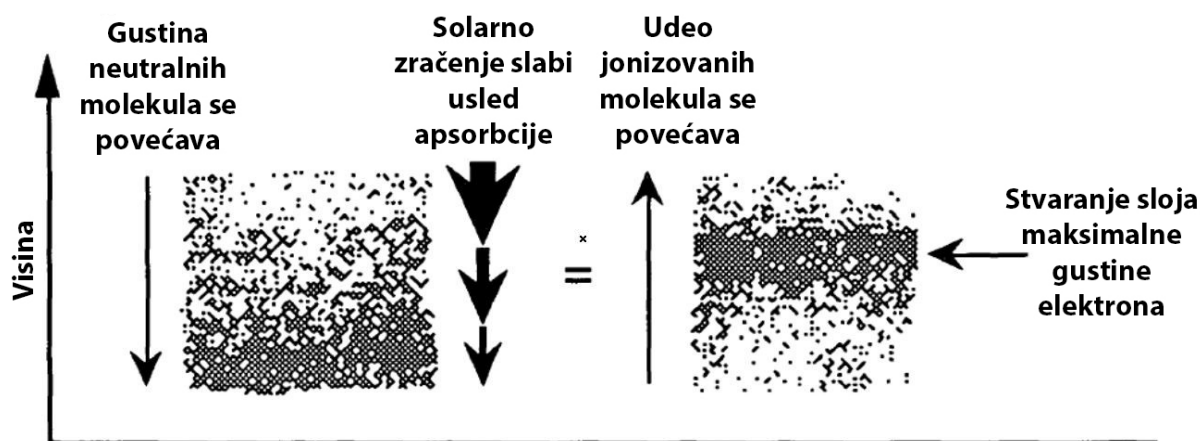
izvor jonizacije jeste kosmičko zračenje, koje se sastoji od visoko naelektrisanih čestica iz svemira, sa toliko visokim nivoom energije da se mogu probiti sve do Zemljine površi (Webster, 1993).

Kontra proces u jonosferi se zove rekombinacija, gde se katjoni i slobodni elektroni ponovo kombinuju i stvaraju neutralne atome i molekule. Još jedna interesantna pojava koja se događa, jeste spajanje slobodnih elektrona sa neutralnim atomima i molekulima stvarajući negativno naelektrisane jone (anjone). Međutim, anjoni i katjoni imaju veoma mali uticaj na prostiranje EM talasa, zbog relativno velike mase i nemogućnosti da osciluju kada su izloženi EM talasu. Zato je u ovom radu prvenstveno napravljen osvrt na uticaj slobodnih elektrona na prostiranje EM talasa.

Dok se rekombinacija i spajanje dešavaju kontinuirano, fotonizacija se dešava samo kada je

prisutno EUV zračenje, tj. dok traje obdаница. Posledica ova tri procesa jeste kontinuirana promena gustine elektrona u funkciji vremena, mesta i solarne i geomagnetske aktivnosti.

Tokom dana, kada je prisutno EUV zračenje sa Sunca, apsorpcija EUV zraka se povećava sa smanjenjem visine. Rezultat ovoga i povećanja gustine neutralnih atoma i molekula, jeste formiranje sloja maksimalne gustine elektrona N_e (slika 4.9).

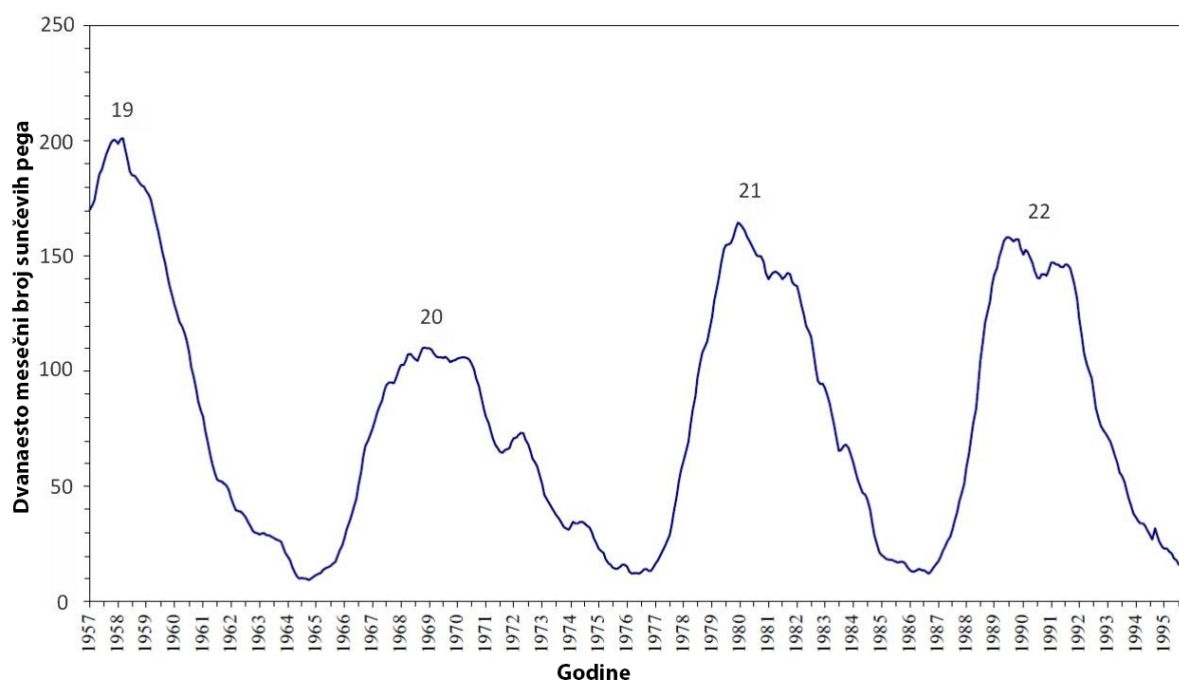


Slika 4.9: Formiranje sloja maksimalne gustine elektrona (Webster, 1993)

Međutim, zbog različitih vrsta atoma i molekula u atmosferi i različitih nivoa apsorpcije istih, nastaje nekoliko različitih slojeva sa karakterističnom gustinom elektrona. Ti slojevi su označeni redom sa D, E i F, a sloj F se još deli na F1 i F2 (slika 4.8). Može se reći da ova četiri sloja čine „donju stranu” jonosfere, a oblast iznad F2 sloja „gornju stranu” jonosfere. Maksimalna gustina elektrona N_e najčešće nastaje u sloju F2, nakon čega se gustina elektrona eksponencijalno smanjuje sve dok se usled uticaja solarnih vetrova potpuno ne smanji (Komjathy, 1997).

Minimalna frekvencija EM talasa koja je potrebna da bi talas prodro kroz neki od jonosferskih slojeva, naziva se kritična frekvencija i označava se sa f_oD , f_oE , f_oF1 i f_oF2 . Kvadrat kritične frekvencije nekog sloja je direktno proporcionalan maksimalnoj gustini elektrona istog, odakle se može zaključiti da svaki sloj ima svoju lokalnu maksimalnu gustinu elektrona i to: N_eD , N_eE , N_eF1 i N_eF2 respektivno. Promene f_oD , f_oE i f_oF1 su u fazi sa solarnim varijacijama, dok je f_oF2 u kontrafazi. Postojanje D, E i F1 sloja zavisi od zenitnog ugla Sunca, pokazujući velike dnevne, sezonske i latitudinalne varijacije. Gledano na dnevnom nivou, slojevi D, E i F1 teže da nestanu, ili da se značajno smanje tokom noći. F1 sloj nestaje tokom zime, jer je zenitni ugao Sunca veći nego tokom leta kada je ovaj sloj konstantno prisutan. U svakom slučaju kritične frekvencije prate jedanaestogodišnji solarni ciklus, koji postoji zbog promene

aktivnosti na površi Sunca. Slika 4.10 pokazuje četiri ciklusa u periodu od 1957. do 1995. godine u funkciji broja sunčevih pega (veći broj pega – veća količina energije se potencijalno oslobađa iz Sunca).



Slika 4.10: Jedanaestogodišnji ciklus Sunca (Marković, 2012)

4.3.2.1 Slojevi jonosfere

D sloj - prostire se od 50 km do 90 km visine. Osnovni izvor jonizacije u ovom sloju jeste kosmičko zračenje koje je konstantno tokom celog dana (danju i noću), menjajući gustinu elektrona samo u zavisnosti od varijacija solarnog ciklusa. Elektroni se tokom noći neretko spajaju sa atomima i molekulima formirajući anjone zbog čega sloj nestaje. Preko dana, pobuđeni sunčevim zračenjem, elektroni teže ponovnom odvajanju od anjona, zbog čega ponovo nastaje D sloj. Kao posledica takvog ponašanja elektrona, na visini od oko 60 km, elektroni postoje samo danju (tokom obdanice), izazivajući vidljive dnevne varijacije gustine elektrona. Tipičan raspon gustine elektrona u podne na srednjoj geografskoj širini iznosi između $6,1 \cdot 10^8$ i $13,1 \cdot 10^8 \frac{\text{elektrona}}{\text{m}^3}$, u zavisnosti od solarne aktivnosti. Po nekim autorima donja oblast (50 km do 60 km), može se nazvati S sloj, gde postoji samo kosmičko zračenje kao izvor jonizacije, za razliku od srednje i gornje oblasti gde pored kosmičkog postoji i X zračenje.

E sloj - širina nije u potpunosti definisana, međutim sa slike 4.8 može se pretpostaviti da se

prostire od 90 km do 150 km. Skoro u potpunosti zavisi od nivoa solarne aktivnosti i zenitnog ugla Sunca, pa zbog toga postoji samo danju. Glavni izvor jonizacije jesu X zraci, zbog čega postoje različite varijacije gustine elektrona, kako dnevne i sezone, tako i varijacije usled već pomenutih solarnih ciklusa. Tipičan raspon gustine elektrona, u podne na srednjoj geografskoj širini, iznosi između $1,3 \cdot 10^{11}$ i $1,7 \cdot 10^{11} \frac{\text{elektrona}}{\text{m}^3}$.

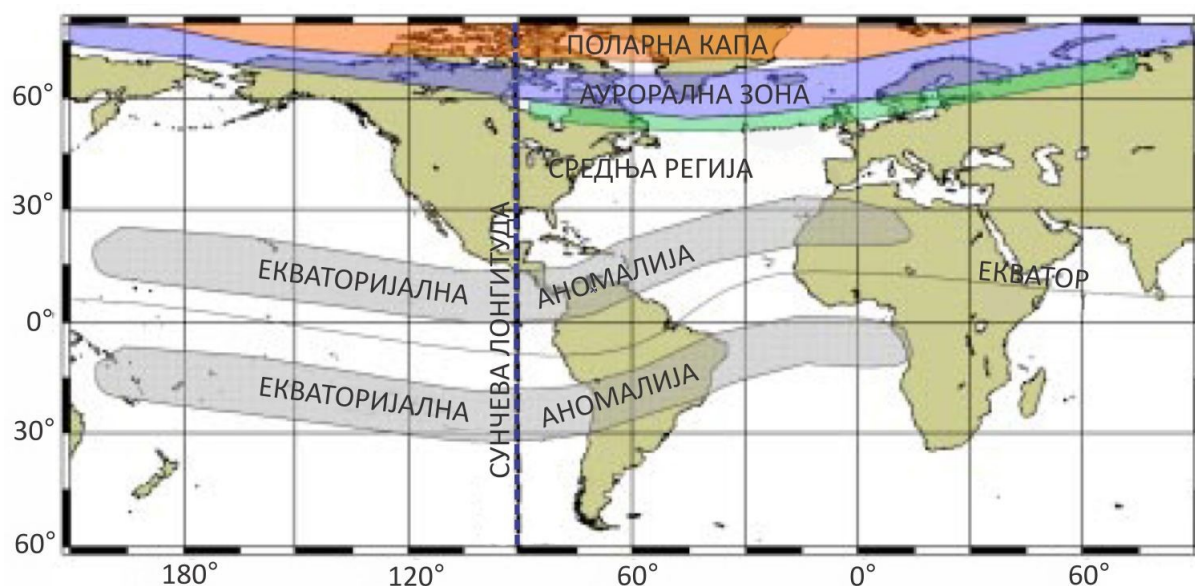
F1 sloj - prostire se od 150 km do 250 km. Glavni izvor jonizacije u ovom sloju jeste EUV zračenje. Zavisi od zenitnog ugla Sunca, pa ga je samim tim moguće posmatrati samo tokom dana, a i tada se izgled sloja vrlo brzo menja (u pitanju su minuti). Izraženiji je u letnjem periodu, dok u zimskom periodu praktično i ne postoji. Tipičan raspon gustine elektrona, u podne na srednjoj geografskoj širini, iznosi između $2,3 \cdot 10^{11}$ i $3,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{elektrona}}{\text{m}^3}$ u zavisnosti od solarne aktivnosti.

F2 sloj - prostire se od 150 km do 500 km. Ovaj sloj se smatra najbitnijim jonosferskim slojem u pogledu prostiranja EM talasa. Kritična frekvencija f_oF2 je u kontrafazi sa solarnom aktivnošću, odakle se može zaključiti da je F2 sloj nezavisan od zenitnog ugla Sunca. Konkretnije, kritična frekvencija f_oF2 u januaru u podne je dvostruko veća nego tokom leta. Ova zimska anomalija se događa tokom dana, ali ne i noću. Tokom letnjih meseci, za razliku od zimskih, kritična frekvencija f_oF2 , pokazuje male dnevne varijacije. Globalna prostorna raspodela pokazuje jaku geomagnetnu zavisnost, ali i linearnu zavisnost od broja sunčevih pega. Tipičan raspon gustine elektrona, u podne na srednjoj geografskoj širini, iznosi između $2,8 \cdot 10^{11}$ i $5,2 \cdot 10^{11} \frac{\text{elektrona}}{\text{m}^3}$.

4.3.2.2 Karakteristične regije jonosfere

Postoje tri glavne regije jonosfere i to: ekvatorijalna regija, srednja regija i polarna regija, što je i prikazano na slici 4.11 (Komjathy, 1997).

Ekvatorijalna regija se može okarakterisati kao oblast sa najvećim vrednostima gustine elektrona. Kombinovani efekat visokog nivoa zračenja sa Sunca i električnog i magnetnog polja Zemlje rezultira u tome da se elektroni podižu i pomeraju duž horizontalnih linija magnetnog polja. Ova pojava se naziva efekat fontane. Elektroni se pomeraju po 10 do 20 stepeni geomagnetne širine izazivajući visoku koncentraciju elektrona koja se često naziva



Slika 4.11: Glavne jonosferske regije (Komjathy, 1997)

ekvatorijalna anomalija.

Srednja regija je najmanje promenljiva i poremećena regija u odnosu na ostale karakteristične jonosferske regije. Najčešće je oslobođena efekta izazvanog od strane magnetnog polja, tačnije geometrije magnetnog polja karakteristične za ekvatorijalnu regiju.

Polarna regija, pored fotonizacije, kao dodatni izvor jonizacije ima i sudarnu jonizaciju. Glavni razlog tome jeste činjenica da su geomagnetske linije u ovoj regiji približno vertikalne, navodeći naelektrisane čestice da poniru ka E sloju, tačnije na visine od oko 100 km. Ove čestice se mogu sudarati sa neutralnim atmosferskim gasovima, izazivajući lokalna povećanja koncentracije elektrona, pojava koja je povezana sa auroralnom aktivnošću. Ova aktivnost se može definisati kao interakcija između magnetosfere, jonosfere i atmosfere. Auroralne zone su relativno tanki prstenovi smešteni između 64° i 70° geomagnetske širine, kako severne tako i južne.

Direktna interakcija između magnetosfere i interplanetarnog magnetnog polja rezultuje u pojavi dnevnih vrhova ili rascepa. Ovaj pojas je obično širok dva do četiri stepena i smešten između 78° i 80° geomagnetne širine. Ova pojava se može okarakterisati kao povećanje gustine elektrona na svim visinama.

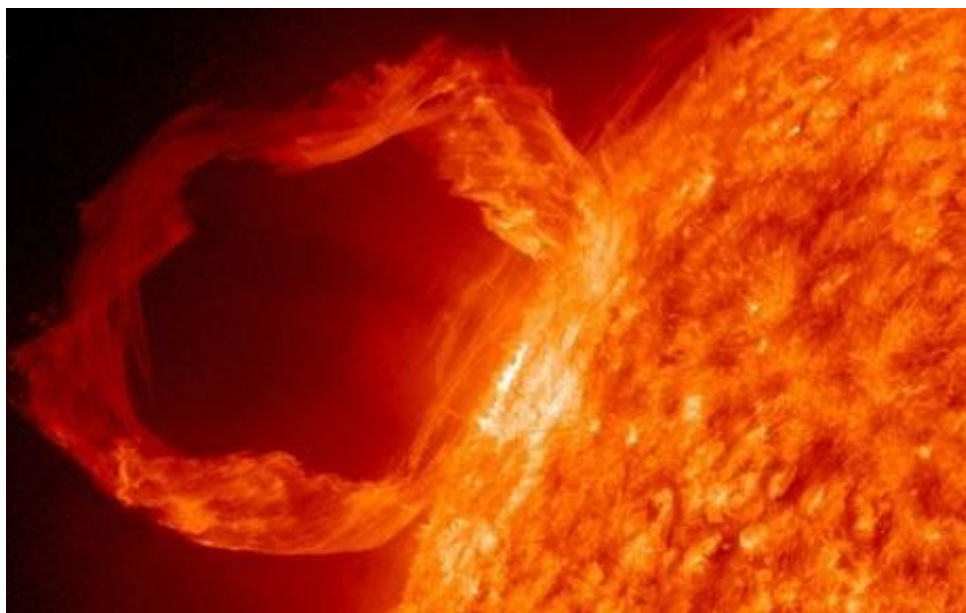
Geografske regije u okolini auroralnih prstenova se nazivaju polarne kape. Razumevanje polarnih kapa je ograničeno usled nedostatka informacija. U svakom slučaju poznato je da na polarne

kape utiču solarne oluje i velike eksplozije koje se odvijaju na površi Sunca, nakon kojih velika količina sunčevog zračenja bombarduje Zemlju, prouzrokujući povećanje gustine elektrona u D sloju.

4.3.2.3 Jonosferski poremećaji

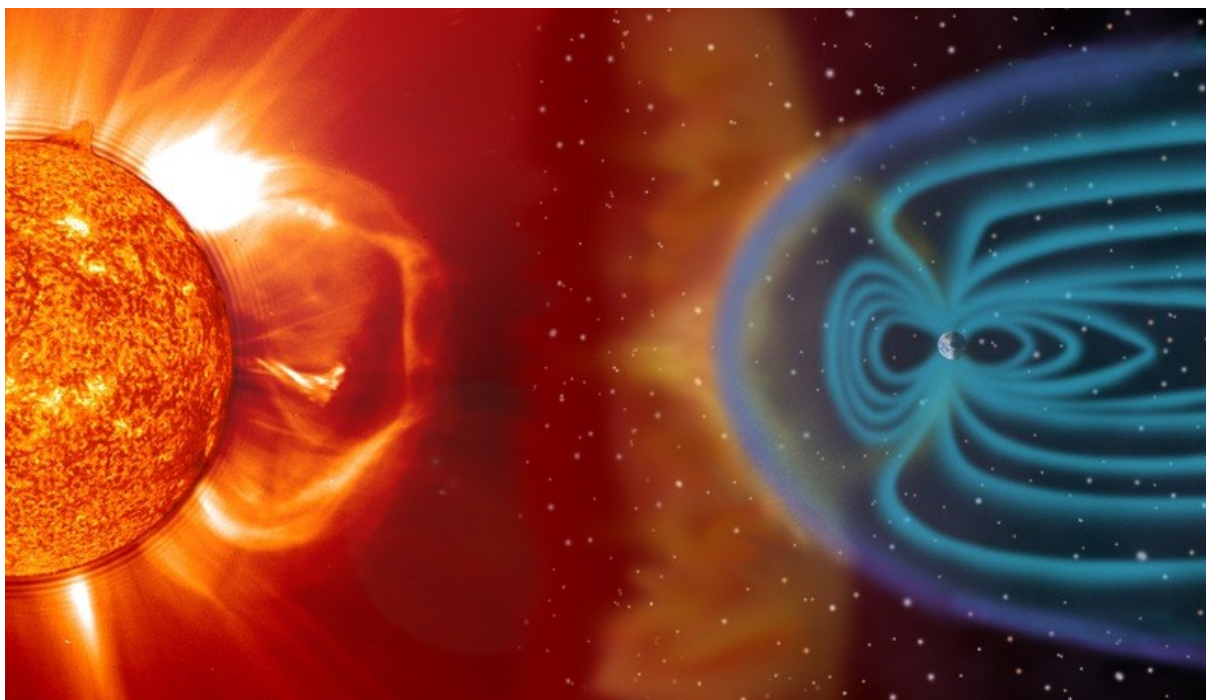
Jonosferski poremećaji mogu nastati zbog solarnih poremećaja ili poremećaja geomagnetnog polja. Ovi poremećaji su direktno ili indirektno povezani sa događajima na Suncu. Geomagnetski poremećaji su indirektno povezani sa događajima na Suncu, samo što ti događaji deluju na spoljašnje geomagnetske linije (predeo nazvan magnetopauza), tako što sabijaju geomagnetno polje izazivajući geomagnetske poremećaje. Sa aspekta promene gustine elektrona, jonosferski poremećaji mogu imati veliki uticaj u vidu brzih ili trenutnih promena gustine i rasporeda elektrona i kritičnih frekvencija (Komjathy, 1997).

Jonosferske oluje mogu biti izazvane intenzivnim solarnim erupcijama, poznatijim kao solarne baklje (slika 4.12). Pritom se u svemir izbacuju visoko energetske čestice koje mogu ugroziti živote astronauta ili uništiti satelitsku elektroniku i time prekinuti bilo kakvu satelitsku komunikaciju. X zracima, koji su sastavni deo eksplozije, potrebno je osam minuta da doputuju do Zemlje i mogu da prodru do D sloja izazivajući povećanu jonizaciju, poznate kao iznenadne jonosferske smetnje (SID).



Slika 4.12: Solarna baklja (Marković, 2012)

Tokom veoma jake erupcije sa Sunca se mogu osloboditi i protoni vodonika, koji mogu pogoditi Zemlju izazivajući događaj nazvan apsorpcija polarnih kapa. Ako je solarna baklja dovoljno velika, oblak plazme može pogoditi Zemlju izazivajući jonosfersku oluju, što se može videti na slici 4.13. Ovo se manifestuje kao iznenadna, nepredviđena promena kritične frekvencije f_oF^2 , sloja F2. Bez obzira da li je kritična frekvencija povećana ili smanjena, sama promena zavisi od više faktora i to: doba dana kada je oblak plazme pogodio Zemlju, lokalnog vremena, godišnjeg doba, širine i vremenskog trajanja oluje.



Slika 4.13: Nastanak solarne oluje (Marković, 2012)

Sunčeve pege su oblasti koje se na površi Sunca vide kao tamne tačke. Izgledaju tamne iz razloga što je temperatura te oblasti značajno manja od temperature na površi Sunca. Kako se broj sunčevih pega povećava, tako je i verovatnoća erupcije koja izaziva solarne baklje veća. Na osnovu jedanaesto godišnjeg solarnog ciklusa (slika 4.10) mogu se definisati solarni maksimumi i minimumi, te se na osnovu broja sunčevih pega može očekivati veća ili manja aktivnost Sunca (solarnih baklji), što je izuzetno značajno pri izučavanju jonosferskih poremećaja.

Koronalne rupe su oblasti na sunčevoj površi, iz kojih izviru otvorene linije sunčevog magnetnog polja, koje se prostiru izvan Sunca u svemir. Kroz koronalne rupe Sunce vrši masivno izbacivanje naelektrisanih čestica u vidu solarnog vetra. Prosečna brzina vetra iznosi oko $300 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, a ukoliko premaši brzinu od $500 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, može se reći da se radi o solarnom vetru velike

brzine (HSSWS). Usled rotacije samog Sunca i erupcije iz koronalnih rupa, dešava se da solarni vetrovi, pogotovu HSSWS, dođu i do Zemlje, čime se stvaraju uslovi za pojavu jonosferskih poremećaja.

Srećom, efekti HSSWS nisu toliko štetni, kao što to mogu biti efekti solarnih baklji. To je iz prostog razloga što HSSWS ne pogađa Zemlju brzinom i energijom kojom to čini oblak nastao iz solarne baklje.

Geomagnetske oluje nastaju u sadejstvu sa jonosferskim olujama. Mogu ih izazvati solarne baklje ili HSSWS. Oluje su najčešće povezane sa povećanjem gustine elektrona u nižim regijama jonosfere i simultanom povećanju apsorpcije radio talasa. Geomagnetska oluja obično započinje sa povećanjem intenziteta Zemljinog magnetnog polja koje se naziva početna faza. U sledećem stadijumu intenzitet početne faze naglo opada, pa se taj stadijum naziva glavna faza. Oluja prouzrokovana solarnim bakljama odlikuje se time što početna faza započinje iznenadno, za razliku od oluje prouzrokovane HSSWS, gde se očekuje postepen početak oluja, koje se ponavljaju svakih 27 dana prateći rotaciju Sunca.

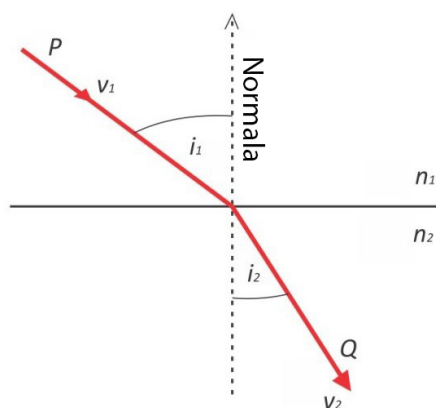
Specifični rasporedi grupa elektrona u jonosferi ili lokalni jonosferski poremećaji mogu izazvati refrakciju ili difrakciju EM talasa prilikom prolaska kroz jonosferu. Savijanje talasa prilikom refrakcije ili difrakcije izaziva fluktuacije amplitude i faze samog signala. Ove fluktuacije se nazivaju **jonosferske scintilacije**. Promene faze ili amplitude preko određene granice izazivaju probleme sa GNSS prijemnicima.

4.3.2.4 Prostiranje satelitskog signala kroz jonosferu

Kada radio talasi, kao što su oni emitovani sa GNSS satelita, prolaze kroz jonizovanu sredinu, javljaju se dva efekta: putanja zraka je savijena i signal dolazi do odredišta sa zakašnjenjem. Slobodni elektroni u jonosferi jesu su odgovorni za ovu pojavu, izazivajući refrakciju. Refrakcija zraka (slika 4.14) je definisana kao odnos sinusa upadnog i sinusa prelomnog ugla za dve sredine, koja je stalna veličina i jednaka odnosu apsolutnih indeksa prelamanja druge i prve sredine, pri čemu upadni zrak, normala i prelomni zrak leže u istoj ravni. Ovo je poznati Snel-Dekartov zakon koji glasi (Webster, 1993):

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2, \quad (4.31)$$

gde i_1 predstavlja upadni ugao između zraka i normale upravne na graničnu površ, i_2 prelomni ugao između zraka i normale upravne na graničnu površ, dok su n_1 i n_2 indeksi prelamanja dve sredine.



Slika 4.14: Pojam refrakcije zraka (Marković, 2012)

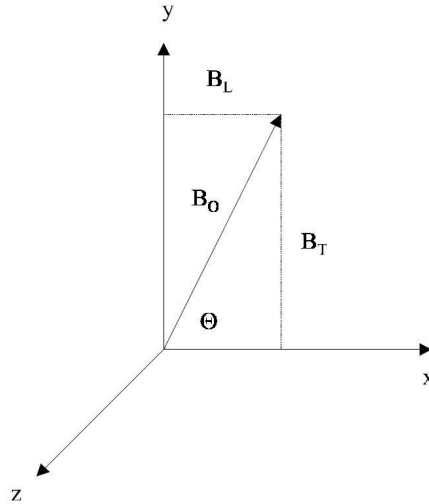
Indeks prelamanja neke sredine je odnos brzine prostiranja zraka u vakuumu i brzine prostiranja zraka u samoj sredini. U vakuumu je $n = 1$, dok u drugim sredinama može biti veći ili manji od jedan.

Međutim, ponašanje talasa u jonosferi ne može biti opisano samo ovom relativno jednostavnom jednačinom. Da bi se adekvatno opisalo ponašanje radio talasa koji prolaze kroz jonosferu, mora se imati u vidu da je jonosfera parcijalno jonizovana, sferno slojevita plazma sa širokim spektrom neravnomerno raspoređenih nepravilnosti, duž koje se prostire neravnomerno magnetno polje, koje je samo po sebi izobličeno zbog poremećaja koji nastaju usled pojave solarnih vetrova.

Za slučaj jonosfere, indeks prelamanja je kompleksna veličina, koju je Edvard Eplton opisao u svojoj magnetojonskoj teoriji jonosfere. On je prvi pokazao da se pri prolasku kroz magnetizovanu plazmu, ravanski polarizovan talas deli na dva kružno polarizovana talasa koji rotiraju u suprotnim smerovima. Hartri je, 1931. godine, predložio da se u teoremi primeni još i pojam Lorencove polarizacije, nakon čega je formula za računanje kompleksnog indeksa prelamanja dobila naziv Eplton-Hartrijeva formula. Ova formula se odnosi na sredinu koja

je električno neutralna, pa ne rezultuje nekim nabojem u prostoru i sa jednakim je brojem elektrona i katjona, duž koje se prostire konstantno magnetno polje, a efekat katjona na talas je zanemarljiv.

Neka ravanski EM talas putuje duž x ose ortogonalnog koordinatnog sistema kao na slici 4.15 i neka ravnomerno spoljašnje magnetno polje leži u xOy ravni i formira ugao Θ sa smerom prostiranja talasa.



Slika 4.15: Putanja EM talasa duž ortogonalnog koordinatnog sistema (Komjathy, 1997)

Kompleksni indeks prelamanja dat Eplton-Hartrijevom formulom glasi (Komjathy, 1997):

$$n^2 = 1 - \frac{X}{(1 - jZ) - \left[\frac{Y_T^2}{2(1 - X - jZ)} \right] \pm \left[\frac{Y_T^4}{4(1 - X - jZ)^2} + Y_L^2 \right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (4.32)$$

gde je n kompleksni indeks prelamanja $(\mu - j\chi)$, sa realnim delom μ i imaginarnim delom χ .

U generalnom obliku jednačina 4.32 se može napisati kao (Webster, 1993):

$$n^2 = 1 - F(f, f_p, f_h, \nu, \Theta), \quad (4.33)$$

Dalje važi:

$$X = \frac{\omega_p^2}{\omega^2} = \frac{f_p^2}{f^2}, \quad (4.34)$$

$$Y = \frac{\omega_h}{\omega} = \frac{f_h}{f}, \quad (4.35)$$

$$Y_L = \frac{\omega_L}{\omega}, \quad (4.36)$$

$$Y_T = \frac{\omega_T}{\omega} i \quad (4.37)$$

$$Z = \frac{\omega_c}{\omega}, \quad (4.38)$$

gde su:

- $\omega \left[\frac{\text{radian}}{\text{s}} \right]$ - ugaona frekvencija nosećeg talasa frekvencije $f \text{ [Hz]}$,
- $\omega_c \left[\frac{\text{radian}}{\text{s}} \right]$ - ugaona frekvencija sudara između elektrona i težih čestica,
- $\omega_p \left[\frac{\text{radian}}{\text{s}} \right]$ - ugaona frekvencija plazme, koja se računa prema formuli $\omega_p^2 = \frac{Ne^2}{\varepsilon_0 m}$, sa gustinom elektrona $N \left[\frac{1}{\text{m}^3} \right]$, naelektrisanjem $e \text{ (} 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C)}$, dielektričnom konstantom slobodnog prostora $\varepsilon_0 \text{ (} 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \text{)}$ i masom elektrona $m \text{ (} 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg)}$,
- $f_p \text{ [Hz]}$ - frekvencija plazme,
- $\omega_h \left[\frac{\text{radian}}{\text{s}} \right]$ - ugaona žirofrekvencija, računa se prema formuli $\omega_h = \frac{B_0 |e|}{m}$, sa magnetnom indukcijom $B_0 \left[T = \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right]$,
- $f_h \text{ [Hz]}$ - žirofrekvencija slobodnih elektrona,
- ν - frekvencija sudara,
- $\omega_L \left[\frac{\text{radian}}{\text{s}} \right]$ - longitudinalna ugaona žirofrekvencija, računa se prema formuli $\omega_L = \frac{B_0 |e|}{m} \cos \Theta$,
- $\omega_T \left[\frac{\text{radian}}{\text{s}} \right]$ - transversalna ugaona žirofrekvencija, računa se prema formuli $\omega_T = \frac{B_0 |e|}{m} \sin \Theta$ i
- Θ - ugao između signala i vektora magnetnog polja.

Jednačinu 4.33 je moguće razviti u beskonačan red, ali zanemarivanjem sudara ($Z \approx 0$) i uticaja magnetnog polja ($\Theta \approx 0$), dovoljna su samo prva dva člana:

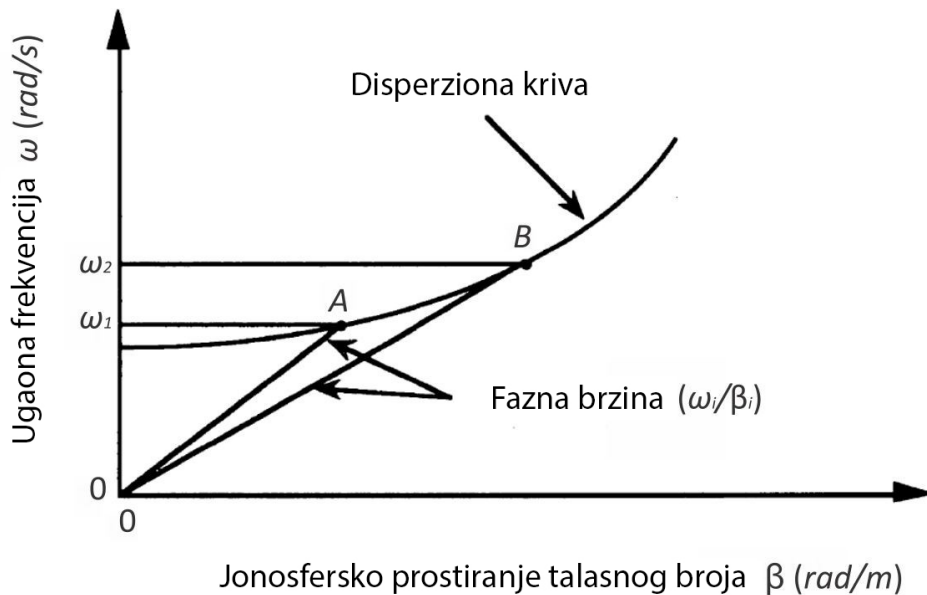
$$n = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{f_p^2}{f^2}. \quad (4.39)$$

Pošto za bilo koju tačku važi $f_p^2 = 80,6 \cdot N [H_z^2]$, jednačina 4.40 se može napisati kao:

$$n = 1 - 40,3 \cdot \frac{N}{f^2}, \quad (4.40)$$

za čist noseći talas.

Važno je napomenuti da je indeks prelamanja funkcija kvadrata frekvencije signala, tj. jonosfera je disperzivna sredina. Specifičan tip disperzije, jeste refraktivna disperzija, što je u stvari razdvajanje skupa signala usled činjenice da je brzina EM talasa u jonizovanoj sredini zavisna od frekvencije. Disperziona kriva, prikazana na slici 4.16, pokazuje disperzione karakteristike jonosfere.



Slika 4.16: Disperziona kriva (Webster, 1993)

Kriva sa slike 4.16 se menja ukoliko se gustina elektrona promeni usled već prethodno objašnjenih pojava. Fazna brzina signala je data gradijentom linije koja ide od koordinatnog početka do tačke na krivoj sa odgovarajućom ugaonom frekvencijom (tačka A sa ugaonom

frekvencijom ω_1 i tačka B sa ugaonom frekvencijom ω_2). Može se uočiti da se brzina menja sa promenom frekvencije. Grupna brzina, koja predstavlja brzinu prostiranja kodne informacije upisane u noseći talas satelitskog signala, data je gradijentom do tačke na krivoj gde linija fazne brzine preseca istu. Tačka gde kriva seče vertikalnu osu predstavlja kritičnu frekvenciju i svi radio talasi ispod te frekvencije neće imati brzinu (kriva će biti horizontalna). Time su definisane fazna brzina $v_p = \frac{\omega}{\beta}$ i grupna brzina $v_g = \frac{\partial \omega}{\partial \beta}$, sa odgovarajućim faznim indeksom prelamanja $n_p = \frac{c}{v_p}$, odnosno grupnim indeksom prelamanja $n_g = \frac{c}{v_g}$ (Webster, 1993).

Fazni indeks prelamanja za jonosferu se može napisati kao:

$$n_p = 1 - 40,3 \cdot \frac{N}{f^2}, \quad (4.41)$$

što je ekvivalentno jednačini 4.40.

Za grupni indeks prelamanja važi:

$$n_g = 1 + 40,3 \cdot \frac{N}{f^2}. \quad (4.42)$$

U stvarnosti se, inače, ne meri geometrijsko, već elektromagnetsko rastojanje između satelita i prijemnika. Ovo rastojanje se može napisati u obliku:

$$S = \int_{Satelit}^{Prijemnik} n \, ds. \quad (4.43)$$

Zamenom 4.41 u 4.43 dobija se:

$$S = \rho - 40,3 \cdot \frac{1}{f^2} \int_{Satelit}^{Prijemnik} N \, ds = \rho - 40,3 \cdot \frac{TEC}{f^2}, \quad (4.44)$$

gde TEC (totalni sadržaj elektrona (TEC)) predstavlja integrisanu gustinu elektrona duž puta signala datu u TEC jedinicama tj. ($1 \, TECU = 10^{16} \frac{1}{m^2}$), a ρ je pravo rastojanje. Ekvivalentni izraz za modulisani signal glasi:

$$S = \rho + 40,3 \cdot \frac{1}{f^2} \int_{Satelit}^{Prijemnik} N ds = \rho - 40,3 \cdot \frac{TEC}{f^2}. \quad (4.45)$$

Iz poslednje dve jednačine se jasno vidi da, tokom prolaska kroz jonosferu, faza nosećeg talasa se ubrzava (S je kraće od ρ), dok modulirani signal usporava izazivajući kašnjenje (S je duže od ρ).

S obzirom da je ρ istinito rastojanje od satelita do prijemnika, drugi deo jednačina 4.44 i 4.45 predstavlja grešku izazvanu usled prostiranja signala kroz jonosferu, poznatije kao jonsfersko kašnjenje signala, tj.:

$$d_{jon} = 40,3 \cdot \frac{TEC}{f^2}. \quad (4.46)$$

Pošto su frekvencije GNSS signala poznate, sledi da je jonsfersko kašnjenje samo funkcija TEC. Informacija o vrednostima TEC se obično preuzimaju u obliku vertikalnog totalnog sadržaja elektrona (VTEC), na osnovu čega je moguće izračunati kosi totalni sadržaj elektrona (STEC) prema:

$$STEC = VTEC \cdot \cos z'. \quad (4.47)$$

Vrednost z' predstavlja zenitni ugao satelita na jonsferskoj presečnoj tački (IPP), što je prikazano na slici 4.17.

4.3.2.5 Modeliranje determinističkih komponenti jonosfere

Efekti jonosfere koji utiču na prostiranje signala mogu se podeliti na determinističke i stohastičke komponente. Deterministička komponenta obuhvata predvidljive varijacije koje se mogu tačno modelirati korišćenjem fizičkih i empirijskih modela. Ključni faktori (detaljno opisani u prethodnim poglavljima) koji doprinose ovim predvidljivim varijacijama uključuju:

1. **Solarni ciklus** - Jedanaestogodišnji solarni ciklus značajno utiče na gustinu elektrona u jonosferi. Tokom perioda visoke solarne aktivnosti, povećano sunčevo zračenje rezultira većim nivoima jonizacije.

2. **Dnevna varijacija** - Gustina elektrona u jonosferi varira tokom dana zbog promene ugla Sunca. Obično dostiže vrhunac oko lokalnog podneva kada je sunčevo zračenje najjače i opada tokom noći.
3. **Sezonska varijacija** - Gustina elektrona u jonosferi se menja i sa godišnjim dobima, na šta utiče nagib Zemljine ose i promena udaljenosti od Sunca.
4. **Geografska lokacija** - Ponašanje jonosfere varira u zavisnosti od geografske širine i dužine, na šta utiču faktori kao što su Zemljino magnetno polje i solarni zenitni ugao.

Za modeliranje determinističke komponente koriste se različiti pristupi:

1. **Empirijski modeli** - zasnivaju se na parametrizaciji velikog broja jonosferskih podataka prikupljenih tokom velikog vremenskog perioda. Primeri uključuju:
 - Međunarodni referentni model jonosfere (IRI) - model koji obezbeđuje prosečne vrednosti na mesečnom nivou, izvan auroralnih zona i za magnetno mirne uslove. Podaci koji se primenjuju u ovom modelu, prikupljaju se kroz razgranatu mrežu jonosondi, nekoherentnih radara i sličnih instrumenata instaliranih na nekoliko satelita.
 - Klobučarov model - model koji obezbeđuje korekcije za jonosfersko kašnjenje na osnovu pojednostavljenog globalnog modela.
2. **Fizički modeli** - zasnivaju se na fizičkim i hemijskim parametrima same jonosfere. Uključuju faktore kao što su sunčevo zračenje, geomagnetna aktivnost i hemijski sastav atmosfere. Primeri uključuju:
 - Teorijski jonosferski modeli - modeli koriste jednačine dinamičkih i hemijskih procesa u jonosferi radi definisanja profila gustine elektrona.
 - Globalne jonosferske mape (GIM) - generišu se na osnovu GNSS podataka, a pružaju globalne vrednosti TEC u realnom vremenu.
 - Jednoslojni model (SLM) - često primenjivan u GNSS aplikacijama, detaljnije u nastavku poglavlja.

Na slici 4.17 prikazan je SLM. Za primenu ovog modela pretpostavka je da su svi slobodni elektroni koncentrisani u sloju beskonačno male debljine. Funkcija mapiranja SLM $F_I(z)$ može se izraziti shodno jednačini 4.47 kao (Dach et al., 2015):

$$F_I(z) = \frac{STEC}{VTEC} = \frac{1}{\cos z'}, \quad (4.48)$$

s tim da je:

$$\sin z' = \frac{R}{R+H} \sin z, \quad (4.49)$$

gde su:

- z, z' - zenitni uglovi na stanici i IPP respektivno,
- R - srednji poluprečnik Zemlje i
- H - visina jonosferskog sloja.

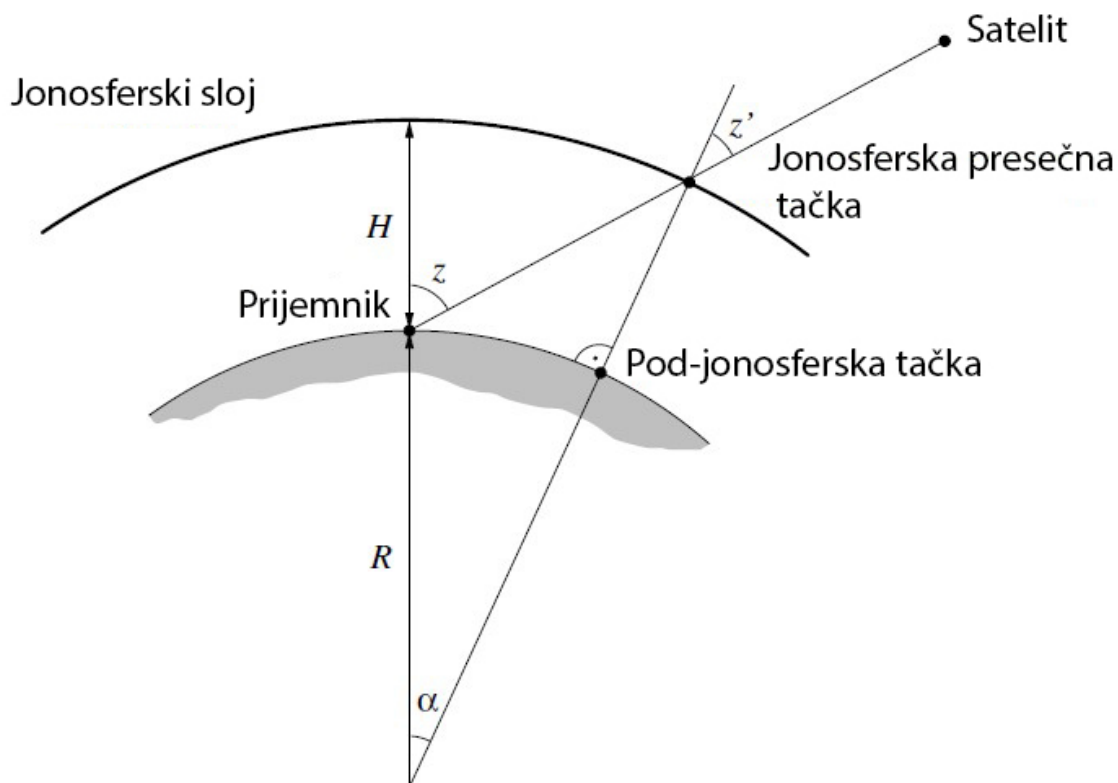
Modifikovani jednoslojni model (MSLM) sadrži dodatnu konstantu α , pa se jednačina 4.49 može napisati kao (Dach et al., 2015):

$$\sin z' = \frac{R}{R+H} \sin(\alpha z). \quad (4.50)$$

Dobijena funkcija mapiranja koristi se u analizi jonosfere u CODE, odakle se najčešće preuzimaju podaci o jonosferi za potrebe PPP. Za računanje IPP, pretpostavlja se visina $H = 450$ km u odnosu na stanicu na Zemlji.

Za mapiranje TEC, koristi se pomenuta linearna kombinacija oslobođena uticaja geometrije objašnjena u poglavlju 2.4.1.2. Za ove potrebe, jednačina 2.9 se može napisati kao (Dach et al., 2015):

$$\begin{aligned} L_4 &= -a \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) F_I(z) VTEC(\beta, s) + N_4 \\ P_4 &= +a \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) F_I(z) VTEC(\beta, s) + N_4, \end{aligned} \quad (4.51)$$



Slika 4.17: Jednoslojni model (Dach et al., 2015)

gde su:

- a - konstanta sa vrednošću $a = 4,03 \cdot 10^{17} \frac{\text{m}}{\text{s}^2 \text{TECU}}$,
- f_1, f_2 - frekvencije nosećih signala L_1 i L_2 respektivno,
- $VTEC(\beta, s)$ - VTEC u funkciji geografske latitude β i sunčevo fiksne longitude s i
- $N_4 = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$ - konstantni uticaj (u metrima) usled inicijalnih faznih neofređenosti N_1 i N_2 , kao i odgovarajućih talasnih dužina λ_1 i λ_2 .

Shodno potrebama istraživanja, u nastavku su prikazana tri tipa jonosferskih modela za rešavanje determinističke komponente jonosfere i to:

- lokalni modeli bazirani na dvo-dimenzionalnom razvoju Tejlorovog reda,

- globalni (ili regionalni) modeli bazirani na sferno-harmonijskom razvoju i
- modeli specifični za stanicu, takođe bazirani na sferno-harmonijskom razvoju.

Lokalni TEC model

Lokalni TEC model primenljiv u blizini jedne ili više stanica sa dvostrukom frekvencijom predstavljen je sa (Dach et al., 2015):

$$VTEC(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^{m_{\max}} TEC_{nm} (\beta - \beta_0)^n (s - s_0)^m, \quad (4.52)$$

gde su:

- $n_{\max}$ i $m_{\max}$ - maksimalni stepeni dvo-dimenzionalnog razvoja Tejlrovog reda,
- TEC_{nm} - nepoznati koeficijenti Tejlrovog reda, tj. parametri lokalnog modela koje treba oceniti i
- β_0 i s_0 - koordinate tačke oko koje se primenjuje razvoj Tejlrovog reda.

Treba napomenuti da je β geografska latituda presečne tačke linije prijemnik-satelit sa jonosferskim slojem, dok s predstavlja sunčevu fiksnu longitudu IPP i povezano je sa lokalnim solarnim vremenom (LT) kao:

$$s = LT - \pi \approx UT + \lambda - \pi, \quad (4.53)$$

gde UT predstavlja univerzalno vreme, dok λ predstavlja geografsku latitudu pod-jonosferske tačke (slika 4.17). Za satelite sa nagibnim uglom u rasponu od 15° do 20° , sa različitim azimutima, pod-jonosferske tačke mogu biti udaljene i do 3000 km jedne od drugih. U svakom slučaju, primena jednačine 4.52 nije pogodna za regionalne i globalne modele zbog limitacije u (β, s) prostoru. Za dodatne informacije o lokalnom TEC modelu pogledati u (Wild, 1994).

Globalni TEC model

Globalni TEC model, koji može biti primenljiv i za regionalne modele, može se napisati kao (Dach et al., 2015):

$$VTEC(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\sin \beta) (a_{nm} \cos(m \cdot s) + b_{nm} \sin(m \cdot s)), \quad (4.54)$$

gde su:

- $n_{\max}$ - maksimalni stepen sferno harmonijskog rayvoja,
- $\tilde{P}_{nm} = \Lambda(n, m)P_{nm}$ - normalizovane Ležandrove funkcije n-tog stepena i m-tog reda, baziranih na funkciji normalizacije $\Lambda(n, m)$ i Ležandrove funkcije P_{nm} i
- a_{nm}, b_{nm} - nepoznati TEC koeficijenti sfernih harmonika, tj. parametri globalnog modela koje treba oceniti.

Detaljnije o globalnim TEC modelima može se naći u (Schaer, 1999).

Model TEC specifičan za stanicu

Modeli TEC specifični za stanicu tretiraju se na isti način kao globalni modeli. Međutim, jedan kompletan skup parametara jonosfere procenjuje se u odnosu na svaku stanicu koja učestvuje u opažanju.

4.3.2.6 Modeliranje stohastičkih komponenti jonosfere

Dok deterministički modeli obuhvataju predvidljive varijacije, stohastička komponenta zahteva sofisticiranije pristupe modeliranju kako bi se tačno opisala njena nasumična priroda.

Stohastička komponenta jonosfere odnosi se na nasumične i nepredvidive varijacije u jonosferskim uslovima koje ne mogu biti obuhvaćene determinističkim modelima. Ove varijacije mogu biti uzrokovane brojnim faktorima, uključujući:

1. **Solarna aktivnost** - solarne baklje i varijacije solarnog vetra mogu izazvati nagle i nepredvidive promene u gustini elektrona u jonosferi.

2. **Geomagnetne oluje** - poremećaji u Zemljinom magnetnom polju mogu dovesti do nepravilnosti u jonosferi.
3. **Atmosferske plime i talasi** - mogu izazvati fluktuacije u jonosferskoj gustini na različitim vremenskim skalama.
4. **Lokalni poremećaji** - događaji poput oluja i vulkanskih erupcija takođe mogu uticati na jonosferu na stohastički način.

Da bi kvantifikovanje stohastičkih varijacija unutar jonosfere bilo moguće, ključan je Stohastički parametar jonosfere (SIP). Ovaj parametar se koristi za karakterizaciju nasumičnih promena u gustini elektrona i drugim jonosferskim svojstvima, omogućavajući preciznije modeliranje i predikciju ovih varijacija, što je od suštinskog značaja za poboljšanje tačnosti GNSS.

Kao i kod determinističke komponente, za modeliranje stohastičke komponente koriste se različiti pristupi kao što su:

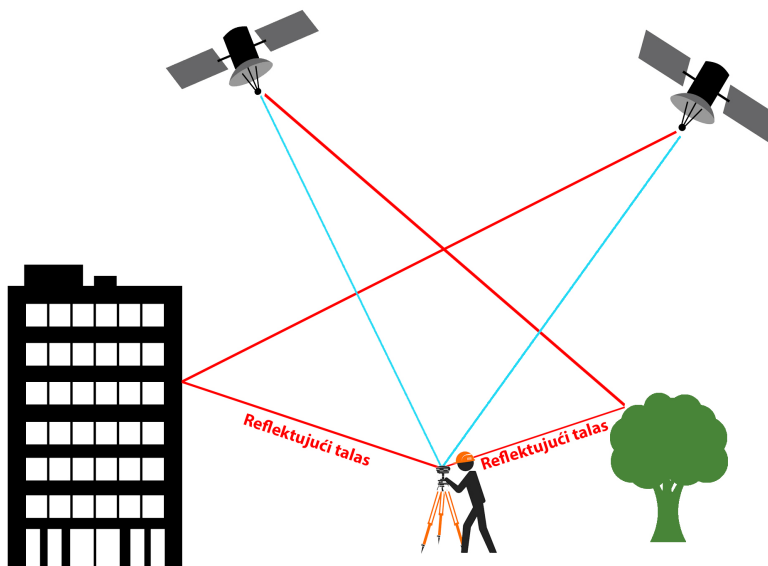
1. Stohastički procesi - definišu se svojim statističkim svojstvima, kao što su funkcije srednje vrednosti i kovarijanse, koje se mogu proceniti iz podataka opažanja.
2. Kalmanovo filtriranje - rekurzivni algoritam koji se koristi za procenu stanja dinamičkog sistema iz merenja opterećenih šumom. Može se koristiti za kontinuirano ažuriranje parametara modela jonosfere kako novi GNSS podaci postaju dostupni. Ovaj pristup pomaže u filtriranju šuma i obuhvatanju osnovnih stohastičkih varijacija.
3. Empirijski modeli - mogu se koristiti kao osnovna tačka na koju se dodaju stohastičke varijacije poput IRI modela.
4. Mašinsko učenje - sa pojavom velike količine podataka i mašinskog učenja, ove tehnike se sve više koriste za modelovanje stohastičkih komponenti jonosfere. Mašinski modeli mogu učiti složene obrasce i odnose iz velikih skupova podataka, što ih čini pogodnim za obuhvatanje stohastičke prirode jonosfere.

4.4 Instrumentalne greške

4.4.1 Višestruka refleksija

Višestruka refleksija nastaje iz razloga pristizanja signala različitim putevima usled refleksije, difrakcije, raspršivanja ili kombinacije, što je prikazano na slici 4.18. Bez obzira na trenutni razvoj performansi GNSS pozicioniranja, višestruka refleksija se još uvek smatra jednim od poslednjih velikih izvora nemodelovanih grešaka u GNSS. Razlog tome jeste sama priroda višestruke refleksije tj. (Karabatić, 2011)

- fenomen je specifičan za lokaciju, uzrokovan jedinstvenim okruženjem svake GNSS lokacije,
- dinamičan je u vremenskom i prostornom smislu, i stoga se ne može diferencirati,
- utiče i na kodna i na fazna merenja i
- zavisi od frekvencije i nagiba.



Slika 4.18: Primer višestruke refleksije

Ne postoji apsolutni način za eliminaciju ili predviđanje višestrukog puta, međutim, moguće mere za ublažavanje uključuju pažljiv odabir lokacije antene, poseban dizajn antena (choke

ring, mikro-strip), dizajn prijemnika za prepoznavanje i eliminaciju efekta signala koji nisu u vidnom polju, tehnike filtriranja, itd.

4.4.2 Fazne „wind-up” greške

Efekat „wind-up” utiče na merenja faze nosećeg talasa zbog promene u relativnoj orijentaciji između antena satelita i prijemnika. Ovaj efekat potiče od svojstava elektromagnetnog signala emitovanog sa satelita. Signali GNSS su desno kružno polarizovani, te su zavisni od rotacija antena. U slučaju statičkih merenja, efekat je uglavnom posledica kretanja satelita. Ova kretanja su obično spora i mala, osim u slučajevima kada satelit prolazi kroz brze manevre. U kinematičkom režimu merenja, ovaj efekat je obično posledica kretanja prijemnika i rotacije antene oko ose (Karabatić, 2011).

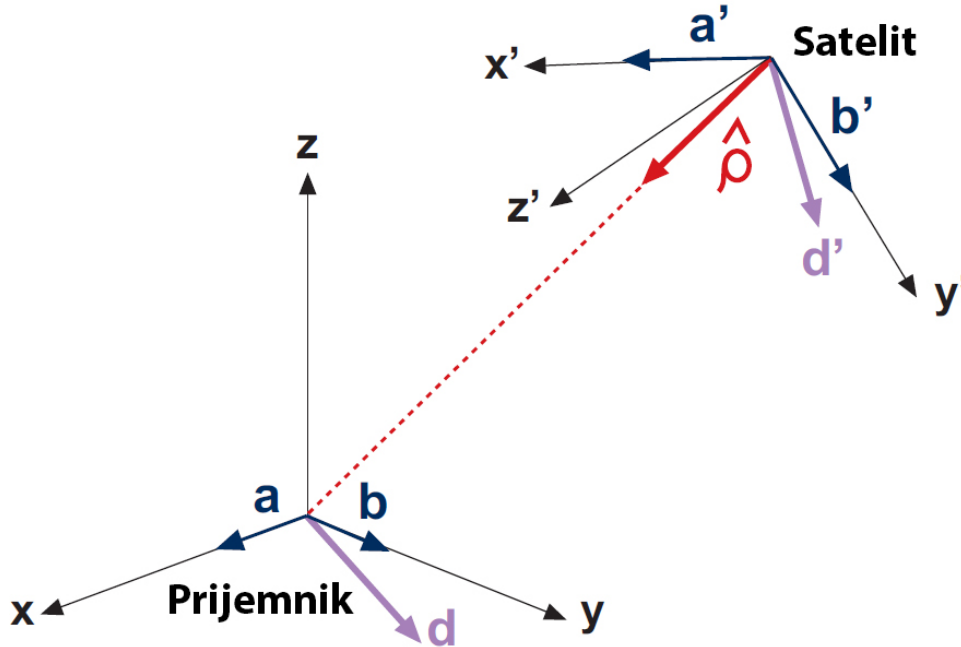
Jedna rotacija u smeru kazaljke na satu oko ose između satelita i prijemnika (vidljivo sa pozicije satelita) u smeru polarizacije signala uzrokuje prividno povećanje udaljenosti. S druge strane, rotacija u smeru kazaljke na satu u referentnom okviru prijemnika (geografska širina, dužina, visina) uzrokuje prividno smanjenje udaljenosti. Uticaj „wind-up” efekta može dostići vrednosti do jedne talasne dužine (oko 20 cm). U režimu dvostrukih razlika i na kraćim rastojanjima između baza (nekoliko stotina kilometara), ovaj efekat se obično poništava, jer je sličan za oba prijemnika. Za duže baze i posebno za PPP, ovaj efekat mora biti modelovan. Zanemarivanje i fiksiranje orbita može dovesti do greške u pozicioniranju na nivou decimetra.

Fazna „wind-up” greška se može prikazati kao (Wu et al., 1993):

$$\delta\phi = \text{sign}(\xi) \arccos\left(\frac{\vec{d}' \cdot \vec{d}}{|\vec{d}'||\vec{d}|}\right), \quad (4.55)$$

gde je $\xi = \hat{\rho} \cdot (\vec{d}' \times \vec{d})$, $\hat{\rho}$ jedinični vektor od satelita ka prijemniku, a $\vec{d}'$ i $\vec{d}$ predstavljaju efektivne dipole satelita i prijemnika, sračunatih na osnovu jediničnih vektora pozicije satelita $(\vec{x}', \vec{y}', \vec{z}')$ i koordinatnog sistema prijemnika $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$. Na slici 4.19 prikazan je raspored jediničnih vektora kao i orijentacije dipola. Jednačine dipola su (Wu et al., 1993):

$$\begin{aligned}\vec{d}' &= \vec{a}' - \hat{\rho}(\hat{\rho} \cdot \vec{a}') - \hat{\rho} \times \vec{b}' \\ \vec{d} &= \vec{a} - \hat{\rho}(\hat{\rho} \cdot \vec{a}) + \hat{\rho} \times \vec{b}.\end{aligned}\quad (4.56)$$



Slika 4.19: Raspored orijentacije dipola radi određivanja efekta (European Space Agency, 2024)

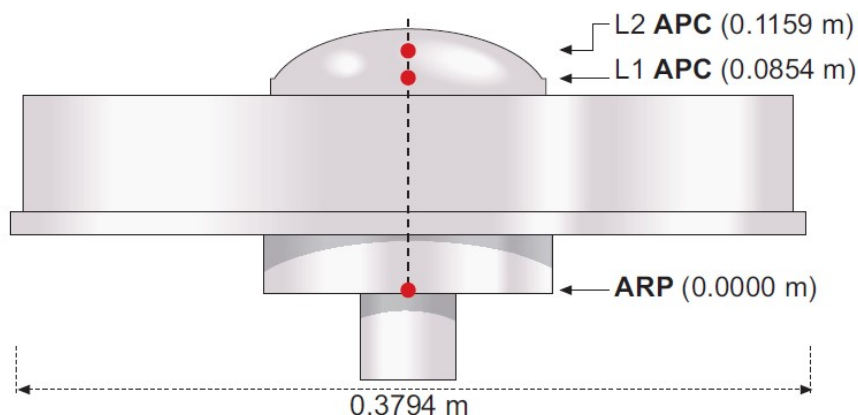
4.4.3 Varijacija faznog centra antene

Sva GNSS merenja se odnose na fazni centar antene (APC) (satelita i prijemnika). Pozicija APC ne mora biti geometrijski centar antene i zavisi od pravca dolaznog signala. Fazni centar je definisan kao prividni izvor zračenja. Da je izvor idealan, imao bi sfernu ekvifaznu konturu, ali u stvarnosti je kontura nepravilna i svaki segment ima sopstveno prividni izvor zračenja (Subirana et al., 2013a).

U suštini, APC ne zavisi samo od ugla (nagiba i azimuta), već zavisi i od frekvencije signala. Jednostavan model prikazuje razliku APC samo po vertikalnoj osi antene, što je i prikazano na slici 4.20. Proizvođači pružaju tehničke specifikacije definišući odstupanje faznog centra za konkretne modele prijemnika ili satelita.

Korekcije APC za različite modele prijemnika, u odnosu na antenu AOA Dorne Margolin T (AOAD/M T) (slika 4.20), definisane su od strane IGS i dostupne su za preuzimanje preko

interneta. U samom fajlu date su informacije o pomeranju faznog centra po koordinatama (North-East-Up - NEU), kao i varijacije faznog centra (PCV) u funkciji nagibnog ugla za vrednosti preko 10° .



Slika 4.20: Referentna antena AOA Dorne Margolin T (Subirana et al., 2013a)

Dana 5. novembra 2006. godine, IGS je prešao sa relativnih na apsolutne korekcije APC, usvajanjem ITRF2005. Apsolutne korekcije APC i PCV su određene pomoću robotskog sistema razvijenog na Univerzitetu u Hanoveru i kompanije Geo++. Organizacija IGS sastavlja konzistentan set apsolutnih korekcija APC za mreže prijemnika i satelite, koje su dostupne u formi Formata za razmenu podataka o antenama (EOP) (Gendt and Schmid, 2005).

Od ovog datuma pa na dalje, IGS proizvodi, odnosno „Standard Product 3” (SP3) fajlovi sa preciznim GNSS orbitama i časovnicima, kao i „Solution Independent Exchange” (SINEX) fajlovi sa izračunatim preciznim koordinatama referentne mreže stanica, povezani su sa Format za razmenu podataka o antenama (Antenna Exchange Format) (ANTEX) fajlovima za apsolutne korekcije APC.

4.4.3.1 Fazni centar antene prijemnika i referentna tačka antene

Merenja se odnose na poziciju APC. S obzirom da je pozicija APC zavisna od frekvencije, za referentnu tačku se koristi tačka vezana za bazu antene, koja se naziva referentna tačka antene (ARP). Kao što je već pomenuto, proizvođači obezbeđuju informaciju o položaju APC u odnosu na ARP. Isto tako, relativne i apsolutne korekcije APC sastavljene su od strane IGS i dostupne su u PCV i ANTEX fajlovima za nekoliko modela antena (Subirana et al., 2013a).

4.4.3.2 Fazni centar antene satelita

Emitovane efemeride se odnose na APC satelita u ECEF referentnom okviru, te nije potrebna dodatna korekcija prilikom obrade navigacione poruke. Ipak, precizne orbite i časovnici se odnose na centar mase satelita (SMC), te je neophodno uzeti u obzir vektor pomaka faznog centra. Ovaj pomak je definisan jediničnim vektorima $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ u fiksnom koordinatnom sistemu satelita i to (Subirana et al., 2013a):

- $\vec{k}$ - jedinični vektor usmeren od SMC ka centru Zemlje,

$$\vec{k} = -\frac{r^{sat_{SMC}}}{||r^{sat_{SMC}}||}, \quad (4.57)$$

gde $r^{sat_{SMC}}$ predstavlja koordinate SMC u ECEF referentnom okviru korišćenim u SP3 fajlu.

- $\vec{j}$ - predstavlja rezultujući jedinični vektor dobijen vektorskim proizvodom jediničnog vektora $\vec{k}$ i jediničnog vektora usmerenog od satelita ka Suncu $\vec{e}$,

$$\begin{aligned} \vec{j} &= \vec{k} \times \vec{e}, \text{ a} \\ \vec{e} &= \frac{\vec{r}_{sun} - \vec{r}^{sat_{SMC}}}{||\vec{r}_{sun} - \vec{r}^{sat_{SMC}}||}, \end{aligned} \quad (4.58)$$

gde se vektor $\vec{r}_{sun}$ može odrediti na osnovu planetarnih efemerida.

- $\vec{i}$ - predstavlja jedinični vektor kojim se zatvara desno orijentisani koordinatni sistem,

$$\vec{i} = \vec{j} \times \vec{k}. \quad (4.59)$$

Ako se sa Δ_{APC} označi APC odstojanje u fiksnom satelitskom koordinatnom sistemu, onda su APC koordinate u ECEF referentnom okviru:

$$\vec{r}^{sat_{APC}} = \vec{r}^{sat_{SMC}} + R \cdot \Delta_{APC}, \quad (4.60)$$

gde

$$R = \begin{bmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \end{bmatrix}.$$

Važno je napomenuti da su $\Delta_{APC_{L1}}$ i $\Delta_{APC_{L2}}$ u zavisnosti od frekvencije nosećeg talasa, što se može videti na slici 4.20.

4.4.4 Greške časovnika

Pomeraj časovnika nastaje usled grešaka u sinhronizaciji časovnika u odnosu na GNSS vremensku skalu. Greške se mogu podeliti na grešku časovnika satelita (δt^{sat}) i grešku časovnika prijemnika (δt_{rcv}).

Greška časovnika prijemnika se procenjuje zajedno sa koordinatama prijemnika, stoga modeliranje nije potrebno u ovom slučaju.

Greška časovnika satelita se može modelirati kao (Subirana et al., 2013a):

$$\delta t^{sat} = \tilde{\delta t}^{sat} + \Delta_{rel}. \quad (4.61)$$

Prvi član desne strane jednačine ($\tilde{\delta t}^{sat}$) se može izračunati iz vrednosti emitovanih u navigacionim porukama, kao i iz preciznih proizvoda dostupnih iz IGS centara ili drugih organizacija.

Drugi član Δ_{rel} predstavlja malu relativističku korekciju uzrokovanu ekscentričnošću orbite.

Navigaciona poruka emitovana sa satelita obezbeđuje informacije o časovniku u obliku koeficijenata polinoma, u datoj referentnoj epohi (t_0), radi određivanja greške časovnika i to:

$$\tilde{\delta t}^{sat} = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2. \quad (4.62)$$

Za GPS, Galileo ili Beidou satelite, koeficijenti a_0 , a_1 i a_2 predstavljaju pomeraj časovnika satelita, „drift” časovnika i stopu „drifta” časovnika respektivno, modeliranih za polinom

drugog reda. U slučaju GLONASS satelita, poruka se ažurira svakih pola sata, te se stoga uzima u obzir samo polinom prvog reda.

Tačnost emitovanih satova je reda nekoliko nanosekundi. Precizni GPS i GLONASS satovi koje obezbeđuje IGS su tačnosti do 0,1 ns ili bolje.

4.4.4.1 Relativistički uticaji

Stopa napredovanja dva identična časovnika, jednog postavljenog u satelit i drugog na Zemljinoj površi, razlikovaće se zbog razlike u gravitacionom potencijalu (opšta relativnost) i zbog relativne brzine između njih (specijalna relativnost). Ova razlika se može podeliti na dve komponente: konstantnu i periodičnu (Ashby, 2003).

Konstantna komponenta zavisi samo od nominalne vrednosti velike poluose orbite satelita, koja se podešava modifikovanjem frekvencije oscilovanja časovnika satelita, što se obavlja pri samoj proizvodnji satelita i to:

$$\frac{f'_0 - f_0}{f_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{v}{c} \right)^2 + \frac{\Delta U}{c^2} \simeq -4,464 \cdot 10^{-10}. \quad (4.63)$$

Periodična komponenta nastaje usled ekscentričnosti orbite i to:

$$\Delta_{rel} = -2 \frac{\vec{r}^{sat} \cdot \vec{v}^{sat}}{c^2}, \quad (4.64)$$

gde $\vec{r}^{sat}$ i $\vec{v}^{sat}$ predstavljaju vektore pozicije i brzine u inercijalnom sistemu respektivno.

Za razliku od drugih sistema, relativističke korekcije ekscentričnosti orbite za GLONASS se emituju unutar navigacione poruke kao korekcije satelitskog časovnika. Samim tim, jednačina 4.64 nije potrebna.

Pored relativističkog uticaja časovnika, postoji sekundarni relativistički uticaj kojeg bi trebalo pomenuti. Naime, reč je o relativističkom uticaju na putanju signala (Subirana et al., 2013a).

Ovo je efekat koji bi trebalo uzeti u razmatranje samo pri PPP, jer uticaj na dužinu je manji od 2 cm, te za većinu potreba je zanemarljiv. Efekat se naziva Šapirovo kašnjenje pri prostiranju

signala i može se smatrati opštom relativističkom korekcijom geometrijskog rastojanja. Zbog zakrivljenosti prostor-vremena usled uticaja gravitacionog polja, rastojanje se mora korigovati za:

$$\Delta\rho_{rel} = \frac{2\mu}{c^2} \ln \frac{\vec{r}^s + \vec{r}_r + \rho}{\vec{r}^s + \vec{r}_r - \rho}, \quad (4.65)$$

gde $\vec{r}^s$ predstavlja geocentrični vektor ka satelitu, $\vec{r}_r$ geocentrični vektor stanice, ρ rastojanje između satelita i prijemika, dok c i μ predstavljaju brzinu svetlosti i gravitacionu konstantu Zemlje respektivno.

4.4.5 Šum prijemnika

Šum prijemnika predstavlja grešku sličnu belom šumu i može se umanjiti primenom niskopropusnog filtera. Ova greška utiče i na kodna i na fazna merenja, ali različitim intenzitetom. Tačnost merenja pseudodužine je oko 1% talasne dužine. Ovo znači da, šum može imati maksimalnu vrednost od 3 m za GPS C/A kod i oko 30 cm za P kod. Međutim, primenom odgovarajućeg filtera, šum C/A koda se može smanjiti na oko 50 cm (Subirana et al., 2013a).

4.4.6 Diferencijalni kodni uticaji

Postojeći kodni uticaji predstavljaju značajan izvor grešaka u svim preciznim GNSS aplikacijama koje koriste kodna opažanja, kao što su, ocena časovnika satelita, rešavanja neodređenosti faze nosioca ili u kontekstu analize jonosfere. Ovi poremećaji nastaju zbog nesavršenosti izrade hardvera satelita i prijemnika. U suštini, zavise od frekvencija, tipa signala, tehnologije praćenja prijemnika, kao i od samog GNSS sistema koji prijemnik prati (Dach et al., 2015).

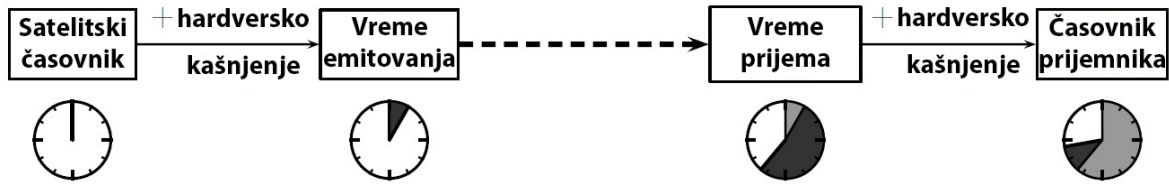
Ukratko, usled nesavršenosti hardverskih komponenti, vreme emitovanja signala sa satelita nije isto kao i vreme kada je satelitski časovnik registrovao isto emitovanje. Isto važi i za prijemnike. Vreme prijema koje registruje prijemnik je vreme kada je signal demodulisan i povezan sa unutrašnjim časovnikom prijemnika. Međutim, postoji vremensko kašnjenje između trenutka

kada signal stigne do antene i trenutka kada je povezan unutar hardvera. Na slici 4.21 dat je šematski prikaz uticaja hardverskih komponenti na kašnjenje signala.

Za potrebe modeliranja ovog uticaja, a shodno frekvencijama f_1 i f_2 , jednačina 2.5 se može modifikovati i napisati u dva oblika:

$$P_{R,1}^S = \rho_R^S + \Delta\rho_{iono,R}^S + \Delta\rho_{tropo,R}^S + c(\Delta t_R + \beta_{1,R}) - c(\Delta t^S + \beta_1^S) \quad (4.66a)$$

$$P_{R,2}^S = \rho_R^S + \frac{f_1^2}{f_2^2} \Delta\rho_{iono,R}^S + \Delta\rho_{tropo,R}^S + c(\Delta t_R + \beta_{2,R}) - c(\Delta t^S + \beta_2^S). \quad (4.66b)$$



Slika 4.21: Šematski prikaz uticaja hardverskih komponenti na kašnjenje signala (Dach et al., 2015)

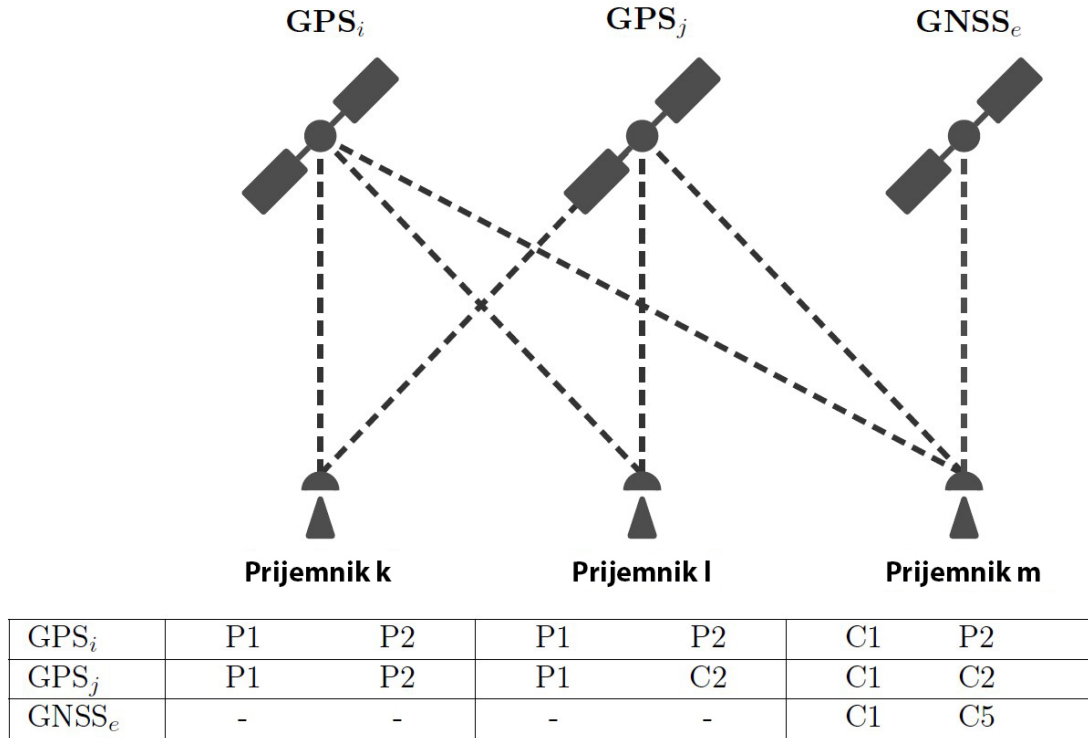
Odstupanja mogu postati značajna i kada se posmatraju razlike između signala samih satelita. Na slici 4.22 dat je jedan takav primer. Prijemnik k prati iste signale P1 i P2 sa dva GPS satelita i i j , dok prijemnik l prati signal P1 sa oba satelita, ali istovremeno prati P2 sa satelita i i C2 sa satelita j .

Prema tome, u jednačinama 4.66 parametar koji se tiče časovnika satelita j će biti $(\Delta t^S + \beta_2^S(P2))$, za stanicu k i $(\Delta t^S + \beta_2^S(C2))$ za stanicu l . Da bi ocena zajedničkog parametra satelitskih časovnika bila moguća, potrebno je uzeti u obzir razliku između dva hardverska kašnjenja. Ova konzistentnost se može postići na dva načina i to:

$$(\Delta t^S + \beta_2^S(P2)) = (\Delta t^S + \beta_2^S(C2) + D_2^S(P2, C2)) \text{ i}$$

$$(\Delta t^S + \beta_2^S(P2) + D_2^S(C2, P2)) = (\Delta t^S + \beta_2^S(C2)),$$

koji su ekvivalentni jer $(D_2^S(P2, C2)) = -(D_2^S(C2, P2))$. Trenutna konvencija od strane IGS definiše da se parametri časovnika moraju odnositi na linearnu kombinaciju P1 i P2



Slika 4.22: Raznovrsnost satelitskih signala praćenih od strane prijemnika (Dach et al., 2015)

signala oslobođenu uticaja jonosfere, koja je prikazana u poglavlju 2.4.1.1. Rezultujući uticaji u tom slučaju nazivaju se Diferencijalni kodni uticaji (DCB) i to $D_1^S(P1, C1) = P1 - C1$ i $D_2^S(P2, C2) = P2 - C2$.

Na slici 4.22 prikazan je i jedan multi-GNSS prijemnik m . Pored signala C1 sa GPS satelita i i j , prijemnik prima i C5 signal drugog GNSS satelitskog sistema e (konkretno u ovom primeru Galileo sistema). Međutim, iako je C1 signal zajednički za GPS i Galileo, ne može se smatrati da su $\beta_{1,m}^{GPS}(C1)$ i $\beta_{1,m}^{Galileo}(C1)$ isti jer prijemnik mora da procesira dva kompletno različita signala (različitih GNSS sistema). Koristeći GPS kao referencu, među-sistemi uticaj (ISB) za prijemnik m može se izraziti kao $\beta_{1,m}^{Galileo}(C1) - \beta_{1,m}^{GPS}(C1)$. Ako se razmatra slučaj između GPS i GLONASS, deo ISB može se takođe pripisati razlikama u frekvenciji signala.

5. FORMATI PODATAKA I NJIHOVA PRIMENA U APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU

Različiti formati podataka koriste se pri obradi PPP, čime se omogućava tačna i pouzdana razmena ključnih informacija za GNSS aplikacije. Ovi formati su od suštinske važnosti za istraživanja i praktične primene koje zahtevaju visoku preciznost u određivanju položaja.

Jedan od najvažnijih formata je RINEX, koji se koristi za razmenu GNSS opažanja. Ovaj format omogućava standardizovano beleženje sirovih podataka sa GNSS prijemnika, što uključuje informacije o pseudodužinama, fazama nosilaca, Doplerovim pomerajima i sl.

Pored RINEX formata, format SP3 je od ključnog značaja u smislu određivanja preciznih orbita satelita. Ovaj format pruža precizne podatke o pozicijama satelita u trodimenzionalnom prostoru u različitim vremenskim trenucima, što je neophodno za tačno pozicioniranje u PPP.

Format za satelitske vremenske podatke poznat je kao časovni fajl (CLK). Ovaj format sadrži informacije o vremenskim korekcijama za satelite, što omogućava sinhronizaciju vremena između različitih GNSS satelita i prijemnika na Zemlji.

Meteorološki podaci takođe igraju ključnu ulogu u PPP obradi. Ovi podaci uključuju informacije o pritisku, temperaturi i vlažnosti vazduha, što je neophodno za korekciju uticaja atmosferskih uslova na GNSS signale. Meteorološki podaci se često zapisuju u standardizovanim formatima kao što su „Gridded Binary” (GRIB) i „Binary Universal Form for the Representation of meteorological data” (BUFR), ali za potrebe GNSS obrade, praktičnija je primena RINEX .met formata.

Za razmenu i obradu ovih različitih formata podataka, koriste se specijalizovani softverski alati

i algoritmi. Na primer, softverski paketi kao što su Bernese GNSS Software, GIPSY-OASIS i RTKLIB podržavaju obradu RINEX, SP3 i CLK formata, omogućavajući preciznu analizu GNSS podataka.

Integracija različitih formata podataka omogućava korisnicima da postignu visoku tačnost u određivanju položaja, što je ključno za primene kao što su geodezija, navigacija, inženjering i naučna istraživanja. Na primer, PPP tehnike se koriste za praćenje tektonskih ploča, praćenje infrastrukture, kao i za određivanje visina i merenje promena nivoa mora.

Dalje, razmena standardizovanih formata podataka omogućava saradnju između različitih organizacija i institucija širom sveta. Na taj način se olakšava prikupljanje i analiza velikih količina podataka, što doprinosi razvoju novih tehnologija i poboljšanju postojećih metoda u GNSS obradi.

U akademskim istraživanjima, standardizovani formati podataka omogućavaju ponovljivost i validaciju rezultata, što je ključni aspekt naučne metode. Istraživači mogu deliti svoje podatke i rezultate sa drugima, što doprinosi kolektivnom znanju i napretku u oblasti GNSS tehnologija.

Konačno, standardizacija formata podataka za PPP obradu osigurava da se svi korisnici pridržavaju istih protokola i procedura, što smanjuje mogućnost grešaka i nesporazuma. To omogućava pouzdanu i efikasnu upotrebu GNSS tehnologija u različitim aplikacijama i industrijama.

Sve ove prednosti čine različite formate podataka nezamenjivim alatima u modernim GNSS aplikacijama, omogućavajući precizno i tačno pozicioniranje koje je ključno za mnoge naučne, inženjerske i praktične primene.

Pored navedenih formata, pri obradi PPP koristi se širok spektar različitih formata podataka. U nastavku poglavlja dat je detaljni prikaz većine formata korišćenih u istraživanju.

5.1 RINEX format podataka

5.1.1 Istorijat RINEX formata

Prva verzija RINEX formata (RINEX1) razvijena je od strane Astronomskog instituta Univerziteta u Bernu (AIUB) radi lakše razmene podataka i obradu kampanje EUREF-89 GPS, kampanje sprovedene 1989. godine koja je uključivala četiri različita tipa prijemnika i skoro stotinu stanica u većini zemalja Zapadne Evrope. Ovaj format je bio zasnovan na formatu razvijenom i korišćenom od strane Američke nacionalne geodetske službe za razmenu GPS podataka prikupljenih u Kooperativnoj međunarodnoj GPS mreži (CIGNET), prvoj globalnoj mreži stalnih GPS prijemnika korišćenih za civilne geodetske svrhe. Novi format, nazvan RINEX, predstavljen je geodetskoj zajednici na Petom međunarodnom geodetskom simpozijumu o satelitskom pozicioniranju u Las Krusesu, Novi Meksiko 1989. godine, gde je prihvaćen kao preporučeni format za razmenu geodetskih GPS sirovih podataka. Opis formata objavljen je u Biltenu Komiteta za svemirska istraživanja (COSPAR) i Međunarodne asocijacije za geodeziju (IAG), Podkomisije za geoid u maju/junu 1989. godine (CSTG GPS Bilten (CSTG)) (Dach et al., 2015).

Druga generacija (RINEX2) razmatrana je i prihvaćena na Drugom Međunarodnom Simpozijumu o Preciznom Pozicioniranju sa Globalnim Pozicionim Sistemom u Otavi, Kanada 1990. godine i objavljena u CSTG u septembru/oktobru 1990. godine. Ova verzija postala je standardni format opservacionih podataka IGS nakon njegovog osnivanja 1994. godine. Postoji nekoliko podverzija RINEX2 formata i to (IGS, 2021):

- RINEX verzija 2.10 (RINEX2.10) uvedena 1997. godine, važna nadogradnja koja je omogućila rukovanje GLONASS i mešovitim GPS/GLONASS podacima,
- RINEX verzija 2.11 (RINEX2.11) uvedena 2007. godine, naredna verzija koja je podržavala Galileo i nove tipove opažanja (npr. L2C) za GPS, a ujedno je bila i poslednja zvanična verzija RINEX2 formata,
- RINEX verzija 2.12 (RINEX2.12) predložena 2009. godine kao RINEX2-baziran multi-GNSS format podataka, nikada nije prihvaćena kao standard i

- RINEX verzija 2.20 (RINEX2.20), posebna nezvanična verzija za razmenu podataka o praćenju sa svemirskih prijemnika u okviru IGS „Low Earth Orbit” (LEO) pilot projekta.

U prilogu 1 prikazan je izgled jednog RINEX2.11 opažačkog (u daljem tekstu „observation”) fajla. Detaljnije o RINEX2 formatu opisano je u (Subirana et al., 2013b) i (AIUB, 2007b).

Početkom 2000-ih godina, pri planiranju nove GNSS konstelacije, pokazalo se da RINEX2 nije u potpunosti sposoban da efikasno podrži nove signale, načine praćenja i satelite. Nove konstelacije kao što su BeiDou, Galileo, QZSS, kao i modernizovani GPS i GLONASS sa novim frekvencijama i tipovima opažanja, zahtevale su promenu RINEX formata. RINEX Radna Grupa IGS u saradnji sa Radio-tehničkom komisijom za pomorske usluge (RTCM) bili su zaduženi za razvoj novog formata, te je 2007. godine predstavljena nova verzija RINEX3.00 koja u potpunosti podržava multi-GNSS opažanja.

Napretkom GNSS tehnologije uporedo je nadograđivana RINEX3 verzija i to (IGS, 2020):

- RINEX verzija 3.01 (RINEX3.01) uvedena 2009. godine, sa mogućnošću generisanja konzistentnih faznih opažanja kroz različite načine praćenja ili kanale, tj. primenu pomeranja od $\frac{1}{4}$ ciklusa pre generisanja RINEX fajla, ako je potrebno, kako bi se olakšala obrada takvih podataka,
- RINEX verzija 3.02 (RINEX3.02) uvedena 2013. godine, dodata podrška za QZSS, dodatne informacije za BeiDou i novu poruku za enumeraciju GLONASS kodnih i faznih uticaja,
- RINEX verzija 3.03 (RINEX3.03) uvedena 2015. godine, dodata podrška za NavIC, kao i rešavanje određenih implementacionih problema koji su se pojavili u RINEX3.02,
- RINEX verzija 3.04 (RINEX3.04) uvedena 2018. godine, dodaje pojašnjenja za tabele signala za GLONASS, QZSS i BeiDou, kao i manji broj izmena i ispravki potrebnih za nadogradnju prethodne verzije i
- RINEX verzija 3.05 (RINEX3.05) uvedena 2020. godine, ujedno i poslednja verzija RINEX3 formata, predstavlja veliku restrukturaciju i reviziju formata kako bi bio jasniji i lakši za čitanje, a takođe su dodati i BeiDou signali i kodovi za praćenje kako bi u potpunosti podržavao BDS-2 i BDS-3, kao i nadogradnja GLONASS navigacione poruke.

U prilogu 2 prikazan je izgled jednog RINEX3.05 „observation” fajla. Detaljnije o RINEX3 formatu opisano je u (Subirana et al., 2013b) i (IGS, 2020).

Najnoviji format RINEX4.00 uveden je 2021. godine nakon vrlo značajnog višegodišnjeg truda grupe Nemačkog centra za vazduhoplovstvo i svemir (DLR), konkretno Nemačkog centra za svemirske operacije (GSOC) (DLR/GSOC), s ciljem modernizacije GNSS formata navigacionih poruka, identifikacijom nedostajućih elemenata podataka navigacionih poruka iz različitih signala (IGS, 2021).

Pored toga, grupa DLR/GSOC dekodirala je sirove navigacione podatke i binarne formate datoteka prijemnika različitih proizvođača i zapisala vrednosti u preliminarne formate.

Pošto softveri za obradu GNSS opažanja još uvek ne podržavaju RINEX4.00 u potpunosti, neće se uzeti u dalje razmatranje ovaj format RINEX.

5.1.2 Generalni opis formata i konvencija o nazivima RINEX fajlova

Bez obzira koja je RINEX verzija u pitanju, format fajlova je po Američkom standardizovanom kodu za razmenu informacija (ASCII), a postoje tri tipa i to:

1. „Observation” fajl,
2. Navigacioni fajl i
3. Meteorološki fajl.

Pored ovih tipova, za RINEX2.10 uveden je novi fajl pod nazivom „SBAS Broadcast Data File” (Satelitski zasnovan sistem za augmentaciju (SBAS)) (AIUB, 2007a).

Od verzije RINEX2.11 uvedena su još 3 dodatna fajla i to (AIUB, 2007b):

1. GLONASS navigacioni fajl,,
2. GEO navigacioni fajl i
3. fajl sa podacima časovnika satelita i prijemnika.

Svaki tip se sastoji iz zaglavlja i sekcije sa podacima. Zaglavlje sadrži globalne informacije za ceo fajl i smešten je na početku. Zaglavlje nema fiksnu dužinu, a mnoge od oznaka su opcione u zavisnosti od primene. Komentari se mogu slobodno dodavati.

Svaki „Observation” i Meteorološki fajl u osnovi sadrži podatke sa jedne lokacije i iz jedne sesije. Nije preporučljivo spajati podatke više prijemnika (ili antena) u isti fajl, čak i ako se podaci vremenski ne preklapaju.

Preporučena konvencija imenovanja za RINEX verzije od 2.10 do 3.01 je sledeća:

mmmmDDD#.YYt ,

gde su:

- mmmm - niz od 4 karaktera koji predstavljaju kod stanice sa koje se opažalo,
- DDD - DoY,
- # - redni broj fajla unutar dana, u slučaju da ima više fajlova prikupljenih tokom dana (npr. *A – X* za časovne RINEX „observation” fajlove, ili 0 za dnevne),
- YY - poslednje dve cifre godine u kojoj je obavljena prva epoha opažanja i
- t - tip fajla (o - „observation” fajl, n - navigacioni fajl, m - meteorološki fajl, g - GLONASS navigacioni fajl, l - Galileo navigacioni fajl, h - GEO navigacioni fajl, b - „SBAS Broadcast Data File”, d - Hatanaka-kompresovani „observation” fajl i s - sumarni fajl).

S obzirom da je RINEX2 kreiran da dodatno sadrži GLONASS i Galileo opažanja, definisani su identifikatori satelitskih sistema i to (AIUB, 2007b):

- *G* - GPS,
- *R* - GLONASS i
- *E* - Galileo,

Shodno sistemu, identifikator je dodat PRN kodu satelita, pa na primer za GPS satelite oznaka je *G01*, *G02*, i sl., dok je za GLONASS satelite *R01*, *R02* itd.

Uvođenjem RINEX3.02 verzije, došlo je do preimenovanja fajlova, te sada izgleda kao:

XXXXMRCCC_K_YYYYDDHHMM_LLL_SRS_tt.FFF,

gde su:

- XXXX - niz od 4 karaktera koji predstavljaju kod stanice sa koje se opažalo,
- M - broj markera,
- R - broj prijemnika,
- CCC - kod države prema Međunarodnoj organizaciji za standardizaciju (ISO),
- K - izvor podataka (R - prijemnik, S - određeni tok podataka npr. podaci RTCM, U - nepoznat izvor),
- YYYY - godina u kojoj je obavljeno opažanje,
- DDD - DoY,
- HHMM - sati i minuti početka opažanja,
- LLL - nominalni period (npr. 15M - 15 minutni fajl, 01H - časovni fajl, 01D - dnevni fajl itd.),
- SRS - vremenski interval opažanja (npr. 30S - 30 sekundi, 01S - 1 sekund itd.),
- tt - tip podatka koji je opažan u kontekstu satelitskog sistema i vrste RINEX fajla (tabela 5.1) i
- FFF - format fajla (rnx - RINEX ili crx - Hatanaka-kompresovani RINEX).

Konačno, pošto su u RINEX3 verziji uvedeni dodatni satelitski sistemi, u tabeli 5.2 su prikazani svi identifikatori satelitskih sistema.

Tabela 5.1: Nazivi skraćenica shodno satelitskom sistemu i vrsti RINEX fajla

Opažački fajl		Navigacioni fajl		Meteorološki fajl	
Skraćenica	Opis	Skraćenica	Opis	Skraćenica	Opis
G0	GPS	GN	GPS	MM	Meteorološki fajl
R0	GLONASS	RN	GLONASS		
E0	Galileo	EN	Galileo		
J0	QZSS	JN	QZSS		
C0	BDS	CN	BDS		
I0	NavIC	IN	NavIC		
S0	SBAS	SN	SBAS		
M0	Kombinacija svih GNSS	MN	Kombinacija svih GNSS		

Tabela 5.2: Identifikatori satelitskih sistema

Satelitski sistem	Identifikator
GPS	G
GLONASS	R
Galileo	E
BeiDou	C
QZSS	J
NavIC	I
SBAS	S

5.2 GNSS orbitalni proizvodi

Centri za analizu IGS obezbeđuju rešenja za satelitske orbite i to: časovno, dnevno ili nedeljno, u zavisnosti od vrste podataka. Koordinator centra za analizu IGS preuzima ova rešenja i proizvodi kombinovani proizvod, koji se potom arhivira u sklopu NASA Informacionog sistema o dinamici Zemljine kore (CDDIS) i smatraju se zvaničnim IGS proizvodima (CDDIS, 2024).

Ova kombinovana rešenja dostupna su u tri oblika: ultra-brza, brza i finalna. Ultra-brza rešenja su korisna za aplikacije u realnom vremenu, arhiviraju se u redovnim intervalima četiri puta dnevno, a uključuju i posmatrane i predviđene orbite satelita. Brza rešenja predstavljaju dnevno rešenje dostupno približno 17 časova nakon završetka prethodnog dana. Finalna rešenja, koja su, u suštini, najkonzistentniji i najkvalitetniji IGS proizvodi, sastoje se od dnevnih fajlova orbita, generisanih na nedeljnom nivou približno 13 dana nakon završetka nedelje. Svi fajlovi koriste prošireni SP3c format. Detaljnije o formatu SP3c, kao i prethodnim verzijama SP3a i SP3b dato je u (Hilla, 2010).

U sklopu modernizacije, IGS je pokrenuo kampanje za ponovnu obradu i to: repro1 2009. godine, repro2 2013. godine i repro3 2020. godine. U sklopu centara za analizu IGS ponovo su obrađeni GNSS podaci iz globalne mreže IGS stanica, konkretno od 1994. do 2007. za repro1, od 1994. do 2013. za repro2 i od 1994. do 2022. za repro3, stvarajući potpuno konzistentan skup proizvoda koristeći najnovije modele i ažurirane strategije obrade.

Krajem 2022. godine, doneta je odluka o preimenovanju svih formata. Tako da do 2237. GPS nedelje fajlovi su nosili sledeći naziv:

AAAWWWWD.TYP ,

gde su:

- AAA - naziv centra za analizu podataka (npr. COD (CODE), esa (ESA), igs (IGS) i sl.),
- WWW - GPS nedelja,
- D - dan u nedelji (od 0 do 6, cifra 7 se koristi za nedeljni fajl) i
- TYP - tip rešenja prikazan u tabeli 5.3.

Od 2238. GPS nedelje fajlovi nose sledeće nazive:

AAA0PPPTYP_YYYYDDHHMM_LEN_SMP_CNT.FMT ,

gde su:

Tabela 5.3: Ekstenzije orbitalnih fajlova do 2237 GPS nedelje

Ekstenzija	Opis
eph	Efemeride
erp	Parametar orijentacije Zemlje (ERP)
sp3	„Standard Product 3”
sum	Sumarna analiza orbitalnih rešenja

- AAA - naziv centra za analizu podataka kao i kod prethodne verzije,
- PPP - specifikacija kampanje ili projekta (OPS za operacione IGS proizvode i RNN kampanje reprocesiranja),
- TYP - identifikator tipa kombinovanog rešenja (FIN - finalno, RAP - brzo ili ULT - ultra-brzo),
- YYYY - godina u kojoj je obavljeno opažanje,
- DDD - DoY,
- HH - časovi (dve cifre),
- MM - minuti (dve cifre),
- LEN - predviđeni period proizvoda,
- SMP - vremenska rezolucija uzorkovanja proizvoda
- CNT - tip sadržaja (ERP, ORB i SUM) i
- FMT - format fajla (ERP, SP3, SUM).

Izgled jednog SP3c fajla dat je u prilogu 3, dok su u prilogu 4 prikazani jedan jednodnevni i jedan sedmodnevni ERP fajl.

5.3 IGS i IERS fajlovi sa koordinatama pola

Fajlovi sa koordinatama pola obezbeđeni od strane IGS i IERS sadrže neophodne podatke za preciznu obradu GNSS podataka kao što je transformacija između zemaljskih i nebeskih referentnih okvira, ili pružanje tačnih podataka o rotaciji Zemlje i definisanje nekoliko referentnih okvira koji su esencijalni za precizno pozicioniranje na površini Zemlje.

U zavisnosti od institucije koja kreira ove fajlove, moguće ih je podeliti na: IGS fajlove i IERS fajlove. Jedan IGS ili IERS fajl predstavlja vremenske serije podataka za parametre orijentacije Zemlje (EOP), koji uključuju (CDDIS, 2024):

- koordinate pola - geografska širina i dužina Zemljinog pola, koje pokazuju njegovo pomeranje,
- dužinu dana - varijacije u dužini dana usled promena u brzini rotacije Zemlje,
- UT1 - UTC - razlika između Univerzalnog vremena (UT1) i Koordinisanog univerzalnog vremena (UTC), koja reflektuje fluktuacije u rotaciji Zemlje i
- nutacija i precesija - korekcije za periodične i dugoročne promene u Zemljinoj rotacionoj osi usled gravitacionih sila meseca, sunca i drugih planeta.

Podaci se prikupljaju primenom različitih tehnika, uključujući SLR, GNSS, Doplerovu orbitografiju i radiopozicioniranje integrisanih sa satelitom (DORIS) i VLBI. Ova opažanja se kombinuju kako bi se proizveo tačan EOP.

Distribucija IGS fajlova je obično u ASCII tekstualnom formatu, dok se IERS fajlovi distribuiraju u standardnim formatima kao što su format IERS Biltena B ili SINEX, organizovani sa jasnim zaglavljima i jedinicama merenja za svaki parametar (IERS, 2024).

5.4 ANTEX format podataka

Format za razmenu podataka o antenama (ANTEX) je standardizovani format predložen radi olakšavanja razmene informacija o kalibraciji GNSS antena. Format su predložili M. Rotaher

i R. Šmid na radionici IGS održanoj 2002. godine u Otavi, Kanada. Od tada je postao ključna komponenta u obezbeđivanju preciznosti i tačnosti GNSS merenja pružajući detaljne informacije o pomeranju faznog centra antene (PCO) i PCV (Dach et al., 2015).

Format ANTEX je prošao kroz nekoliko ažuriranja shodno razvoju i napretku GNSS tehnologije. Trenutna verzija, ANTEX1.4 prikazana u prilogu 5, definisana je 2010. godine.

Prema IGS, konvencija o imenovanju ANTEX fajla je sledeća:

`mmmmm_www.atx,`

gde:

- `mmmmm` - tip ANTEX fajla, obično vezan za organizaciju ili sistem,
- `www` - GPS nedelja u kojoj je došlo do poslednje promene u fajlu i
- `atx` - predložena ekstenzija ANTEX fajla.

5.5 IONEX format podataka

Od 1998. godine, pridruženi centri za analizu IGS obezbeđuju VTEC mape u formatu za razmenu modela jonosfere (IONEX) (CDDIS, 2024).

Globalne jonosferske mape (GIM) se generišu svakodnevno u CODE koristeći podatke sa oko 300 GNSS stanica IGS i drugih institucija. Modeliranje VTEC se obavlja u solarnom-geomagnetskom referentnom okviru koristeći sferne harmonike.

Za konverziju STEC u VTEC, usvaja se modifikovana funkcija SLM. Za izračunavanje IPP, pretpostavlja se sferni sloj sa poluprečnikom od 6821 km, što implicira geocentrične, a ne geodetske IONEX latitude.

Kao i za većinu fajlova, do 2237. GPS nedelje postojala je jedna konvencija o imenovanju fajlova i to:

AAA_gDDD#.YY_i ,

gde su:

- AAA - naziv/kod centra za analizu podataka,
- DDD - DoY,
- # - broj fajla u okviru dana i
- YY - poslednje dve cifre godine.

Isto tako, od 2238. GPS nedelje, nazivi fajlova izgledaju kao:

AAA00PSTYP_YYYYDDHHMM_01D_SMP_CNT.INX ,

gde su:

- AAA - naziv/kod centra za analizu podataka,
- TYP - identifikator tipa rešenja (FIN - finalno rešenje, RAP - brzo rešenje),
- YYYY - godina
- DDD - DoY,
- HH - časovi (dve cifre),
- MM - minuti (dve cifre),
- SMP - učestalost ažuriranja VTEC mapa u fajlu,
- CNT - tip sadržaja fajla (npr. GIM) i
- INX - podrazumevana ekstenzija fajla (može biti i ION, shodno potrebama softvera za obradu GNSS podataka)

U prilogima 6 i 7 su prikazani primeri INX i ION fajla respektivno.

5.6 Troposferski fajlovi

Pridruženi analitički centri IGS generišu troposferske podatke koristeći podatke GNSS. Ovi proizvodi uključuju procene zenitnog kašnjenja signala (ZPD) i komponente gradijenta troposfere prema severu i istoku u intervalu od pet minuta. Podaci su dostupni u dnevnim fajlovima po lokacijama za više od 400 GNSS stanica u IGS mreži. Merenja površinskog pritiska i temperature stanicama omogućavaju izdvajanje količine vodene pare iz ukupnog ZPD. Finalni proizvodi procene troposfere koriste i podatke o satelitima, orbitama i kombinacijama EOP, te su stoga dostupni približno tri nedelje nakon dana opažanja (CDDIS, 2024).

Kao i kod IONEX fajlova, do 2237. GPS nedelje postojala je jedna konvencija o imenovanju fajlova i to:

SSSSDDD#.YYzpd ,

gde je SSSS - naziv stanice sa koje je vršeno opažanje, dok su ostali karakteri identični kao i kod jonosferskih fajlova za taj period (videti poglavlje 5.5).

Svakako i od 2238. GPS nedelje, nazivi fajlova izgledaju kao:

AAA0OPSFIN_YYYYDDHHMM_01D_SMP_TRO.TRO ,

Svi karakteri su identični kao i za IONEX, s tim da je ekstenzija *textttTRO*.

U prilogu 8 je prikazan primer jednog TRO fajla.

5.7 Časovni fajlovi

Časovni fajlovi sadrže precizne informacije o časovnicima satelita i prijemnika. Analitički centri IGS obezbeđuju rešenja za CDDIS koristeći unapred određene rasporede, npr. dnevno i nedeljno. Koordinator analitičkog centra IGS preuzima ova rešenja i proizvodi kombinovani proizvod, koji se zatim arhivira u CDDIS. Rezultati mogu biti u dve varijante, sa vremenskim intervalima

od 5 min i 30 s. Po potrebi vremenski interval može biti i 5 s, te se ovi fajlovi nazivaju visoko-frekventni časovni fajlovi. Ova kombinovana rešenja se smatraju zvaničnim proizvodima IGS (CDDIS, 2024).

Kombinovana rešenja dostupna su u dva oblika: brza i finalna. Brzo rešenje predstavlja dnevno rešenje dostupno približno 17 sati nakon završetka prethodnog dana. Konačna, najdoslednija i najkvalitetnija rešenja sastoje se od dnevnih časovnih fajlova, generisanih na nedeljnom nivou približno 13 dana nakon završetka nedelje.

Nazivi fajlova do 2237. GPS nedelje su:

AAAWWWWD.TYP ,

gde su:

- AAA - naziv/kod centra za analizu podataka,
- WWW - GPS nedelja,
- D - (od 0 do 6, cifra 7 se koristi za nedeljni fajl) i
- TYP - vrsta rešenja (clk - časovna rešenja na 5 min, clk_30 - časovna rešenja na 30 s i cls - sumarna analiza časovnog rešenja).

Za fajlove od 2238. GPS nedelje, konvencija o imenovanju fajlova prati identičan trend kao i za orbitalne i IONEX fajlove (prema poglavljima 5.2 i 5.5), tako da fajl nosi sledeći naziv:

AAAOPPPTYP_YYYYDDHHMM_LEN_SMP_CNT.FMT ,

s tim da:

- PPP - predstavlja specifikaciju kampanje ili projekta (OPS - operativni IGS proizvod, RNN - reprocesirana N-ta kampanja),

- CNT - tip sadržaja (CLK - časovna rešenja, CLS - sumarna analiza časovnog rešenja i SUM - sumarna analiza) i
- FMT - format fajla (CLK - časovna rešenja i SUM - sumarna analiza).

Ostali karakteri u nazivu fajla su identični shodno fajlovima u prethodno navednim poglavljima.

U prilogima 9 i 10 dati su primeri CLK 5 s i CLK 30 s fajlova respektivno.

5.8 Meteorološki fajlovi

Meteorološki podaci se koriste za razmenu vremenskih podataka prikupljenih na različitim GNSS stanicama. Naziv meteorološkog fajla je definisan u poglavlju 5.1.2, a primer istog dat je u prilogu 11.

5.9 DCB fajlovi

Kao i za većinu prethodno pomenutih formata, DCB fajlovi se generišu u CODE. Naziv fajla je sledeći:

FSSSYMM.DCB,

gde:

- FS - predstavlja prvi signal (P1 ili P2),
- SS - predstavlja drugi signal (P2, C1 ili C2),
- YY - poslednje dve cifre godine u kojoj je opažano i
- MM - mesec u kom je opažano (2 cifre).

Primeri P1C1 i P1P2 DCB fajla dati su u prilogima 12 i 13 respektivno.

5.10 Ostali formati podataka

5.10.1 Koordinate stanica

Geocentrične koordinate stanica se čuvaju u ASCII formatu sa ekstenzijom CRD. Fajlovi sa koordinatama služe kao a priori podaci za dalju obradu.

Koordinate stanica se, gde god je to moguće, odnose na ITRF, što osigurava konzistentnost sa preciznim orbitama korišćenim u obradi.

U prilogima 14 i 15 dati su primer CRD fajla definisanog od strane korisnika i IGS CRD fajla respektivno.

Važno je napomenuti da se u fajlu primenjuju različite zastavice („flags”) koje se koriste za označavanje porekla i statusa koordinata. Ove zastavice su od suštinskog značaja za programe koji kombinuju i upoređuju koordinate iz različitih izvora, omogućavajući da se ustanovi prioritet prilikom objedinjavanja fajlova s koordinatama i selektovanja stanica za dalju obradu. Na ovaj način, sistemi za obradu podataka mogu pouzdano ažurirati koordinate stanica, održavajući visoku preciznost i integritet podataka kroz različite faze.

5.10.2 Brzine pomeranja stanica

U okviru geodetskih kampanja, informacije o brzinama pomeranja stanica čuvaju se u ASCII formatu sa ekstenzijom VEL. Ovi fajlovi sadrže podatke o brzinama pomeranja stanica (V_X , V_Y i V_Z) izraženim u metrima po godini u geocentričnom koordinatnom sistemu i koriste se za precizno modeliranje kretanja stanica u određenom vremenskom intervalu.

Fajlovi sa brzinama moraju biti usklađeni sa odgovarajućim fajlovima sa koordinatama, što znači da imena stanica i informacije o lokalnom geodetskom datumu moraju biti identični onima u fajlu sa koordinatama. Ovo osigurava konzistentnost podataka prilikom obrade i analize.

Zastavice („flags”) koje označavaju poreklo i status brzina su skoro identične onima koje

se koriste za koordinate, omogućavajući korisnicima da jasno identifikuju izvor i pouzdanost podataka o brzinama.

U slučaju da neka stanica ima dvostruki unos u fajlu sa brzinama, program će prekinuti rad sa greškom. Ako stanica nije navedena u fajlu sa brzinama, ali se koristi u obradi, pretpostaviće se da je brzina pomeranja nula.

U prilogu 16 je dat primer jednog VEL fajla.

5.10.3 Opterećenje okeanskom plimom

Tabela opterećenja okeanskom plimom, sačuvana u ASCII formatu sa ekstenzijom BLQ, sadrži amplitude i faze plimskog opterećenja za jedanaest najvećih plimskih konstituenata i to za vertikalne i horizontalne komponente stanica. Konstituenti predstavljaju specifične frekvencije ili periode plimskih talasa koji uzrokuju promene u visini mora i deformacije Zemljine površi. Ovi podaci se koriste za korekciju orbita satelita i deformacija praćenih stanica uzrokovanih plimskim silama.

Generisanje ovih podataka je moguće preko određenih web servisa unosom koordinata stanica, nakon čega se dobija tabela sa koeficijentima opterećenja. Preporuka je da se koeficijenti ponovo izračunaju za stanice koje su udaljene više od 10 km od prethodnih pozicija.

Ovaj fajl sadrži i informacije o korekcijama centra mase, koje se primenjuju prilikom prelaska sa TRF na CRF kako bi se osiguralo da se orbite satelita odnose na centar mase. Iste korekcije treba ponovo primeniti prilikom vraćanja satelitskih pozicija nazad u TRF.

U prilogu 17 dat je primer jednog BLQ fajla.

5.10.4 Opterećenje atmosferskom plimom

Fajl se čuva u ASCII formatu sa ekstenzijom ATL (prilog 18) i sadrži korekcije za atmosfersko plimsko opterećenje. Struktura i upotreba ovog fajla su analogni BLQ fajlovima, ali sa manjim efektima (mereni u milimetrima umesto metrima).

Na web stranici Globalnog geofizičkog centra za fluide (GGFC), dostupne su mreže pomeranja uzrokovanih atmosferskim plimskim opterećenjem, koje se odnose na:

- centar čvrstog Zemljinog tela (CE) i
- centar mase (CM).

Korekcije su date prema modelu Ray i Ponte 2003, u skladu sa konvencijama IERS2010.

5.10.5 Tabela skraćenica naziva stanica

Tabela se čuva u ASCII formatu sa ekstenzijom ABB i sadrži skraćenice stanica od 4 i 2 karaktera. Skraćenice se koriste za automatsko generisanje imena fajlova u toku obrade podataka, a svaka skraćenica mora biti jedinstvena.

Korisnik kreira ovu tabelu, a u slučaju da se pri uređivanju otkrije da su dve skraćenice iste, sistem će izdati upozorenje kako bi se sprečile potencijalne greške u organizaciji fajlova.

Primer jednog ABB fajla dat je u prilogu 19.

5.10.6 Pripadnost stanica tektonskim pločama

Ovaj fajl, koji se čuva u ASCII formatu sa ekstenzijom PLD, sadrži informacije o definisanju pripadnosti stanica tektonskim pločama. Fajl može sadržati i informacije o brzinama stanica, ali pri obradi se koriste samo imena stanica i kodovi tektonskih ploča.

Korisnici sami kreiraju ovaj fajl, a format za definiciju tektonskih ploča je isti kao i kod fajla sa brzinama stanica.

U prilogu 20 je dat primer jednog PLD fajla.

6. NUMERIČKA ISTRAŽIVANJA

U numeričkom delu disertacije dat je fokus na optimizaciju vremena opažanja u okviru PPP tehnike, uzimajući u obzir uticaj ključnih izvora grešaka na stabilnost i tačnost rešenja. Osnovni cilj analize jeste identifikacija vremenskih trenutaka konvergencije, odnosno momenata u kojima rešenje dostiže stabilno ponašanje uz prihvatljiv nivo tačnosti.

Analizom se ne ispituje apsolutna tačnost koordinata u odnosu na referentnu vrednost, već način na koji rešenje napreduje ka stabilnosti — kroz smanjenje razlika između koordinata dobijenih u uzastopnim vremenskim intervalima opažanja. Posebna pažnja posvećena je efemeridama različitog kvaliteta, kao i uticaju vremenske rezolucije časovnih fajlova (30 s i 5 s), pri čemu se za svaku kombinaciju parametara analizira ponašanje rešenja tokom celokupnog perioda od 24 sata.

Kroz ovu analizu biće identifikovani vremenski segmenti unutar kojih se tačnost značajno poboljšava, čime se definišu pragovi korisnosti trajanja GNSS opažanja — npr. da opažanja duža od 10 sati omogućavaju tačnost ispod nivoa centimetara, dok kraća opažanja imaju приметно veće odstupanje.

U pripremi metodološkog pristupa razmotreni su brojni izvori grešaka koji utiču na kvalitet PPP rešenja. Od istih su, u skladu sa ciljevima i obimom istraživanja, izdvojeni najrelevantniji:

- precizne efemeride i
- satelitski časovnici.

Ostali uticaji, poput troposferskih, zahtevaju dodatna istraživanja i obradu te prevazilaze okvir konkretnog istraživanja i stoga nisu razmatrani. Uticaj jonosfere je u velikoj meri eliminisan zahvaljujući upotrebi dvofrekventnih prijemnika.

Nakon numeričke obrade podataka, rešenja su analizirana kroz vremenske segmente sa ciljem da se utvrdi od kog trenutka rezultati počinju da konvergiraju, kao i kolika je tačnost u različitim

fazama trajanja opažanja. Na taj način, omogućeno je donošenje preporuka za optimalno trajanje opažanja u zavisnosti od zahteva tačnosti.

6.1 Polazne hipoteze

Pre početka same analize, definisane su polazne hipoteze koje su usmeravale numerički deo istraživanja. One su postavljene na osnovu teorijskog pregleda i početne obrade podataka, sa ciljem da se preciznije sagledaju faktori koji utiču na stabilnost i tačnost PPP rešenja. Poseban akcenat stavljen je na procenu dinamike konvergencije u različitim uslovima opažanja i pri upotrebi različitih ulaznih parametara.

U skladu sa navedenim ciljevima i prethodnim razmatranjima, formulisane su sledeće hipoteze:

Prva hipoteza polazi od pretpostavke da različiti tipovi efemerida, uprkos razlikama u tačnosti, mogu omogućiti da rešenje PPP tehnike dostigne zadovoljavajući nivo stabilnosti i preciznosti unutar vremenskog okvira kraćeg od 24 časa. Posebna pažnja se posvećuje tome da li efemeride nižeg reda tačnosti, poput IGR i IGU, mogu omogućiti konvergenciju rešenja u prihvatljivom roku, u poređenju sa referentnim efemeridama višeg kvaliteta kao što su CODE i IGS.

Druga hipoteza odnosi se na upotrebu časovnih fajlova sa različitim vremenskim rezolucijama. Pretpostavlja se da će fajlovi sa rezolucijom od 5 s doprineti boljoj tačnosti rešenja, u poređenju sa standardnim časovnim fajlovima sa rezolucijom od 30 s.

Treća hipoteza se odnosi na obrasce konvergencije menjanjem različitih efemerida i časovnih fajlova kroz različite vremenske periode u toku godine. Ideja je da, iako se apsolutne vrednosti koordinata mogu razlikovati usled različitih uticaja, sam trend stabilizacije rešenja ostaje sličan. To znači da će, bez obzira na sezonu, dinamika smanjenja razlika između uzastopnih intervala opažanja (npr. razlika između 1 h i 2 h, pa 2 h i 3 h, itd.) zadržavati konzistentan oblik. Fokus je stavljen na relativna poboljšanja u preciznosti tokom vremena, a ne na krajnju tačnost koordinata.

Ove hipoteze čine osnovu numeričke analize i posmatraju ključne aspekte ponašanja rešenja u odnosu na različite ulazne parametre tokom obrade GNSS podataka PPP metodom.

6.2 Prikupljanje i izvori podataka

6.2.1 RINEX „Observation” fajlovi

U okviru numeričkog istraživanja, prvi korak obuhvatao je preuzimanje RINEX 3 „Observation” fajlova (Bruyninx et al., 2019). Za potrebe analize odabrane su tri permanentne stanice mreže GNSS premanentnih stanica Evropskog referentnog okvira (EUREF). Prilikom izbora vodilo se računa o njihovoj međusobnoj udaljenosti, geografskoj raspodeli i različitim karakteristikama okruženja, kako bi se omogućila analiza mogućeg uticaja ovih faktora na proces postizanja konvergencije samog PPP rešenja.

Prva stanica (slika 6.1a), **GOET00DEU**, nalazi se (slika 6.1b) u Getingenu u Nemačkoj (https://epncb.eu/_networkdata/siteinfo4onestation.php?station=GOET00DEU) i karakteristična je po tome što je smeštena u unutrašnjosti kontinenta, daleko od obalskih ili ostrvskih uticaja.



(a) Stanica GOET u Nemačkoj



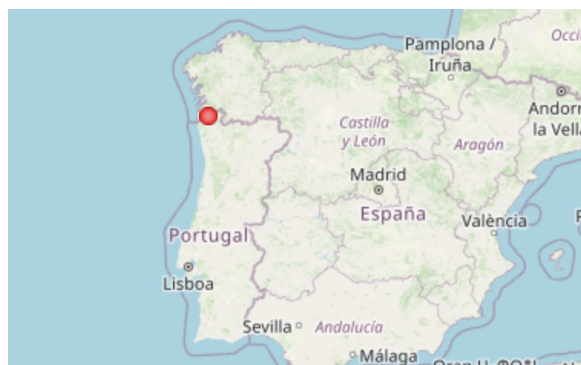
(b) Lokacija stanice GOET

Slika 6.1: Prikaz stanice GOET i njene lokacije u Nemačkoj

Druga stanica (slika 6.2a), **VIG000ESP**, locirana je (slika 6.2b) u gradu Vigo u Španiji (https://epncb.eu/_networkdata/siteinfo4onestation.php?station=VIG000ESP), neposredno uz obalsku liniju Atlantskog okeana, što omogućava posmatranje eventualnih varijacija uzrokovanih tamošnjim uslovima okoline na proces konvergencije.



(a) Stanica VIGO u Španiji



(b) Lokacija stanice VIGO

Slika 6.2: Prikaz stanice VIGO i njene lokacije u Španiji

Treća stanica (slika 6.3a), **NICO00CYP** (https://epncb.eu/_networkdata/siteinfo4onestation.php?station=NICO00CYP), nalazi se (slika 6.3b) u Nikoziji na Kipru, dakle na ostrvu, što dodatno doprinosi raznovrsnosti posmatranih uslova.



(a) Stanica NICO na Kipru



(b) Lokacija stanice NICO

Slika 6.3: Prikaz stanice NICO i njene lokacije na Kipru

Ovakav raspored stanica obezbeđuje širu sliku o dinamici konvergencije rešenja u različitim geografskim i prostornim kontekstima, pri čemu se izbegava prostorna zavisnost među stanicama.

Pored prostornog rasporeda, u istraživanje je uvedena i vremenska dimenzija kroz analizu

opažanja u tri različita godišnja doba i godine, što je prikazano u Tabeli 6.1. Tabela sadrži i odgovarajuće vrednosti GPS nedelje i dana u nedelji, u skladu sa GNSS standardima, gde se dani numerišu od 0 (nedelja) do 6 (subota). Uključivanjem vremenskog faktora, odnosno podataka iz različitih perioda tokom godine, omogućeno je ispitivanje da li godišnje doba utiče na dinamiku konvergencije rešenja, pri čemu se pretpostavlja da promena efemerida zadržava isti obrazac konvergencije nezavisno od sezonskih uslova.

Tabela 6.1: Pregled datuma opažanja sa odgovarajućom GPS nedeljom i danom u nedelji

R.br.	Datum	GPS nedelja	Dan u nedelji
1	15.01.2017.	1932	0 (nedelja)
2	15.08.2018.	2014	3 (sreda)
3	15.10.2019.	2075	2 (utorak)

Koordinate dobijene tokom obrade podataka izražene su u IGS14 referentnom okviru. Ovaj okvir je korišćen u skladu sa važećim standardima (IGS, 2024) za vremenski period od 2017. do 2019. godine.

6.2.2 Precizne efemeride

Pored podataka opažanja, za realizaciju numeričkog istraživanja neophodno je obezbediti i odgovarajuće efemeride. U skladu sa prethodnim teorijskim razmatranjima, gde su opisane razlike između IGS finalnih, brzih, ultra-brzih i CODE efemerida, u ovom delu analize korišćeni su svi pomenuti tipovi za potrebe poređenja i validacije.

Za svaki od posmatranih datuma preuzeti su skupovi efemerida prikazanih u Tabeli 6.2.

Tabela 6.2: Pregled korišćenih tipova efemerida

R.br.	Skraćeni naziv	Pun naziv
1	IGS	Finalne efemeride
2	IGR	Brze efemeride
3	IGU	Ultra-brze efemeride
4	CODE	Efemeride Centra za orbitu i rotaciju Zemlje

U daljoj analizi, finalne IGS efemeride su korišćene kao referentne, imajući u vidu da se prema relevantnoj literaturi može pretpostaviti da su najtačniji dostupni modeli satelitskih orbita.

Efemeride IGS, IGR i IGU preuzete su sa zvaničnog servera IGS (`igs.ensg.ign.fr`), dok su CODE efemeride preuzete sa servera AIUB (`ftp.aiub.unibe.ch`).

6.2.3 Časovni fajlovi

Za potrebe analize uticaja satelitskih časovnika na PPP rešenje, preuzeti su visoko-frekventni časovni fajlovi sa vremenskim intervalima od 30 s i 5 s. U poređenju sa standardnim fajlovima (interval od 5 min), ovi podaci obezbeđuju gušći vremenski raspored časovnih vrednosti, što implicira povećanu tačnost rezultata opažanja.

Fajlovi su preuzeti za sve datume obuhvaćene istraživanjem, sa servera AIUB (`ftp.aiub.unibe.ch`). Cilj analize ovih podataka jeste utvrđivanje da li razlike u časovnim vrednostima između fajlova različitih vremenskih rezolucija (30 s i 5 s) mogu imati određen uticaj na tačnost reda veličine milimetra ili više.

6.3 Priprema opažačkih podataka

Nakon preuzimanja RINEX fajlova, svaki od njih je podeljen na 24 nova fajla koji pokrivaju različite vremenske intervale, sa ciljem analize procesa konvergencije pozicionog rešenja u zavisnosti od dužine trajanja opažanja. Standardni dnevni RINEX fajl sadrži podatke u intervalu od 30 s, počevši od 00:00:00 do 23:59:30. Na osnovu jednog takvog fajla formirani su izdvojeni

fajlovi sa kumulativno rastućim trajanjem opažanja.

Prvi fajl obuhvatao je samo prvi sat dana (od 00:00:00 do 00:59:30), drugi fajl prva dva sata (od 00:00:00 do 01:59:30), treći fajl tri sata (od 00:00:00 do 02:59:30) itd. Svakako, poslednji formirani fajl poklapa se sa preuzetim dnevnim RINEX fajlom.

Na ovaj način omogućeno je da se za svaki pojedinačni vremenski interval posmatra kako se tačnost pozicionog rešenja menja u odnosu na trajanje opažanja, odnosno da se prati proces postupnog približavanja rešenja konačnoj vrednosti. Cilj ove pripreme bio je da se identifikuje trenutak kada tačnost pozicioniranja ulazi u opseg koji se može smatrati prihvatljivim za konkretne praktične potrebe.

Kako bi se ovaj postupak automatizovao i izbegla ručna obrada svakog fajla pojedinačno, izrađena je „PowerShell” skripta koja omogućava podelu originalnog RINEX fajla na gore pomenuta 24 zasebna fajla. Skripta generiše posebne direktorijume za svaki vremenski segment (1 h, 2 h, 3 h, itd.) i u iste raspoređuje odgovarajuće fajlove. Izvorni kod skripte dat je u Prilogu 21.

6.4 Obrada podataka

Za potrebe obrade GNSS podataka opažanja, pored RINEX fajlova, kao i efemerida i časovnih fajlova, preuzeti su i dodatni fajlovi koji se odnose na uslove u atmosferi, parametre orbita satelita i pomeranja Zemlje i to:

- ION fajl – za korekciju jonosferskih efekata,
- DCB fajlovi – konkretno P1C1 i P1P2 fajlovi,
- ERP sedmodnevni fajl – za korekciju rotacije Zemlje i
- TRO fajl – za korekciju troposferskog uticaja.

Svi navedeni pomoćni fajlovi su specifični za konkretan dan i nisu se menjali tokom obrade više različitih stanica koje su prikupljale podatke istog datuma. Dakle, za svaki dan obrade korišćen je isti skup dodatnih fajlova, nezavisno od stanice.

Ono što se jeste menjalo za svaki RINEX fajl (nastao podelom originalnog fajla na kraće vremenske intervale) su:

- časovni fajl i
- efemeride.

Dakle, proces obrade je podrazumevao fiksni skup pomoćnih fajlova za određeni datum, dok su se časovni fajlovi i efemeride dinamički menjali za svaki pojedinačni ulazni RINEX fajl, u zavisnosti od vremena merenja.

6.4.1 Softver za obradu podataka – *Bernese GNSS Software v5.2*

U okviru istraživanja, za obradu GNSS podataka korišćen je softverski paket *Bernese GNSS Software*, verzija 5.2. Ovaj softver, razvijen od strane AIUB, predstavlja visoko profesionalno i naučno orijentisano rešenje koje zadovoljava najviše standarde tačnosti u obradi GNSS podataka. Bernese softver ima široku primenu u geodetskim i geofizičkim istraživanjima, zahvaljujući svojoj robusnoj arhitekturi, visokoj preciznosti i mogućnosti potpune kontrole svakog koraka obrade.

Bernese GNSS Software 5.2 podržava rad sa više GNSS konstelacija, uključujući GPS i GLONASS, dok je podrška za sisteme u razvoju kao što su GALILEO, BeiDou i QZSS već implementirana u osnovnim crtama. Softver je modularno organizovan, pri čemu svaki modul obavlja specifičnu fazu obrade — od konverzije ulaznih podataka, kroz izjednačenje vektora i modeliranje atmosferskih efekata, pa sve do procene koordinata i generisanja rezultata. Korisniku se time omogućava visoka fleksibilnost i prilagođavanje konfiguracije u skladu sa konkretnim zahtevima istraživanja (Dach et al., 2015).

Integrirani Bernese procesni sistem (BPE) omogućava automatizovano upravljanje obradom velikih skupova podataka. Posebno je koristan u scenarijima kao što je ovaj, gde je bilo potrebno procesirati više GNSS fajlova generisanih za različite vremenske intervale, ali za isti dan posmatranja.

U svakom slučaju, Bernese GNSS Software se pokazao kao izuzetno pogodno rešenje za

realizaciju kompleksne obrade GNSS podataka, osiguravajući visoku tačnost, kontrolu i pouzdanost rezultata u skladu sa ciljevima istraživanja.

6.4.2 Postupak obrade GNSS podataka

U cilju analize uticaja različitih vrsta efemerida i časovnih fajlova na tačnost pozicioniranja, izvršena je detaljna obrada GNSS podataka korišćenjem softverskog paketa Bernese 5.2. Postupak je započet primenom CODE efemerida, pri čemu su za svaku od analiziranih stanica (NICO, GOET i VIGO) obrađeni svi RINEX fajlovi generisani za odgovarajući dan, ukupno po 24 fajla po stanici, što je već pomenuto na početku poglavlja. Obrada je najpre sprovedena sa časovnim fajlom koji sadrži podatke u intervalu od 30 s.

Nakon završene obrade sa časovnim fajlom rezolucije 30 s, identičan postupak je ponovljen sa časovnim fajlom čija je vremenska rezolucija 5 s. Na ovaj način, za svaku stanicu i za svaki vremenski interval, dobijene su dve različite vrednosti koordinata u zavisnosti od korišćenog RINEX fajla. Za svaki pojedinačni definisan RINEX fajl, nakon završene obrade, iz rezultata su preuzete X , Y i Z koordinate, koje su zatim unete u tabelarni .csv fajl radi daljeg upoređivanja i grafičke analize.

U narednom koraku, umesto CODE efemerida, korišćene su IGS efemeride. Procedura obrade je ostala identična: obrada svih RINEX fajlova za jednu stanicu i jedan dan, najpre sa časovnim fajlom od 30 s, a zatim sa fajlom od 5 s. Po završetku unosa rezultata za sve kombinacije fajlova i stanica, isti postupak je ponovljen za IGR efemeride, a nakon toga i za IGU efemeride. Time je obezbeđena potpuna matrica kombinacija za četiri tipa efemerida i dva tipa časovnih fajlova, odnosno ukupno osam različitih scenarija obrade po stanici i po danu.

Važno je istaći da je redosled obrade bio sistematičan: najpre su obrađene sve tri stanice za jedan konkretan dan, a zatim se pristupalo sledećem danu. Ovakva organizacija je omogućila lakše praćenje napretka obrade i obezbedila konzistentnost u načinu evidentiranja rezultata.

Radi lakšeg upravljanja i analize, svi .csv fajlovi su imenovani po jasno definisanoj konvenciji:

NazivStaniceDatum[YYYYMMDD]KodEfemeridaKodCasovnogFajla.csv.

Oznake koje se koriste u imenovanju fajlova date su u tabeli 6.3:

Tabela 6.3: Oznake korišćene u imenovanju .csv fajlova

Kategorija	Oznake i značenja
Naziv stanice	C – NICO (Kipar)
	G – GOET (Nemačka)
	S – VIGO (Španija)
Kod efemerida	C – CODE
	S – IGS
	R – IGR
	U – IGU
Kod časovnog fajla	30 – interval od 30 sekundi
	05 – interval od 5 sekundi

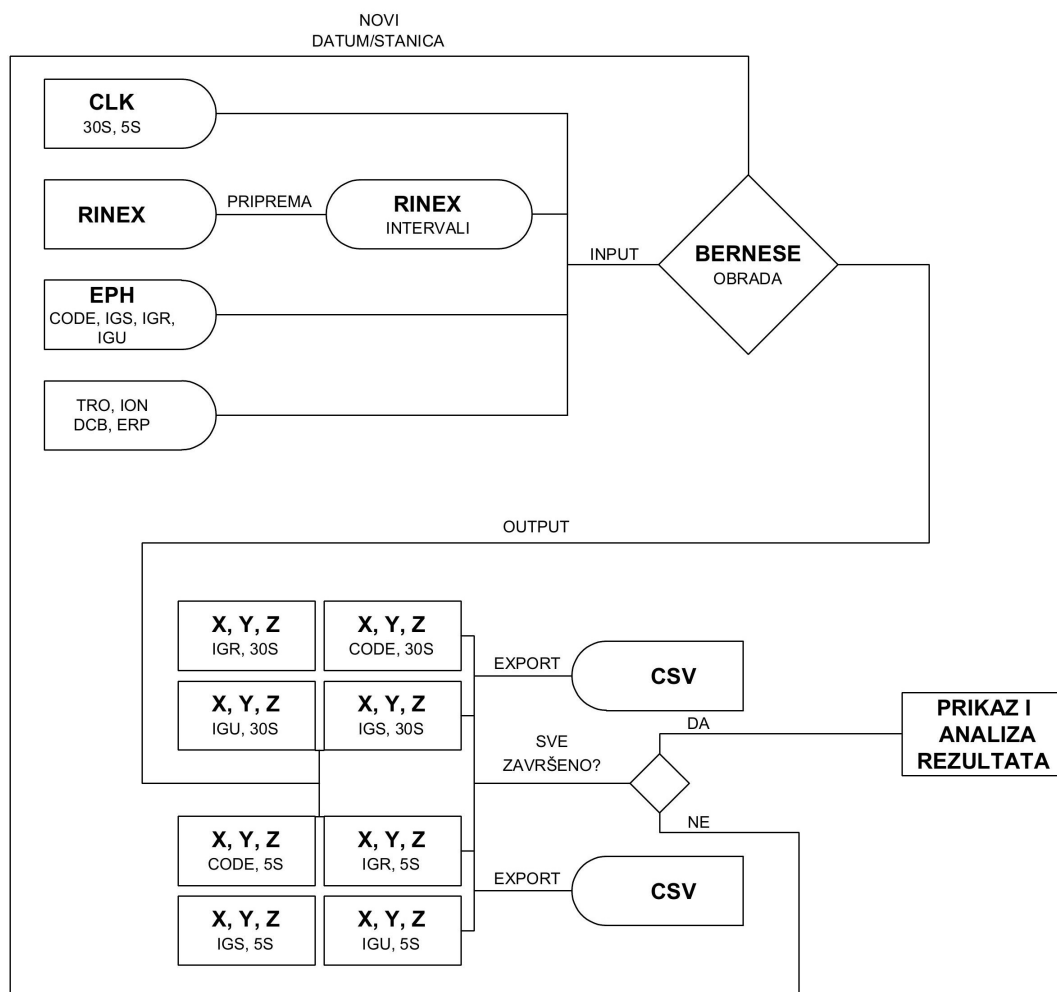
U tabeli 6.4 prikazan je izgled jednog od .csv fajlova pod nazivom S20191015U05.csv (VIGO (Španija), 15. oktobar 2019. godine, IGU efemeride, časovni fajl 5s), dok su svi .csv fajlovi dati u Prilogu 22. Fajlovi sadrže numeričke vrednosti X , Y i Z koordinata dobijene za svaki časovni RINEX fajl i svaku kombinaciju parametara obrade.

Ova sistematična priprema podataka predstavlja osnovu za dalju statističku i grafičku analizu, u kojoj će biti prikazano kako različiti ulazni podaci (tip efemerida i časovnih fajlova) utiču na kvalitet određivanja koordinata GNSS stanica.

Vizuelni prikaz čitavog procesa obrade podataka dat je na slici 6.4. Dijagram jasno prikazuje sve ključne korake — od preuzimanja i pripreme ulaznih fajlova, preko parametrizacije obrade i korišćenja različitih tipova efemerida i časovnih fajlova, pa sve do izrade izlaznih .csv fajlova spremnih za statističku analizu. Ovakav grafički prikaz doprinosi boljoj preglednosti celokupne metodologije i omogućava intuitivno razumevanje toka numeričkog eksperimenta.

Tabela 6.4: S20191015U05.csv fajl

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.65413	-725204.55256	4260827.56292
0-2	4677480.74995	-725204.50824	4260827.57063
0-3	4677480.75158	-725204.51734	4260827.57227
0-4	4677480.73867	-725204.52156	4260827.57034
0-5	4677480.73475	-725204.52527	4260827.57059
0-6	4677480.73821	-725204.52495	4260827.57590
0-7	4677480.73926	-725204.52431	4260827.57970
0-8	4677480.73892	-725204.52539	4260827.58175
0-9	4677480.74180	-725204.52622	4260827.58448
0-10	4677480.75169	-725204.53279	4260827.59340
0-11	4677480.75915	-725204.53835	4260827.60098
0-12	4677480.76253	-725204.54103	4260827.60438
0-13	4677480.76377	-725204.54203	4260827.60678
0-14	4677480.75915	-725204.54215	4260827.60479
0-15	4677480.75593	-725204.54153	4260827.60265
0-16	4677480.75432	-725204.54097	4260827.60289
0-17	4677480.75019	-725204.54177	4260827.60181
0-18	4677480.74394	-725204.54258	4260827.59902
0-19	4677480.73978	-725204.54386	4260827.59640
0-20	4677480.73977	-725204.54663	4260827.59690
0-21	4677480.7414	-725204.54768	4260827.59842
0-22	4677480.74221	-725204.54735	4260827.59882
0-23	4677480.74304	-725204.54750	4260827.59976
0-24	4677480.74315	-725204.54653	4260827.59946



Slika 6.4: Algoritam procesa obrade GNSS podataka

6.5 Prikaz i analiza rezultata

U ovom podpoglavlju predstavljeni su rezultati dobijeni analizom koordinata GNSS stanica koje su dobijene primenom PPP, pri čemu su ispitivani uticaji različitih ulaznih parametara i to: tip efemerida (CODE, IGS, IGR i IGU) i časovni interval (30 s i 5 s). Tri stanice su bile predmet obrade (NICO, GOET i VIGO) i to za različite datume, tokom više sezona i godina.

6.5.1 Vremenska rezolucija časovnih fajlova: procena značaja u obradi podataka

Nakon završene obrade svih ulaznih podataka, prvi korak u analizi rezultata odnosio se na poređenje rešenja dobijenih korišćenjem časovnih fajlova različite vremenske rezolucije sa intervalima od 30 s i 5 s. Cilj ove analize bio je da se ispita da li veća vremenska rezolucija časovnih fajlova doprinosi tačnosti i stabilnosti koordinata dobijenih metodom PPP.

Rezultati upoređivanja ukazuju na to da razlike između koordinata dobijenih upotrebom različitih časovnih rezolucija ne prelaze prag od 1 mm i, što je još važnije, ne pokazuju sistematske trendove koji bi ukazivali na prednost jednog pristupa nad drugim. Statistička analiza razlika, prikazana u tabeli 6.5, potvrđuje da su odstupanja između časovnih fajlova u proseku gotovo zanemarljiva, a standardna devijacija i raspon razlika ostaju na nivou reda veličine od nekoliko desetih delova milimetra.

Tabela 6.5: Statistička analiza razlika između 30 s i 5 s časovnih fajlova

Koordinata	Δ_{max} [m]	Δ_{min} [m]	Opseg [m]	σ [m]	Srednja vrednost [m]
X	0.00012	-0.00005	0.00017	0.00003	0.00001
Y	0.00026	-0.00019	0.00045	0.00007	0.00000
Z	0.00014	0.00000	0.00014	0.00003	0.00002

Zbog tako marginalnog uticaja, doneta je odluka da se u nastavku istraživanja isključe 30 s časovni fajlovi. Na taj način, proces obrade i analize dodatno je pojednostavljen, bez ugrožavanja kvaliteta konačnih rezultata.

6.5.2 Struktura obrađenih podataka

Za potrebe daljeg numeričkog ispitivanja, svi dobijeni rezultati, u vidu prostornih koordinata X , Y i Z , izraženih u referentnom okviru IGS14, organizovani su u tri različita oblika kroz generisane .csv fajlove, primenom kreirane MATLAB skripte `Concatenate.m`.

Prva struktura organizacije rezultata obuhvata grupisanje koordinata za jednu stanicu i jedan

konkretan dan, uzimajući u obzir sve tipove efemerida. Na taj način omogućeno je neposredno poređenje efekta različitih efemerida na konvergenciju i stabilnost koordinata u toku jednog dana opažanja.

Svaki generisani .csv fajl nosi naziv u formatu:

NazivStaniceDatumKoordinata.csv,

te za npr. C20170115X.csv, tabela 6.6, C označava stanicu NICO (Kipar) (tabela 6.3), numerički niz predstavlja datum u formatu YYYYMMDD, dok poslednje slovo označava koju koordinatu sadrži fajl: X, Y ili Z.

U samom fajlu, redovi predstavljaju vremenske intervale trajanja opažanja (od 1 do 24 časa), dok kolone sadrže dobijene vrednosti koordinata za svaku od korišćenih efemerida (CODE, IGS, IGR, IGU). Na ovaj način omogućeno je poređenje tačnosti i stabilnosti rešenja u zavisnosti od dužine trajanja opažanja i tipa efemerida.

Druga struktura podataka grupisana je po efemeridama, gde se za jednu stanicu i jedan tip efemerida analiziraju vrednosti koordinata u različitim godinama. Format fajla je:

NazivStaniceKodEfemeridaKoordinata.csv,

te bi na primer za fajl pod nazivom CRZ.csv (tabela 6.7), značilo da sadrži vrednosti Z koordinata za stanicu NICO (Kipar) pri primeni IGR efemerida (tabela 6.3), prikazane za tri različite godine: 2017, 2018. i 2019. Svaka kolona u fajlu odgovara vrednostima dobijenim za konkretnu godinu, a redovi označavaju intervale trajanja GNSS opažanja. Ova organizacija omogućava uvid u konzistentnost rešenja kroz vreme za isti tip efemerida i identifikaciju mogućih sezonskih ili vremenski uslovljenih obrazaca stabilnosti koordinata.

Treća struktura podataka organizovana je po stanicama, pri čemu se za jednu stanicu posmatraju rezultati svih dostupnih efemerida kroz čitav vremenski period istraživanja. Ova organizacija omogućava direktno poređenje rezultata u zavisnosti od vrste efemerida, u kontekstu vremenskog kontinuiteta i konzistentnosti rešenja.

Tabela 6.6: C20170115X.csv fajl prve strukture podataka (na 5 decimala)

Interval	X_CODE	X_IGS	X_IGR	X_IGU
0-1	4359415.49626	4359415.53209	4359415.51529	4359415.53593
0-2	4359415.48991	4359415.50942	4359415.50227	4359415.51774
0-3	4359415.49247	4359415.50612	4359415.50152	4359415.51937
0-4	4359415.49332	4359415.50344	4359415.50070	4359415.51767
0-5	4359415.49156	4359415.50090	4359415.50042	4359415.51680
0-6	4359415.49404	4359415.49730	4359415.49761	4359415.51194
0-7	4359415.49427	4359415.49748	4359415.49750	4359415.51350
0-8	4359415.49411	4359415.49735	4359415.49858	4359415.51220
0-9	4359415.49374	4359415.49556	4359415.49742	4359415.50962
0-10	4359415.49573	4359415.49529	4359415.49708	4359415.51015
0-11	4359415.49685	4359415.49761	4359415.49927	4359415.51371
0-12	4359415.49652	4359415.49816	4359415.49952	4359415.51519
0-13	4359415.49684	4359415.49809	4359415.49984	4359415.51721
0-14	4359415.49794	4359415.50003	4359415.50195	4359415.52040
0-15	4359415.49873	4359415.50167	4359415.50318	4359415.52315
0-16	4359415.49916	4359415.50139	4359415.50308	4359415.52380
0-17	4359415.49911	4359415.50036	4359415.50231	4359415.52162
0-18	4359415.49926	4359415.49992	4359415.50172	4359415.52047
0-19	4359415.49897	4359415.49974	4359415.50169	4359415.51948
0-20	4359415.49827	4359415.49899	4359415.50140	4359415.51732
0-21	4359415.49832	4359415.49970	4359415.50194	4359415.51795
0-22	4359415.49835	4359415.49968	4359415.50161	4359415.51823
0-23	4359415.49890	4359415.50093	4359415.50233	4359415.51946
0-24	4359415.49911	4359415.50289	4359415.50363	4359415.51988

Tabela 6.7: CRZ.csv fajl druge strukture podataka (na 5 decimala)

Interval	Z_2017	Z_2018	Z_2019
0-1	3650778.00145	3650777.96398	3650778.01846
0-2	3650777.98472	3650777.99115	3650778.01438
0-3	3650777.98362	3650777.99816	3650778.01238
0-4	3650777.98669	3650778.00028	3650778.01253
0-5	3650777.98848	3650778.00162	3650778.00981
0-6	3650777.98624	3650777.99843	3650778.01228
0-7	3650777.98121	3650778.00100	3650778.01386
0-8	3650777.97801	3650778.00320	3650778.01482
0-9	3650777.97346	3650778.00123	3650778.01323
0-10	3650777.97303	3650777.99614	3650778.01121
0-11	3650777.97431	3650777.99391	3650778.01247
0-12	3650777.97551	3650777.99493	3650778.01377
0-13	3650777.97618	3650777.99564	3650778.01652
0-14	3650777.97735	3650777.99895	3650778.01979
0-15	3650777.97819	3650778.00102	3650778.02005
0-16	3650777.97805	3650778.00125	3650778.01889
0-17	3650777.97784	3650778.00177	3650778.01948
0-18	3650777.97789	3650778.00352	3650778.02018
0-19	3650777.97834	3650778.00376	3650778.02057
0-20	3650777.97833	3650778.00296	3650778.02089
0-21	3650777.97884	3650778.00308	3650778.02158
0-22	3650777.97884	3650778.00301	3650778.02132
0-23	3650777.97964	3650778.00298	3650778.02055
0-24	3650777.98030	3650778.00240	3650778.01984

Naziv .csv fajlova u ovoj strukturi formira se prema sledećem obrascu:

NazivStaniceKoordinata.csv.

Na primer, fajl GY.csv (tabela 6.8) prikazuje vrednosti Y koordinata za stanicu GOET (Nemačka) (tabela 6.3), dok su u kolonama prikazane vrednosti dobijene za sve četiri vrste efemerida i to u svim godinama istraživanja. Redovi u fajlu predstavljaju intervale trajanja GNSS opažanja. Na ovaj način omogućeno je analiziranje kako stabilnosti svake vrste efemerida, tako i njihove međusobne konzistentnosti u određenoj prostorno-vremenskoj tački.

6.5.3 Vizuelizacija rezultata

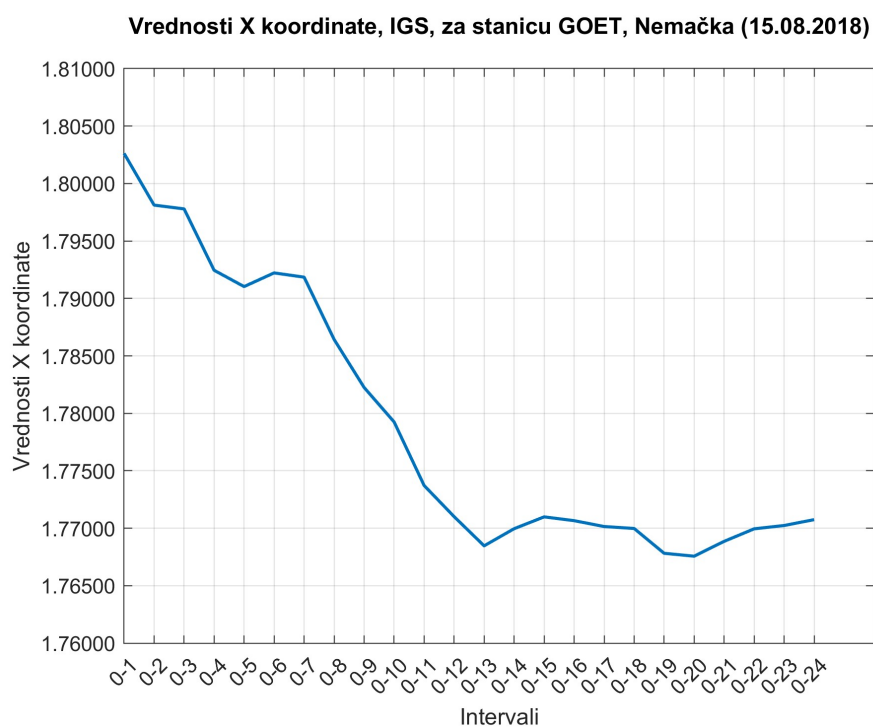
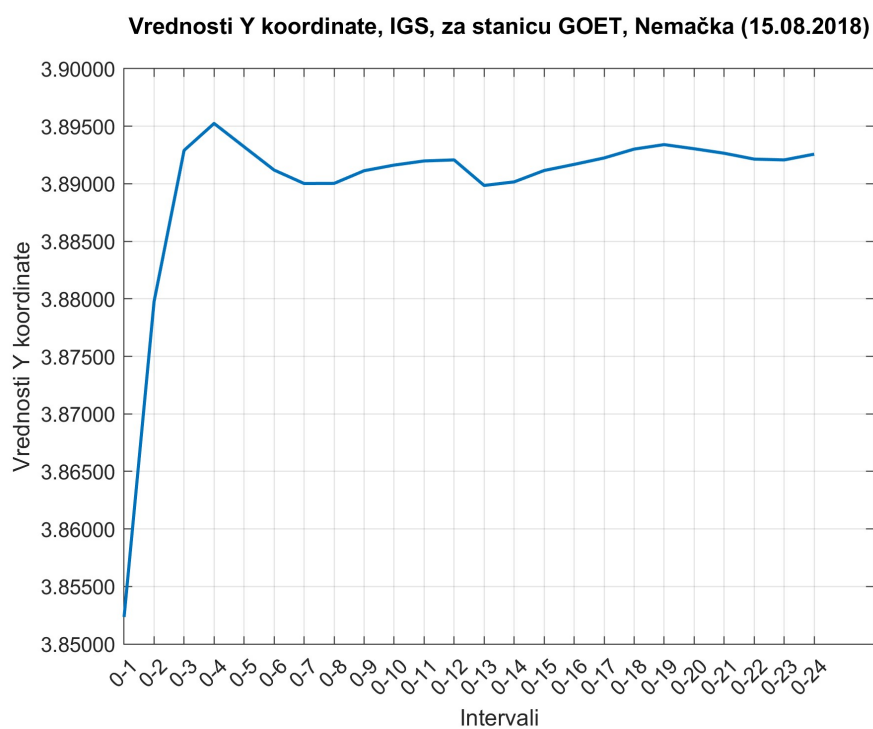
Radi jasnijeg sagledavanja ponašanja i stabilnosti koordinata u različitim uslovima obrade, sprovedena je detaljna vizuelna analiza rezultata. U tu svrhu razvijene su i korišćene posebne MATLAB skripte koje samostalno generišu grafikone iz prethodno obrađenih .csv fajlova i definisanih struktura.

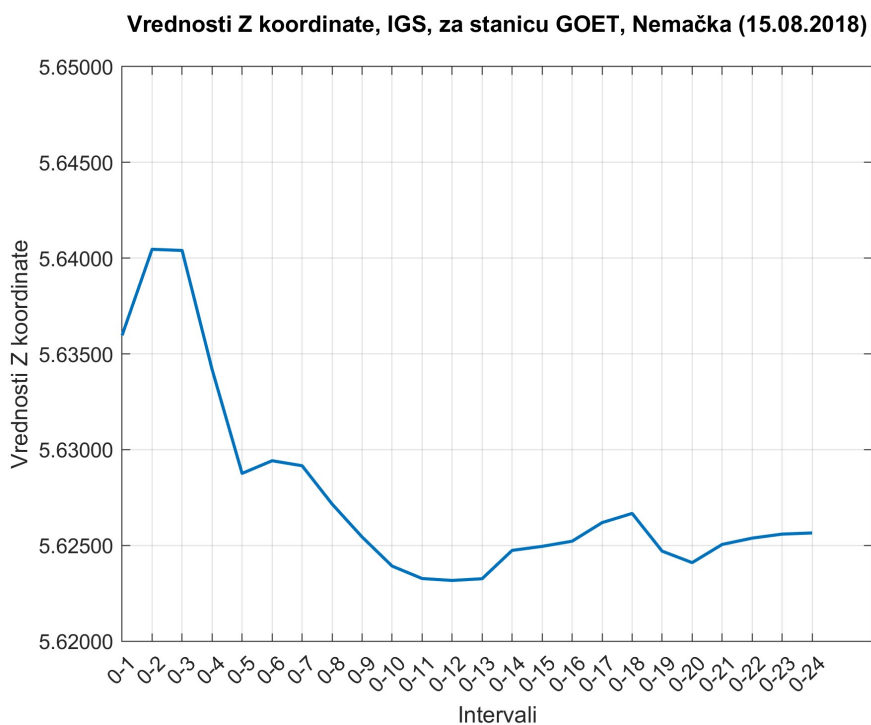
Prva skripta, PlotSingle.m, korišćena je za prikaz rezultata pojedinačnih sesija, gde se analizira uticaj konkretne efemeride za jedan dan opažanja. Za svaki takav fajl, izdvojene su X , Y i Z koordinate koje su zasebno prikazane kroz grafikone u funkciji intervala trajanja opažanja. Ovi dijagrami pružaju uvid u to kako se stabilizuje rešenje u zavisnosti od dužine opažanja, pri fiksiranim ulaznim parametrima. Na slikama 6.5a, 6.5b i 6.5c prikazani su primeri ovakvih grafikona¹ za stanicu GOET (Nemačka), efemeride IGS, dana 15.08.2018. Svi grafikoni prikazani su u Prilogu 23.

¹Na vertikalnoj osi prikazane su samo cifre koje se odnose na jedinični deo metra i decimale, budući da celokupna vrednost koordinate ne bi mogla da stane na dijagram bez narušavanja preglednosti.

Tabela 6.8: GY . csv fajl treće strukture podataka

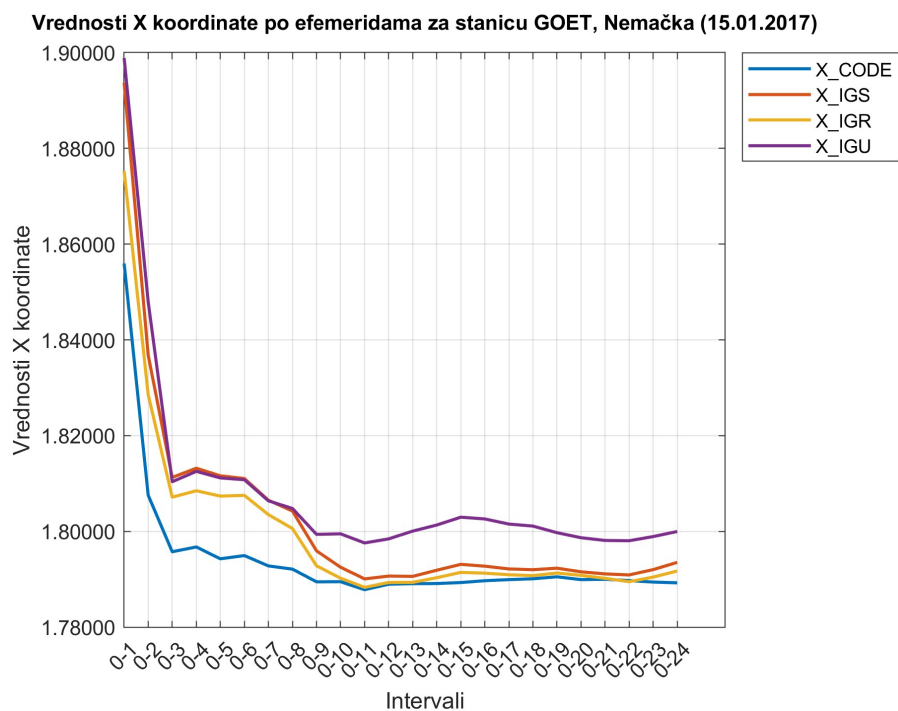
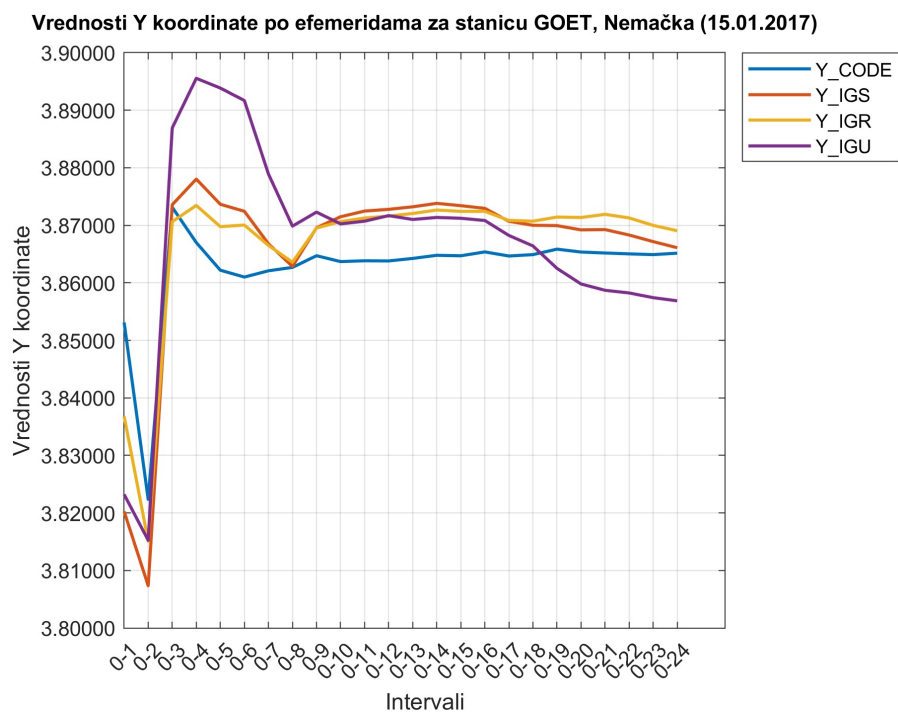
Interval	Y_CODE_2017	Y_IGR_2017	Y_IGS_2017	Y_IGU_2017	Y_CODE_2018	Y_IGR_2018	Y_IGS_2018	Y_IGU_2018	Y_CODE_2019	Y_IGR_2019	Y_IGS_2019	Y_IGU_2019
0-1	687523.85311	687523.83680	687523.82026	687523.82322	687523.87540	687523.84203	687523.85235	687523.85127	687523.91865	687523.96189	687523.96649	687523.98581
0-2	687523.82235	687523.81509	687523.80736	687523.81525	687523.89331	687523.88594	687523.87977	687523.91042	687523.91748	687523.92543	687523.92378	687523.93925
0-3	687523.87313	687523.87063	687523.87357	687523.88692	687523.89242	687523.90027	687523.89290	687523.92538	687523.91169	687523.91646	687523.91428	687523.92798
0-4	687523.86700	687523.87345	687523.87803	687523.89554	687523.89507	687523.90322	687523.89524	687523.93113	687523.91183	687523.91769	687523.91973	687523.93003
0-5	687523.86219	687523.86976	687523.87365	687523.89385	687523.89315	687523.89869	687523.89321	687523.92228	687523.91056	687523.92086	687523.92071	687523.92912
0-6	687523.86100	687523.87004	687523.87243	687523.89168	687523.89271	687523.89484	687523.89119	687523.91370	687523.90877	687523.92221	687523.92043	687523.92930
0-7	687523.86209	687523.86650	687523.86679	687523.87892	687523.89342	687523.89405	687523.89002	687523.90801	687523.91171	687523.92232	687523.91762	687523.92681
0-8	687523.86268	687523.86358	687523.86285	687523.86985	687523.89237	687523.89363	687523.89003	687523.90299	687523.91226	687523.91744	687523.91081	687523.91774
0-9	687523.86471	687523.86952	687523.86957	687523.87229	687523.89175	687523.89390	687523.89113	687523.90017	687523.91342	687523.91704	687523.91005	687523.91640
0-10	687523.86369	687523.87064	687523.87148	687523.87024	687523.89185	687523.89407	687523.89162	687523.89995	687523.91404	687523.91725	687523.91114	687523.91499
0-11	687523.86383	687523.87126	687523.87247	687523.87071	687523.89204	687523.89410	687523.89198	687523.89959	687523.91504	687523.91896	687523.91481	687523.91120
0-12	687523.86380	687523.87159	687523.87277	687523.87168	687523.89229	687523.89447	687523.89207	687523.89877	687523.91451	687523.91611	687523.91251	687523.90848
0-13	687523.86424	687523.87205	687523.87321	687523.87101	687523.89240	687523.89136	687523.88985	687523.89240	687523.91371	687523.91312	687523.91031	687523.90720
0-14	687523.86478	687523.87265	687523.87381	687523.87136	687523.89283	687523.89104	687523.89016	687523.89189	687523.91302	687523.91055	687523.90757	687523.90521
0-15	687523.86470	687523.87242	687523.87341	687523.87122	687523.89381	687523.89158	687523.89115	687523.89095	687523.91198	687523.90922	687523.90570	687523.90548
0-16	687523.86537	687523.87242	687523.87294	687523.87083	687523.89433	687523.89202	687523.89168	687523.89013	687523.91196	687523.90990	687523.90634	687523.90708
0-17	687523.86466	687523.87085	687523.87069	687523.86823	687523.89414	687523.89374	687523.89224	687523.89017	687523.91184	687523.90974	687523.90607	687523.90705
0-18	687523.86490	687523.87071	687523.87000	687523.86641	687523.89356	687523.89521	687523.89301	687523.89028	687523.91192	687523.90964	687523.90615	687523.90681
0-19	687523.86585	687523.87143	687523.86994	687523.86251	687523.89308	687523.89563	687523.89340	687523.89024	687523.91216	687523.90970	687523.90612	687523.90560
0-20	687523.86535	687523.87135	687523.86920	687523.85980	687523.89312	687523.89472	687523.89304	687523.88875	687523.91203	687523.90814	687523.90453	687523.90345
0-21	687523.86518	687523.87190	687523.86925	687523.85870	687523.89310	687523.89362	687523.89265	687523.88557	687523.91186	687523.90804	687523.90455	687523.90422
0-22	687523.86503	687523.87128	687523.86831	687523.85824	687523.89335	687523.89284	687523.89214	687523.88398	687523.91249	687523.90912	687523.90644	687523.90480
0-23	687523.86490	687523.86998	687523.86716	687523.85742	687523.89350	687523.89271	687523.89207	687523.88369	687523.91306	687523.90918	687523.90763	687523.90588
0-24	687523.86515	687523.86905	687523.86610	687523.85687	687523.89364	687523.89328	687523.89257	687523.88382	687523.91270	687523.90937	687523.90802	687523.90638

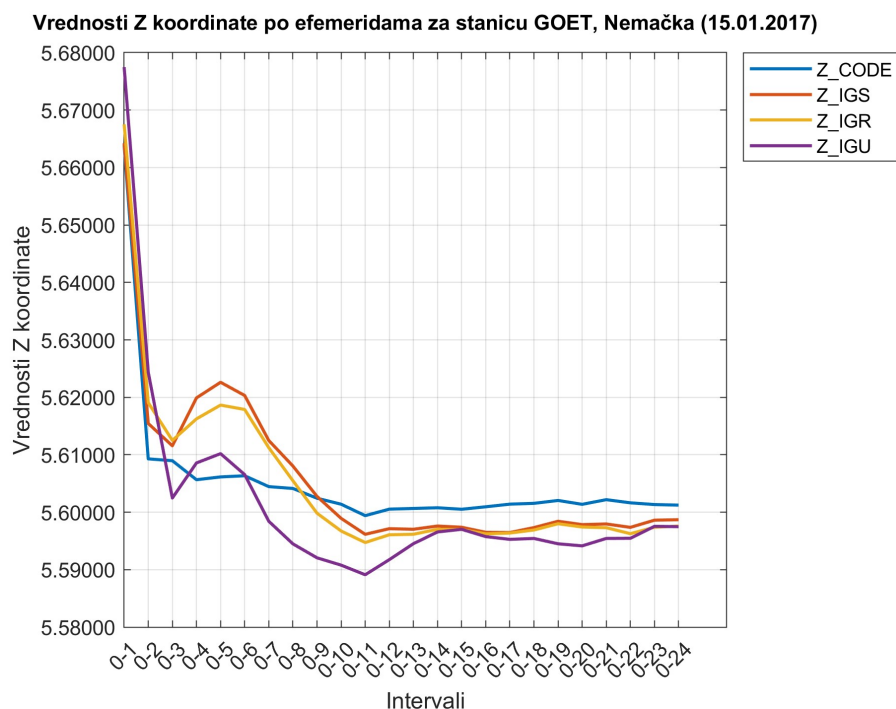
Slika 6.5: (a) Vrednosti X koordinate, IGS, stanica GOET, 15.08.2018.Slika 6.5: (b) Vrednosti Y koordinate, IGS, stanica GOET, 15.08.2018.



Slika 6.5: (c) Vrednosti Z koordinate, IGS, stanica GOET, 15.08.2018.

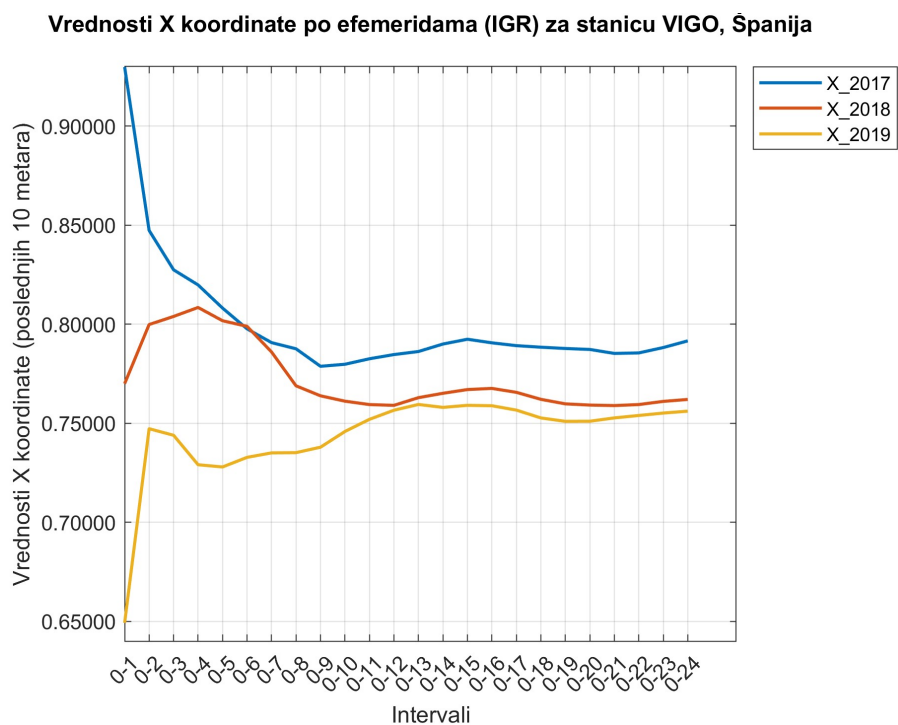
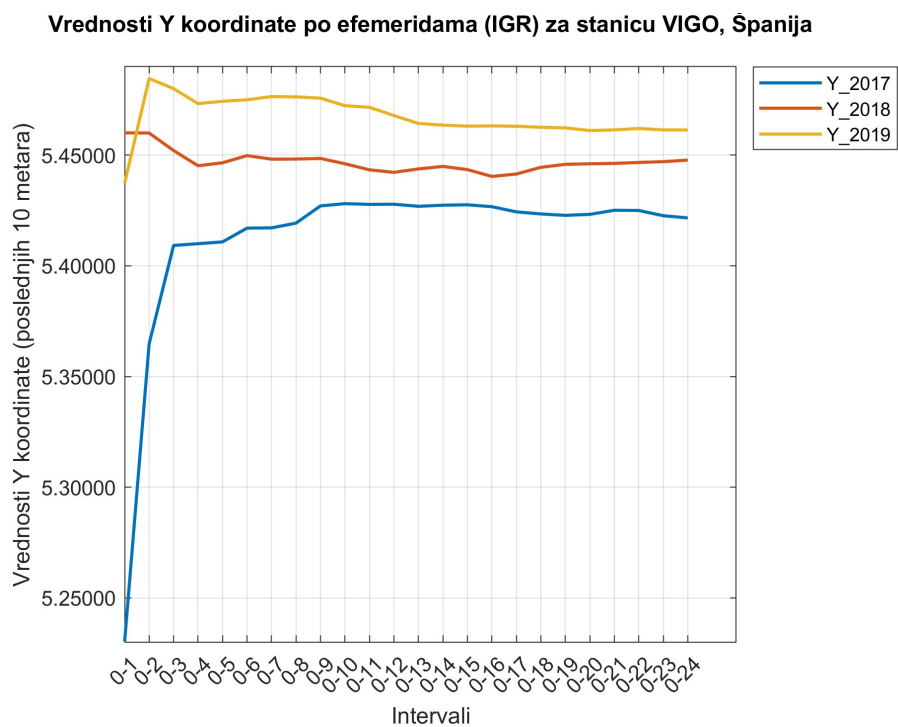
U drugom koraku, skriptom `PlotDate.m`, prikazani su rezultati za jednu stanicu i jedan dan opažanja, pri čemu su menjane efemeride, a sve ostale postavke ostale fiksne. Na taj način, moguće je posmatrati kako različite efemeride utiču na stabilnost rešenja u okviru istih vremenskih i prostornih uslova. Na slikama 6.6a, 6.6b i 6.6c prikazani su rezultati za stanicu GOET i dan 15.01.2017, za sve tri koordinate. U Prilogu 24 mogu se videti svi grafikoni.

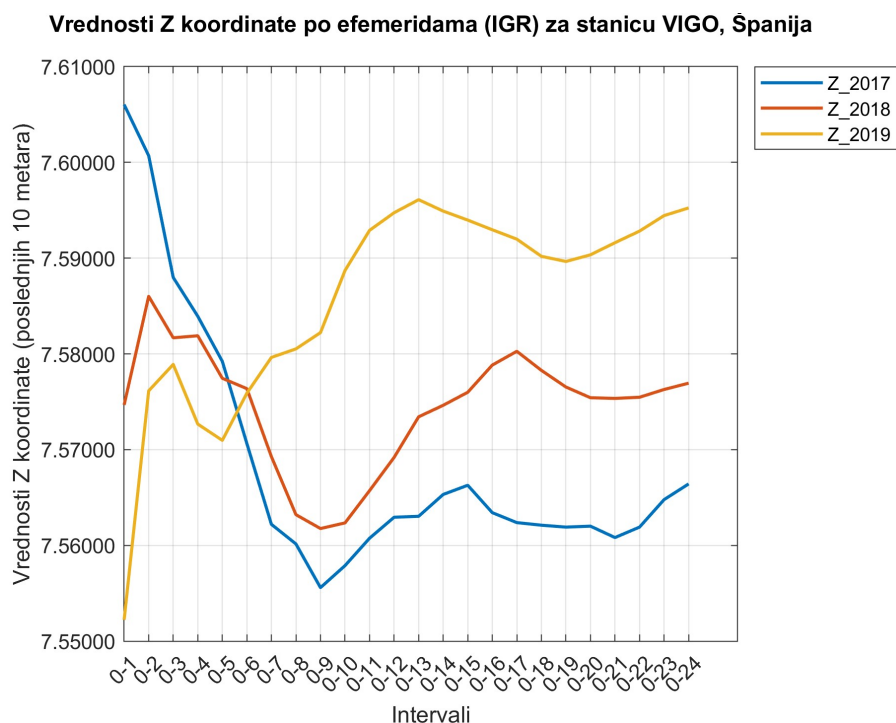
Slika 6.6: (a) Vrednosti X koordinate po efemeridama, stanica GOET, 15.01.2017.Slika 6.6: (b) Vrednosti Y koordinate po efemeridama, stanica GOET, 15.01.2017.



Slika 6.6: (c) Vrednosti Z koordinate po efemeridama, stanica GOET, 15.01.2017.

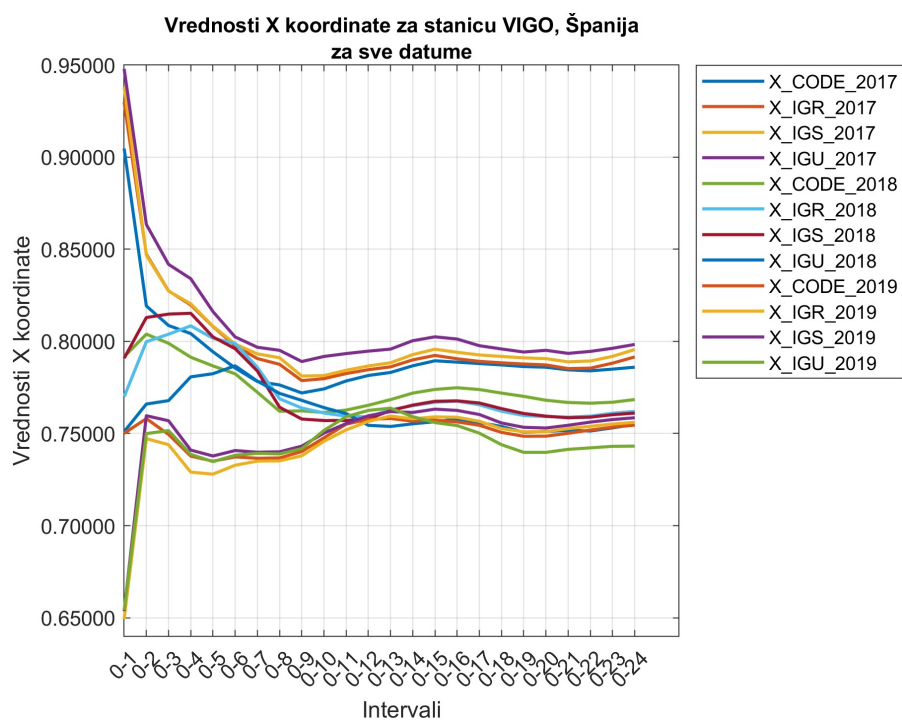
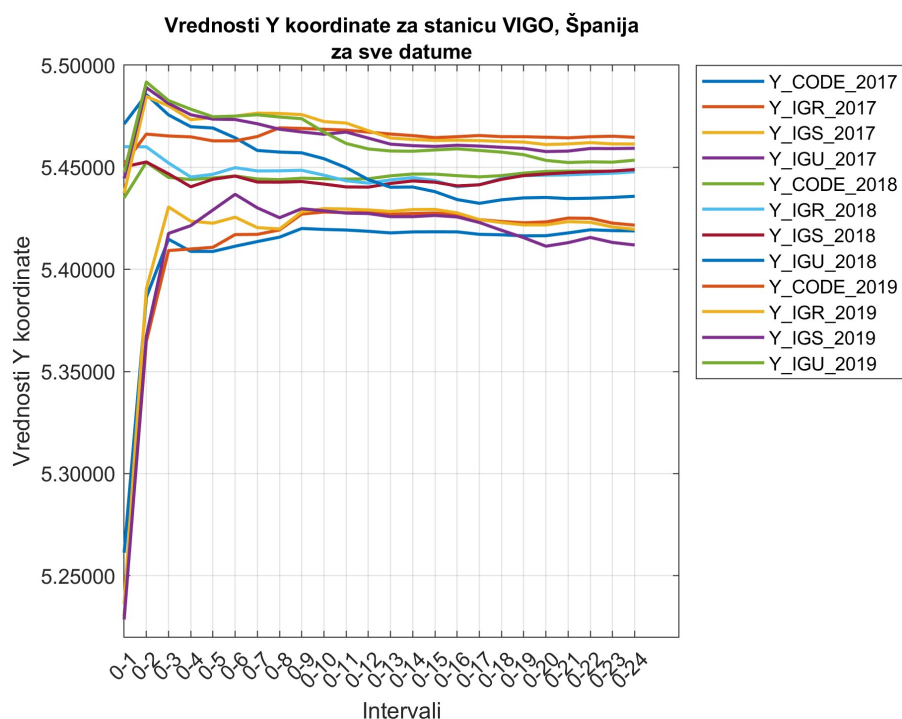
Treća faza vizuelizacije odnosi se na analizu rezultata za jednu stanicu i jednu efemeridu u više vremenskih epoha. Skriptom `PlotEPH.m` obezbeđeno je da se kroz grafikone prikaže doslednost ponašanja efemerida u različitim vremenskim uslovima. Primer takvog pristupa prikazan je na slikama 6.7a, 6.7b i 6.7c, za stanicu VIGO (Španija), u kombinaciji sa efemeridama tipa IGR, tokom više godina. Svi grafikoni su prikazani u Prilogu 25.

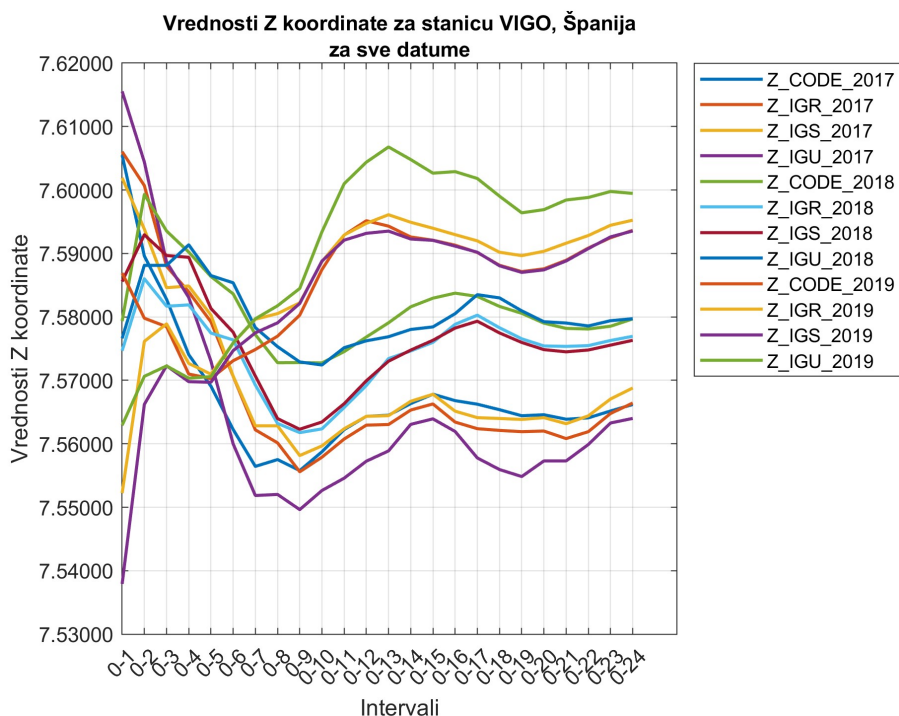
Slika 6.7: (a) Vrednosti X koordinate kroz više godina, efemerida IGR, stanica VIGOSlika 6.7: (b) Vrednosti Y koordinate kroz više godina, efemerida IGR, stanica VIGO



Slika 6.7: (c) Vrednosti Z koordinate kroz više godina, efemerida IGR, stanica VIGO

Na kraju, korišćenjem skripte `PlotStation.m`, izrađeni su dijagrami na osnovu kojih je moguća analiza stabilnosti svih rešenja za jednu stanicu kroz vremenski period istraživanja. U ovom pristupu objedinjeni su svi datumi za određenu stanicu, čime je omogućena identifikacija dugoročnih obrazaca, sezonskih varijacija i potencijalnih odstupanja. Na slikama 6.8a, 6.8b i 6.8c prikazani su grafikoni za stanicu VIGO (Španija), za sve tri prostorne komponente. Kao i za prethodna tri, grafikoni su prikazani u Prilogu 26.

Slika 6.8: (a) Stabilnost X koordinate za stanicu VIGO tokom vremenaSlika 6.8: (b) Stabilnost Y koordinate za stanicu VIGO tokom vremena

Slika 6.8: (c) Stabilnost Z koordinate za stanicu VIGO tokom vremena

6.5.4 Analiza rezultata

Za potrebe analize rešenja, razvijena je MATLAB skripta `DifferenceByCoord.m` kojom su izračunate razlike koordinata dobijenih iz PPP rešenja u odnosu na referentnu vrednost. Kao referentna vrednost uzeta je poslednja koordinata u svakom setu podataka, odnosno ona koja je rezultat obrade najdužeg intervala opažanja (24 časa). Ovaj pristup se zasniva na pretpostavci da je rešenje dobijeno nakon celodnevnog opažanja najstabilnije i najbliže istinitoj vrednosti, pa se koristi kao osnov za poređenje ostalih rešenja.

Nakon dobijanja razlika u odnosu na referentne vrednosti, vremenski intervali opažanja su podeljeni u šest segmenata i to: 0-4 časa, 4-8 časova, 8-12 časova, 12-16 časova, 16-20 časova i 20-24 časa. Ova podela omogućava detaljnu analizu načina na koji se razlike u koordinatama ponašaju tokom konvergencije — od inicijalnih odstupanja na početku opažanja do stabilizacije rešenja nakon celodnevnog prikupljanja podataka.

Za svaku vremensku deonicu i svaku kolonu (koja odgovara određenoj kombinaciji stanice, efemerida i godine), izračunate su osnovne statističke mere: maksimalno i minimalno

odstupanje, raspon vrednosti, kao i standardna devijacija.

Posebna pažnja posvećena je standardnim devijacijama kao pokazatelju stabilnosti pozicioniranja. Niže vrednosti standardne devijacije ukazuju na manja oscilovanja u vrednostima koordinata i samim tim na viši stepen konvergencije. Nasuprot tome, visoke devijacije sugerišu na veću nesigurnost i izraženiju varijabilnost rezultata opažanja.

Ovakva metodologija segmentirane analize razlika odabrana je sa ciljem da omogući identifikaciju što boljeg vremenskog trenutka u kojem dolazi do stabilizacije rešenja. Podela vremenskih intervala na kraće deonice omogućava korisnicima da precizno procene kada produžetak trajanja GNSS opažanja prestaje da daje značajan doprinos poboljšanju tačnosti koordinata. Drugim rečima, analizom statističkih mera po segmentima može se identifikovati vremenski prag nakon kojeg dalji nastavak opažanja više ne dovodi do značajne redukcije greške. Na taj način, segmentirani pristup pruža osnov za optimizaciju vremena opažanja, omogućavajući korisniku da na osnovu empirijskih pokazatelja donese odluku, na primer: „dovoljno je da se opaža između 16 i 20 časova”, jer se u tom intervalu već dostiže željeni nivo stabilnosti bez potrebe za dodatnim produžetkom sesije.

Radi prikaza dobijenih statističkih rezultata, u nastavku su prikazani konkretni primeri analiza koje se odnose na tri različite komponente koordinata, za istu stanicu (NICO), ali pri upotrebi različitih tipova efemerida i u različitim vremenskim epohama. Tabele sadrže vrednosti maksimalnih i minimalnih odstupanja u odnosu na referentne vrednosti, zatim raspon između tih odstupanja, kao i standardne devijacije (σ).

U tabeli 6.9 prikazani su rezultati za odstupanja po X koordinati, pri obradi pomoću CODE efemerida za 2017. godinu. Može se primetiti opadanje vrednosti opsega i standardne devijacije u kasnijim vremenskim segmentima, što ukazuje na postepenu stabilizaciju rešenja.

Drugi primer, prikazan u tabeli 6.10, odnosi se na Y koordinatu za istu stanicu, ali korišćenjem IGS efemerida za 2018. godinu. Posebno upadljivo je značajno odstupanje u segmentu 0–4h, što potvrđuje osetljivost rešenja u ranoj fazi opažanja.

Konačno, tabela 6.11 prikazuje statističke parametre za Z koordinatu za IGR efemeride u 2019. godini. Ovde su vrednosti opsega i standardne devijacije umerene, s jasno izraženom stabilizacijom u poslednjim segmentima opažanja.

Kompletna statistička analiza u ovom delu istraživanja prikazana je u okviru Priloga 27.

Tabela 6.9: Statistički pregled razlika X koordinate za stanicu NICO, efemeride CODE, 2017. godina

Interval [h]	Δ_{max} [m]	Δ_{min} [m]	Opseg [m]	σ [m]
0–4	-0.00285	-0.00920	0.00635	0.00262
4–8	-0.00484	-0.00755	0.00271	0.00129
8–12	-0.00226	-0.00537	0.00311	0.00139
12–16	0.00005	-0.00227	0.00232	0.00102
16–20	0.00015	-0.00084	0.00099	0.00044
20–24	0.00000	-0.00079	0.00079	0.00040

Tabela 6.10: Statistički pregled razlika Y koordinate za stanicu NICO, efemeride IGS, 2018. godina

Interval [h]	Δ_{max} [m]	Δ_{min} [m]	Opseg [m]	σ [m]
0–4	-0.00235	-0.04805	0.04570	0.02184
4–8	-0.00516	-0.00777	0.00261	0.00143
8–12	-0.00564	-0.00676	0.00112	0.00049
12–16	-0.00117	-0.00543	0.00426	0.00175
16–20	-0.00056	-0.00257	0.00201	0.00089
20–24	0.00000	-0.00044	0.00044	0.00021

Tabela 6.11: Statistički pregled razlika Z koordinate za stanicu NICO, efemeride IGR, 2019. godina

Interval [h]	Δ_{max} [m]	Δ_{min} [m]	Opseg [m]	σ [m]
0–4	0.00382	-0.00031	0.00413	0.00169
4–8	-0.00305	-0.00340	0.00035	0.00014
8–12	-0.00255	-0.00530	0.00275	0.00121
12–16	-0.00004	-0.00102	0.00098	0.00046
16–20	0.00135	0.00073	0.00062	0.00028
20–24	0.00155	0.00000	0.00155	0.00070

U nastavku analize, sprovedeno je objedinjavanje statističkih pokazatelja za više vremenskih epoha. Na osnovu prethodno segmentiranih podataka, izračunate su prosečne vrednosti raspona i maksimalne standardne devijacije za svaku efemeridu, pojedinačno po vremenskim intervalima trajanja opažanja. Na taj način omogućeno je uočavanje stabilnosti rešenja tokom vremena, kao i utvrđivanje intervala u kojima se u proseku dostiže visok nivo stabilnosti koordinata.

U tabeli 6.12 prikazani su objedinjeni rezultati za CODE efemeride, za Z koordinatu stanice NICO (Kipar), uzeti kroz tri uzastopne godine. Prosečni opsezi i najveće zabeležene standardne devijacije ukazuju na značajno poboljšanje stabilnosti rešenja nakon prvih osam časova opažanja, dok u nastavku dolazi do usporavanja poboljšanja, što dodatno opravdava primenu vremenskog segmentiranja u analizi.

Tabela 6.12: Prosečni rasponi i maksimalne standardne devijacije za Z koordinatu stanice NICO, efemeride CODE, za tri godine

Vremenski interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.016	0.009
4–8	0.007	0.005
8–12	0.003	0.001
12–16	0.002	0.001
16–20	0.001	0.001
20–24	0.001	0.001

Ostale vrednosti (tabele) prikazane su u Prilogu 28.

Kako bi se dodatno ispitala pouzdanost dobijenih rezultata i prepoznali obrasci koji nisu uslovljeni lokacijom stanice, izvršena je integracija podataka za sve posmatrane stanice. U ovom koraku, fokus je bio na analiziranju ponašanja pojedinačnih efemerida, pri čemu su izračunati srednji opsezi i maksimalne standardne devijacije za svaku vremensku deonicu, ali nezavisno od konkretne stanice. Ovakva metodologija omogućava uvid u to da li konvergencija rešenja pokazuje stabilne obrasce ponašanja na globalnom nivou i u različitim sezonskim uslovima.

Na osnovu dobijenih podataka, izračunata je prosečna vrednost opsega koordinatnih razlika i maksimalna standardna devijacija za svaku koordinatu u okviru šest vremenskih segmenata. Rezultati su predstavljeni tabelama 6.13 do 6.24 za svaku od četiri analizirane efemeride i to za sve tri koordinate.

Tabela 6.13: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride CODE, X koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.030	0.047
4–8	0.006	0.011
8–12	0.006	0.008
12–16	0.003	0.003
16–20	0.002	0.003
20–24	0.002	0.002

Tabela 6.14: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride CODE, Y koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.034	0.072
4–8	0.003	0.003
8–12	0.002	0.003
12–16	0.001	0.002
16–20	0.001	0.001
20–24	0.001	0.001

Tabela 6.15: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride CODE, Z koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.025	0.028
4–8	0.007	0.006
8–12	0.005	0.007
12–16	0.002	0.002
16–20	0.002	0.002
20–24	0.002	0.002

Tabela 6.16: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGS, X koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.055	0.054
4–8	0.009	0.017
8–12	0.008	0.007
12–16	0.004	0.005
16–20	0.003	0.003
20–24	0.003	0.003

Tabela 6.17: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGS, Y koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.061	0.091
4–8	0.008	0.010
8–12	0.003	0.004
12–16	0.002	0.002
16–20	0.002	0.002
20–24	0.002	0.002

Tabela 6.18: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGS, Z koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.029	0.033
4–8	0.010	0.008
8–12	0.006	0.005
12–16	0.003	0.003
16–20	0.002	0.002
20–24	0.003	0.003

Tabela 6.19: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGR, X koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.052	0.050
4–8	0.011	0.015
8–12	0.010	0.011
12–16	0.004	0.005
16–20	0.002	0.003
20–24	0.003	0.003

Tabela 6.20: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGR, Y koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.061	0.085
4–8	0.007	0.010
8–12	0.004	0.004
12–16	0.002	0.002
16–20	0.002	0.002
20–24	0.002	0.002

Tabela 6.21: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGR, Z koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.030	0.026
4–8	0.009	0.009
8–12	0.006	0.006
12–16	0.003	0.004
16–20	0.002	0.002
20–24	0.002	0.003

Tabela 6.22: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGU, X koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.061	0.059
4–8	0.009	0.010
8–12	0.011	0.010
12–16	0.006	0.009
16–20	0.004	0.005
20–24	0.003	0.002

Tabela 6.23: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGU, Y koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.076	0.090
4–8	0.017	0.019
8–12	0.006	0.007
12–16	0.002	0.003
16–20	0.005	0.005
20–24	0.002	0.002

Tabela 6.24: Prosečni opsezi i maksimalna standardna devijacija za sve stanice, efemeride IGU, Z koordinata

Interval [h]	Prosečni opseg [m]	$\sigma_{\max}$ [m]
0–4	0.029	0.038
4–8	0.010	0.010
8–12	0.005	0.009
12–16	0.004	0.003
16–20	0.003	0.002
20–24	0.002	0.003

6.6 Diskusija o rezultatima

Nakon završene obrade podataka i analize razlika u odnosu na referentne vrednosti koordinata, u ovom poglavlju razmatraju se rezultati sa stanovišta postavljenih hipoteza. Na osnovu prethodnih merenja i statističkih pokazatelja, može se sagledati koliko je svaka od hipoteza potvrđena i kakvi su zaključci u vezi sa ponašanjem različitih tipova efemerida, vremenom potrebnim za stabilizaciju rešenja, kao i uticajem lokacije i trajanja opažanja.

Diskusija je organizovana po redosledu hipoteza, pri čemu se za svaku pojedinačno analizira da li su dobijeni rezultati u skladu sa početnim pretpostavkama.

Prva istraživačka hipoteza bila je zasnovana na pretpostavci da se rešenje tehnike PPP može stabilizovati u roku kraćem od 24 časa i to nezavisno od tipa korišćenih efemerida. Poseban fokus je bio na utvrđivanju da li efemeride niže tačnosti, poput IGR i IGU, omogućavaju prihvatljivu konvergenciju rešenja u razumnom vremenskom okviru, u poređenju sa preciznijim referentnim efemeridama kao što su CODE i IGS.

Rezultati prikazani u tabelama 6.13 do 6.24 jasno ukazuju na postojanje izražene konvergencije rešenja pre isteka 24 časa. Na osnovu statističke obrade razlika u odnosu na referentnu vrednost (dobijenu nakon 24 sata opažanja), primećeno je da sve četiri vrste efemerida pokazuju značajan pad raspona grešaka i standardne devijacije već nakon 16 sati opažanja.

Konkretno, efemeride CODE i IGS pokazuju konzistentnu tačnost od reda 1 – 3 mm već u segmentu između 16 i 20 časova za sve tri komponente (X , Y , Z). Efemeride IGR i IGU takođe prikazuju prihvatljiv nivo stabilnosti, iako sa nešto većim varijacijama — standardne devijacije u istom intervalu (16 do 20 časova) se uglavnom kreću između 2 i 5 mm. Ove vrednosti potvrđuju da i efemeride niže preciznosti imaju kapacitet da obezbede korisne rezultate u sklopu PPP tehnike, ukoliko je vremenski okvir pažljivo izabran.

Važno je, međutim, napomenuti da su efemeride IGU uočljivo sporije u dostizanju stabilnosti u odnosu na ostale. Dok su ostali tipovi efemerida već u intervalu 12–16h pokazivali nizak nivo odstupanja, IGU efemeride zadržavaju veći raspon sve do 20h, posle čega se greške značajno smanjuju. Uprkos tome, može se konstatovati postojanje konvergencije pre 24 časa, što potvrđuje polaznu hipotezu, ali uz napomenu da je preporučeno produženje vremena

opažanja ukoliko se koristi ovaj tip efemerida.

Na osnovu sprovedene analize, nulta hipoteza se može prihvatiti. Pokazano je da sve posmatrane efemeride omogućavaju konvergenciju rešenja PPP tehnike pre isteka 24 časa, uz stabilnost rezultata u intervalu od 16 do 20 časova. Poseban oprez preporučuje se jedino kod primene IGU efemerida, dok su CODE i IGS pokazale stabilnije i pouzdanije rezultate u svim analiziranim segmentima.

Druga hipoteza polazila je od pretpostavke da će korišćenje časovnih fajlova sa rezolucijom od 5 s doprineti boljoj tačnosti određivanja koordinata u odnosu na fajlove sa rezolucijom od 30 s. Ova tvrdnja se zasniva na ideji da češće merenje omogućava preciznije praćenje promena u posmatranim podacima, što može doprineti tačnijem konačnom rezultatu.

Međutim, tokom analize pokazalo se da rezultati dobijeni upotrebom 5 s i 30 s časovnih fajlova ne pokazuju značajne razlike u tačnosti. Utvrđeno je da su odstupanja između rešenja zasnovanih na ovim dvema rezolucijama u velikoj meri zanemarljiva, često ispod milimetra, što ukazuje da povećanje vremenske rezolucije časovnih fajlova u ovom kontekstu ne donosi vidljivo poboljšanje.

Na osnovu toga, hipoteza nije potvrđena, a za potrebe daljih analiza u radu su korišćeni isključivo časovni fajlovi sa rezolucijom od 5 s. Ipak, neophodno je napomenuti da bi za potpunu potvrdu ovih rezultata bilo korisno sprovesti dodatna testiranja na većem broju stanica i u različitim uslovima opažanja, što bi prevazišlo okvire ove disertacije. Detaljnije informacije o ovoj analizi date su u poglavlju 6.5.1.

U trećoj hipotezi pretpostavka je bila da sezonski faktori, poput vremenskih uslova u različitim periodima godine, ne utiču značajno na obrazac konvergencije u PPP rešenjima. Iako apsolutne vrednosti koordinata mogu varirati u zavisnosti od atmosferskih uslova, zadržava se osnovna ideja da dinamika poboljšanja preciznosti u toku dužih intervala opažanja ostaje slična bez obzira na doba godine.

Analiza izvedena na podacima sa više stanica, za različite efemeride i kroz više godina, pokazala je konzistentne obrasce u pogledu smanjenja razlika kako se produžava trajanje opažanja. Naime, gotovo svi analizirani slučajevi pokazuju jasno izražen trend konvergencije u intervalu od 0 do 24 časa, bez obzira na vremenski period posmatranja.

Ovaj nalaz je naročito vidljiv kroz grafikone dobijene u okviru četvrte faze vizuelizacije (poglavlje 6.5.3, slike 6.8a do 6.8c), gde su prikazani rezultati za sve dostupne datume i efemeride po stanicama. Prikazani dijagrami potvrđuju da se karakter stabilizacije koordinata ne menja značajno između različitih sezonskih epoha, što potvrđuje početnu pretpostavku.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je treća hipoteza potvrđena, te da se obrasci konvergencije koordinata u okviru PPP tehnike mogu smatrati manje osetljivim u odnosu na sezonske i vremenske varijacije. Ovakav zaključak dodatno potvrđuje mogućnost pouzdanog planiranja dužine opažanja nezavisno od doba godine.

7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U ovom poglavlju sumiraju se svi važni rezultati do kojih se došlo tokom istraživanja. Nakon detaljne obrade podataka, analize i poređenja različitih ulaznih kombinacija, dobijeni su uvidi koji pomažu da se bolje razume ponašanje PPP rešenja u različitim uslovima.

Cilj ovog dela rada je da se, na osnovu svega prikazanog, izvuku najvažniji zaključci koji se mogu primeniti u praksi, ali i da se ukaže na ograničenja, kao i moguće pravce za buduća istraživanja. U nastavku su najpre dati sažetak urađenog i postignutog, a zatim i predlozi za dalji rad u ovoj oblasti.

7.1 Sažetak istraživanja i dobijenih rezultata

Istraživanje je započeto pregledom relevantne literature iz oblasti apsolutnog preciznog pozicioniranja, sa fokusom na modele izvora grešaka i vremenske aspekte konvergencije PPP rešenja. Na osnovu uvida u prethodna istraživanja, formiran je teorijski okvir koji je poslužio kao osnova za definisanje tri hipoteze i planiranje numeričkog eksperimenta.

Eksperimentalni deo rada osmišljen je tako da se, uz kontrolisane parametre, ispita uticaj različitih efemerida i časovnih fajlova na ponašanje koordinata tokom vremena. Odabrana su tri različita geografska područja kako bi se pokrile potencijalne sezonske i prostorne varijacije. Zatim su, za više datuma i sve relevantne kombinacije efemerida i RINEX fajlova, generisani ulazni podaci koji su obrađeni u softveru *Bernese GNSS Software*, verzija 5.2.

Dobijeni rezultati organizovani su kroz strukturane .csv fajlove, prema tipu analize: po danima, po efemeridama, po stanicama i po pojedinačnim sesijama. Svaka kombinacija je analizirana tako što su koordinatne razlike izražene u odnosu na krajnju vrednost dobijenu nakon 24 h opažanja.

Zatim su razlike segmentirane na šest vremenskih intervala od po četiri časa (0–4, 4–8, ..., 20–24), za koje su izračunate osnovne statističke mere — minimalna i maksimalna vrednost,

raspon i standardna devijacija. Na osnovu toga omogućena je vizuelna i numerička procena konvergencije rešenja u zavisnosti od trajanja opažanja.

U narednom koraku, rezultati su objedinjeni po efemeridama, godinama i stanicama, kako bi se dobila šira slika ponašanja svakog tipa efemerida bez obzira na lokalne uslove. Na kraju su izdvojeni i objedinjeni zaključci koji se odnose na ukupne vrednosti prosečnih opsega i maksimalnih standardnih devijacija za sve prostorne komponente. Ti nalazi su korišćeni kao osnova za diskusiju u kontekstu početno postavljenih hipoteza.

7.2 Predlozi za buduća istraživanja

S obzirom na prirodu sprovedenog istraživanja i dobijene rezultate, jasno se otvaraju nove mogućnosti za produblјivanje analize i optimizaciju apsolutnog preciznog pozicioniranja (PPP). U nastavku su dati konkretni pravci koji bi mogli predstavljati osnovu za buduće radove u ovoj oblasti.

- **Detaljnije poređenje časovnih fajlova različitih vremenskih rezolucija** – Iako je u okviru ovog istraživanja zaključeno da nema značajnijih razlika između 5-sekundnih i 30-sekundnih fajlova, dodatna ispitivanja na većem broju stanica i u različitim vremenskim uslovima mogla bi potvrditi ili redefinisati ove nalaze.
- **Uključivanje dodatnih izvora grešaka** – Poseban akcenat može se staviti na modeliranje troposferskog uticaja, uključujući upotrebu različitih troposferskih modela, kao i analizu njihovog efekta na konvergenciju rešenja u kraćim vremenskim periodima.
- **Istraživanje i razvoj novih tipova efemerida** – Usmeravanje pažnje ka izradi još preciznijih i robusnijih efemerida može imati direktan uticaj na smanjenje vremena potrebnog za konvergenciju rešenja u PPP obradi.
- **Multikonstelacione analize** – Proširivanje eksperimenta na uključivanje više GNSS sistema kao što su *Galileo* i *BeiDou* moglo bi doprineti bržoj i stabilnijoj konvergenciji rešenja, naročito u urbanim sredinama i složenim geometrijskim uslovima.
- **Primena veštačke inteligencije u detekciji optimalnog trajanja opažanja** – Upotreba algoritama mašinskog učenja za predviđanje tačke konvergencije rešenja u

zavisnosti od kombinacije ulaznih parametara može dodatno unaprediti efikasnost PPP pristupa.

- **Razvoj prilagodljivih algoritama za real-time PPP** – Buduća istraživanja mogu biti usmerena na razvoj algoritama koji se u realnom vremenu prilagođavaju kvalitetu efemerida i dinamici opažanja, čime bi se poboljšao kvalitet rešenja.

Ovi predlozi predstavljaju nastavak dosadašnjeg istraživačkog pravca i nude konkretne osnove za dalje unapređenje preciznog GNSS pozicioniranja, sa posebnim fokusom na smanjenje vremena konvergencije i pouzdanost rešenja u različitim operativnim uslovima.

Prilozi

Spisak priloga

- Prilog 1: RINEX2.11 format
- Prilog 2: RINEX3.05 format
- Prilog 3: SP3c format
- Prilog 4: ERP format
- Prilog 5: ANTEX format
- Prilog 6: INX format
- Prilog 7: ION format
- Prilog 8: TRO format
- Prilog 9: CLK 5s format
- Prilog 10: CLK 30s format
- Prilog 11: Format RINEX Meteorološkog fajla
- Prilog 12: Format DCB P1C1
- Prilog 13: Format DCB P1P2
- Prilog 14: Koordinate stanica
- Prilog 15: IGS Koordinate stanica
- Prilog 16: Brzine pomeranja stanica
- Prilog 17: Opterećenje okeanskom plimom
- Prilog 18: Opterećenje atmosferskom plimom

- Prilog 19: Tabela skraćenica naziva stanica
- Prilog 20: Pripadnost stanica tektonskim pločama
- Prilog 21: „PowerShell” skripta za podelu RINEX fajla
- Prilog 22: Tabele koordinata GNSS stanica za različite efemeride, intervale i datume
- Prilog 23: Dijagrami promena koordinata GNSS stanica za različite efemeride, intervale i datume
- Prilog 24: Dijagrami promena koordinata GNSS stanica po svim efemeridama po datumima posmatranja
- Prilog 25: Dijagrami ponašanja pojedinačne efemeride kroz više godina za svaku koordinatu
- Prilog 26: Dijagrami koordinata GNSS stanica kroz sve efemeride i sve godine
- Prilog 27: Statističke tabele odstupanja GNSS koordinata po segmentima opažanja
- Prilog 28: Objedinjeni statistički pregled efemerida kroz više vremenskih epoha

Prilog 1: RINEX2.11 format

```

1:      2.11      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
2: HEADER CHANGED BY EPN CB ON 2020-02-07      COMMENT
3: TO BE CONFORM WITH THE INFORMATION IN      COMMENT
4: ftp://epncb.oma.be/pub/station/log/ganp.log      COMMENT
5:      COMMENT
6: teqc 2019Feb25      20200102 00:12:55UTC PGM / RUN BY / DATE
7: gfzrx-1.13-7761      FILE PROCESSING      20200102 001304 UTC COMMENT
8: GANP      MARKER NAME
9: 11515M001      MARKER NUMBER
10: SKPOS      GKU BRATISLAVA      OBSERVER / AGENCY
11: 5813R40021      TRIMBLE ALLOY      5.43      REC # / TYPE / VERS
12: 5620361622      TRM59800.00      SCIS      ANT # / TYPE
13:      0.3830      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
14: 3929181.8685 1455236.5018 4793653.7059      APPROX POSITION XYZ
15: 20 C1 C2 C5 C6 C7 C8 L1 L2 L5# / TYPES OF OBSERV
16: L6 L7 L8 P1 P2 S1 S2 S5 S6# / TYPES OF OBSERV
17: S7 S8 # / TYPES OF OBSERV
18: Linux2.6.32-573.12.1.el6.x86_64|x86_64|gcc|Win64-MinGW64|=+ COMMENT
19: 0.3830 (antenna height) COMMENT
20: +49.03471072 (latitude) COMMENT
21: +20.32293112 (longitude) COMMENT
22: 0746.033 (elevation) COMMENT
23: BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
24: GANP (COGO code) COMMENT
25: 1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
26: 18 LEAP SECONDS
27: Forced Modulo Decimation to 30 seconds COMMENT
28: SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
29: L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
30: 75 # OF SATELLITES
31: E01 1281 1281 1281 1281 1281 1281 1281 1281PRN / # OF OBS
32: 1281 1281 1281 1281 1281 1281 1281PRN / # OF OBS
33: 1281 1281 PRN / # OF OBS
34: ...
35: G01 1001 997 1001 1001 1001 1001PRN / # OF OBS
36: 988 1001 1001 1001 PRN / # OF OBS
37: PRN / # OF OBS
38: ...
39: R01 1015 1003 1015 1010 PRN / # OF OBS
40: 1015 1008 1015 1010 PRN / # OF OBS
41: PRN / # OF OBS
42: ...
43: 30.000 INTERVAL
44: 2020 1 1 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
45: 2020 1 1 23 59 30.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
46: END OF HEADER
47: 20 01 01 00 00 00.0000000 0 30E01E03E05E08E13E15E21E26E27G07G08G10
48: G13G15G16G20G21G26G27G29R01R02R03R09
49: R15R16R17R18R19S26
50: 26677180.266 26677182.305 26677174.707 26677178.766
51: 26677181.902 140189525.430 7 104686986.912 7 113790177.093 7
52: 107417941.338 7 106052470.418 8 44.900
53: 46.100 46.700 45.600 49.700
54: ...
55: 20 01 01 00 00 30.0000000 0 30E01E03E05E08E13E15E21E26E27G07G08G10
56: G13G15G16G20G21G26G27G29R01R02R03R09
57: R15R16R17R18R19S26
58: 26666786.859 26666788.801 26666781.324 26666785.566
59: 26666788.434 140134907.523 7 104646200.806 7 113745844.385 7
60: ...

```

Prilog 2: RINEX3.05 format

```

1:      3.05      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
2:  cnvtToRINEX 3.14.0 Filip      20240801 064429 UTC PGM / RUN BY / DATE
3:  gfzrnrx-1.16-8204 FILE PROCESSING      20240801 064509 UTC COMMENT
4:  INITIAL_RINEX_VERSION: 3.04 COMMENT
5:  LESK MARKER NAME
6:  12129M001 MARKER NUMBER
7:  AGROS RepublickiGeodetskiZavod OBSERVER / AGENCY
8:  5543R50229 TRIMBLE NETR9 Nav 5.37 REC # / TYPE / VERS
9:  60051827 TRM41249.00 TZGD ANT # / TYPE
10:      0.0000      0.0000      0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
11:  4333721.6297 1746352.5829 4327504.7037 APPROX POSITION XYZ
12:  C 6 C2I C6I C7I L2I L6I L7I SYS / # / OBS TYPES
13:  E 8 C1X C5X C7X C8X L1X L5X L7X L8X SYS / # / OBS TYPES
14:  G 8 C1C C2W C2X C5X L1C L2W L2X L5X SYS / # / OBS TYPES
15:  R 8 C1C C1P C2C C2P L1C L1P L2C L2P SYS / # / OBS TYPES
16:  ----- COMMENT
17:  GEODETIC MARKER TYPE
18:      0 RCV CLOCK OFFS APPL
19:  24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6 GLONASS SLOT / FRQ #
20:  R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 GLONASS SLOT / FRQ #
21:  R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 GLONASS SLOT / FRQ #
22:  G L2X -0.25000 SYS / PHASE SHIFT
23:  R L1P 0.25000 SYS / PHASE SHIFT
24:  R L2C -0.25000 SYS / PHASE SHIFT
25:  R L2P 0.00000 SYS / PHASE SHIFT
26:      18 LEAP SECONDS
27:  DBHZ SIGNAL STRENGTH UNIT
28:  C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000 GLONASS COD/PHS/BIS
29:  C SYS / PHASE SHIFT
30:  E SYS / PHASE SHIFT
31:  GFZRNX.NUM_EPOCHS: 2879 COMMENT
32:      104 # OF SATELLITES
33:  C02 2398 1812 2150 2398 1812 2150 PRN / # OF OBS
34:  C05 2878 2878 2878 2878 2878 2878 PRN / # OF OBS
35:  C06 1032 1032 1032 1032 1032 1032 PRN / # OF OBS
36:  ...
37:  E02 1419 1419 1419 1419 1419 1419 1419 1419 PRN / # OF OBS
38:  E03 1253 1253 1252 1253 1253 1253 1252 1253 PRN / # OF OBS
39:  E04 695 695 695 695 695 695 695 695 PRN / # OF OBS
40:  ...
41:  G02 738 730 738 730 PRN / # OF OBS
42:  G03 841 841 825 842 841 841 825 842 PRN / # OF OBS
43:  G04 813 813 813 813 813 813 813 813 PRN / # OF OBS
44:  ...
45:  R01 1096 1096 1093 1096 1096 1096 1093 1096 PRN / # OF OBS
46:  R02 1053 1049 1035 1044 1053 1049 1035 1044 PRN / # OF OBS
47:  R03 921 921 921 921 921 921 921 921 PRN / # OF OBS
48:  ...
49:      30.000 INTERVAL
50:  2024 7 31 0 0 0.00000000 GPS TIME OF FIRST OBS
51:  2024 7 31 23 59 30.00000000 GPS TIME OF LAST OBS
52:  END OF HEADER
53: > 2024 07 31 00 00 00.0000000 0 32
54: C02 40277654.523 5 40277641.336 5 40277645.262 6 209736350.443 5 170427887.702
55: 5 162181400.146 6
56: ...
57: E04 27493612.563 6 27493615.035 7 27493613.156 6 27493614.395 7 144479933.218
58: 6 107890866.896 7 110705409.271 6 109298137.699 7
59: ...
60: G06 22880441.484 6 22880445.980 6 22880445.867 7 22880445.496 8 120237578.656
61: 6 93691667.837 6 93691640.853 7 89787824.872 8
62: ...
63: R01 22838845.234 6 22838845.469 6 22838845.473 5 22838845.402 5 122086717.447
64: 6 122086728.474 6 94956345.639 5 94956348.635 5
65: ...
66: > 2024 07 31 00 00 30.0000000 0 32
67: C02 40277339.008 5 40277327.156 5 40277331.621 6 209734714.17015 170426558.10915
68: 162180134.89916
69: ...

```


Prilog 3: SP3c format

```

1 #dP2023 1 1 0 0 0.000000000 289 d+D IGS20 FIT AIUB
2 ## 2243 0.000000000 300.000000000 59945 0.000000000000000
3 + 77 G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G11G12G13G14G15G16G17
4 + G18G19G20G21G22G23G24G25G26G27G29G30G31G32R01R02R03
5 + R04R05R07R08R09R11R12R13R14R15R16R17R18R19R20R21R24
6 + E01E02E03E04E05E07E08E09E10E11E12E13E14E15E18E19E21
7 + E24E25E26E27E30E31E33E34E36 0 0 0 0 0 0 0 0
8 ++ 4 4 5 4 6 4 4 6 4 6 4 4 4 4 4 4 4
9 ++ 4 4 6 4 4 6 4 4 4 5 4 4 4 4 5 4 4
10 ++ 4 5 4 4 5 4 4 5 4 4 5 4 4 5 5 4 4
11 ++ 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 6 4 6 4 4
12 ++ 4 4 4 4 4 4 4 4 4 0 0 0 0 0 0 0 0
13 %c M cc GPS ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
14 %c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
15 %f 1.2500000 1.025000000 0.000000000000 0.000000000000000
16 %f 0.00000000 0.0000000000 0.000000000000 0.000000000000000
17 %i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 %i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 /* Center for Orbit Determination in Europe (CODE)
20 /* Final GNSS orbits and clocks for year-day 2023-0010
21 /* Middle day of a 3-day long-arc GRE solution
22 /* Product reference - DOI 10.7892/boris.75876.4
23 /* PCV:IGS20 OL/AL:FES2014b NONE YN ORB:CoN CLK:CoN
24 * 2023 1 1 0 0 0.000000000
25 PG01 13294.139157 -16851.109417 15098.239701 230.219391
26 PG02 -10611.503413 20558.590108 -12602.432996 -629.945810
27 ...
28 PR01 16345.075140 -5243.590556 -18866.529695 20.452875
29 PR02 -2784.394886 -11728.453642 -22429.183989 -23.377417
30 ...
31 PE01 13429.257188 11718.191104 -23636.932899 -587.823747
32 PE02 -13722.699611 -11523.463260 23550.592302 11.978378
33 ...
34 * 2023 1 1 0 5 0.000000000
35 PG01 13237.267394 -16243.565350 15794.173671 230.217917
36 ...
37 EOF

```

Prilog 4: ERP format

JEDNODNEVNI ERP																			
VERSION 2 CODE'S 3-DAY FINAL SOLUTION FOR DAY 001, 2023																			
06-JAN-23 05:33																			
SUBDAILY POLE MODEL: DESAI2016																			
NUTATION MODEL : IAU2000R06																			
MJD	X-P E-6"	Y-P E-6"	UT1UTC E-7S	LOD E-7S/D	S-X E-6"	S-Y E-6"	S-UT E-7S	S-LD E-7S/D	NR	NF	NT	X-RT E-6"/D	Y-RT E-6"/D	S-XR E-6"/D	S-YR E-6"/D	C-XY E-2	C-XT E-2	C-YT E-2	S-DE E-6"
59944.00	66972	200070	-194407	3768	5	4	4	3	819	539	77	-4253	919	4	4	10	-10	7	0
59944.50	64846	200529	-196291	2857	3	3	2	3	819	539	77	-4253	919	6	6	7	-6	4	0
59945.00	62719	200989	-197720	1427	4	4	1	2	819	539	77	-3680	800	3	3	4	0	0	0
59945.50	60879	201389	-198433	348	3	3	2	6	819	539	77	-3680	800	5	5	3	5	-4	0
59946.00	59039	201789	-198607	-433	4	4	4	3	819	539	77	-3305	707	4	4	3	-8	7	0
59946.50	57386	202142	-198391	-1510	3	3	4	6	819	539	77	-3305	707	8	7	6	-5	4	0
59947.00	55733	202496	-197636	-1510	5	5	6	6	819	539	77	-3305	707	8	7	8	-9	8	0

SEDMODNEVNI ERP																			
VERSION 2 CODE'S 3-DAY FINAL ERP RESULTS FOR WEEK 2243																			
12-JAN-23 08:18																			
SUBDAILY POLE MODEL: DESAI2016																			
NUTATION MODEL : IAU2000R06																			
MJD	X-P E-6"	Y-P E-6"	UT1UTC E-7S	LOD E-7S/D	S-X E-6"	S-Y E-6"	S-UT E-7S	S-LD E-7S/D	NR	NF	NT	X-RT E-6"/D	Y-RT E-6"/D	S-XR E-6"/D	S-YR E-6"/D	C-XY E-2	C-XT E-2	C-YT E-2	S-DE E-6"
59945.50	60879	201389	-198433	887	3	3	2	6	819	539	77	-3680	800	5	5	3	5	-4	0
59946.50	57362	202144	-198632	-935	3	3	2	6	816	554	77	-3405	774	5	5	4	5	-4	0
59947.50	54266	202758	-196664	-3279	3	3	2	6	822	551	77	-2762	444	5	5	2	5	-4	0
59948.50	51863	203400	-192795	-4890	3	3	2	6	821	552	77	-2054	909	5	5	2	5	-4	0
59949.50	49812	204487	-187475	-5583	3	3	2	6	817	548	77	-2040	1284	5	5	5	6	-4	0
59950.50	47825	205672	-182068	-5492	3	3	2	5	823	552	77	-1944	1099	5	5	3	5	-4	0
59951.50	45995	206880	-176686	-4898	3	3	2	5	824	557	77	-1709	1368	5	5	3	4	-4	0

Prilog 5: ANTEX format

```

1: 1.4          M          ANTEX VERSION / SYST
2: A          PCV TYPE / REFANT
3:
4: ...
5: ##### COMMENT
6: Compiled by Ralf Schmid (DGFI-TUM), e-mail: schmid@tum.de COMMENT
7: ##### COMMENT
8: END OF HEADER
9: START OF ANTENNA
10: BLOCK IIA          G01          G032          1992-079A TYPE / SERIAL NO
11: 0      29-JAN-17 METH / BY / # / DATE
12: 0.0
13: 0.0  17.0  1.0          DAZI
14: 2          ZEN1 / ZEN2 / DZEN
15: 1992    11    22    0    0    0.0000000 # OF FREQUENCIES
16: 2008    10    16    23    59  59.9999999 VALID FROM
17: IGS14_1930          VALID UNTIL
18: G01          SINEX CODE
19: 279.00    0.00  2319.50          START OF FREQUENCY
20: NOAZI    -0.80  -0.90  -0.90  -0.80  -0.40  0.20  0.80  1.30  1.40 NORTH / EAST / UP
21: 1.20    0.70    0.00  -0.40  -0.70  -0.90  -0.90  -0.90  -0.90
22: G01          END OF FREQUENCY
23: G02          START OF FREQUENCY
24: 279.00    0.00  2319.50          NORTH / EAST / UP
25: NOAZI    -0.80  -0.90  -0.90  -0.80  -0.40  0.20  0.80  1.30  1.40
26: 1.20    0.70    0.00  -0.40  -0.70  -0.90  -0.90  -0.90  -0.90
27: G02          END OF FREQUENCY
28: END OF ANTENNA
29: ...
30: START OF ANTENNA
31: AERAT1675_120  SPKE          TYPE / SERIAL NO
32: ROBOT          Geo++ GmbH          1      04-AUG-14 METH / BY / # / DATE
33: 5.0          DAZI
34: 0.0  90.0  5.0          ZEN1 / ZEN2 / DZEN
35: 4          # OF FREQUENCIES
36: IGS14_1930          SINEX CODE
37: # Number of Calibrated Antennas GPS: 001 COMMENT
38: # Number of Individual Calibrations GPS: 015 COMMENT
39: # Number of Calibrated Antennas GL0: 001 COMMENT
40: # Number of Individual Calibrations GL0: 015 COMMENT
41: # GLONASS PCV (metric) COMMENT
42: # derived from Delta PCV per 25.0 MHz COMMENT
43: # for frequency channel number k=0 COMMENT
44: G01          START OF FREQUENCY
45: -0.01    +0.57    +80.51          NORTH / EAST / UP
46: NOAZI    +0.00  -0.07  -0.28  -0.61  -1.01  -1.46  -1.94  -2.43  -2.92  -3.38
47: -3.75  -3.95  -3.87  -3.37  -2.31  -0.58  +1.86  +4.91  +8.28
48: 0.0  +0.00  -0.09  -0.33  -0.68  -1.11  -1.57  -2.04  -2.49  -2.92  -3.32
49: -3.63  -3.76  -3.57  -2.90  -1.65  +0.24  +2.77  +5.81  +9.16
50:
51: ...
52:
53: G01          END OF FREQUENCY
54: G02          START OF FREQUENCY
55: -1.02    -0.30    +96.53          NORTH / EAST / UP
56: NOAZI    +0.00  -0.14  -0.56  -1.21  -2.03  -2.96  -3.89  -4.72  -5.33  -5.63
57: -5.55  -5.10  -4.31  -3.22  -1.80  +0.08  +2.68  +6.24  +10.82
58: 0.0  +0.00  -0.16  -0.59  -1.24  -2.06  -2.98  -3.93  -4.82  -5.53  -5.95
59: -6.00  -5.66  -4.97  -3.96  -2.59  -0.68  +2.04  +5.74  +10.27
60: 5.0  +0.00  -0.17  -0.60  -1.25  -2.07  -3.00  -3.96  -4.86  -5.57  -5.99
61: -6.04  -5.69  -5.00  -3.99  -2.63  -0.74  +1.93  +5.59  +10.14
62:
63: ...

```

Prilog 6: INX format

```

1: 1.0          IONOSPHERE MAPS      GNSS          IONEX VERSION / TYPE
2: ADDNEQ2 V5.5      AIUB          05-JAN-23 21:28      PGM / RUN BY / DATE
3: CODE'S GLOBAL IONOSPHERE MAPS FOR DAY 001, 2023      COMMENT
4: ...
5:
6: 2023          1          1          0          0          0          EPOCH OF FIRST MAP
7: 2023          1          2          0          0          0          EPOCH OF LAST MAP
8: 3600          INTERVAL
9: 25            # OF MAPS IN FILE
10: NONE         MAPPING FUNCTION
11: 10.0         ELEVATION CUTOFF
12: One-way carrier phase leveled to code      OBSERVABLES USED
13: 237         # OF STATIONS
14: 77          # OF SATELLITES
15: 6371.0      BASE RADIUS
16: 2           MAP DIMENSION
17: 450.0 450.0 0.0      HGT1 / HGT2 / DHGT
18: 87.5 -87.5 -2.5      LAT1 / LAT2 / DLAT
19: -180.0 180.0 5.0     LON1 / LON2 / DLON
20: -1          EXPONENT
21: TEC/RMS values in 0.1 TECU; 9999, if no value available      COMMENT
22: Peak TEC values for the included maps:      COMMENT
23: 1009 973 887 863 749 785 810 828 853 819 765 723      COMMENT
24: 713 701 760 795 801 757 748 730 803 885 928 901      COMMENT
25: 929         COMMENT
26: List of stations:      COMMENT
27: abpo adis albh algo alic amu2 antc areg areq ascg aspa auck      COMMENT
28: DIFFERENTIAL CODE BIASES      START OF AUX DATA
29: Reference observables for GPS      : C1W-C2W      COMMENT
30: G01 -6.883 0.035      PRN / BIAS / RMS
31: G02 7.753 0.033      PRN / BIAS / RMS
32: ...
33:
34: Reference observables for GALILEO: C1X-C5X      COMMENT
35: E01 -0.147 0.045      PRN / BIAS / RMS
36: E02 0.701 0.038      PRN / BIAS / RMS
37: ...
38:
39: Reference observables for ABPO 33302M001 (G): C1W-C2W      COMMENT
40: G ABPO 33302M001 -1.750 0.102      STATION / BIAS / RMS
41: Reference observables for ABPO 33302M001 (E): C1C-C5Q      COMMENT
42: E ABPO 33302M001 10.475 0.106      STATION / BIAS / RMS
43: ...
44:
45: DCB values in ns; zero-mean condition wrt satellite values      COMMENT
46: DIFFERENTIAL CODE BIASES      END OF AUX DATA
47: END OF HEADER
48: 1           START OF TEC MAP
49: 2023          1          1          0          0          0          EPOCH OF CURRENT MAP
50: 87.5-180.0 180.0 5.0 450.0      LAT/LON1/LON2/DLON/H
51: 104 105 107 108 109 110 111 112 112 113 113 113 112 112 111 110
52: 109 108 107 105 104 102 100 99 97 95 93 91 89 87 85 83
53: 82 80 78 77 75 74 73 72 71 70 69 68 68 67 67 67
54: 67 67 68 68 69 70 71 72 73 75 76 78 80 82 84 86
55: 88 90 92 94 96 98 100 102 104
56: 85.0-180.0 180.0 5.0 450.0      LAT/LON1/LON2/DLON/H
57: 113 116 119 121 123 125 126 127 128 128 128 128 127 126 125 123
58: ...
59:
60: 25           END OF RMS MAP
61: END OF FILE

```

Prilog 7: ION format

```

1: CODE'S GLOBAL IONOSPHERE MAPS FOR DAY 001, 2023                                05-JAN-23 21:2
2: -----
3: MODEL NUMBER / STATION NAME : 0010-01
4: MODEL TYPE (1=LOCAL,2=GLOBAL,3=STATION) : 2
5: MAXIMUM DEGREE OF SPHERICAL HARMONICS : 15
6: MAXIMUM ORDER : 15
7: DEVELOPMENT WITH RESPECT TO
8: GEOGRAPHICAL (=1) OR GEOMAGNETIC (=2) FRAME : 2
9: MEAN (=1) OR TRUE (=2) POSITION OF THE SUN : 1
10: MAPPING FUNCTION (0=NONE,1=COSZ,2=MSLM,3=ESM) : 2
11: HEIGHT OF SINGLE LAYER AND ITS RMS ERROR (KM) : 450.00 0.00
12: COORDINATES OF EARTH-CENTERED DIPOLE AXIS
13: LATITUDE OF NORTH GEOMAGNETIC POLE (DEGREES) : 80.33
14: EAST LONGITUDE (DEGREES) : -72.67
15: PERIOD OF VALIDITY
16: FROM EPOCH / REFERENCE EPOCH (Y,M,D,H,M,S) : 2023 01 01 00 00 00
17: TO EPOCH :
18: LATITUDE BAND COVERED
19: MINIMUM LATITUDE (DEGREES) : -88.96
20: MAXIMUM LATITUDE (DEGREES) : 88.20
21: ADDITIONAL INFORMATION
22: NUMBER OF CONTRIBUTING STATIONS : 237
23: NUMBER OF CONTRIBUTING SATELLITES : 77
24: ELEVATION CUT-OFF ANGLE (DEGREES) : 10
25: MAXIMUM TEC AND ITS RMS ERROR (TECU) : 101.41 0.16
26: COMMENT / WARNING :
27: COEFFICIENTS
28: DEGREE ORDER VALUE (TECU) RMS (TECU)
29: 0 0 26.72712352 0.0213
30: 1 0 -3.11005393 0.0212
31: 1 1 9.96809439 0.0209
32: 1 -1 9.01308991 0.0209
33: 2 0 -10.20477792 0.0203
34: 2 1 -0.59012775 0.0218
35: 2 -1 -0.17501014 0.0210
36: 2 2 3.32170613 0.0199
37: 2 -2 1.40386492 0.0207
38: 3 0 0.12005757 0.0189
39: 3 1 -1.43423971 0.0214
40: 3 -1 -2.46103977 0.0214
41: 3 2 1.45565405 0.0204
42: 3 -2 0.04297876 0.0210
43: 3 3 0.30753891 0.0198
44: 3 -3 0.50621551 0.0200
45: 4 0 4.02347906 0.0194
46: 4 1 0.82584404 0.0197
47: 4 -1 -0.64741669 0.0205
48: 4 2 -0.84506765 0.0210
49: 4 -2 -0.43298947 0.0218
50: 4 3 0.01283669 0.0199
51: 4 -3 0.87438589 0.0204
52: ...

```

Prilog 8: TRO format

```

1: %=TRO 0.01 COD 23:006:21967 IGS 23:001:00000 23:002:00000 P MIX
2: *-----
3: +FILE/REFERENCE
4: *INFO_TYPE      INFO
5: DESCRIPTION     CODE, Astronomical Institute, University of Bern
6: OUTPUT          CODE IGS 3-day solution for G/R
7: CONTACT         code@aiub.unibe.ch
8: SOFTWARE        Bernese GNSS Software Version 5.5
9: HARDWARE        UBELIX: Linux, x86_64
10: INPUT          CODE IGS 1-day solutions for G/R
11: -FILE/REFERENCE
12: *-----
13: +TROP/DESCRIPTION
14: *      KEYWORD      VALUE(S)
15: ELEVATION CUTOFF ANGLE      3
16: SAMPLING INTERVAL      180
17: SAMPLING TROP      7200
18: TROP MAPPING FUNCTION      WET_VMF3
19: SOLUTION_FIELDS_1      TROTOT STDDEV TGNTOT STDDEV TGETOT STDDEV
20: -TROP/DESCRIPTION
21: *-----
22: +TROP/STA COORDINATES
23: *SITE PT SOLN T STA_X STA_Y STA_Z SYSTEM REMRK
24: ABMF A 1 P 2919785.815 -5383744.927 1774604.904 IGS20 COD
25: ABPO A 1 P 4097216.508 4429119.253 -2065771.142 IGS20 COD
26: ...
27:
28: ZIM3 A 1 P 4331299.626 567537.647 4633133.922 IGS20 COD
29: ZIMM A 1 P 4331296.817 567556.203 4633134.143 IGS20 COD
30: -TROP/STA COORDINATES
31: *-----
32: +TROP/SOLUTION
33: *SITE EPOCH TROTOT STDDEV TGNTOT STDDEV TGETOT STDDEV
34: ABMF 23:001:03600 2522.4 0.4 -0.393 0.036 -0.566 0.036
35: ABMF 23:001:10800 2526.5 0.3 -0.330 0.032 -0.557 0.033
36: ABMF 23:001:18000 2528.5 0.3 -0.267 0.028 -0.548 0.029
37: ABMF 23:001:25200 2534.0 0.3 -0.204 0.025 -0.538 0.027
38: ABMF 23:001:32400 2539.9 0.3 -0.141 0.023 -0.529 0.025
39: ABMF 23:001:39600 2544.7 0.3 -0.078 0.022 -0.520 0.023
40: ABMF 23:001:46800 2544.2 0.3 -0.015 0.022 -0.511 0.023
41: ABMF 23:001:54000 2537.0 0.3 0.048 0.023 -0.502 0.024
42: ABMF 23:001:61200 2531.4 0.3 0.110 0.025 -0.493 0.026
43: ABMF 23:001:68400 2532.4 0.3 0.173 0.027 -0.483 0.028
44: ABMF 23:001:75600 2530.3 0.3 0.236 0.030 -0.474 0.031
45: ABMF 23:001:82800 2527.1 0.3 0.299 0.034 -0.465 0.034
46: ADIS 23:001:03600 1821.4 0.7 -0.754 0.086 0.859 0.095
47: ADIS 23:001:10800 1826.1 0.5 -0.679 0.079 0.755 0.087
48: ...
49:
50: ZIMM 23:001:03600 2186.1 0.5 -0.807 0.052 0.287 0.047
51: ZIMM 23:001:10800 2181.2 0.4 -0.783 0.047 0.264 0.042
52: ZIMM 23:001:18000 2175.9 0.5 -0.759 0.043 0.241 0.038
53: ZIMM 23:001:25200 2167.3 0.5 -0.735 0.039 0.218 0.035
54: ZIMM 23:001:32400 2167.0 0.5 -0.711 0.037 0.195 0.032
55: ZIMM 23:001:39600 2164.0 0.4 -0.686 0.035 0.172 0.031
56: ZIMM 23:001:46800 2160.7 0.4 -0.662 0.035 0.149 0.031
57: ZIMM 23:001:54000 2162.9 0.4 -0.638 0.037 0.125 0.032
58: ZIMM 23:001:61200 2165.4 0.4 -0.614 0.039 0.102 0.034
59: ZIMM 23:001:68400 2168.3 0.4 -0.590 0.043 0.079 0.038
60: ZIMM 23:001:75600 2168.5 0.5 -0.566 0.047 0.056 0.042
61: ZIMM 23:001:82800 2170.3 0.5 -0.542 0.052 0.033 0.046
62: -TROP/SOLUTION
63: %=ENDTRO

```

Prilog 9: CLK 5s format

```

1: 3.04          C          M          RINEX VERSION / TYPE
2: CCRNXC V5.5    AIUB          06-JAN-23 17:52    PGM / RUN BY / DATE
3: Center for Orbit Determination in Europe (CODE)    COMMENT
4: Final GNSS clock information for year-day 2023-001    COMMENT
5: Clock information consistent with phase and C1W/C2W code data    COMMENT
6: Satellite/receiver clock values at intervals of 5/300 sec    COMMENT
7: High-rate (5 sec) clock interpolation based on phase data    COMMENT
8: Product reference: DOI 10.7892/boris.75876.4    COMMENT
9: GPS          TIME SYSTEM ID
10: 18          LEAP SECONDS GNSS
11: E CLKEST V5.5    IGS20          SYS / PCVS APPLIED
12: G CLKEST V5.5    IGS20          SYS / PCVS APPLIED
13: R CLKEST V5.5    IGS20          SYS / PCVS APPLIED
14: E CLKEST V5.5    CODE.BIA @ ftp.aiub.unibe.ch/CODE/    SYS / DCBS APPLIED
15: G CLKEST V5.5    CODE.BIA @ ftp.aiub.unibe.ch/CODE/    SYS / DCBS APPLIED
16: R CLKEST V5.5    CODE.BIA @ ftp.aiub.unibe.ch/CODE/    SYS / DCBS APPLIED
17: 2          AR          AS          # / TYPES OF DATA
18: COD Center for Orbit Determination in Europe    ANALYSIS CENTER
19: 1          # OF CLK REF
20: PIE100USA 40456M001    0.000000000000E+00    ANALYSIS CLK REF
21: 316    IGS20          # OF SOLN STA / TRF
22: PIE100USA 40456M001    -1640917152 -5014781195 3575447000SOLN STA NAME / NUM
23: ABMF00GLP 97103M001    2919785815 -5383744927 1774604904SOLN STA NAME / NUM
24: ABP000MDG 33302M001    4097216508 4429119253 -2065771142SOLN STA NAME / NUM
25: ADIS00ETH 31502M001    4913652504 3945922877 995383564SOLN STA NAME / NUM
26: ...
27:
28: ZIMM00CHE 14001M004    4331296817 567556203 4633134143SOLN STA NAME / NUM
29: 77          # OF SOLN SATS
30: E01 E02 E03 E04 E05 E07 E08 E09 E10 E11 E12 E13 E14 E15 E18 E19    PRN LIST
31: E21 E24 E25 E26 E27 E30 E31 E33 E34 E36 G01 G02 G03 G04 G05 G06    PRN LIST
32: G07 G08 G09 G10 G11 G12 G13 G14 G15 G16 G17 G18 G19 G20 G21 G22    PRN LIST
33: G23 G24 G25 G26 G27 G29 G30 G31 G32 R01 R02 R03 R04 R05 R07 R08    PRN LIST
34: R09 R11 R12 R13 R14 R15 R16 R17 R18 R19 R20 R21 R24    PRN LIST
35: END OF HEADER
36: AR PIE100USA 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.217911164709E-03 0.183629798307E-10
37: AR ABMF00GLP 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.242193980871E-03 0.324983495442E-10
38: AR ABP000MDG 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.504291152943E-08 0.248848458333E-10
39: AR ADIS00ETH 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.920010678879E-09 0.276658966919E-10
40: AR AIRA00JPN 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.355267291931E-07 0.190873313218E-10
41: ...
42:
43: AR ZIMM00CHE 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.193657183819E-07 0.250521919409E-10
44: AS E01    2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.587823746904E-03 0.238455469525E-11
45: AS E02    2023 01 01 00 00 0.000000 2 0.119783780683E-04 0.206907484129E-11
46: AS E03    2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.635419182352E-03 0.246818804570E-11
47: ...
48:
49: AS G01    2023 01 01 00 00 0.000000 2 0.230219390801E-03 0.854582765438E-12
50: AS G02    2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.629945809562E-03 0.122527404081E-11
51: ...
52:
53: AR PIE100USA 2023 01 01 00 00 5.000000 1 -0.217911166188E-03
54: AS E01    2023 01 01 00 00 5.000000 1 -0.587823785253E-03
55: AS E02    2023 01 01 00 00 5.000000 1 0.119783885703E-04
56: ...

```

Prilog 10: CLK 30s format

```

1: 3.04          C          M          RINEX VERSION / TYPE
2: CCRNXC V5.5    AIUB          06-JAN-23 16:04    PGM / RUN BY / DATE
3: Center for Orbit Determination in Europe (CODE)    COMMENT
4: Final GNSS clock information for year-day 2023-001    COMMENT
5: Clock information consistent with phase and C1W/C2W code data    COMMENT
6: Satellite/receiver clock values at intervals of 30/300 sec    COMMENT
7: High-rate (30 sec) clock interpolation based on phase data    COMMENT
8: Product reference: DOI 10.7892/boris.75876.4    COMMENT
9: GPS          TIME SYSTEM ID
10: 18          LEAP SECONDS GNSS
11: E CLKEST V5.5    IGS20          SYS / PCVS APPLIED
12: G CLKEST V5.5    IGS20          SYS / PCVS APPLIED
13: R CLKEST V5.5    IGS20          SYS / PCVS APPLIED
14: E CLKEST V5.5    CODE.BIA @ ftp.aiub.unibe.ch/CODE/    SYS / DCBS APPLIED
15: G CLKEST V5.5    CODE.BIA @ ftp.aiub.unibe.ch/CODE/    SYS / DCBS APPLIED
16: R CLKEST V5.5    CODE.BIA @ ftp.aiub.unibe.ch/CODE/    SYS / DCBS APPLIED
17: 2          AR          AS          # / TYPES OF DATA
18: COD Center for Orbit Determination in Europe    ANALYSIS CENTER
19: 1          # OF CLK REF
20: PIE100USA 40456M001    0.000000000000E+00    ANALYSIS CLK REF
21: 316    IGS20          # OF SOLN STA / TRF
22: PIE100USA 40456M001    -1640917152 -5014781195 3575447000SOLN STA NAME / NUM
23: ABMF00GLP 97103M001    2919785815 -5383744927 1774604904SOLN STA NAME / NUM
24: ABP000MDG 33302M001    4097216508 4429119253 -2065771140SOLN STA NAME / NUM
25: ADIS00ETH 31502M001    4913652504 3945922877 995383564SOLN STA NAME / NUM
26: ...
27:
28: ZIMM00CHE 14001M004    4331296817 567556203 4633134143SOLN STA NAME / NUM
29: 77          # OF SOLN SATS
30: E01 E02 E03 E04 E05 E07 E08 E09 E10 E11 E12 E13 E14 E15 E18 E19    PRN LIST
31: E21 E24 E25 E26 E27 E30 E31 E33 E34 E36 G01 G02 G03 G04 G05 G06    PRN LIST
32: G07 G08 G09 G10 G11 G12 G13 G14 G15 G16 G17 G18 G19 G20 G21 G22    PRN LIST
33: G23 G24 G25 G26 G27 G29 G30 G31 G32 R01 R02 R03 R04 R05 R07 R08    PRN LIST
34: R09 R11 R12 R13 R14 R15 R16 R17 R18 R19 R20 R21 R24    PRN LIST
35: END OF HEADER
36: AR PIE100USA 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.217911165105E-03 0.183629798307E-10
37: AR ABMF00GLP 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.242193981267E-03 0.324983495442E-10
38: AR ABP000MDG 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.504330752944E-08 0.248848458333E-10
39: AR ADIS00ETH 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.920406678897E-09 0.276658966919E-10
40: AR AIRA00JPN 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.355271251931E-07 0.190873313218E-10
41: ...
42:
43: AR ZIMM00CHE 2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.193661143819E-07 0.250521919409E-10
44: AS E01    2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.587823747300E-03 0.292047112743E-11
45: AS E02    2023 01 01 00 00 0.000000 2 0.119783776722E-04 0.253408879333E-11
46: AS E03    2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.635419182748E-03 0.302290064467E-11
47: ...
48:
49: AS G01    2023 01 01 00 00 0.000000 2 0.230219390405E-03 0.104664584204E-11
50: AS G02    2023 01 01 00 00 0.000000 2 -0.629945809958E-03 0.150064808560E-11
51: ...
52:
53: AR PIE100USA 2023 01 01 00 00 30.000000 1 -0.217911173980E-03
54: AS E01    2023 01 01 00 00 30.000000 1 -0.587823950948E-03
55: AS E02    2023 01 01 00 00 30.000000 1 0.119784504574E-04
56: ...

```


Prilog 11: Format RINEX Meteorološkog fajla

```

1: 2 METEOROLOGICAL DATA RINEX VERSION / TYPE
2: MET_STORE AIUB 01-JUL-24 00:01 PGM / RUN BY / DATE
3: ZIMMERWALD MARKER NAME
4: 3 PR TD HR # / TYPES OF OBSERV
5: PAROSCIENTIFIC 740-16B 0.2 PR SENSOR MOD/TYPE/ACC
6: ROTRONIC PT100 MP409A 0.3 TD SENSOR MOD/TYPE/ACC
7: VAISALA HUMICAP180 HMP45D 2.5 HR SENSOR MOD/TYPE/ACC
8: 0.0 0.0 0.0 950.0 PR SENSOR POS XYZ/H
9: END OF HEADER
10: 24 07 01 00 01 02 914.2 10.6 67.0
11: 24 07 01 00 25 02 914.1 10.6 67.0
12: 24 07 01 00 55 02 914.2 10.5 67.0
13: 24 07 01 01 25 01 914.0 10.0 67.0
14: 24 07 01 01 55 02 913.8 9.2 67.0
15: ...
16:
17: 24 07 01 23 55 01 915.5 9.2 67.0
18: 24 07 02 00 25 02 915.3 9.0 66.0
19: 24 07 02 00 55 01 915.3 9.0 67.0
20: 24 07 02 01 25 01 915.3 8.8 67.0
21: 24 07 02 01 55 01 915.2 8.7 68.0
22: 24 07 02 02 25 01 915.1 8.3 67.0
23: 24 07 02 02 55 02 915.0 8.4 68.0
24: 24 07 02 03 25 01 915.0 8.4 68.0
25: 24 07 02 03 55 01 915.0 8.6 67.0
26: 24 07 02 04 25 02 915.1 8.6 67.0
27: 24 07 02 04 55 01 915.1 8.5 68.0
28: 24 07 02 05 25 02 915.0 8.6 68.0
29: 24 07 02 05 55 02 915.0 8.8 68.0
30: 24 07 02 06 25 02 915.0 8.9 68.0
31: 24 07 02 06 55 02 915.1 9.1 67.0
32: 24 07 02 07 25 02 915.1 8.5 67.0
33: 24 07 02 07 55 02 915.1 8.9 67.0

```

Prilog 12: Format DCB P1C1

CODE'S MONTHLY GPS P1-C1 DCB SOLUTION, YEAR 2024, MONTH 01 04-FEB-24 06:46

DIFFERENTIAL (P1-C1) CODE BIASES FOR SATELLITES AND RECEIVERS:

PRN / STATION NAME	VALUE (NS)	RMS (NS)
*** *****	***** **	***** **
G01	1.425	0.023
G02	-1.757	0.004
G03	0.723	0.006
G04	0.383	0.006
G05	0.941	0.007
G06	0.734	0.021
G07	0.230	0.009
G08	-0.676	0.010
G09	-0.503	0.016
G10	0.170	0.023
G11	0.554	0.008
G12	0.736	0.006
G13	0.333	0.005
G14	0.458	0.006
G15	1.043	0.011
G16	-1.479	0.004
G17	0.669	0.003
G18	0.687	0.009
G19	-2.276	0.005
G20	-2.257	0.008
G21	-2.021	0.004
G22	-0.918	0.005
G23	0.635	0.008
G24	1.014	0.005
G25	-0.633	0.004
G26	-0.098	0.003
G27	0.022	0.010
G28	0.591	0.006
G29	0.917	0.007
G30	-0.927	0.006
G31	0.866	0.009
G32	0.413	0.043

Prilog 13: Format DCB P1P2

CODE'S MONTHLY GNSS P1-P2 DCB SOLUTION, YEAR 2024, MONTH 01 04-FEB-24 06:47

DIFFERENTIAL (P1-P2) CODE BIASES FOR SATELLITES AND RECEIVERS:

PRN / STATION NAME	VALUE (NS)	RMS (NS)
*** *****	***** **	***** **
G01	-6.791	0.010
G02	7.815	0.007
G03	-4.719	0.011
G04	-0.384	0.007
G05	3.645	0.018
G06	-6.094	0.010
G07	3.756	0.011
G08	-6.651	0.008
G09	-4.098	0.022
G10	-5.168	0.029
G11	2.214	0.009
G12	4.528	0.009
G13	3.877	0.013
G14	1.793	0.011
G15	3.478	0.013
G16	3.361	0.010
G17	3.813	0.012
G18	2.002	0.008
G19	6.630	0.013
G20	2.012	0.010
G21	3.055	0.007
G22	3.670	0.011
G23	2.066	0.009
G24	-5.112	0.010
G25	-7.179	0.009
G26	-7.919	0.014
G27	-4.501	0.046
G28	2.715	0.010
G29	3.044	0.012
G30	-6.108	0.012
G31	5.171	0.011
G32	-3.922	0.011
R01	-5.158	0.011
R02	-1.217	0.011
R03	1.743	0.011
R04	2.365	0.012
R05	0.405	0.011
R07	0.286	0.012
R08	3.596	0.015
R09	2.938	0.010
R11	3.988	0.012
R12	-1.777	0.010
R13	-2.040	0.008
R14	-1.965	0.014
R15	-0.296	0.009
R16	-0.758	0.009
R17	0.308	0.012
R18	-1.613	0.009
R19	0.461	0.009
R20	-5.434	0.014
R21	-0.140	0.011
R22	2.951	0.010
R24	0.071	0.008
R25	2.104	0.024
R26	-0.819	0.048

Prilog 14: Koordinate stanica

```

1: IGS14: coordinate list
2: -----
3: LOCAL GEODETIC DATUM: IGS14_0          EPOCH: 2010-01-01 00:00:00
4:
5: NUM  STATION NAME          X (M)          Y (M)          Z (M)          FLAG
6:
7:   1  ABMF 97103M001        2919785.71395 -5383745.04971  1774604.71351  IGS14
8:   2  ABPO 33302M001        4097216.64181  4429119.03811 -2065771.32915  IGS14
9:   3  ADE1 50109S001       -3939182.44060  3467075.34050 -3613220.31994  IGS14
10:  4  ADE2 50109S001       -3939182.44060  3467075.34050 -3613220.31994  IGS14
11:  5  ADIS 31502M001        4913652.76087  3945922.66962   995383.33311  IGS14
12:  6  AJAC 10077M005        4696989.37170   723994.57071  4239678.60527  IGS14
13:  7  ALBH 40129M003       -2341333.00537 -3539049.51698  4745791.29582  IGS14
14:  8  ALGO 40104M002         918129.29511 -4346071.28552  4561977.87207  IGS14
15:  9  ALIC 50137M001       -4052052.34525  4212836.03422 -2545105.12979  IGS14
16:
17: ...
18:
19:
20: Meaning of flags:
21: -----
22: IGS14 : IGS14
23:

```

Prilog 15: IGS Koordinate stanica

```

1: IGb08 coordinates                                     09-OCT-2012
2: -----
3: LOCAL GEODETIC DATUM: IGb08          EPOCH: 2005-01-01 00:00:00
4:
5: NUM  STATION NAME          X (M)          Y (M)          Z (M)          FLAG
6:
7:   1  ADE1 50109S001       -3939182.23402  3467075.32726 -3613220.55988  IGb08
8:   2  ADE2 50109S001       -3939182.23402  3467075.32726 -3613220.55988  IGb08
9:   3  AIRA 21742S001       -3530185.48879  4118797.33619  3344036.96348  IGb08
10:  4  ALBH 40129M003       -2341332.95210 -3539049.51026  4745791.32409  IGb08
11:  5  ALGO 40104M002         918129.37369 -4346071.26335  4561977.85727  IGb08
12:  6  ALIC 50137M001       -4052052.14443  4212836.06020 -2545105.39574  IGb08
13:  7  ALRT 40162M001        388042.69599  -740382.38631  6302001.87149  IGb08
14:  8  AMC2 40472S004       -1248596.19239 -4819428.21086  3976505.99736  IGb08
15:  9  ANKR 20805M002        4121948.52404  2652187.90210  4069023.75864  IGb08
16:
17: ...
18:
19: Meaning of flags:
20: -----
21: IGb08 : IGb08
22: IGS08 : IGS08
23: ITR08 : ITRF2008
24: PPP   : Precise point positioning solution
25:
26:

```

Prilog 16: Brzine pomeranja stanica

```

1: IGS14: velocity list (w/o PSD corrections applied)
2: -----
3: LOCAL GEODETIC DATUM: IGS14
4:
5: NUM  STATION NAME          VX (M/Y)      VY (M/Y)      VZ (M/Y)  FLAG  PLATE
6:
7:   1  ABMF 97103M001          0.00705      0.00967      0.01431   IG14  CARB
8:   2  ABPO 33302M001         -0.01028      0.01600      0.01358   IG14  AFRC
9:   3  ADE1 50109S001         -0.04034      0.00267      0.04891   IG14  AUST
10:  4  ADE2 50109S001         -0.04034      0.00267      0.04891   IG14  AUST
11:  5  ADIS 31502M001         -0.01937      0.01677      0.01846   IG14  AFRC
12:  6  AJAC 10077M005         -0.01388      0.01920      0.01189   IG14  EURA
13:  7  ALBH 40129M003         -0.00998     -0.00087     -0.00500   IG14  NOAM
14:  8  ALGO 40104M002         -0.01597     -0.00395      0.00423   IG14  NOAM
15:  9  ALIC 50137M001         -0.03911     -0.00552      0.05445   IG14  AUST
16:
17: ...
18:
19:
20: Meaning of flags:
21: -----
22: IG14 : IGS14
23:
24:
25: List of plates:
26: -----
27: PCFC : Pacific
28: AFRC : African
29: ANTA : Antarctic
30: ARAB : Arabian
31: AUST : Australian
32: CARB : Carribic
33: COCO : Cocos (north of NAZC, south of NOAM, east of CARB)
34: EURA : Eurasian
35: INDI : Indian
36: NAZC : Nazca (west of SOAM, east of PCFC)
37: NOAM : North American
38: SOAM : South American
39: JUFU : Juan de Fuca Plate (inbetween NOAM and PCFC, northern NOAM)
40: PHIL : Philippine
41:
42:
43:

```

Prilog 17: Opterećenje okeanskom plimom

```

1: $$ Ocean loading displacement
2: $$
3: $$ Calculated on froste using olfg/olmpp of H.-G. Scherneck
4: $$
5: $$ COLUMN ORDER:  M2  S2  N2  K2  K1  O1  P1  Q1  MF  MM  SSA
6: $$
7: $$ ROW ORDER:
8: $$ AMPLITUDES (m)
9: $$   RADIAL
10: $$   TANGENTL      EW
11: $$   TANGENTL      NS
12: $$ PHASES (degrees)
13: $$   RADIAL
14: $$   TANGENTL      EW
15: $$   TANGENTL      NS
16: $$
17: $$ Displacement is defined positive in upwards, South and West direction.
18: $$ The phase lag is relative to Greenwich and lags positive. The
19: $$ Gutenberg-Bullen Greens function is used. In the ocean tide model the
20: $$ deficit of tidal water mass has been corrected by subtracting a uniform
21: $$ layer of water with a certain phase lag globally.
22: $$
23: $$ Complete <model name> : No interpolation of ocean model was necessary
24: $$ <model name>_PP       : Ocean model has been interpolated near the station
25: $$                        (PP = Post-Processing)
26: $$
27: $$ CMC:  NO   (corr.tide centre of mass)
28: $$
29: $$ Ocean tide model: FES2004
30: $$
31: $$ CMC start : center of mass coefficient file content
32: $$ CMC format: (a,lp,t42,3(2x,2e12.4))
33: $$ CMC frequ : M2   NCDF_FES2004
34: -1.2661E-03 -1.4298E-03 -1.3724E-03  8.2077E-04   1.1479E-03  2.3005E-04
35: $$ CMC frequ : S2   NCDF_FES2004
36: -1.7763E-04 -5.7273E-04 -5.3350E-04 -3.1591E-04 -5.1370E-05  2.8184E-04
37: $$ CMC frequ : N2   NCDF_FES2004
38: -3.2372E-04 -2.8986E-04 -2.7121E-04  1.9849E-04   2.6018E-04 -1.4302E-04
39: $$ CMC frequ : K2   NCDF_FES2004
40: -1.1814E-04 -1.5250E-04 -1.1223E-04 -1.0889E-05 -1.5751E-05  1.2367E-04
41: $$ CMC frequ : K1   NCDF_FES2004
42: -1.1370E-03  4.4839E-03 -1.8539E-03 -8.6426E-04 -9.1022E-04 -1.7823E-03
43: $$ CMC frequ : O1   NCDF_FES2004
44: -1.6802E-04  2.9702E-03 -1.3985E-03 -2.2975E-04 -8.8858E-04 -6.4989E-04
45: $$ CMC frequ : P1   NCDF_FES2004
46: -3.6495E-04  1.4941E-03 -6.1436E-04 -2.9129E-04 -2.9261E-04 -5.7461E-04
47: $$ CMC frequ : Q1   NCDF_FES2004
48: 3.0709E-05  4.5472E-04 -2.7831E-04 -2.9313E-05 -2.1734E-04 -4.1637E-05
49: $$ CMC frequ : Mf   NCDF_FES2004
50: -5.0643E-04 -7.3040E-05 -2.2065E-04  4.1472E-04 -1.0212E-04  8.2276E-05
51: $$ CMC frequ : Mm   NCDF_FES2004
52: -2.7885E-04  2.0596E-05  4.6882E-05  1.8399E-04 -7.4897E-06  1.3209E-05
53: $$ CMC frequ : Ssa  NCDF_FES2004
54: -1.4899E-04  2.6146E-06  1.3687E-04  3.5475E-05 -2.4093E-05  3.1666E-07
55: $$ CMC end   :
56: $$
57: $$ END HEADER
58: $$
59: $ GANP
60: $$ Complete FES2004
61: $$ Computed by OLFG, H.-G. Scherneck, Onsala Space Observatory 2011-Oct-27
62: $$ GANP,          RADTANG lon/lat:  20.3229  49.0347  746.013
63: .00400 .00141 .00087 .00036 .00159 .00094 .00053 .00011 .00047 .00026 .00021
64: .00144 .00031 .00034 .00009 .00038 .00029 .00013 .00005 .00005 .00003 .00003
65: .00040 .00014 .00006 .00004 .00036 .00013 .00012 .00001 .00002 .00001 .00000
66: -72.3 -40.2 -91.7 -50.9 -63.8 -101.8 -64.6 -142.8 8.0 5.2 0.9
67: 66.8 100.9 41.6 91.0 107.4 44.3 105.8 5.6 -169.3 -165.6 -177.1
68: -81.1 -39.7 -109.2 -58.7 39.3 8.7 38.9 49.5 -166.4 174.3 -175.7
69: $$
70: ...
71:
72: $$ END TABLE
73:

```

Prilog 18: Opterećenje atmosferskom plimom

```

1: $$ Atmospheric Tidal loading displacemnt
2: $$
3: $$ calculated using grdinterp.f (t. van Dam)
4: $$
5: $$ calculated using atmospheric tidal model Ray and
6: $$ Ponte, Annales Geophysicae (2003) v21; 1897-1910
7: $$ Farrell elastic Greens functions have been used
8: $$
9: $$ Displacement is defined positive up, north
10: $$ and east directions
11: $$
12: $$ Column order coss1 sins1 coss2 sins2
13: $$
14: $$ Row order:
15: $$ RADIAL
16: $$ TANGENTIAL NS
17: $$ TANGENTIAL EW
18: $$
19: $$
20: $$
21: $$ CMC: YES (corr.tide centre of mass)
22: $$
23: $$ Model name:      Ray_Ponte,2003
24: $$
25: $$ CMC start : center of mass coefficient file content (X,Y,Z)
26: $$ CMC format: (a,lp,t42,3(2x,2e12.4))
27: $$ CMC frequ : S1   Ray_Ponte,2003
28: 2.1188E-04 -7.6861E-04 -7.2766E-04 -2.3582E-04 -1.2176E-05 3.2243E-05
29: $$ CMC frequ : S2   Ray_Ponte,2003
30: 1.4472E-04 -1.7844E-04 -3.2691E-04 -1.5878E-04 -9.6271E-05 1.6976E-05
31: $$ CMC end   :
32: $$
33: $$
34: $$ END HEADER
35: $$
36: $$
37: $$ station GANP; coord.(long,lat)  20.322935  49.034714
38: $$
39: GANP 11515M001
40:      0.0491      0.0009      0.0461      0.4193
41:     -0.0217     -0.0899     -0.0003      0.0296
42:      0.0569      0.0013     -0.0212     -0.0085
43: $$
44: $$ station HERT; coord.(long,lat)   0.334353  50.867481
45: $$
46: HERT 13212M010
47:      0.0470      0.1032     -0.2114      0.3536
48:     -0.0034     -0.0803     -0.0186      0.0184
49:      0.0465      0.0239     -0.0077     -0.0202
50: $$
51: ...

```

Prilog 19: Tabela skraćenica naziva stanica

```

1: PPP_102070                                08-JUL-24 02:12
2: -----
3:
4: Station name          4-ID    2-ID    Remark
5: *****            ****    **    *****
6: GANP 11515M001        GANP    GA    Added by SR updabb
7: HERT 13212M010        HERT    HE    Added by SR updabb
8: JOZZ 12204M002        JOZZ    JO    Added by SR updabb
9: LAMA 12209M001        LAMA    LA    Added by SR updabb
10: MATE 12734M008        MATE    MA    Added by SR updabb
11: ONSA 10402M004        ONSA    ON    Added by SR updabb
12: PTBB 14234M001        PTBB    PT    Added by SR updabb
13: TLSE 10003M009        TLSE    TL    Added by SR updabb
14: WSRT 13506M005        WSRT    WS    Added by SR updabb
15: WTZR 14201M010        WTZR    WT    Added by SR updabb
16: WTZZ 14201M014        WTZZ    WZ    Added by SR updabb
17: ZIM2 14001M008        ZIM2    ZI    Added by SR updabb
18: ZIMM 14001M004        ZIMM    ZM    Added by SR updabb

```

Prilog 20: Pripadnost stanica tektonskim pločama

```

1: Example plate assignement                    14-SEP-11 21:46
2: -----
3: LOCAL GEODETIC DATUM: IGS08
4:
5: NUM  STATION NAME          VX (M/Y)    VY (M/Y)    VZ (M/Y)  FLAG  PLATE
6:
7:   1  GANP 11515M001                                EURA
8:   2  HERT 13212M010                                EURA
9:   3  JOZZ 12204M002                                EURA
10:  4  LAMA 12209M001                                EURA
11:  5  MATE 12734M008                                EURA
12:  6  ONSA 10402M004                                EURA
13:  7  PTBB 14234M001                                EURA
14:  8  TLSE 10003M009                                EURA
15:  9  WSRT 13506M005                                EURA
16: 10  WTZR 14201M010                                EURA
17: 11  WTZZ 14201M014                                EURA
18: 12  ZIM2 14001M008                                EURA
19: 13  ZIMM 14001M004                                EURA
20:

```


Prilog 21: PowerShell skripta za podelu RINEX fajla

```
# Get script directory (root folder where the script is located)
$rootPath = Split-Path -Parent
$MyInvocation.MyCommand.Path
$logFile = rootPath\debug.log"

# Log message function
function Log-
Message {
    param ([string]$message)
    $timestamp = Get-Date -Format "yyyy-MM-dd HH:mm:ss"

    "$timestamp - $message" | Out-File -FilePath $logFile -Append
    Write-Host "timestamp - message"
}

Log-Message "Starting batch processing of .gz files in subfolders..."

# Find all subfolders in
the root directory
$subfolders = Get-ChildItem -Path rootPath -Directory

# Process each subfolder

foreach ($folder in $subfolders) {
    $folderPath = $folder.FullName

    # Find the .gz file
    inside the subfolder
    $gzFiles = Get-ChildItem -Path $folderPath -Filter "*.gz"

    if
    ($gzFiles.Count -eq 0) {
        Log-Message "No .gz files found in folder: $folderPath"
        continue
    }

    if ($gzFiles.Count -gt 1) {
        Log-Message "WARNING: Multiple .gz files
        found in folder: $folderPath.           Processing only the first one."
    }

    # Process the first found .gz file
    $inputGzFile = $gzFiles[0].FullName
    Log-Message
    "Processing file: $inputGzFile"

    # Define paths
    $baseDirectory = $folderPath
    $crxFile =
    $inputGzFile -replace ".gz", ""
    $rnxFile = $crxFile -replace ".crx", ".rnx"

    $originalFileName = Split-Path -Path $rnxFile -Leaf

    # Step 1: Extract .gz file using gzip
    (Preserve original .gz file)
    Log-Message "Extracting: $inputGzFile..."
    try {
        gzip
        -dk "$inputGzFile"
        if (Test-Path $crxFile) {
            Log-Message "Extraction completed:
            $crxFile"
        } else {
            Log-Message "ERROR: Extraction failed! The .crx file was
            not created."
            continue
        }
    } catch {
        Log-Message "ERROR: Extraction process failed!"
        continue
    }
}
```

```

# Step 2: Convert .crx to .rnex using CRX2RNEX
Log-Message "Converting CRX to RINEX..."

try {
    CRX2RNEX "$crxFile"
    Start-Sleep -Seconds 2 # Ensure file creation

    if
    (Test-Path $rnexFile) {
        Log-Message "Conversion completed: $rnexFile"
    } else {
        Log-Message "ERROR: Conversion failed! The .rnex file was
                                not created."
        continue
    }
} catch {
    Log-Message "ERROR: Conversion to .rnex failed!"
    continue
}

# Step 3: Read
and Split RINEX File
Log-Message "Splitting RINEX file into hourly
cumulative intervals..."

try {
    $allLines = Get-Content $rnexFile
    $totalLines =
    $allLines.Count
} catch {
    Log-Message "ERROR: The .rnex file could not be found or read!"
    continue
}

Log-Message "Total lines in file: $totalLines"

$maxHour = 24 #
Assume the file could have data for a
                                #full day (24 hours)

$rnxFiles = @()

# Process up to 24 hourly cumulative intervals
for ($hourLimit = 1;
$hourLimit -le $maxHour; $hourLimit++) {
    $intervalFolder = folderPath$hourLimit`h"

    # Ensure the folder exists
    if (-not (Test-Path $intervalFolder)) {
        New-Item -ItemType Directory -Path $intervalFolder | Out-Null
        Log-Message "Created
folder: $intervalFolder"
    }

    $outputFilePath = intervalFolder$originalFileName"

    Log-Message "Creating file: $outputFilePath"

    $streamWriter =
[System.IO.StreamWriter]::new($outputFilePath)
    $headerDone = false
    $linesWritten =
0

    foreach ($line in $allLines) {
        # Always write the header
        if (-not
$headerDone) {
            $streamWriter.WriteLine($line)
            $linesWritten++

            if ($line -match "END OF HEADER") {
                $headerDone = true
            }
        }
    }
}

```

```

        }
        continue
    }

    # Process observations and
    filter based on the      # current hour limit
    if ($line -match '^>
(\d{4})\s+(\d+)\s+(\d+)\s+      (\d+)\s+(\d+)\s+([\d\.]+)') {

        hour=[int]matches[4]
        if (hour-gehourLimit) {

            Log-Message "Reached hour $hourLimit in file:
$outputFilePath,

            break          stopping further writing."

        }
    }

    # Write data up to the desired hour limit
    streamWriter.WriteLine(line)
    $linesWritten++
}

$streamWriter.Close()

# Ensure file has data before adding it for conversion
if ($linesWritten -gt 0) {

    Log-Message "File created successfully: $outputFilePath with
$linesWritten lines."
    $rnxFiles += outputFilePath
} else {
    Remove-
Item $outputFilePath
    Log-Message "File $outputFilePath was empty and deleted."
}

}

Log-Message "Splitting complete for: $inputGzFile"

# Step 4: Convert .rnx files
back to .crx and compress to .gz
Log-Message "Starting conversion of .rnx files back to .crx and
compressing..."
foreach ($rnxFilePath in $rnxFiles) {
    $crxFilePath = $rnxFilePath
    -replace ".rnx", ".crx"
    $gzFilePath = $crxFilePath.gz

    Log-Message "Converting:
$rnxFilePath -> $crxFilePath"
    RNX2CRX "$rnxFilePath"
    if (-not (Test-Path
$crxFilePath)) {
        Log-Message "ERROR: CRX file was not created: $crxFilePath"

        continue
    }

    Log-Message "Compressing: $crxFilePath -> $gzFilePath"

    gzip --fast "$crxFilePath"
    if (-not (Test-Path $gzFilePath)) {
        Log-
Message "ERROR: Compression failed: $gzFilePath"
        continue
    }

    Log-Message
    "Successfully converted & compressed: $gzFilePath"
}

Log-Message "Completed processing
for: $inputGzFile"

```

```
}  
Log-Message "All files have been processed successfully!"  
Write-Host "+ Processing completed  
successfully! The original .gz files  
have been preserved."
```

Prilog 22: Tabele koordinata GNSS stanica za različite efemeride, intervale i datume

Tabela 1: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.85595	687523.85311	4968545.66385
0-2	3918911.80756	687523.82235	4968545.60929
0-3	3918911.79575	687523.87313	4968545.60897
0-4	3918911.79675	687523.86700	4968545.60566
0-5	3918911.79428	687523.86219	4968545.60615
0-6	3918911.79495	687523.86100	4968545.60635
0-7	3918911.79279	687523.86209	4968545.60446
0-8	3918911.79212	687523.86268	4968545.60414
0-9	3918911.78947	687523.86471	4968545.60244
0-10	3918911.78950	687523.86369	4968545.60140
0-11	3918911.78783	687523.86383	4968545.59941
0-12	3918911.78897	687523.86380	4968545.60054
0-13	3918911.78909	687523.86424	4968545.60066
0-14	3918911.78911	687523.86478	4968545.60078
0-15	3918911.78932	687523.86470	4968545.60052
0-16	3918911.78970	687523.86537	4968545.60095
0-17	3918911.78993	687523.86466	4968545.60141
0-18	3918911.79011	687523.86490	4968545.60155
0-19	3918911.79052	687523.86585	4968545.60205
0-20	3918911.78993	687523.86535	4968545.60138
0-21	3918911.79000	687523.86518	4968545.60219
0-22	3918911.78973	687523.86503	4968545.60164
0-23	3918911.78942	687523.86490	4968545.60134
0-24	3918911.78926	687523.86515	4968545.60124

Tabela 2: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.87526	687523.83680	4968545.66751
0-2	3918911.82854	687523.81509	4968545.61907
0-3	3918911.80715	687523.87063	4968545.61250
0-4	3918911.80849	687523.87345	4968545.61625
0-5	3918911.80737	687523.86976	4968545.61865
0-6	3918911.80753	687523.87004	4968545.61789
0-7	3918911.80350	687523.86650	4968545.61124
0-8	3918911.80060	687523.86358	4968545.60549
0-9	3918911.79282	687523.86952	4968545.59984
0-10	3918911.79022	687523.87064	4968545.59674
0-11	3918911.78832	687523.87126	4968545.59473
0-12	3918911.78933	687523.87159	4968545.59608
0-13	3918911.78936	687523.87205	4968545.59617
0-14	3918911.79033	687523.87265	4968545.59703
0-15	3918911.79144	687523.87242	4968545.59700
0-16	3918911.79128	687523.87242	4968545.59624
0-17	3918911.79095	687523.87085	4968545.59638
0-18	3918911.79077	687523.87071	4968545.59691
0-19	3918911.79131	687523.87143	4968545.59800
0-20	3918911.79081	687523.87135	4968545.59743
0-21	3918911.79020	687523.87190	4968545.59731
0-22	3918911.78950	687523.87128	4968545.59627
0-23	3918911.79046	687523.86998	4968545.59739
0-24	3918911.79173	687523.86905	4968545.59759

Tabela 3: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.89371	687523.82026	4968545.66422
0-2	3918911.83682	687523.80736	4968545.61545
0-3	3918911.81127	687523.87357	4968545.61156
0-4	3918911.81320	687523.87803	4968545.61990
0-5	3918911.81161	687523.87365	4968545.62262
0-6	3918911.81104	687523.87243	4968545.62032
0-7	3918911.80651	687523.86679	4968545.61249
0-8	3918911.80425	687523.86285	4968545.60805
0-9	3918911.79594	687523.86957	4968545.60276
0-10	3918911.79252	687523.87148	4968545.59894
0-11	3918911.79008	687523.87247	4968545.59616
0-12	3918911.79067	687523.87277	4968545.59714
0-13	3918911.79061	687523.87321	4968545.59704
0-14	3918911.79189	687523.87381	4968545.59760
0-15	3918911.79312	687523.87341	4968545.59739
0-16	3918911.79274	687523.87294	4968545.59651
0-17	3918911.79216	687523.87069	4968545.59647
0-18	3918911.79200	687523.87000	4968545.59733
0-19	3918911.79232	687523.86994	4968545.59843
0-20	3918911.79156	687523.86920	4968545.59785
0-21	3918911.79112	687523.86925	4968545.59796
0-22	3918911.79091	687523.86831	4968545.59737
0-23	3918911.79202	687523.86716	4968545.59862
0-24	3918911.79353	687523.86610	4968545.59870

Tabela 4: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.89887	687523.82322	4968545.67747
0-2	3918911.84793	687523.81525	4968545.62438
0-3	3918911.81037	687523.88692	4968545.60247
0-4	3918911.81254	687523.89554	4968545.60858
0-5	3918911.81117	687523.89385	4968545.61020
0-6	3918911.81079	687523.89168	4968545.60655
0-7	3918911.80638	687523.87892	4968545.59843
0-8	3918911.80479	687523.86985	4968545.59450
0-9	3918911.79938	687523.87229	4968545.59207
0-10	3918911.79949	687523.87024	4968545.59080
0-11	3918911.79759	687523.87071	4968545.58912
0-12	3918911.79844	687523.87168	4968545.59175
0-13	3918911.80006	687523.87101	4968545.59453
0-14	3918911.80133	687523.87136	4968545.59657
0-15	3918911.80297	687523.87122	4968545.59703
0-16	3918911.80260	687523.87083	4968545.59576
0-17	3918911.80153	687523.86823	4968545.59528
0-18	3918911.80111	687523.86641	4968545.59544
0-19	3918911.79973	687523.86251	4968545.59451
0-20	3918911.79868	687523.85980	4968545.59415
0-21	3918911.79811	687523.85870	4968545.59544
0-22	3918911.79805	687523.85824	4968545.59547
0-23	3918911.79892	687523.85742	4968545.59755
0-24	3918911.79998	687523.85687	4968545.59749

Tabela 5: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.76890	687523.87540	4968545.62899
0-2	3918911.77625	687523.89331	4968545.63113
0-3	3918911.77842	687523.89242	4968545.63244
0-4	3918911.77842	687523.89507	4968545.63020
0-5	3918911.77572	687523.89315	4968545.62787
0-6	3918911.77645	687523.89271	4968545.62928
0-7	3918911.77596	687523.89342	4968545.62832
0-8	3918911.77587	687523.89237	4968545.62744
0-9	3918911.77581	687523.89175	4968545.62662
0-10	3918911.77499	687523.89185	4968545.62511
0-11	3918911.77361	687523.89204	4968545.62451
0-12	3918911.77358	687523.89229	4968545.62453
0-13	3918911.77362	687523.89240	4968545.62507
0-14	3918911.77483	687523.89283	4968545.62680
0-15	3918911.77650	687523.89381	4968545.62795
0-16	3918911.77702	687523.89433	4968545.62788
0-17	3918911.77641	687523.89414	4968545.62731
0-18	3918911.77627	687523.89356	4968545.62707
0-19	3918911.77567	687523.89308	4968545.62622
0-20	3918911.77534	687523.89312	4968545.62605
0-21	3918911.77601	687523.89310	4968545.62667
0-22	3918911.77684	687523.89335	4968545.62730
0-23	3918911.77654	687523.89350	4968545.62701
0-24	3918911.77657	687523.89364	4968545.62690

Tabela 6: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.79825	687523.84203	4968545.62450
0-2	3918911.79032	687523.88594	4968545.63560
0-3	3918911.79117	687523.90027	4968545.63360
0-4	3918911.78767	687523.90322	4968545.62716
0-5	3918911.79193	687523.89869	4968545.62524
0-6	3918911.79977	687523.89484	4968545.63134
0-7	3918911.80151	687523.89405	4968545.63336
0-8	3918911.79575	687523.89363	4968545.63058
0-9	3918911.79251	687523.89390	4968545.62895
0-10	3918911.78955	687523.89407	4968545.62695
0-11	3918911.78151	687523.89410	4968545.62720
0-12	3918911.77516	687523.89447	4968545.62650
0-13	3918911.77095	687523.89136	4968545.62561
0-14	3918911.77163	687523.89104	4968545.62602
0-15	3918911.77246	687523.89158	4968545.62577
0-16	3918911.77253	687523.89202	4968545.62702
0-17	3918911.77154	687523.89374	4968545.62903
0-18	3918911.77100	687523.89521	4968545.62952
0-19	3918911.76844	687523.89563	4968545.62699
0-20	3918911.76879	687523.89472	4968545.62610
0-21	3918911.77069	687523.89362	4968545.62717
0-22	3918911.77201	687523.89284	4968545.62746
0-23	3918911.77235	687523.89271	4968545.62759
0-24	3918911.77281	687523.89328	4968545.62719

Tabela 7: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.80262	687523.85235	4968545.63597
0-2	3918911.79812	687523.87977	4968545.64046
0-3	3918911.79779	687523.89290	4968545.64040
0-4	3918911.79245	687523.89524	4968545.63419
0-5	3918911.79103	687523.89321	4968545.62876
0-6	3918911.79222	687523.89119	4968545.62942
0-7	3918911.79185	687523.89002	4968545.62916
0-8	3918911.78643	687523.89003	4968545.62716
0-9	3918911.78225	687523.89113	4968545.62544
0-10	3918911.77925	687523.89162	4968545.62392
0-11	3918911.77372	687523.89198	4968545.62327
0-12	3918911.77101	687523.89207	4968545.62317
0-13	3918911.76847	687523.88985	4968545.62326
0-14	3918911.76996	687523.89016	4968545.62474
0-15	3918911.77099	687523.89115	4968545.62495
0-16	3918911.77066	687523.89168	4968545.62522
0-17	3918911.77015	687523.89224	4968545.62619
0-18	3918911.76998	687523.89301	4968545.62667
0-19	3918911.76782	687523.89340	4968545.62470
0-20	3918911.76757	687523.89304	4968545.62410
0-21	3918911.76886	687523.89265	4968545.62505
0-22	3918911.76995	687523.89214	4968545.62538
0-23	3918911.77024	687523.89207	4968545.62559
0-24	3918911.77075	687523.89257	4968545.62565

Tabela 8: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.78417	687523.85127	4968545.62385
0-2	3918911.76720	687523.91042	4968545.64125
0-3	3918911.76474	687523.92538	4968545.64512
0-4	3918911.76168	687523.93113	4968545.63849
0-5	3918911.77315	687523.92228	4968545.63512
0-6	3918911.78242	687523.91370	4968545.63809
0-7	3918911.78716	687523.90801	4968545.63881
0-8	3918911.78744	687523.90299	4968545.63576
0-9	3918911.78816	687523.90017	4968545.63475
0-10	3918911.78522	687523.89995	4968545.63232
0-11	3918911.77772	687523.89959	4968545.63333
0-12	3918911.76717	687523.89877	4968545.62984
0-13	3918911.75920	687523.89240	4968545.62666
0-14	3918911.76023	687523.89189	4968545.62824
0-15	3918911.76079	687523.89095	4968545.62632
0-16	3918911.76058	687523.89013	4968545.62755
0-17	3918911.76081	687523.89017	4968545.63112
0-18	3918911.76198	687523.89028	4968545.63315
0-19	3918911.75990	687523.89024	4968545.63109
0-20	3918911.76050	687523.88875	4968545.62997
0-21	3918911.76443	687523.88557	4968545.63106
0-22	3918911.76672	687523.88398	4968545.63237
0-23	3918911.76695	687523.88369	4968545.63217
0-24	3918911.76769	687523.88382	4968545.63139

Tabela 9: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.77515	687523.91865	4968545.67416
0-2	3918911.75053	687523.91748	4968545.63444
0-3	3918911.75207	687523.91169	4968545.62834
0-4	3918911.75066	687523.91183	4968545.62739
0-5	3918911.75118	687523.91056	4968545.62772
0-6	3918911.74942	687523.90877	4968545.62581
0-7	3918911.74939	687523.91171	4968545.62623
0-8	3918911.74820	687523.91226	4968545.62583
0-9	3918911.74914	687523.91342	4968545.62748
0-10	3918911.75017	687523.91404	4968545.62856
0-11	3918911.75090	687523.91504	4968545.62829
0-12	3918911.75182	687523.91451	4968545.62915
0-13	3918911.75342	687523.91371	4968545.63029
0-14	3918911.75341	687523.91302	4968545.63016
0-15	3918911.75342	687523.91198	4968545.62979
0-16	3918911.75362	687523.91196	4968545.63056
0-17	3918911.75334	687523.91184	4968545.63052
0-18	3918911.75298	687523.91192	4968545.63030
0-19	3918911.75300	687523.91216	4968545.63012
0-20	3918911.75309	687523.91203	4968545.63040
0-21	3918911.75287	687523.91186	4968545.63037
0-22	3918911.75313	687523.91249	4968545.63045
0-23	3918911.75364	687523.91306	4968545.63126
0-24	3918911.75375	687523.91270	4968545.63161

Tabela 10: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.70082	687523.96189	4968545.66415
0-2	3918911.72418	687523.92543	4968545.61350
0-3	3918911.72810	687523.91646	4968545.60934
0-4	3918911.73679	687523.91769	4968545.61999
0-5	3918911.74379	687523.92086	4968545.62466
0-6	3918911.74355	687523.92221	4968545.62358
0-7	3918911.74850	687523.92232	4968545.62861
0-8	3918911.74770	687523.91744	4968545.62938
0-9	3918911.74898	687523.91704	4968545.63103
0-10	3918911.74932	687523.91725	4968545.62951
0-11	3918911.74905	687523.91896	4968545.62794
0-12	3918911.75025	687523.91611	4968545.62767
0-13	3918911.75292	687523.91312	4968545.62993
0-14	3918911.75436	687523.91055	4968545.63074
0-15	3918911.75349	687523.90922	4968545.62923
0-16	3918911.75340	687523.90990	4968545.62951
0-17	3918911.75318	687523.90974	4968545.62968
0-18	3918911.75226	687523.90964	4968545.62929
0-19	3918911.75285	687523.90970	4968545.62997
0-20	3918911.75327	687523.90814	4968545.63130
0-21	3918911.75285	687523.90804	4968545.63120
0-22	3918911.75387	687523.90912	4968545.63212
0-23	3918911.75404	687523.90918	4968545.63272
0-24	3918911.75381	687523.90937	4968545.63293

Tabela 11: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.72175	687523.96649	4968545.67722
0-2	3918911.74169	687523.92378	4968545.61153
0-3	3918911.74328	687523.91428	4968545.60650
0-4	3918911.74696	687523.91973	4968545.61742
0-5	3918911.74891	687523.92071	4968545.62031
0-6	3918911.74582	687523.92043	4968545.61921
0-7	3918911.74879	687523.91762	4968545.62373
0-8	3918911.74730	687523.91081	4968545.62524
0-9	3918911.74864	687523.91005	4968545.62805
0-10	3918911.74913	687523.91114	4968545.62754
0-11	3918911.74846	687523.91481	4968545.62494
0-12	3918911.74929	687523.91251	4968545.62373
0-13	3918911.75083	687523.91031	4968545.62464
0-14	3918911.75240	687523.90757	4968545.62474
0-15	3918911.75258	687523.90570	4968545.62356
0-16	3918911.75315	687523.90634	4968545.62458
0-17	3918911.75300	687523.90607	4968545.62489
0-18	3918911.75167	687523.90615	4968545.62452
0-19	3918911.75179	687523.90612	4968545.62489
0-20	3918911.75209	687523.90453	4968545.62614
0-21	3918911.75181	687523.90455	4968545.62611
0-22	3918911.75337	687523.90644	4968545.62780
0-23	3918911.75415	687523.90763	4968545.62913
0-24	3918911.75401	687523.90802	4968545.62951

Tabela 12: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu GOET (Nemačka), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	3918911.72872	687523.98581	4968545.69081
0-2	3918911.73523	687523.93925	4968545.61549
0-3	3918911.74560	687523.92798	4968545.60875
0-4	3918911.75083	687523.93003	4968545.61939
0-5	3918911.75326	687523.92912	4968545.62330
0-6	3918911.74976	687523.92930	4968545.62272
0-7	3918911.75470	687523.92681	4968545.62832
0-8	3918911.75246	687523.91774	4968545.62936
0-9	3918911.75197	687523.91640	4968545.63110
0-10	3918911.75249	687523.91499	4968545.63084
0-11	3918911.75336	687523.91120	4968545.63182
0-12	3918911.75296	687523.90848	4968545.63292
0-13	3918911.75552	687523.90720	4968545.63718
0-14	3918911.75606	687523.90521	4968545.63905
0-15	3918911.75334	687523.90548	4968545.63637
0-16	3918911.75296	687523.90708	4968545.63848
0-17	3918911.75262	687523.90705	4968545.64020
0-18	3918911.74920	687523.90681	4968545.63837
0-19	3918911.74693	687523.90560	4968545.63615
0-20	3918911.74627	687523.90345	4968545.63666
0-21	3918911.74779	687523.90422	4968545.63779
0-22	3918911.74865	687523.90480	4968545.63689
0-23	3918911.74831	687523.90588	4968545.63668
0-24	3918911.74689	687523.90638	4968545.63535

Tabela 13: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.49626	2874117.18908	3650777.98841
0-2	4359415.48991	2874117.18254	3650777.97848
0-3	4359415.49247	2874117.19084	3650777.98069
0-4	4359415.49332	2874117.19233	3650777.97960
0-5	4359415.49156	2874117.19226	3650777.97826
0-6	4359415.49404	2874117.19068	3650777.97885
0-7	4359415.49427	2874117.19080	3650777.97839
0-8	4359415.49411	2874117.19278	3650777.97899
0-9	4359415.49374	2874117.19441	3650777.97890
0-10	4359415.49573	2874117.19510	3650777.98078
0-11	4359415.49685	2874117.19521	3650777.98169
0-12	4359415.49652	2874117.19639	3650777.98191
0-13	4359415.49684	2874117.19692	3650777.98246
0-14	4359415.49794	2874117.19677	3650777.98314
0-15	4359415.49873	2874117.19678	3650777.98374
0-16	4359415.49916	2874117.19674	3650777.98390
0-17	4359415.49911	2874117.19662	3650777.98409
0-18	4359415.49926	2874117.19691	3650777.98405
0-19	4359415.49897	2874117.19652	3650777.98370
0-20	4359415.49827	2874117.19525	3650777.98328
0-21	4359415.49832	2874117.19554	3650777.98347
0-22	4359415.49835	2874117.19618	3650777.98363
0-23	4359415.49890	2874117.19614	3650777.98396
0-24	4359415.49911	2874117.19673	3650777.98431

Tabela 14: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.51529	2874117.18495	3650778.00145
0-2	4359415.50227	2874117.17360	3650777.98472
0-3	4359415.50152	2874117.18592	3650777.98362
0-4	4359415.50070	2874117.20451	3650777.98669
0-5	4359415.50042	2874117.21092	3650777.98848
0-6	4359415.49761	2874117.21228	3650777.98624
0-7	4359415.49750	2874117.20046	3650777.98121
0-8	4359415.49858	2874117.19120	3650777.97801
0-9	4359415.49742	2874117.18589	3650777.97346
0-10	4359415.49708	2874117.18684	3650777.97303
0-11	4359415.49927	2874117.18739	3650777.97431
0-12	4359415.49952	2874117.19010	3650777.97551
0-13	4359415.49984	2874117.19179	3650777.97618
0-14	4359415.50195	2874117.19248	3650777.97735
0-15	4359415.50318	2874117.19304	3650777.97819
0-16	4359415.50308	2874117.19381	3650777.97805
0-17	4359415.50231	2874117.19345	3650777.97784
0-18	4359415.50172	2874117.19323	3650777.97789
0-19	4359415.50169	2874117.19316	3650777.97834
0-20	4359415.50140	2874117.19247	3650777.97833
0-21	4359415.50194	2874117.19389	3650777.97884
0-22	4359415.50161	2874117.19512	3650777.97884
0-23	4359415.50233	2874117.19486	3650777.97964
0-24	4359415.50363	2874117.19515	3650777.98030

Tabela 15: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.53209	2874117.16673	3650777.99856
0-2	4359415.50942	2874117.15630	3650777.97815
0-3	4359415.50612	2874117.17669	3650777.97928
0-4	4359415.50344	2874117.20535	3650777.98620
0-5	4359415.50090	2874117.21417	3650777.98900
0-6	4359415.49730	2874117.21884	3650777.98773
0-7	4359415.49748	2874117.20502	3650777.98207
0-8	4359415.49735	2874117.19609	3650777.97864
0-9	4359415.49556	2874117.19160	3650777.97442
0-10	4359415.49529	2874117.19164	3650777.97369
0-11	4359415.49761	2874117.19186	3650777.97479
0-12	4359415.49816	2874117.19357	3650777.97577
0-13	4359415.49809	2874117.19477	3650777.97606
0-14	4359415.50003	2874117.19509	3650777.97679
0-15	4359415.50167	2874117.19529	3650777.97767
0-16	4359415.50139	2874117.19572	3650777.97745
0-17	4359415.50036	2874117.19495	3650777.97713
0-18	4359415.49992	2874117.19453	3650777.97767
0-19	4359415.49974	2874117.19385	3650777.97847
0-20	4359415.49899	2874117.19243	3650777.97834
0-21	4359415.49970	2874117.19287	3650777.97889
0-22	4359415.49968	2874117.19296	3650777.97890
0-23	4359415.50093	2874117.19250	3650777.98001
0-24	4359415.50289	2874117.19253	3650777.98080

Tabela 16: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.53593	2874117.18762	3650778.01361
0-2	4359415.51774	2874117.16895	3650777.98203
0-3	4359415.51937	2874117.18982	3650777.98260
0-4	4359415.51767	2874117.21712	3650777.98660
0-5	4359415.51680	2874117.22391	3650777.98921
0-6	4359415.51194	2874117.22030	3650777.98284
0-7	4359415.51350	2874117.19542	3650777.97558
0-8	4359415.51220	2874117.18374	3650777.97224
0-9	4359415.50962	2874117.18128	3650777.96961
0-10	4359415.51015	2874117.18358	3650777.97152
0-11	4359415.51371	2874117.18386	3650777.97384
0-12	4359415.51519	2874117.18679	3650777.97648
0-13	4359415.51721	2874117.18635	3650777.97859
0-14	4359415.52040	2874117.18548	3650777.98113
0-15	4359415.52315	2874117.18569	3650777.98374
0-16	4359415.52380	2874117.18675	3650777.98459
0-17	4359415.52162	2874117.18577	3650777.98408
0-18	4359415.52047	2874117.18489	3650777.98424
0-19	4359415.51948	2874117.18281	3650777.98457
0-20	4359415.51732	2874117.17958	3650777.98370
0-21	4359415.51795	2874117.17923	3650777.98501
0-22	4359415.51823	2874117.17950	3650777.98567
0-23	4359415.51946	2874117.17914	3650777.98732
0-24	4359415.51988	2874117.18071	3650777.98829

Tabela 17: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.47657	2874117.21039	3650777.99863
0-2	4359415.47429	2874117.22082	3650778.00397
0-3	4359415.46999	2874117.21895	3650778.00334
0-4	4359415.47039	2874117.21947	3650778.00136
0-5	4359415.47021	2874117.21893	3650778.00144
0-6	4359415.46975	2874117.21860	3650778.00184
0-7	4359415.46915	2874117.21901	3650778.00174
0-8	4359415.46765	2874117.21861	3650778.00123
0-9	4359415.46702	2874117.21840	3650778.00093
0-10	4359415.46734	2874117.21816	3650778.00100
0-11	4359415.46842	2874117.21823	3650778.00153
0-12	4359415.46991	2874117.21844	3650778.00321
0-13	4359415.47653	2874117.22114	3650778.00596
0-14	4359415.48044	2874117.22397	3650778.00894
0-15	4359415.48153	2874117.22474	3650778.00977
0-16	4359415.48027	2874117.22289	3650778.00835
0-17	4359415.47996	2874117.22214	3650778.00743
0-18	4359415.47967	2874117.22217	3650778.00726
0-19	4359415.48154	2874117.22184	3650778.00759
0-20	4359415.48181	2874117.22168	3650778.00728
0-21	4359415.48103	2874117.22117	3650778.00660
0-22	4359415.48010	2874117.22111	3650778.00600
0-23	4359415.47947	2874117.22099	3650778.00592
0-24	4359415.47890	2874117.22074	3650778.00554

Tabela 18: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.50056	2874117.13858	3650777.96398
0-2	4359415.48054	2874117.21197	3650777.99115
0-3	4359415.48366	2874117.21499	3650777.99816
0-4	4359415.48511	2874117.22097	3650778.00028
0-5	4359415.49055	2874117.21730	3650778.00162
0-6	4359415.48866	2874117.21593	3650777.99843
0-7	4359415.49458	2874117.21209	3650778.00100
0-8	4359415.49470	2874117.21189	3650778.00320
0-9	4359415.48860	2874117.21244	3650778.00123
0-10	4359415.47789	2874117.21271	3650777.99614
0-11	4359415.46740	2874117.21350	3650777.99391
0-12	4359415.46321	2874117.21365	3650777.99493
0-13	4359415.46825	2874117.21447	3650777.99564
0-14	4359415.47524	2874117.21591	3650777.99895
0-15	4359415.47923	2874117.21815	3650778.00102
0-16	4359415.47845	2874117.21766	3650778.00125
0-17	4359415.47740	2874117.21794	3650778.00177
0-18	4359415.47865	2874117.21921	3650778.00352
0-19	4359415.47890	2874117.22020	3650778.00376
0-20	4359415.47885	2874117.22099	3650778.00296
0-21	4359415.47986	2874117.22062	3650778.00308
0-22	4359415.47965	2874117.22024	3650778.00301
0-23	4359415.47926	2874117.22037	3650778.00298
0-24	4359415.47795	2874117.22068	3650778.00240

Tabela 19: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.48817	2874117.17220	3650777.97349
0-2	4359415.48123	2874117.21790	3650777.99454
0-3	4359415.48349	2874117.21189	3650778.00037
0-4	4359415.48194	2874117.21692	3650778.00268
0-5	4359415.48572	2874117.21501	3650778.00400
0-6	4359415.48314	2874117.21509	3650778.00103
0-7	4359415.48443	2874117.21248	3650778.00126
0-8	4359415.48391	2874117.21266	3650778.00260
0-9	4359415.47805	2874117.21410	3650778.00100
0-10	4359415.46940	2874117.21444	3650777.99672
0-11	4359415.46372	2874117.21461	3650777.99532
0-12	4359415.46140	2874117.21349	3650777.99575
0-13	4359415.46904	2874117.21482	3650777.99758
0-14	4359415.47640	2874117.21705	3650778.00146
0-15	4359415.48007	2874117.21908	3650778.00327
0-16	4359415.47999	2874117.21741	3650778.00361
0-17	4359415.47833	2874117.21768	3650778.00346
0-18	4359415.47949	2874117.21799	3650778.00460
0-19	4359415.48004	2874117.21866	3650778.00493
0-20	4359415.47994	2874117.21969	3650778.00431
0-21	4359415.47992	2874117.21981	3650778.00412
0-22	4359415.47924	2874117.21981	3650778.00380
0-23	4359415.47886	2874117.21994	3650778.00359
0-24	4359415.47759	2874117.22025	3650778.00312

Tabela 20: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.49313	2874117.14169	3650777.96640
0-2	4359415.46959	2874117.23191	3650778.00463
0-3	4359415.46773	2874117.24238	3650778.01532
0-4	4359415.46793	2874117.25059	3650778.01860
0-5	4359415.48047	2874117.24251	3650778.01931
0-6	4359415.47792	2874117.23595	3650778.01084
0-7	4359415.48023	2874117.22933	3650778.00992
0-8	4359415.48155	2874117.22466	3650778.00937
0-9	4359415.47863	2874117.21682	3650778.00463
0-10	4359415.47125	2874117.21352	3650777.99893
0-11	4359415.46127	2874117.21414	3650777.99768
0-12	4359415.45701	2874117.21418	3650777.99882
0-13	4359415.45991	2874117.21295	3650777.99905
0-14	4359415.47337	2874117.21478	3650778.00473
0-15	4359415.47856	2874117.21529	3650778.00723
0-16	4359415.47782	2874117.21374	3650778.00727
0-17	4359415.47643	2874117.21256	3650778.00710
0-18	4359415.47892	2874117.21173	3650778.00969
0-19	4359415.47863	2874117.21200	3650778.00985
0-20	4359415.47731	2874117.21250	3650778.00838
0-21	4359415.48216	2874117.21051	3650778.00986
0-22	4359415.48202	2874117.20888	3650778.01003
0-23	4359415.48075	2874117.20886	3650778.01004
0-24	4359415.47846	2874117.20912	3650778.00884

Tabela 21: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.47743	2874117.21854	3650778.01885
0-2	4359415.46107	2874117.23837	3650778.02081
0-3	4359415.45629	2874117.23458	3650778.01887
0-4	4359415.44928	2874117.23490	3650778.01668
0-5	4359415.44514	2874117.23530	3650778.01375
0-6	4359415.44491	2874117.23387	3650778.01374
0-7	4359415.44462	2874117.23022	3650778.01394
0-8	4359415.44432	2874117.22848	3650778.01359
0-9	4359415.44351	2874117.22816	3650778.01253
0-10	4359415.44322	2874117.22886	3650778.01169
0-11	4359415.44788	2874117.23233	3650778.01365
0-12	4359415.45064	2874117.23391	3650778.01444
0-13	4359415.45187	2874117.23663	3650778.01597
0-14	4359415.45258	2874117.23703	3650778.01688
0-15	4359415.45288	2874117.23648	3650778.01695
0-16	4359415.45245	2874117.23660	3650778.01681
0-17	4359415.45392	2874117.23654	3650778.01834
0-18	4359415.45282	2874117.23541	3650778.01793
0-19	4359415.45201	2874117.23591	3650778.01778
0-20	4359415.45221	2874117.23599	3650778.01772
0-21	4359415.45311	2874117.23639	3650778.01854
0-22	4359415.45223	2874117.23638	3650778.01815
0-23	4359415.45135	2874117.23627	3650778.01741
0-24	4359415.45060	2874117.23581	3650778.01699

Tabela 22: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.51751	2874117.19954	3650778.01846
0-2	4359415.48916	2874117.21614	3650778.01438
0-3	4359415.45639	2874117.22541	3650778.01238
0-4	4359415.44502	2874117.23223	3650778.01253
0-5	4359415.44107	2874117.23361	3650778.00981
0-6	4359415.44520	2874117.23209	3650778.01228
0-7	4359415.44746	2874117.23011	3650778.01386
0-8	4359415.44814	2874117.22956	3650778.01482
0-9	4359415.44747	2874117.23026	3650778.01323
0-10	4359415.44754	2874117.23204	3650778.01121
0-11	4359415.45164	2874117.23643	3650778.01247
0-12	4359415.45661	2874117.23807	3650778.01377
0-13	4359415.45952	2874117.23763	3650778.01652
0-14	4359415.46231	2874117.23829	3650778.01979
0-15	4359415.46221	2874117.23689	3650778.02005
0-16	4359415.45932	2874117.23867	3650778.01889
0-17	4359415.45959	2874117.23756	3650778.01948
0-18	4359415.46022	2874117.23699	3650778.02018
0-19	4359415.45999	2874117.23728	3650778.02057
0-20	4359415.45982	2874117.23616	3650778.02089
0-21	4359415.46050	2874117.23664	3650778.02158
0-22	4359415.46017	2874117.23622	3650778.02132
0-23	4359415.45938	2874117.23530	3650778.02055
0-24	4359415.45819	2874117.23529	3650778.01984

Tabela 23: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.54639	2874117.19420	3650778.01898
0-2	4359415.52015	2874117.20890	3650778.01725
0-3	4359415.47662	2874117.22079	3650778.01389
0-4	4359415.45242	2874117.23095	3650778.01054
0-5	4359415.44271	2874117.23294	3650778.00561
0-6	4359415.44560	2874117.23125	3650778.00872
0-7	4359415.44648	2874117.22868	3650778.01033
0-8	4359415.44582	2874117.22694	3650778.01116
0-9	4359415.44417	2874117.22682	3650778.00962
0-10	4359415.44357	2874117.22819	3650778.00772
0-11	4359415.44810	2874117.23349	3650778.00907
0-12	4359415.45353	2874117.23508	3650778.01007
0-13	4359415.45545	2874117.23488	3650778.01180
0-14	4359415.45714	2874117.23524	3650778.01370
0-15	4359415.45782	2874117.23352	3650778.01388
0-16	4359415.45635	2874117.23510	3650778.01372
0-17	4359415.45792	2874117.23429	3650778.01532
0-18	4359415.45919	2874117.23443	3650778.01661
0-19	4359415.45872	2874117.23506	3650778.01714
0-20	4359415.45870	2874117.23406	3650778.01739
0-21	4359415.45974	2874117.23462	3650778.01829
0-22	4359415.45958	2874117.23455	3650778.01813
0-23	4359415.45893	2874117.23422	3650778.01758
0-24	4359415.45756	2874117.23417	3650778.01703

Tabela 24: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu NICO (Kipar), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	4359415.60527	2874117.19272	3650778.02469
0-2	4359415.52725	2874117.22119	3650778.02125
0-3	4359415.49446	2874117.23562	3650778.01849
0-4	4359415.47065	2874117.24553	3650778.01327
0-5	4359415.45986	2874117.24562	3650778.00857
0-6	4359415.46023	2874117.24204	3650778.01186
0-7	4359415.46549	2874117.23825	3650778.01713
0-8	4359415.46348	2874117.23260	3650778.01908
0-9	4359415.45683	2874117.23072	3650778.01492
0-10	4359415.45718	2874117.23330	3650778.01445
0-11	4359415.46085	2874117.23578	3650778.01673
0-12	4359415.46220	2874117.23283	3650778.01699
0-13	4359415.46709	2874117.23184	3650778.02231
0-14	4359415.47028	2874117.23116	3650778.02630
0-15	4359415.47126	2874117.22915	3650778.02772
0-16	4359415.47019	2874117.23000	3650778.02888
0-17	4359415.46991	2874117.22901	3650778.03023
0-18	4359415.46961	2874117.22733	3650778.03130
0-19	4359415.46823	2874117.22701	3650778.03113
0-20	4359415.46732	2874117.22605	3650778.03032
0-21	4359415.46865	2874117.22740	3650778.03059
0-22	4359415.47036	2874117.22849	3650778.03089
0-23	4359415.47067	2874117.22901	3650778.03040
0-24	4359415.46967	2874117.22845	3650778.02933

Tabela 25: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.90467	-725204.73870	4260827.60550
0-2	4677480.81924	-725204.61366	4260827.58959
0-3	4677480.80863	-725204.58522	4260827.58279
0-4	4677480.80426	-725204.59118	4260827.57405
0-5	4677480.79436	-725204.59121	4260827.56908
0-6	4677480.78555	-725204.58866	4260827.56226
0-7	4677480.77822	-725204.58638	4260827.55644
0-8	4677480.77637	-725204.58421	4260827.55751
0-9	4677480.77202	-725204.57997	4260827.55578
0-10	4677480.77421	-725204.58044	4260827.55874
0-11	4677480.77852	-725204.58073	4260827.56224
0-12	4677480.78151	-725204.58135	4260827.56433
0-13	4677480.78314	-725204.58213	4260827.56450
0-14	4677480.78676	-725204.58165	4260827.56634
0-15	4677480.78948	-725204.58160	4260827.56782
0-16	4677480.78874	-725204.58163	4260827.56680
0-17	4677480.78797	-725204.58283	4260827.56624
0-18	4677480.78724	-725204.58307	4260827.56537
0-19	4677480.78635	-725204.58358	4260827.56442
0-20	4677480.78599	-725204.58350	4260827.56458
0-21	4677480.78455	-725204.58215	4260827.56387
0-22	4677480.78402	-725204.58061	4260827.56409
0-23	4677480.78495	-725204.58102	4260827.56517
0-24	4677480.78601	-725204.58115	4260827.56619

Tabela 26: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.92978	-725204.76974	4260827.60603
0-2	4677480.84730	-725204.63526	4260827.60069
0-3	4677480.82742	-725204.59078	4260827.58798
0-4	4677480.81979	-725204.59000	4260827.58393
0-5	4677480.80810	-725204.58918	4260827.57922
0-6	4677480.79763	-725204.58296	4260827.57064
0-7	4677480.79068	-725204.58285	4260827.56220
0-8	4677480.78756	-725204.58069	4260827.56015
0-9	4677480.77873	-725204.57292	4260827.55559
0-10	4677480.77976	-725204.57190	4260827.55789
0-11	4677480.78253	-725204.57223	4260827.56075
0-12	4677480.78465	-725204.57216	4260827.56294
0-13	4677480.78619	-725204.57310	4260827.56304
0-14	4677480.78996	-725204.57260	4260827.56532
0-15	4677480.79239	-725204.57242	4260827.56628
0-16	4677480.79057	-725204.57327	4260827.56342
0-17	4677480.78915	-725204.57561	4260827.56238
0-18	4677480.78837	-725204.57655	4260827.56211
0-19	4677480.78772	-725204.57719	4260827.56191
0-20	4677480.78723	-725204.57674	4260827.56201
0-21	4677480.78523	-725204.57488	4260827.56082
0-22	4677480.78548	-725204.57499	4260827.56191
0-23	4677480.78819	-725204.57735	4260827.56478
0-24	4677480.79156	-725204.57834	4260827.56642

Tabela 27: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.93810	-725204.76388	4260827.60191
0-2	4677480.84672	-725204.60961	4260827.59383
0-3	4677480.82729	-725204.56944	4260827.58460
0-4	4677480.82042	-725204.57639	4260827.58487
0-5	4677480.80828	-725204.57739	4260827.58028
0-6	4677480.79856	-725204.57444	4260827.57068
0-7	4677480.79322	-725204.57956	4260827.56283
0-8	4677480.79114	-725204.58020	4260827.56283
0-9	4677480.78120	-725204.57185	4260827.55815
0-10	4677480.78145	-725204.57024	4260827.55967
0-11	4677480.78432	-725204.57044	4260827.56237
0-12	4677480.78667	-725204.57086	4260827.56433
0-13	4677480.78839	-725204.57164	4260827.56443
0-14	4677480.79283	-725204.57069	4260827.56670
0-15	4677480.79575	-725204.57063	4260827.56781
0-16	4677480.79409	-725204.57232	4260827.56514
0-17	4677480.79264	-725204.57564	4260827.56412
0-18	4677480.79183	-725204.57709	4260827.56399
0-19	4677480.79107	-725204.57822	4260827.56384
0-20	4677480.79063	-725204.57821	4260827.56412
0-21	4677480.78890	-725204.57663	4260827.56317
0-22	4677480.78937	-725204.57694	4260827.56440
0-23	4677480.79187	-725204.57923	4260827.56706
0-24	4677480.79557	-725204.58036	4260827.56880

Tabela 28: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.01.2017.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.94791	-725204.77141	4260827.61554
0-2	4677480.86350	-725204.63273	4260827.60440
0-3	4677480.84183	-725204.58239	4260827.58864
0-4	4677480.83403	-725204.57859	4260827.58306
0-5	4677480.81619	-725204.57090	4260827.57302
0-6	4677480.80242	-725204.56324	4260827.55999
0-7	4677480.79682	-725204.56986	4260827.55185
0-8	4677480.79515	-725204.57470	4260827.55202
0-9	4677480.78908	-725204.57028	4260827.54963
0-10	4677480.79182	-725204.57133	4260827.55264
0-11	4677480.79339	-725204.57245	4260827.55458
0-12	4677480.79472	-725204.57265	4260827.55726
0-13	4677480.79581	-725204.57417	4260827.55888
0-14	4677480.80038	-725204.57418	4260827.56306
0-15	4677480.80248	-725204.57359	4260827.56393
0-16	4677480.80128	-725204.57433	4260827.56194
0-17	4677480.79766	-725204.57703	4260827.55777
0-18	4677480.79589	-725204.58087	4260827.55594
0-19	4677480.79423	-725204.58449	4260827.55484
0-20	4677480.79516	-725204.58865	4260827.55730
0-21	4677480.79350	-725204.58692	4260827.55730
0-22	4677480.79457	-725204.58436	4260827.55989
0-23	4677480.79627	-725204.58681	4260827.56328
0-24	4677480.79835	-725204.58806	4260827.56400

Tabela 29: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.79166	-725204.56496	4260827.57932
0-2	4677480.80394	-725204.54753	4260827.59930
0-3	4677480.79897	-725204.55499	4260827.59354
0-4	4677480.79142	-725204.55601	4260827.59021
0-5	4677480.78669	-725204.55522	4260827.58636
0-6	4677480.78241	-725204.55425	4260827.58363
0-7	4677480.77240	-725204.55574	4260827.57720
0-8	4677480.76209	-725204.55604	4260827.57278
0-9	4677480.76229	-725204.55535	4260827.57280
0-10	4677480.76143	-725204.55560	4260827.57275
0-11	4677480.76272	-725204.55581	4260827.57452
0-12	4677480.76533	-725204.55564	4260827.57683
0-13	4677480.76840	-725204.55420	4260827.57907
0-14	4677480.77194	-725204.55331	4260827.58159
0-15	4677480.77393	-725204.55337	4260827.58295
0-16	4677480.77485	-725204.55411	4260827.58374
0-17	4677480.77388	-725204.55471	4260827.58322
0-18	4677480.77193	-725204.55410	4260827.58165
0-19	4677480.77016	-725204.55286	4260827.58056
0-20	4677480.76806	-725204.55202	4260827.57901
0-21	4677480.76685	-725204.55189	4260827.57819
0-22	4677480.76646	-725204.55188	4260827.57809
0-23	4677480.76697	-725204.55195	4260827.57853
0-24	4677480.76845	-725204.55176	4260827.57968

Tabela 30: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.76996	-725204.53992	4260827.57467
0-2	4677480.79982	-725204.54000	4260827.58601
0-3	4677480.80390	-725204.54790	4260827.58168
0-4	4677480.80843	-725204.55478	4260827.58189
0-5	4677480.80172	-725204.55343	4260827.57745
0-6	4677480.79889	-725204.55020	4260827.57637
0-7	4677480.78596	-725204.55180	4260827.56927
0-8	4677480.76888	-725204.55174	4260827.56321
0-9	4677480.76383	-725204.55148	4260827.56176
0-10	4677480.76112	-725204.55388	4260827.56235
0-11	4677480.75941	-725204.55662	4260827.56572
0-12	4677480.75902	-725204.55776	4260827.56919
0-13	4677480.76290	-725204.55621	4260827.57343
0-14	4677480.76510	-725204.55507	4260827.57463
0-15	4677480.76699	-725204.55652	4260827.57599
0-16	4677480.76757	-725204.55960	4260827.57883
0-17	4677480.76559	-725204.55852	4260827.58027
0-18	4677480.76206	-725204.55549	4260827.57828
0-19	4677480.75977	-725204.55413	4260827.57654
0-20	4677480.75916	-725204.55389	4260827.57542
0-21	4677480.75891	-725204.55372	4260827.57535
0-22	4677480.75942	-725204.55329	4260827.57547
0-23	4677480.76102	-725204.55293	4260827.57628
0-24	4677480.76200	-725204.55221	4260827.57694

Tabela 31: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.79090	-725204.54979	4260827.58557
0-2	4677480.81296	-725204.54742	4260827.59295
0-3	4677480.81482	-725204.55321	4260827.58967
0-4	4677480.81527	-725204.55954	4260827.58939
0-5	4677480.80244	-725204.55588	4260827.58132
0-6	4677480.79604	-725204.55432	4260827.57759
0-7	4677480.78393	-725204.55724	4260827.57068
0-8	4677480.76429	-725204.55729	4260827.56397
0-9	4677480.75785	-725204.55700	4260827.56229
0-10	4677480.75705	-725204.55822	4260827.56344
0-11	4677480.75707	-725204.55963	4260827.56632
0-12	4677480.75799	-725204.55972	4260827.56993
0-13	4677480.76243	-725204.55791	4260827.57302
0-14	4677480.76542	-725204.55669	4260827.57477
0-15	4677480.76749	-725204.55731	4260827.57631
0-16	4677480.76773	-725204.55912	4260827.57824
0-17	4677480.76656	-725204.55859	4260827.57932
0-18	4677480.76350	-725204.55590	4260827.57747
0-19	4677480.76086	-725204.55405	4260827.57597
0-20	4677480.75942	-725204.55328	4260827.57484
0-21	4677480.75854	-725204.55264	4260827.57449
0-22	4677480.75887	-725204.55220	4260827.57478
0-23	4677480.76022	-725204.55187	4260827.57555
0-24	4677480.76108	-725204.55114	4260827.57631

Tabela 32: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.08.2018.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.75103	-725204.52882	4260827.57662
0-2	4677480.76599	-725204.51443	4260827.58812
0-3	4677480.76786	-725204.52436	4260827.58812
0-4	4677480.78075	-725204.53013	4260827.59136
0-5	4677480.78246	-725204.53079	4260827.58651
0-6	4677480.78677	-725204.53558	4260827.58537
0-7	4677480.77842	-725204.54177	4260827.57831
0-8	4677480.77178	-725204.54256	4260827.57531
0-9	4677480.76801	-725204.54294	4260827.57290
0-10	4677480.76405	-725204.54580	4260827.57242
0-11	4677480.76083	-725204.55019	4260827.57514
0-12	4677480.75444	-725204.55606	4260827.57623
0-13	4677480.75383	-725204.55977	4260827.57687
0-14	4677480.75526	-725204.55967	4260827.57802
0-15	4677480.75639	-725204.56194	4260827.57842
0-16	4677480.75785	-725204.56581	4260827.58051
0-17	4677480.75601	-725204.56765	4260827.58350
0-18	4677480.75381	-725204.56594	4260827.58299
0-19	4677480.75068	-725204.56499	4260827.58095
0-20	4677480.75110	-725204.56478	4260827.57924
0-21	4677480.75172	-725204.56533	4260827.57903
0-22	4677480.75137	-725204.56515	4260827.57857
0-23	4677480.75306	-725204.56477	4260827.57940
0-24	4677480.75492	-725204.56420	4260827.57971

Tabela 33: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), CODE efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.75008	-725204.54841	4260827.58690
0-2	4677480.75809	-725204.53376	4260827.57979
0-3	4677480.74949	-725204.53468	4260827.57846
0-4	4677480.73775	-725204.53512	4260827.57099
0-5	4677480.73498	-725204.53707	4260827.57028
0-6	4677480.73729	-725204.53707	4260827.57309
0-7	4677480.73657	-725204.53496	4260827.57486
0-8	4677480.73675	-725204.53070	4260827.57696
0-9	4677480.74021	-725204.53099	4260827.58027
0-10	4677480.74768	-725204.53140	4260827.58745
0-11	4677480.75507	-725204.53182	4260827.59289
0-12	4677480.75771	-725204.53278	4260827.59515
0-13	4677480.75816	-725204.53374	4260827.59430
0-14	4677480.75670	-725204.53451	4260827.59259
0-15	4677480.75727	-725204.53550	4260827.59208
0-16	4677480.75629	-725204.53502	4260827.59130
0-17	4677480.75448	-725204.53446	4260827.59015
0-18	4677480.75060	-725204.53501	4260827.58813
0-19	4677480.74851	-725204.53505	4260827.58713
0-20	4677480.74856	-725204.53531	4260827.58757
0-21	4677480.75013	-725204.53559	4260827.58892
0-22	4677480.75189	-725204.53506	4260827.59085
0-23	4677480.75340	-725204.53480	4260827.59248
0-24	4677480.75456	-725204.53532	4260827.59363

Tabela 34: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGR efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.64924	-725204.56272	4260827.55223
0-2	4677480.74722	-725204.51536	4260827.57614
0-3	4677480.74392	-725204.51993	4260827.57890
0-4	4677480.72904	-725204.52671	4260827.57267
0-5	4677480.72793	-725204.52565	4260827.57097
0-6	4677480.73277	-725204.52496	4260827.57589
0-7	4677480.73503	-725204.52351	4260827.57963
0-8	4677480.73515	-725204.52366	4260827.58052
0-9	4677480.73790	-725204.52423	4260827.58222
0-10	4677480.74583	-725204.52763	4260827.58871
0-11	4677480.75196	-725204.52835	4260827.59290
0-12	4677480.75657	-725204.53210	4260827.59474
0-13	4677480.75947	-725204.53566	4260827.59610
0-14	4677480.75799	-725204.53641	4260827.59491
0-15	4677480.75903	-725204.53688	4260827.59397
0-16	4677480.75882	-725204.53677	4260827.59296
0-17	4677480.75662	-725204.53693	4260827.59198
0-18	4677480.75267	-725204.53737	4260827.59019
0-19	4677480.75094	-725204.53766	4260827.58965
0-20	4677480.75100	-725204.53887	4260827.59034
0-21	4677480.75268	-725204.53857	4260827.59161
0-22	4677480.75391	-725204.53794	4260827.59282
0-23	4677480.75513	-725204.53857	4260827.59444
0-24	4677480.75608	-725204.53861	4260827.59524

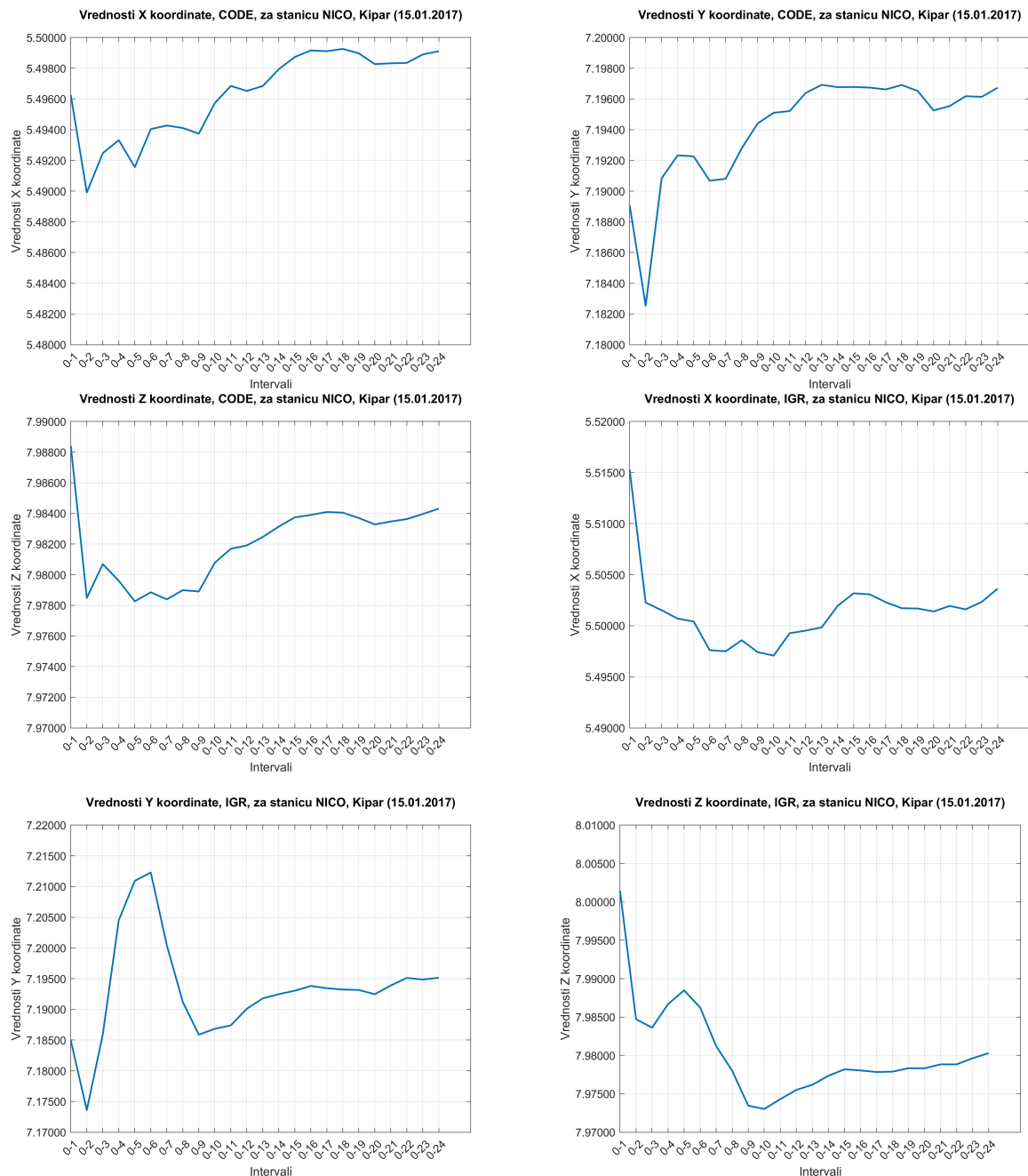
Tabela 35: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGS efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

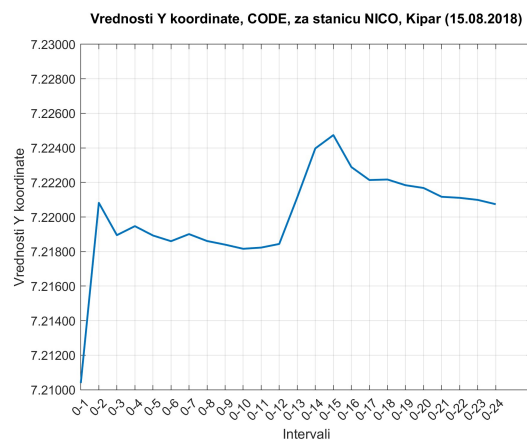
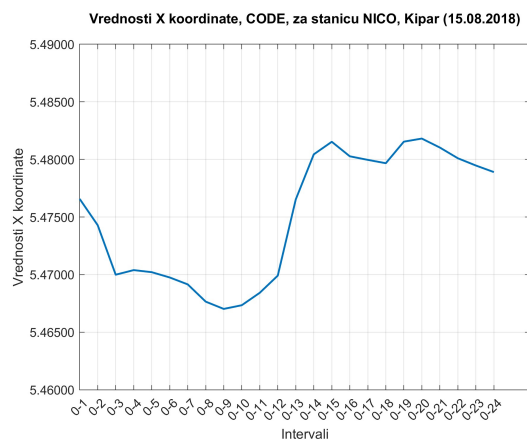
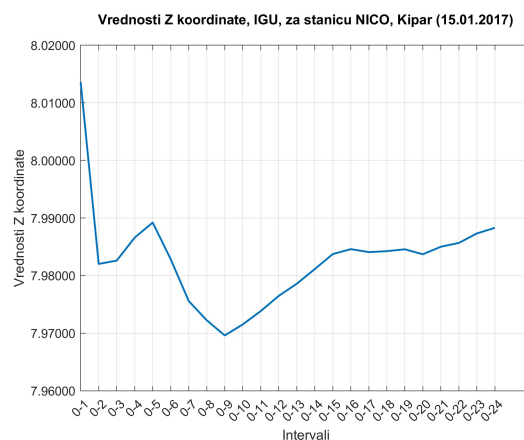
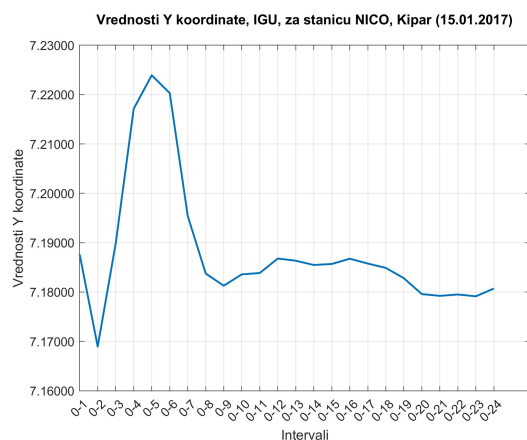
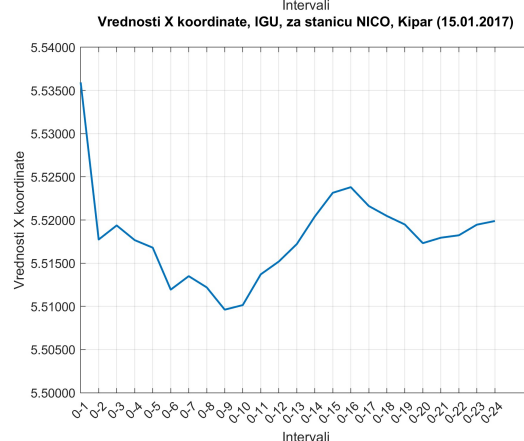
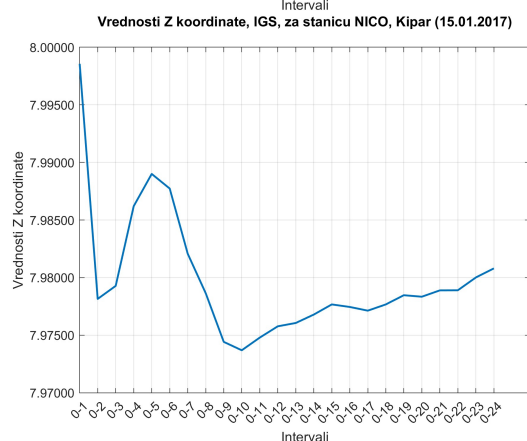
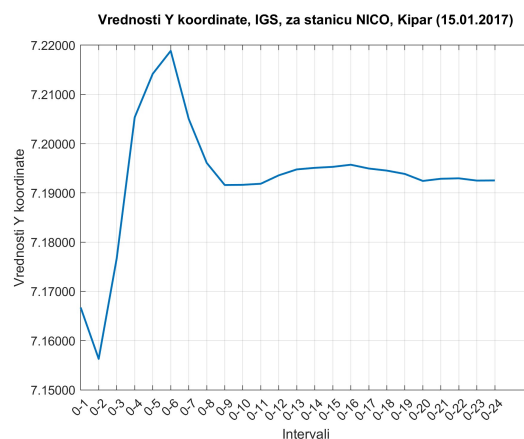
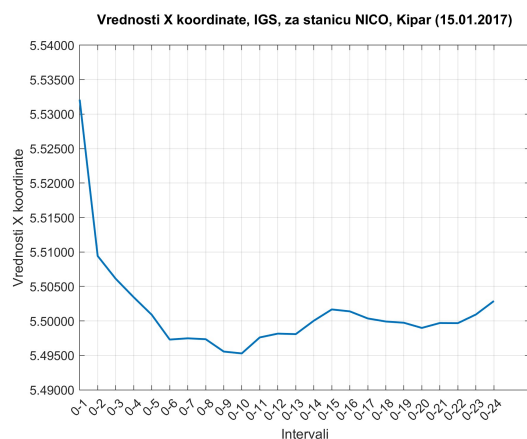
Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.65359	-725204.55546	4260827.53792
0-2	4677480.75965	-725204.51100	4260827.56621
0-3	4677480.75693	-725204.51875	4260827.57230
0-4	4677480.74101	-725204.52428	4260827.56979
0-5	4677480.73780	-725204.52642	4260827.56969
0-6	4677480.74076	-725204.52662	4260827.57468
0-7	4677480.73984	-725204.52870	4260827.57749
0-8	4677480.74008	-725204.53138	4260827.57906
0-9	4677480.74313	-725204.53272	4260827.58211
0-10	4677480.75023	-725204.53384	4260827.58879
0-11	4677480.75540	-725204.53277	4260827.59209
0-12	4677480.75961	-725204.53572	4260827.59317
0-13	4677480.76190	-725204.53868	4260827.59352
0-14	4677480.76143	-725204.53943	4260827.59227
0-15	4677480.76322	-725204.53980	4260827.59206
0-16	4677480.76254	-725204.53923	4260827.59115
0-17	4677480.76032	-725204.53962	4260827.59019
0-18	4677480.75570	-725204.54024	4260827.58805
0-19	4677480.75336	-725204.54077	4260827.58701
0-20	4677480.75298	-725204.54231	4260827.58741
0-21	4677480.75447	-725204.54208	4260827.58881
0-22	4677480.75619	-725204.54081	4260827.59076
0-23	4677480.75758	-725204.54086	4260827.59261
0-24	4677480.75857	-725204.54073	4260827.59354

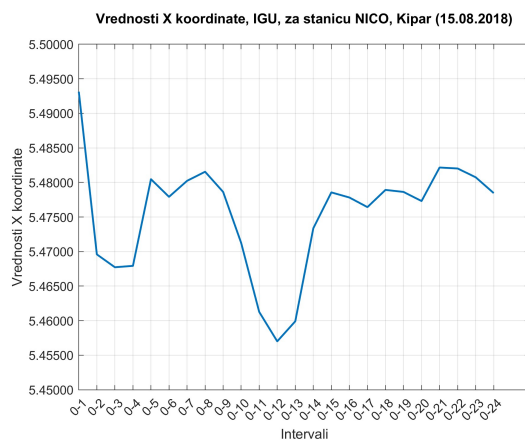
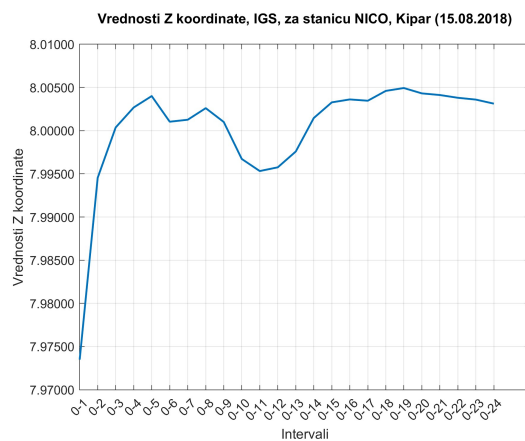
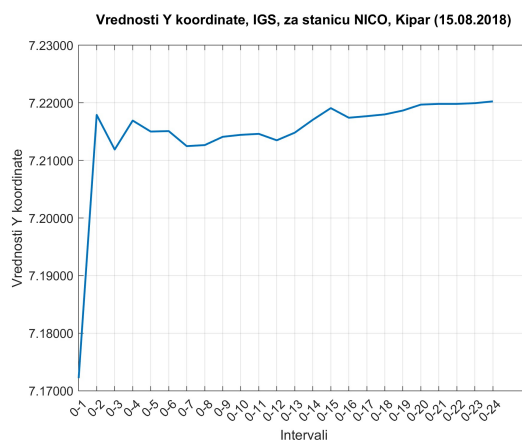
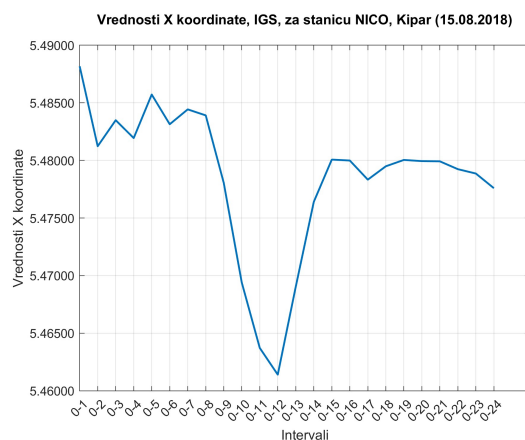
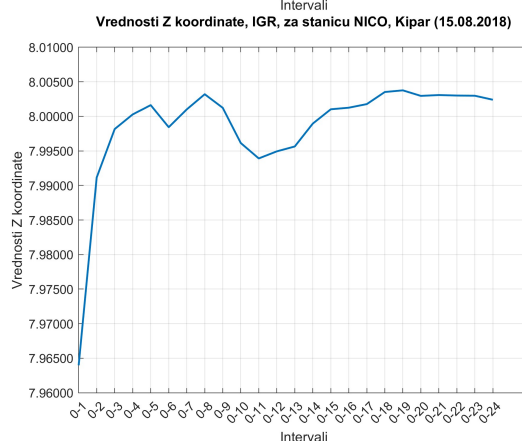
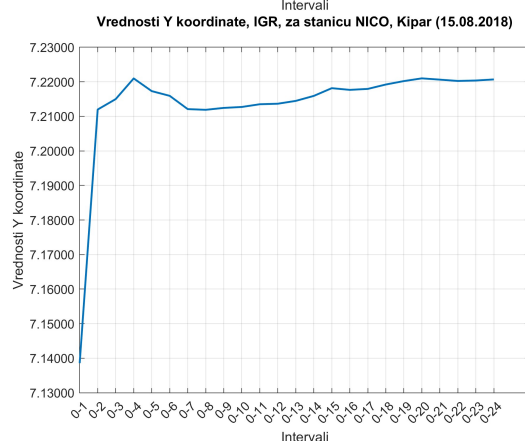
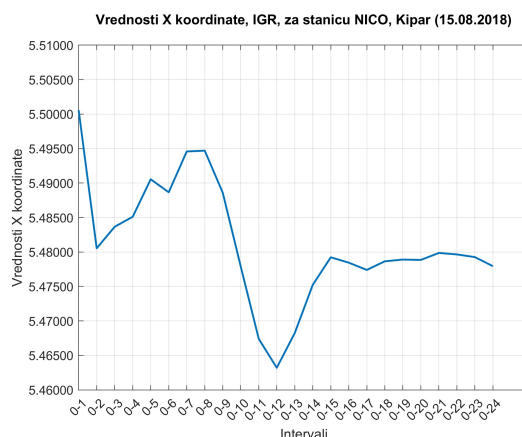
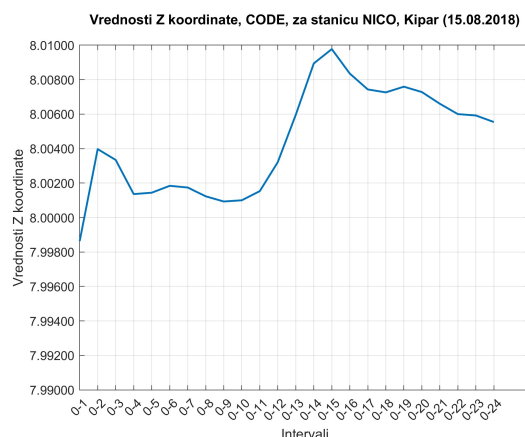
Tabela 36: Vrednosti dobijenih koordinata za stanicu VIGO (Španija), IGU efemeride, 5 sekundi časovni fajl, 15.10.2019.

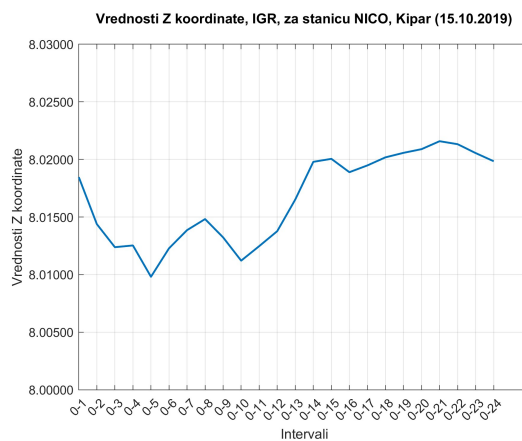
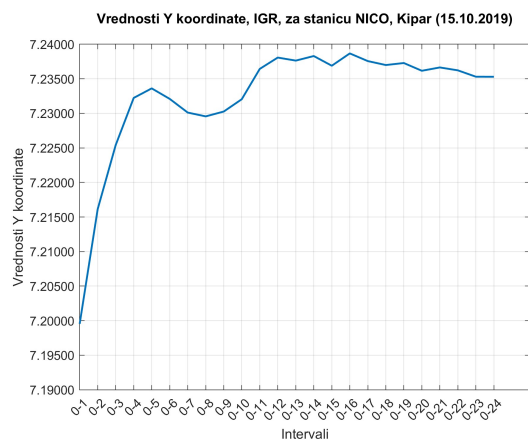
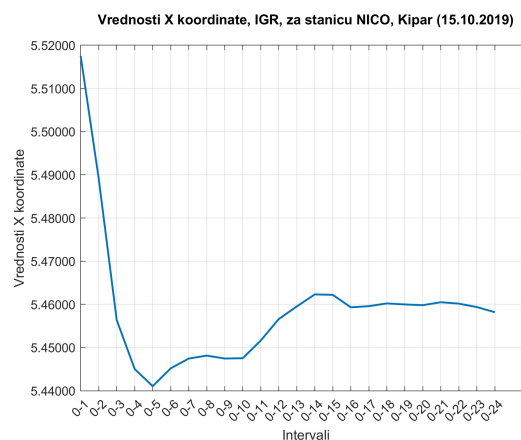
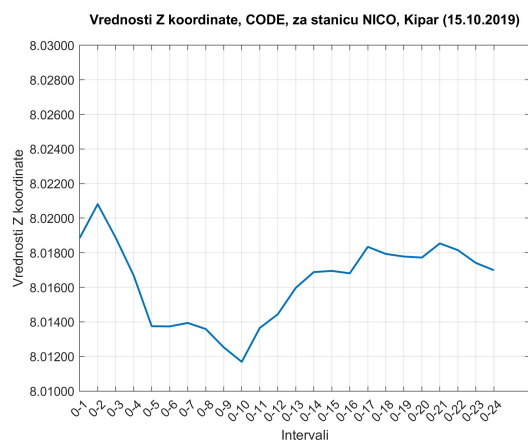
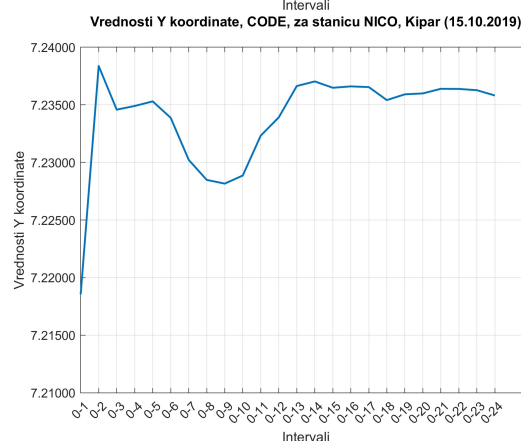
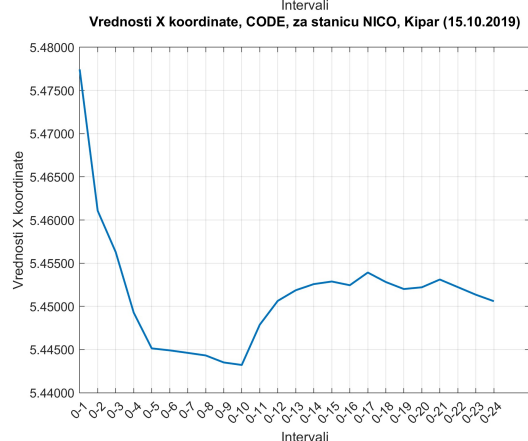
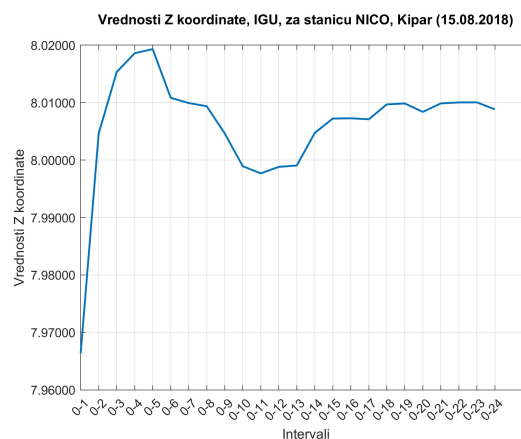
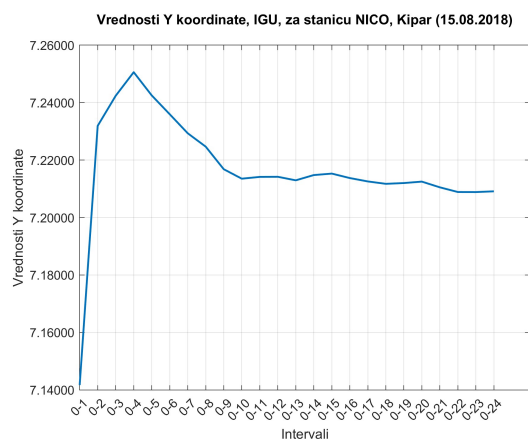
Interval	X	Y	Z
0-1	4677480.65413	-725204.55256	4260827.56292
0-2	4677480.74995	-725204.50824	4260827.57063
0-3	4677480.75158	-725204.51734	4260827.57227
0-4	4677480.73867	-725204.52156	4260827.57034
0-5	4677480.73475	-725204.52527	4260827.57059
0-6	4677480.73821	-725204.52495	4260827.57590
0-7	4677480.73926	-725204.52431	4260827.57970
0-8	4677480.73892	-725204.52539	4260827.58175
0-9	4677480.74180	-725204.52622	4260827.58448
0-10	4677480.75169	-725204.53279	4260827.59340
0-11	4677480.75915	-725204.53835	4260827.60098
0-12	4677480.76253	-725204.54103	4260827.60438
0-13	4677480.76377	-725204.54203	4260827.60678
0-14	4677480.75915	-725204.54215	4260827.60479
0-15	4677480.75593	-725204.54153	4260827.60265
0-16	4677480.75432	-725204.54097	4260827.60289
0-17	4677480.75019	-725204.54177	4260827.60181
0-18	4677480.74394	-725204.54258	4260827.59902
0-19	4677480.73978	-725204.54386	4260827.59640
0-20	4677480.73977	-725204.54663	4260827.59690
0-21	4677480.74140	-725204.54768	4260827.59842
0-22	4677480.74221	-725204.54735	4260827.59882
0-23	4677480.74304	-725204.54750	4260827.59976
0-24	4677480.74315	-725204.54653	4260827.59946

Prilog 23: Dijagrami promena koordinata GNSS stanica za različite efemeride, intervale i datume

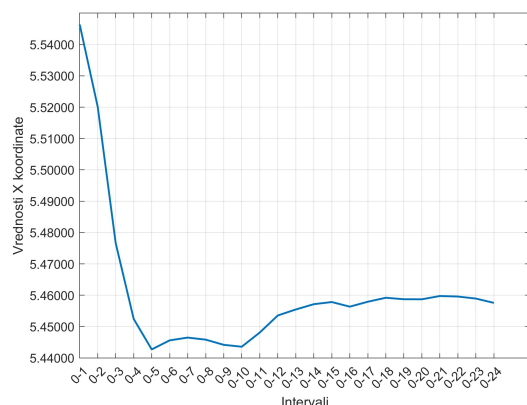




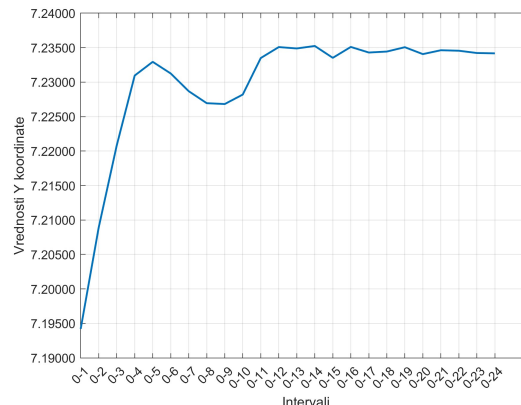




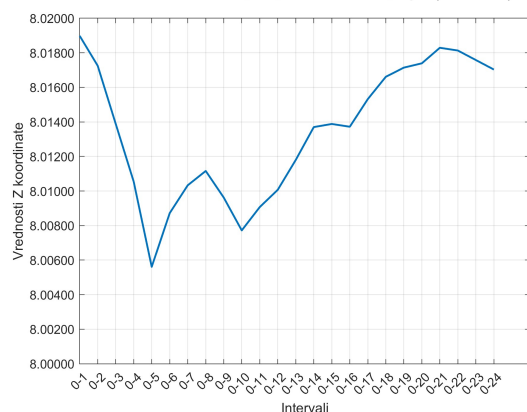
Vrednosti X koordinate, IGS, za stanicu NICO, Kipar (15.10.2019)



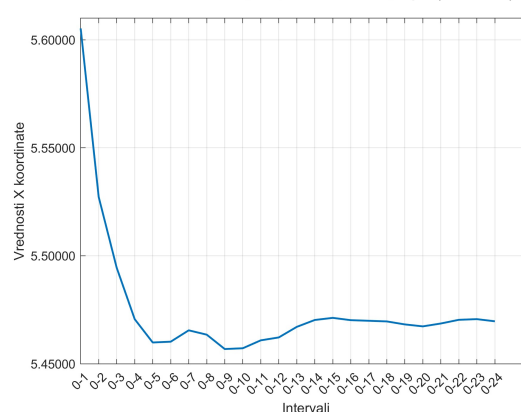
Vrednosti Y koordinate, IGS, za stanicu NICO, Kipar (15.10.2019)



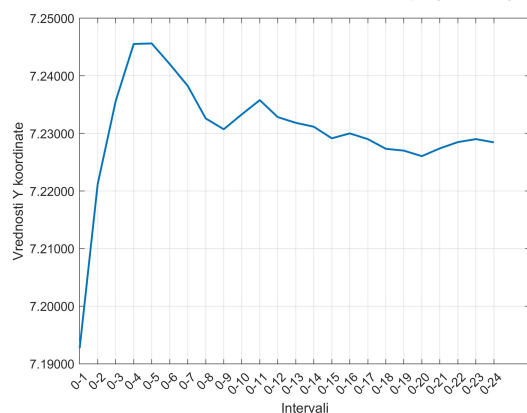
Vrednosti Z koordinate, IGS, za stanicu NICO, Kipar (15.10.2019)



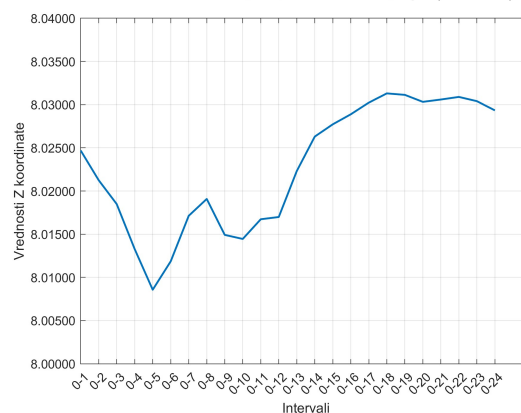
Vrednosti X koordinate, IGU, za stanicu NICO, Kipar (15.10.2019)



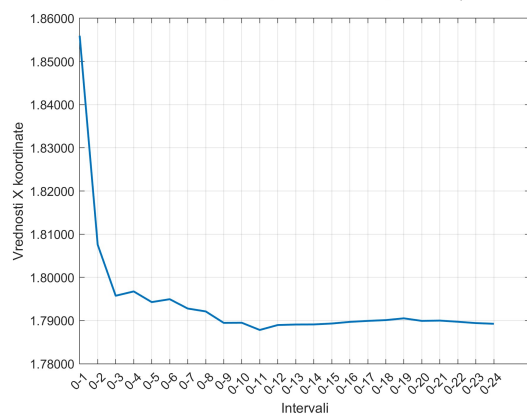
Vrednosti Y koordinate, IGU, za stanicu NICO, Kipar (15.10.2019)



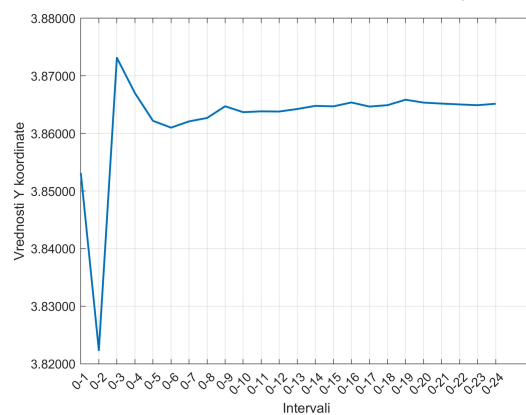
Vrednosti Z koordinate, IGU, za stanicu NICO, Kipar (15.10.2019)

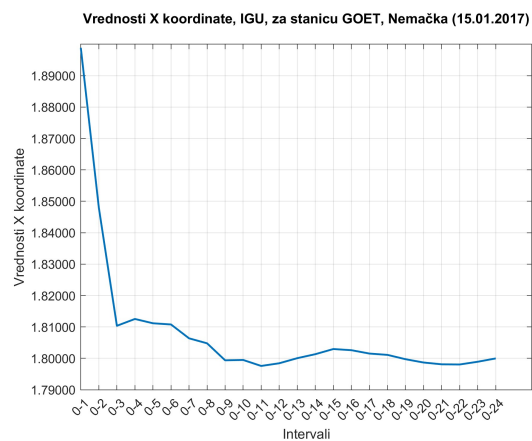
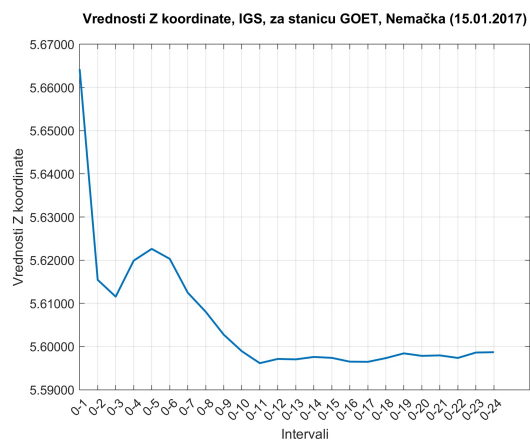
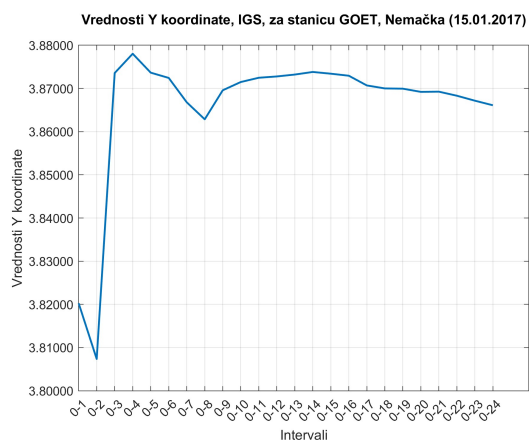
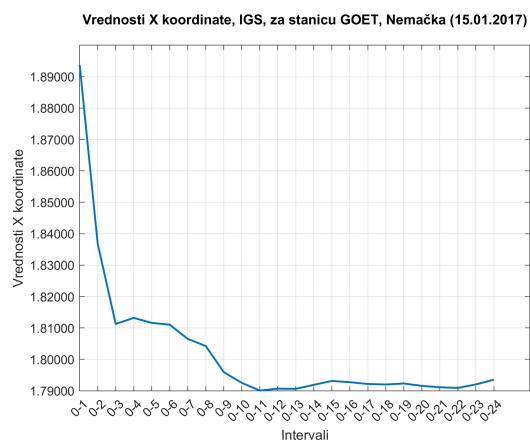
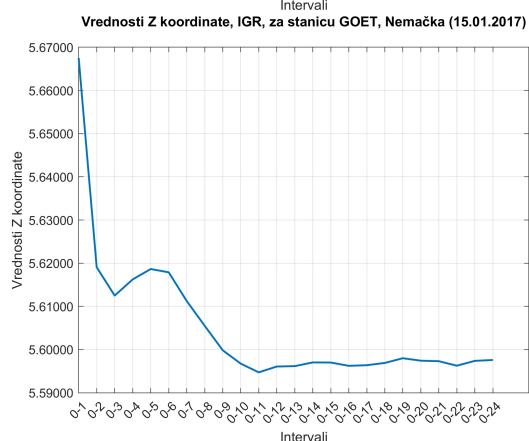
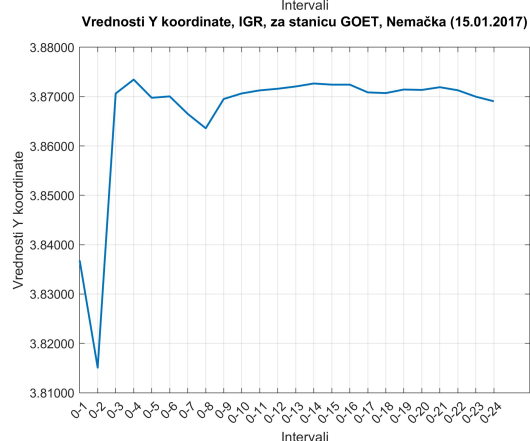
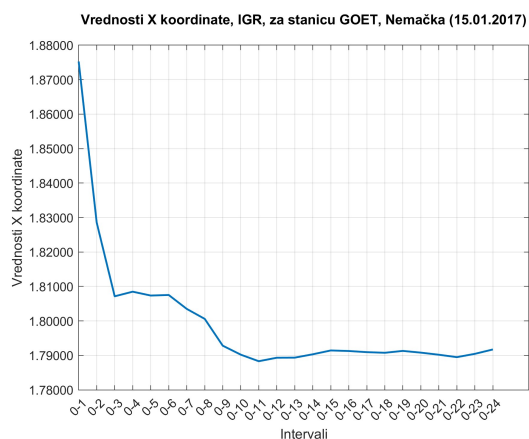
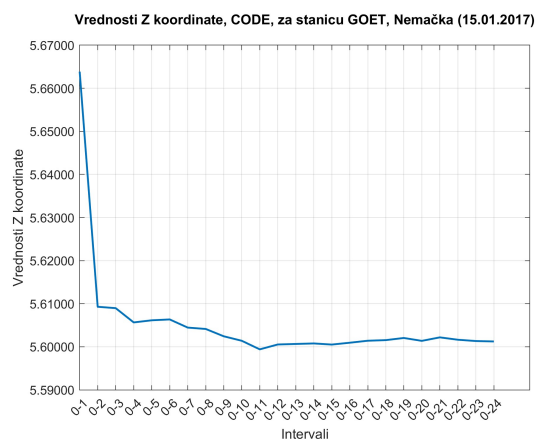


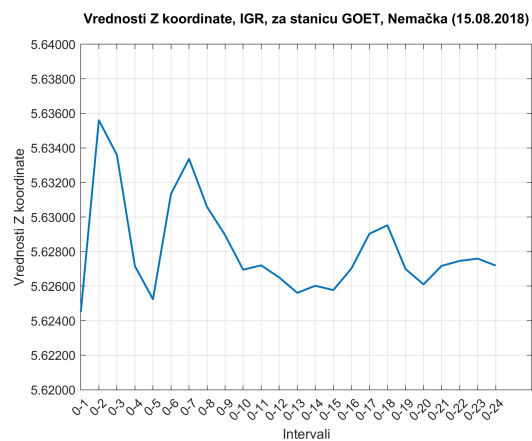
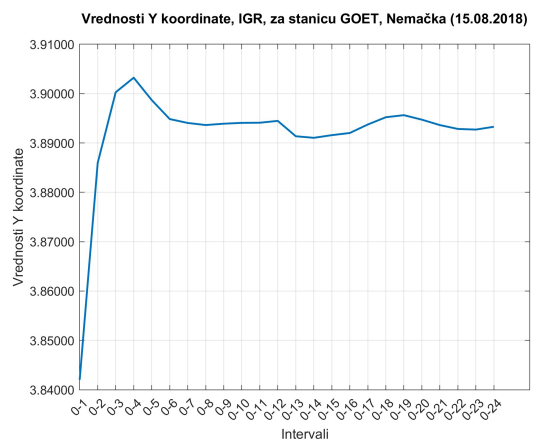
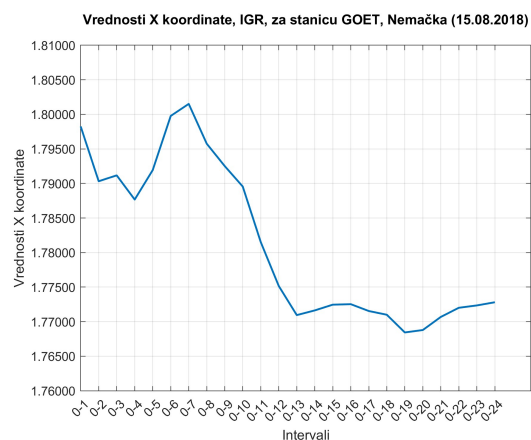
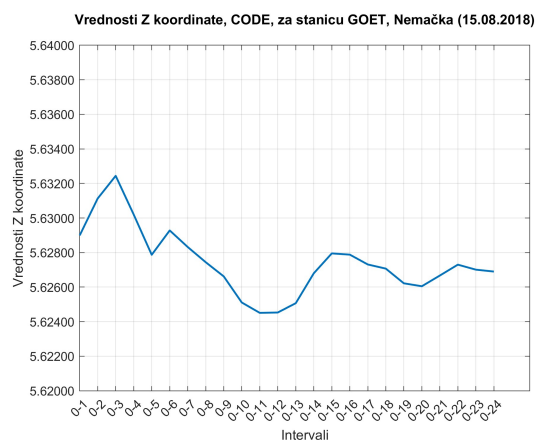
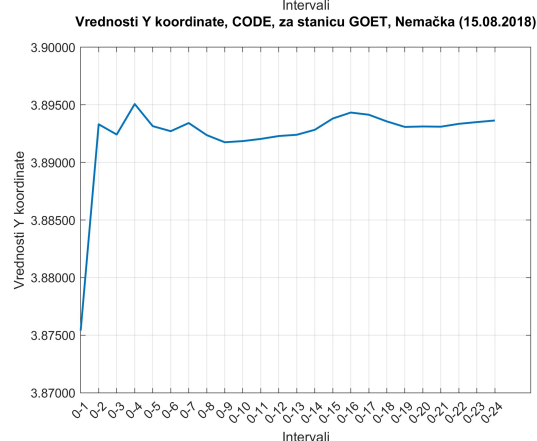
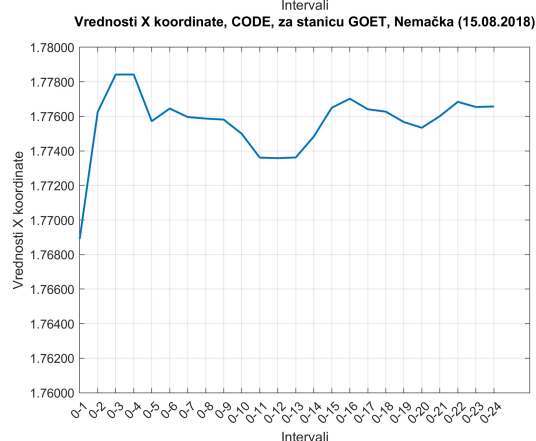
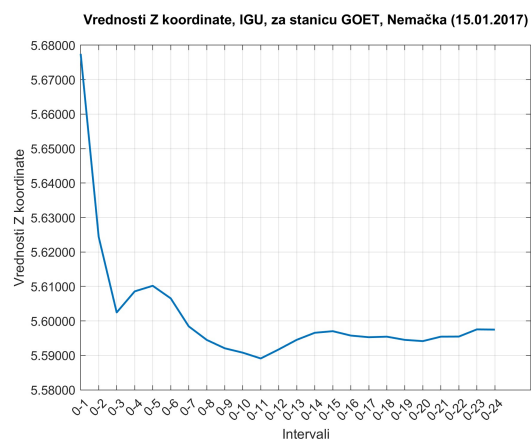
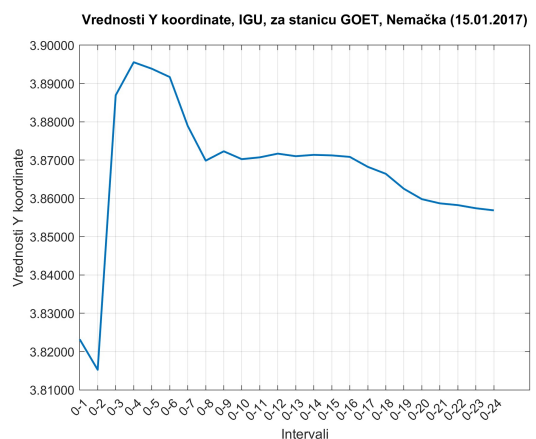
Vrednosti X koordinate, CODE, za stanicu GOET, Nemačka (15.01.2017)

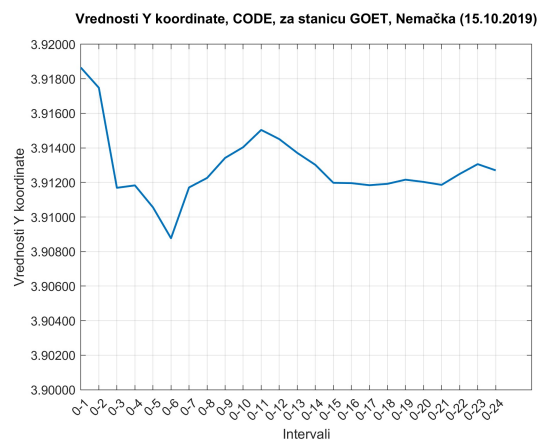
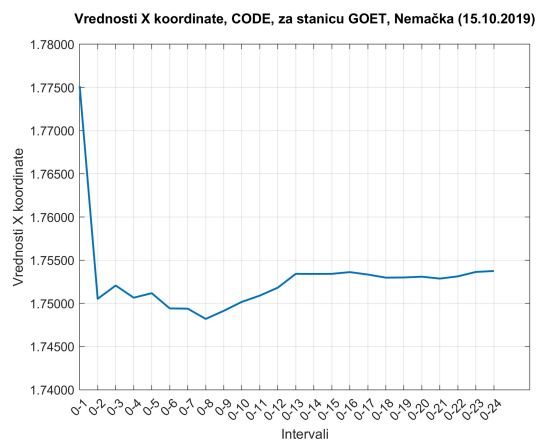
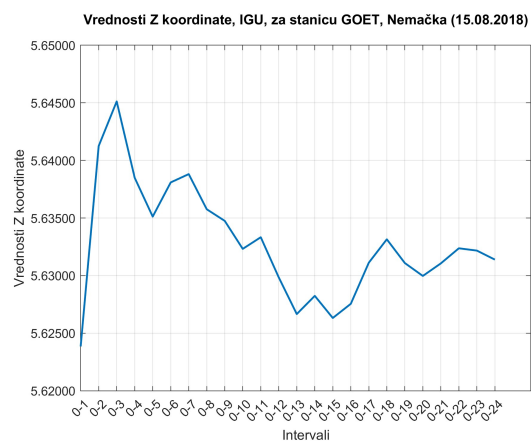
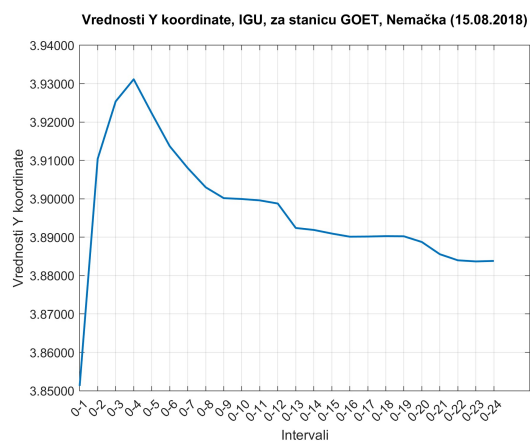
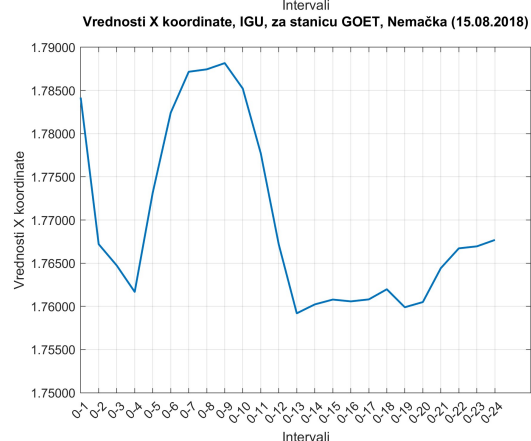
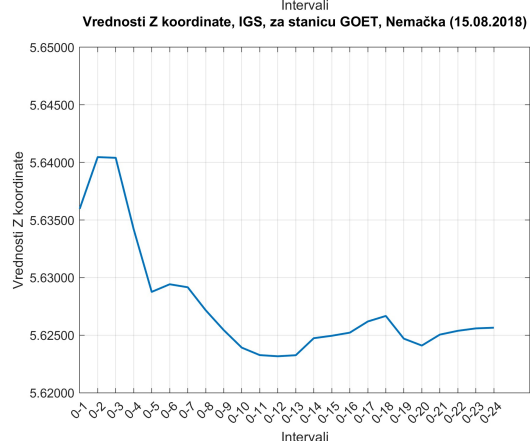
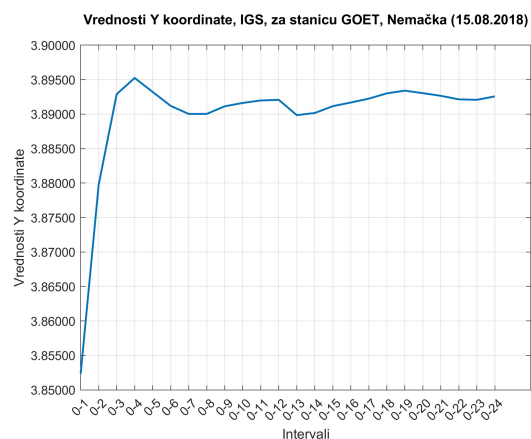
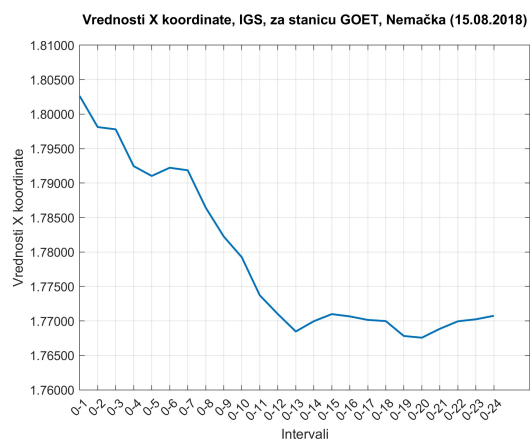


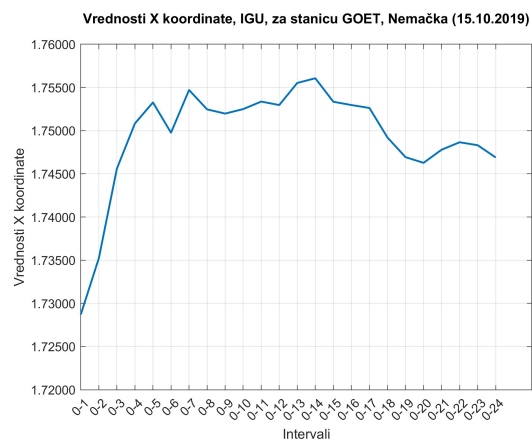
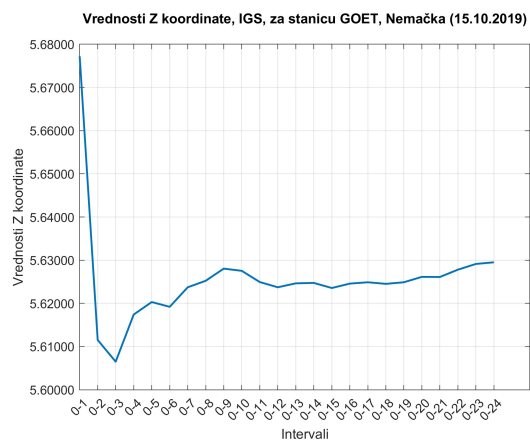
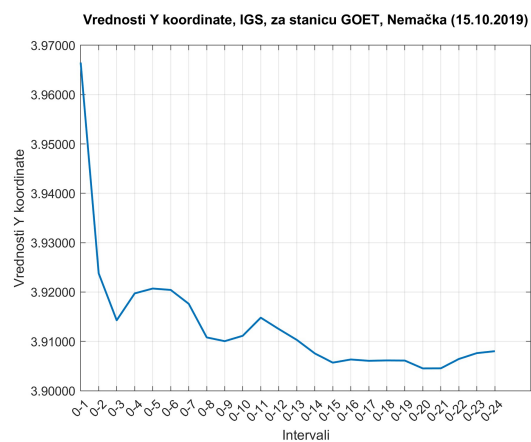
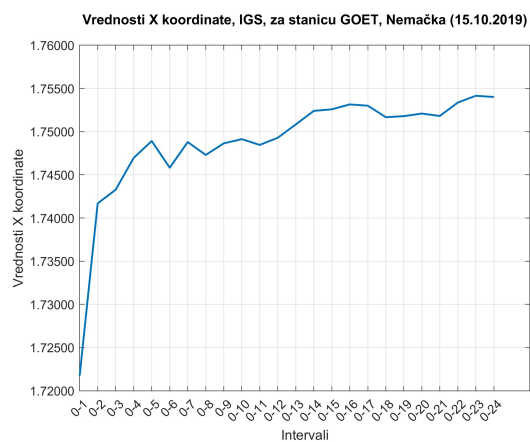
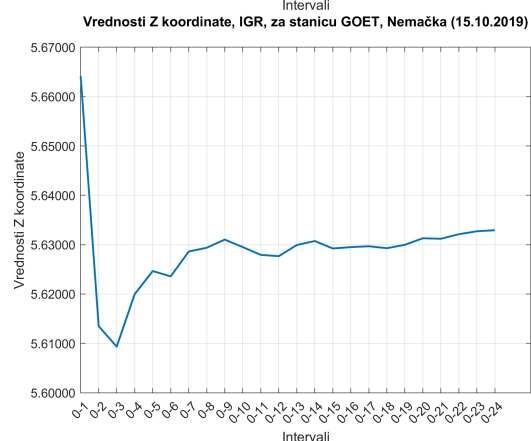
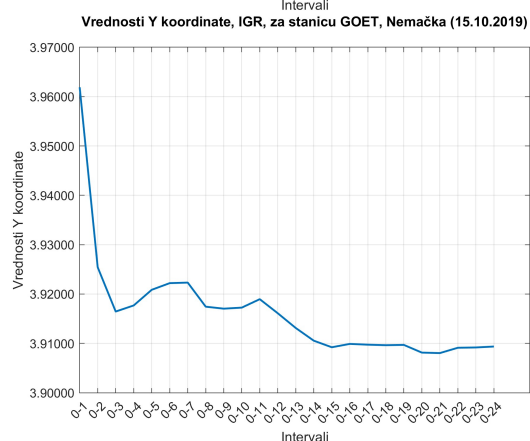
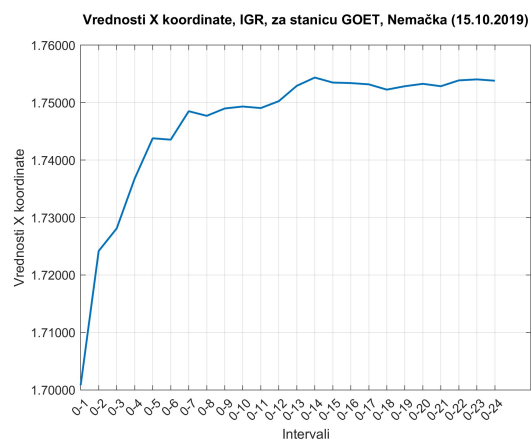
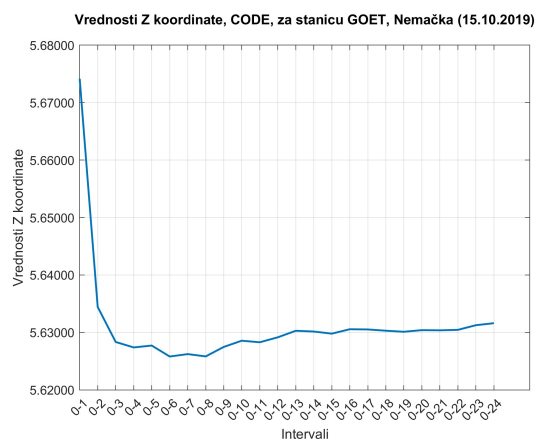
Vrednosti Y koordinate, CODE, za stanicu GOET, Nemačka (15.01.2017)

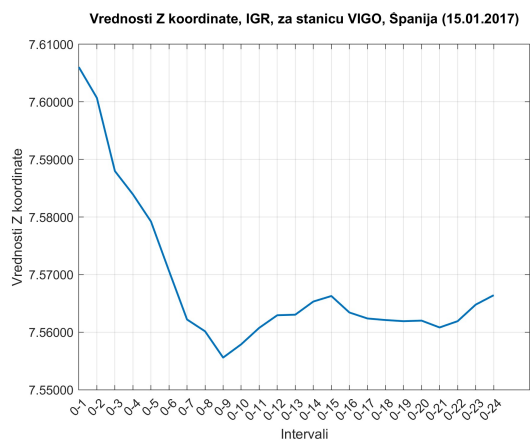
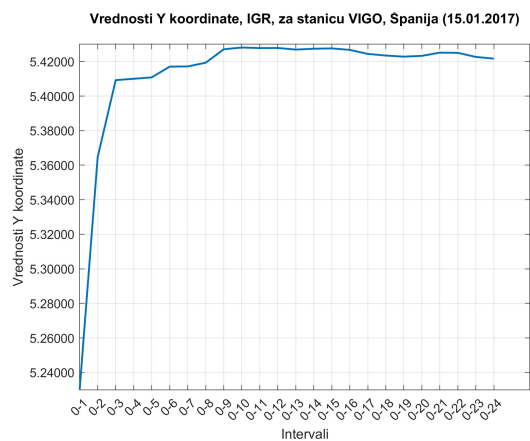
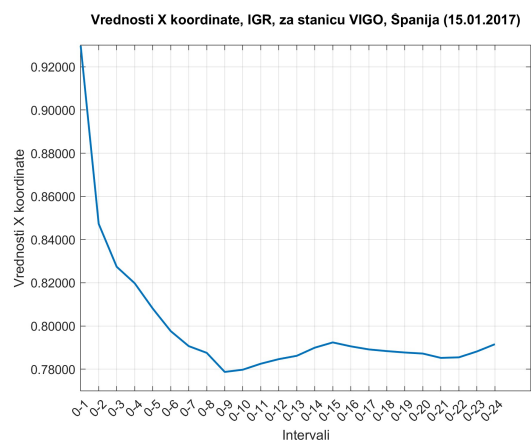
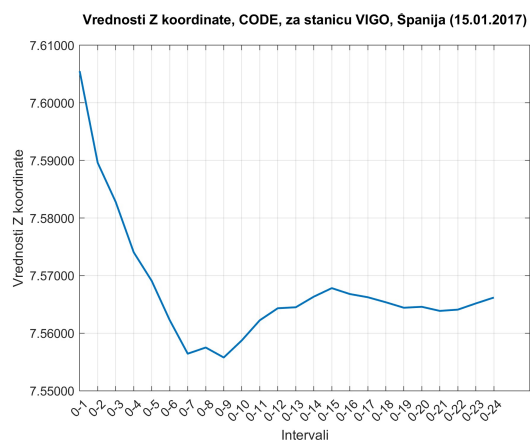
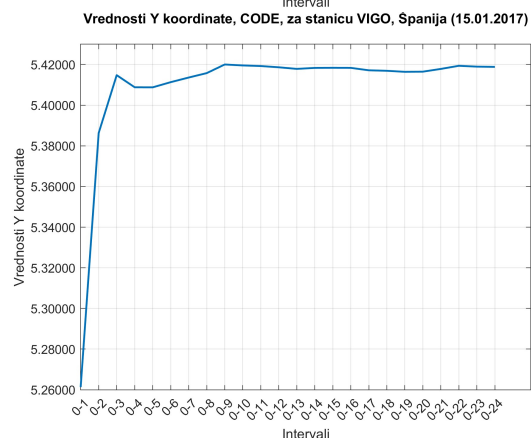
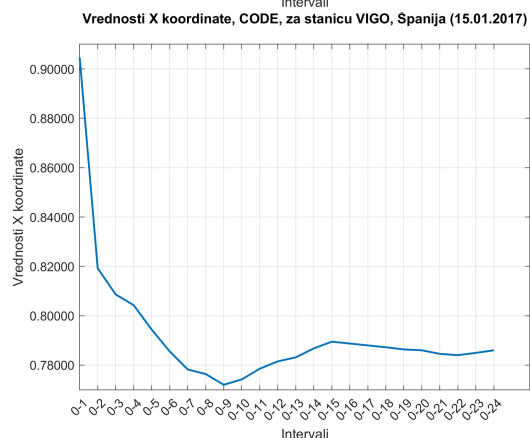
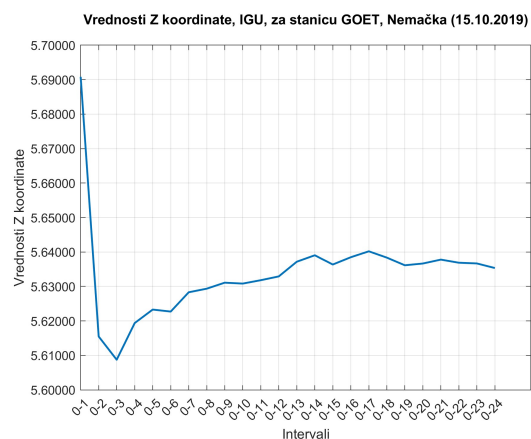
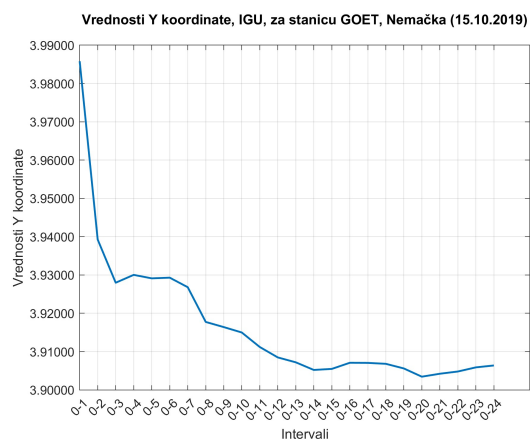


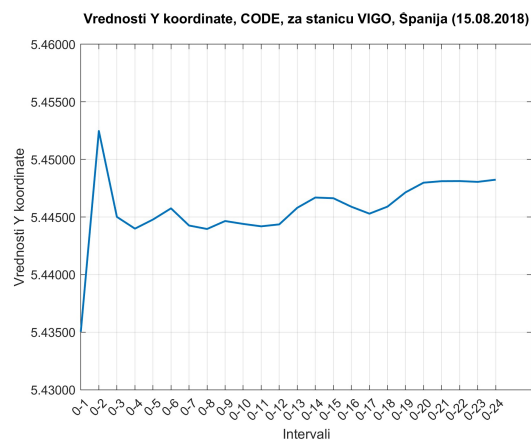
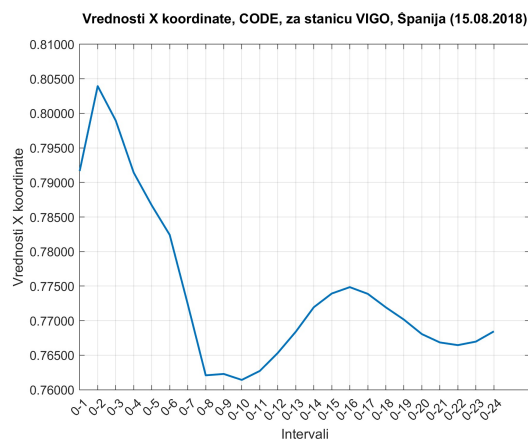
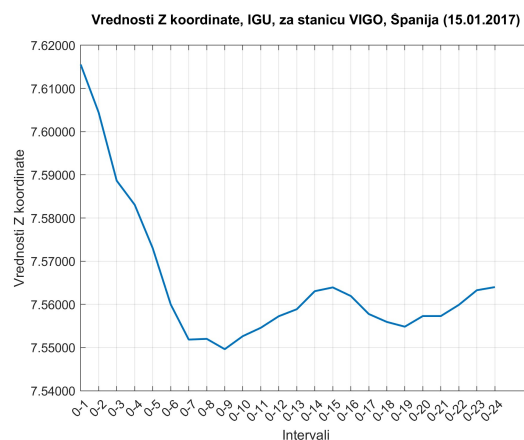
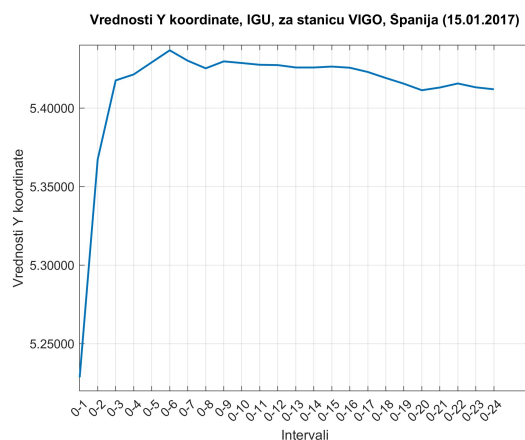
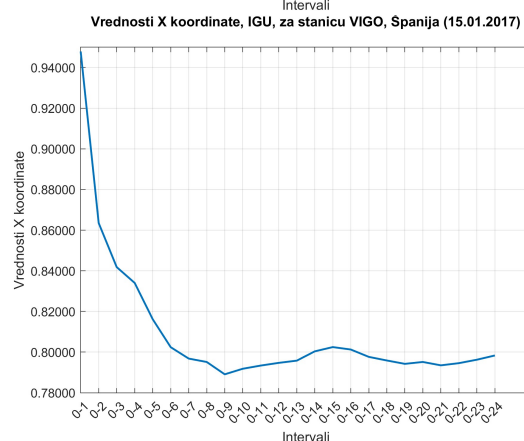
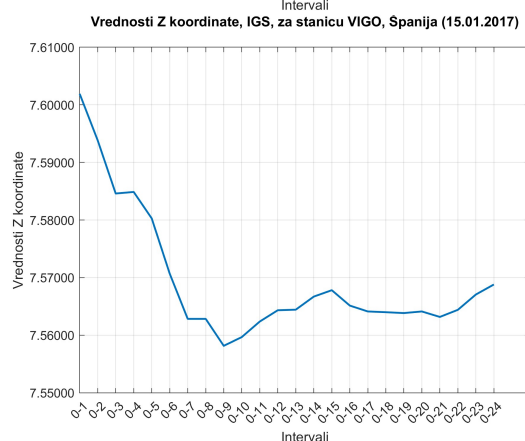
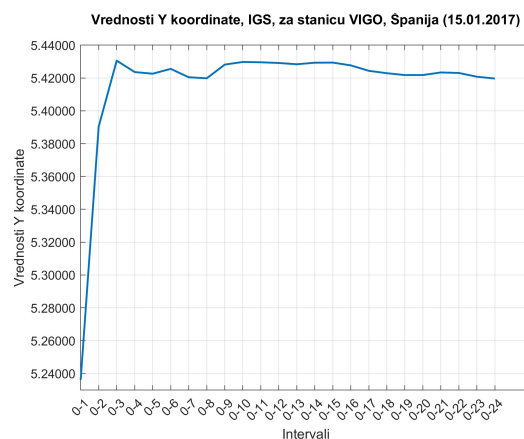
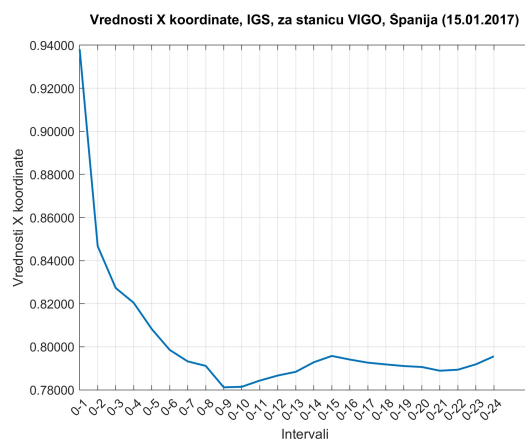


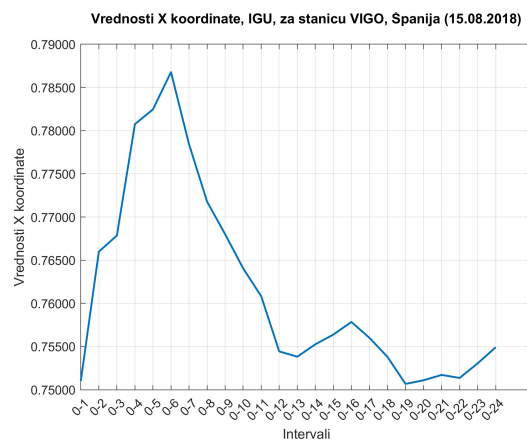
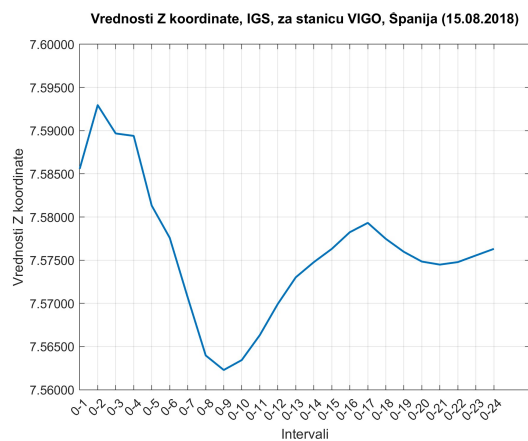
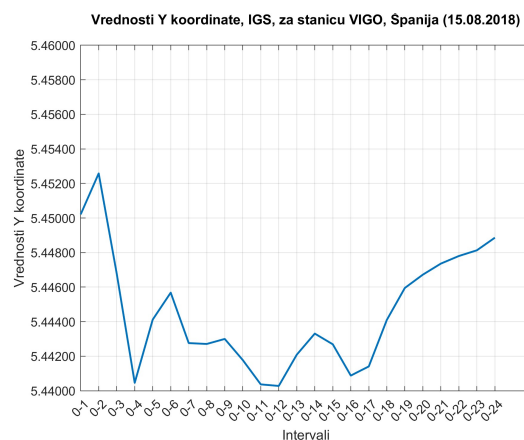
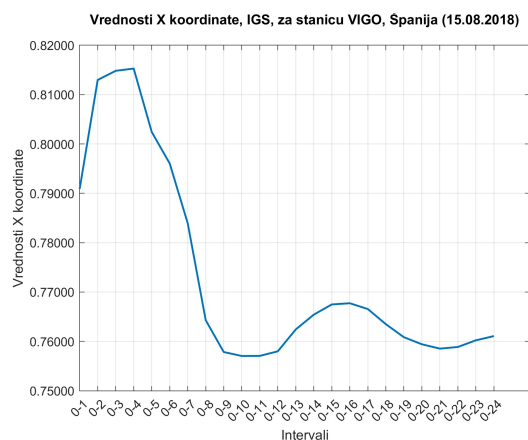
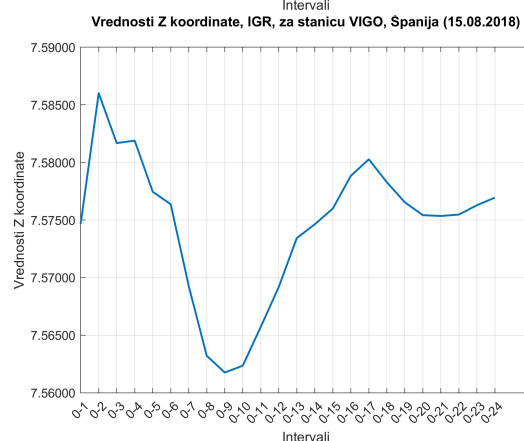
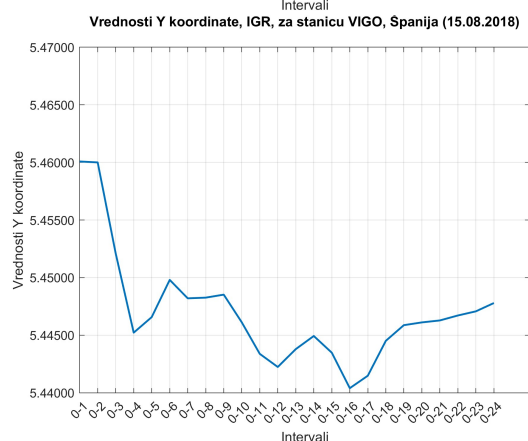
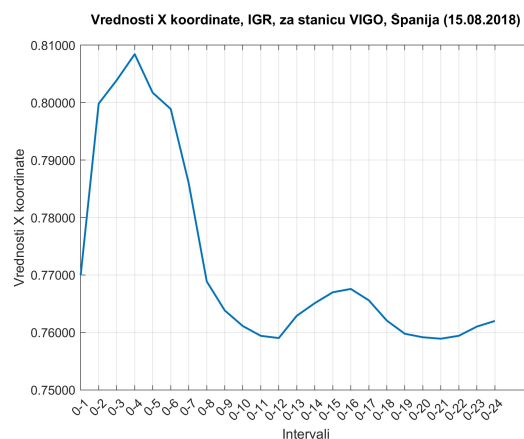
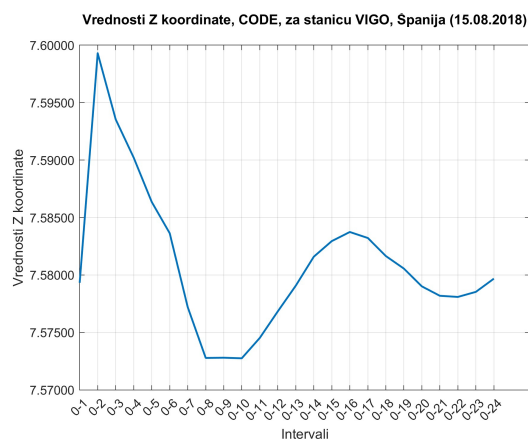


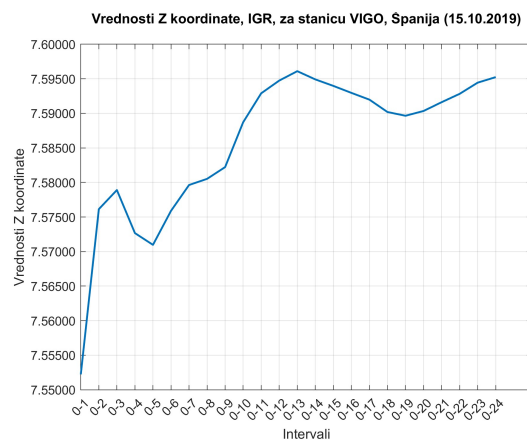
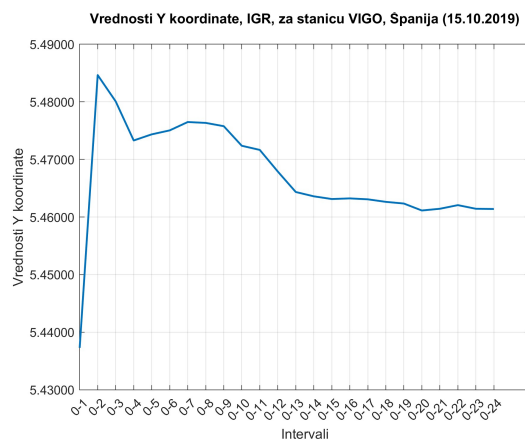
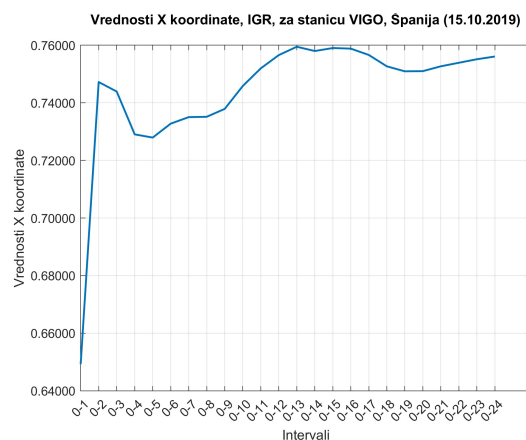
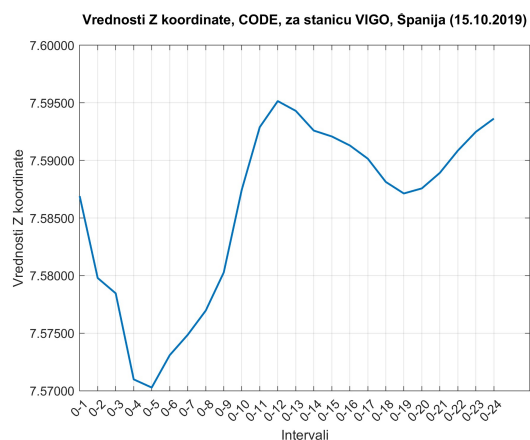
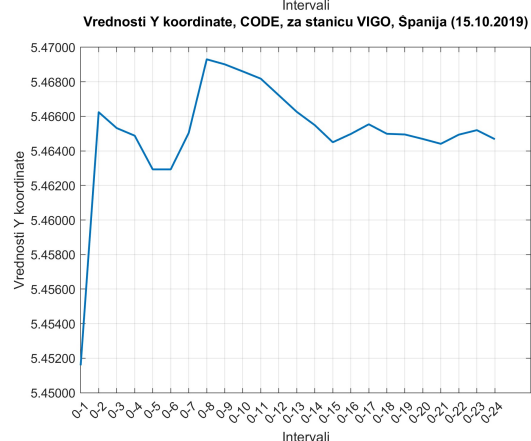
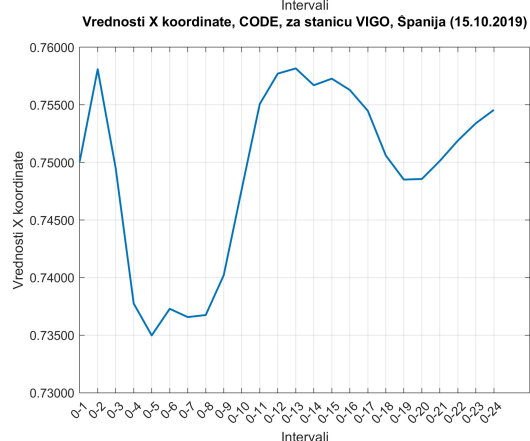
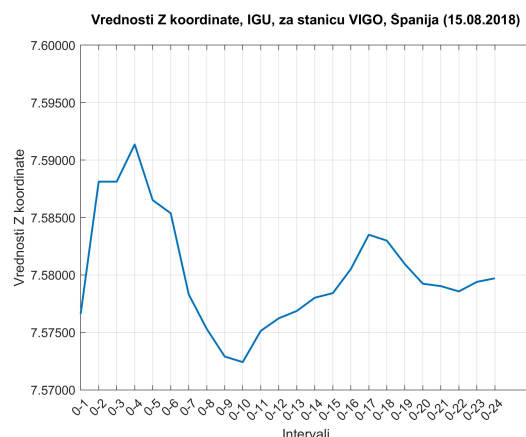
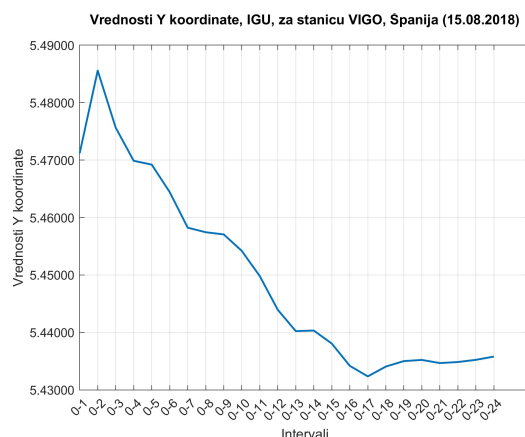


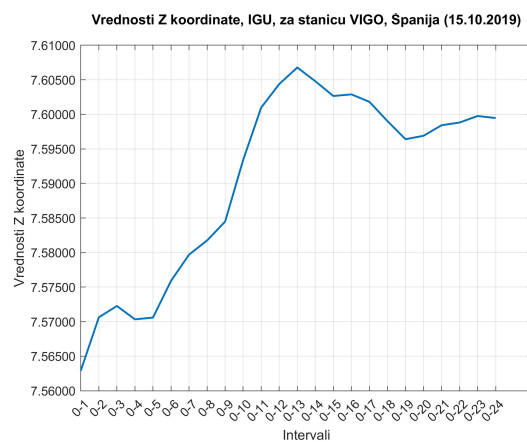
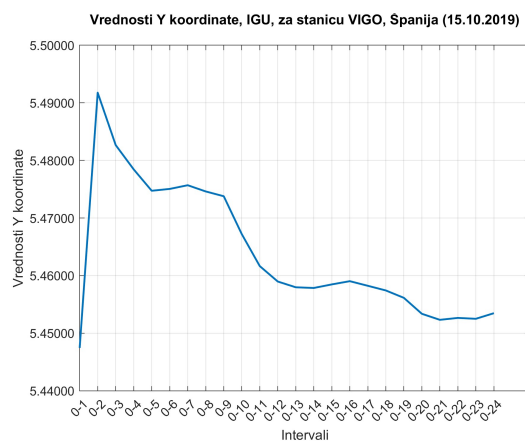
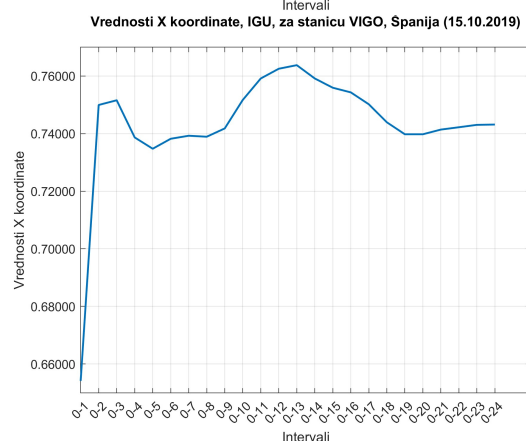
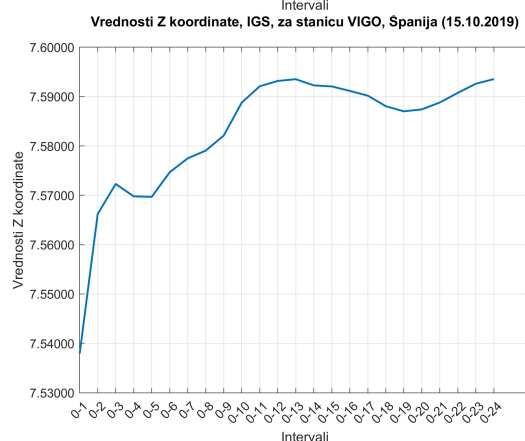
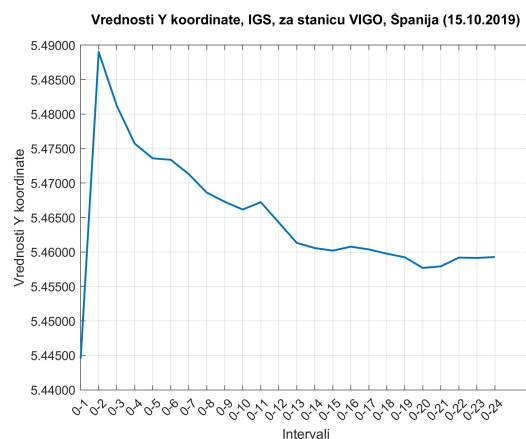
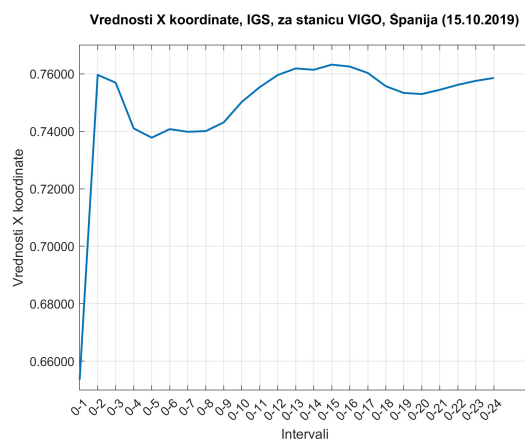




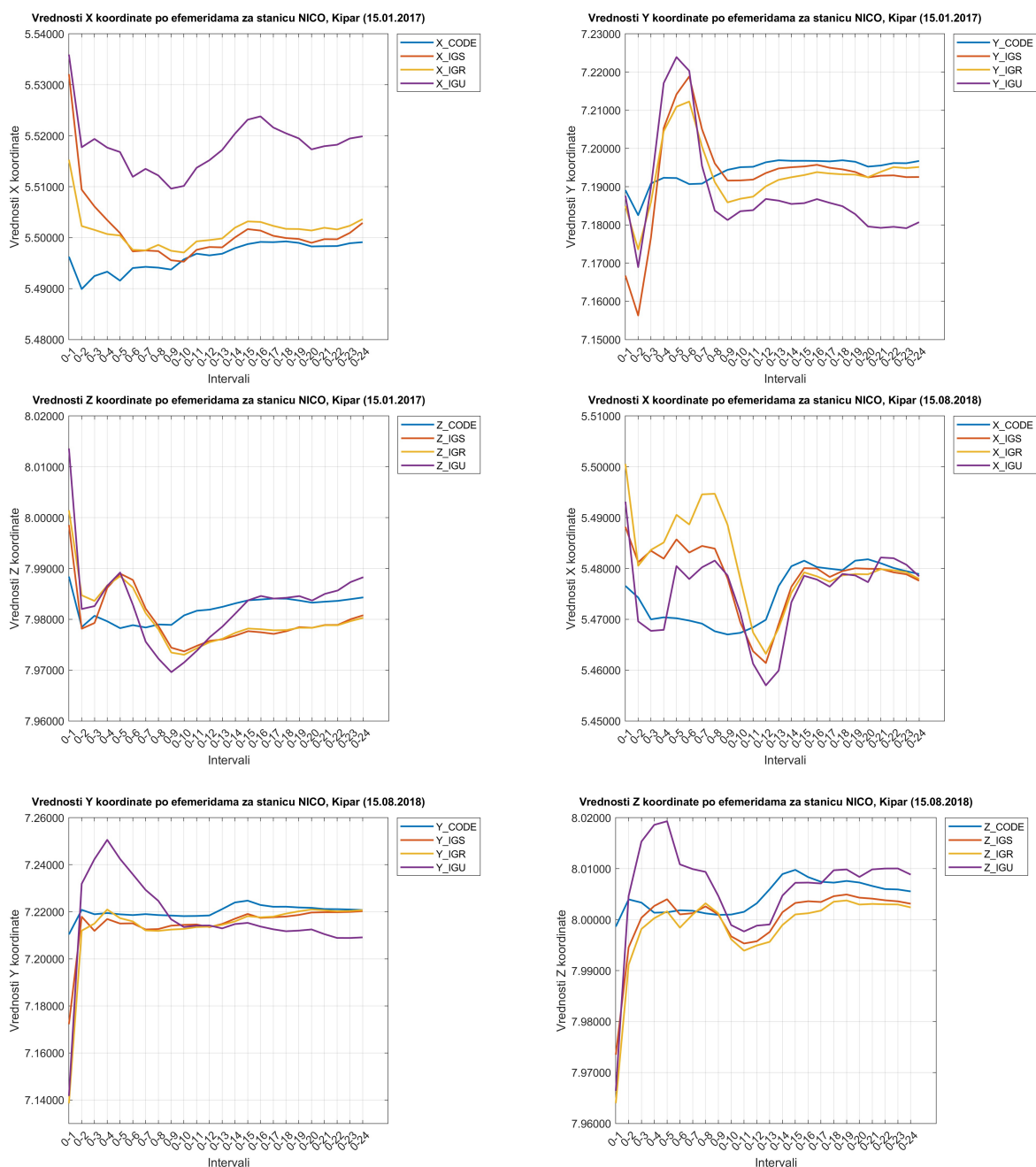


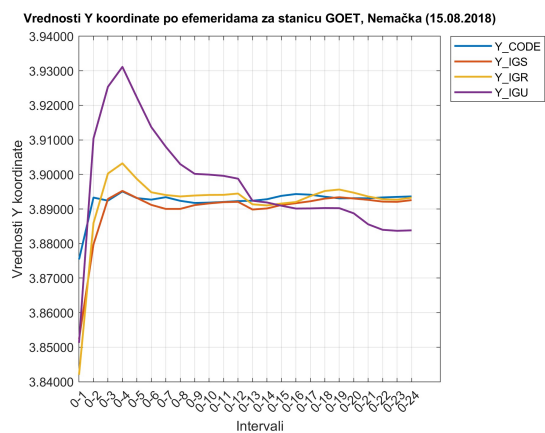
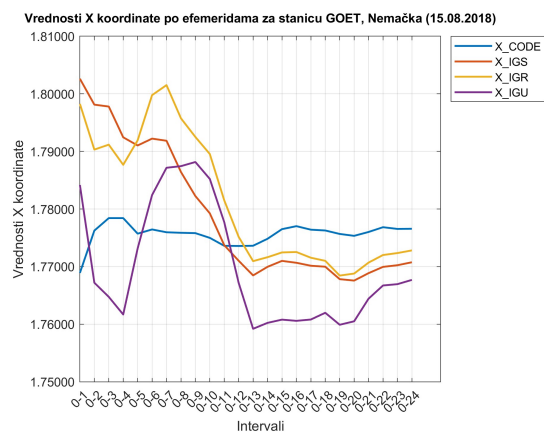
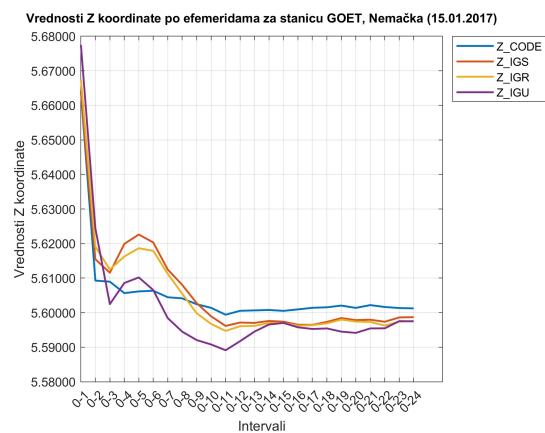
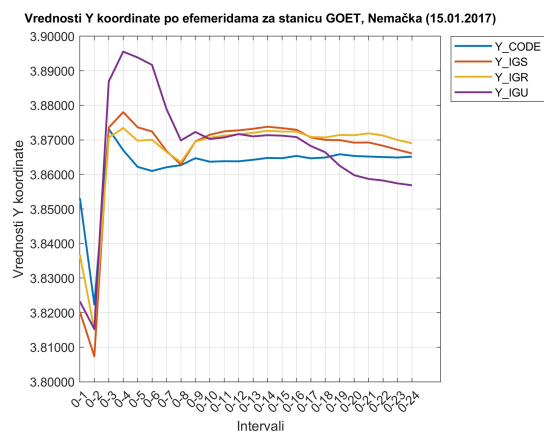
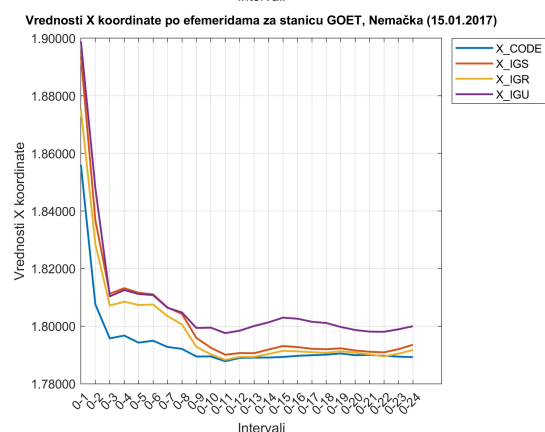
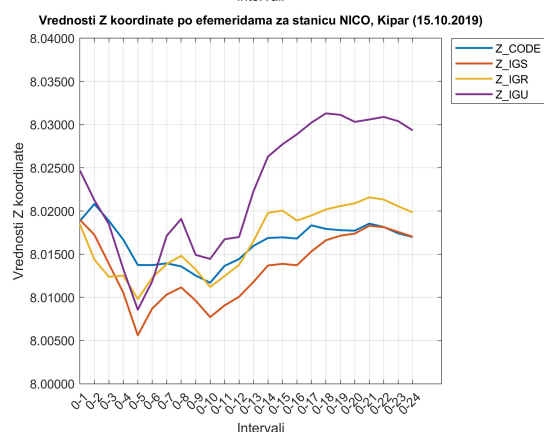
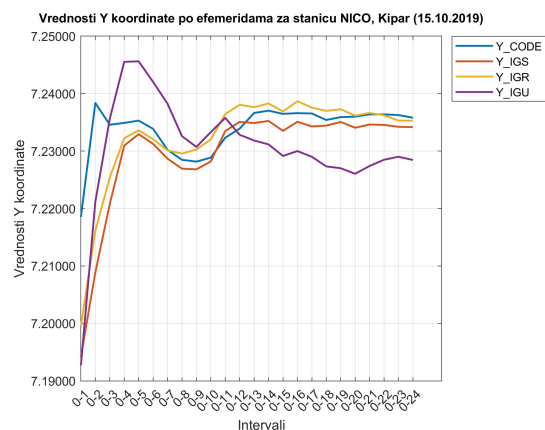
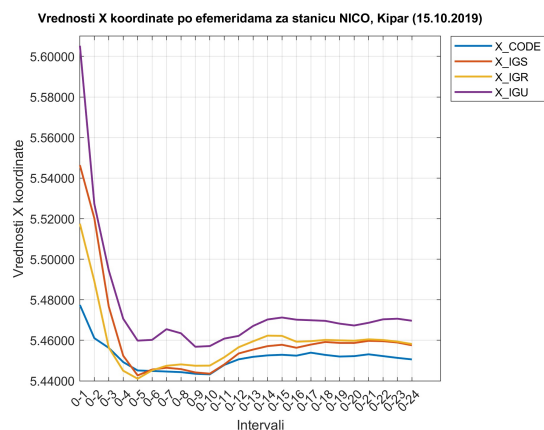




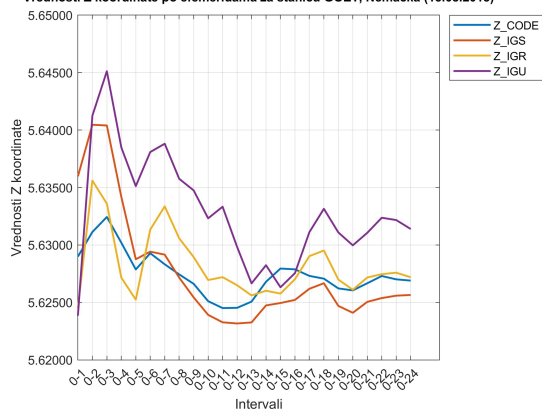


Prilog 24: Dijagrami promena koordinata GNSS stanica po svim efemeridama po datumima posmatranja

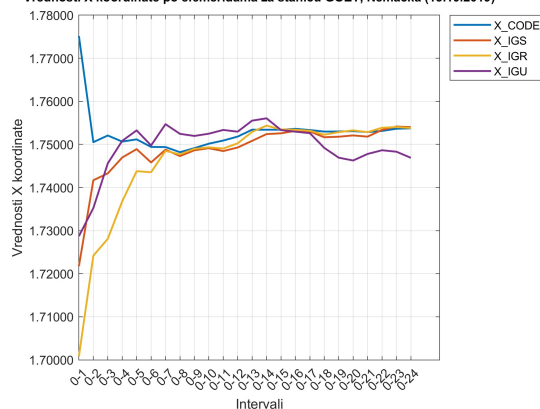




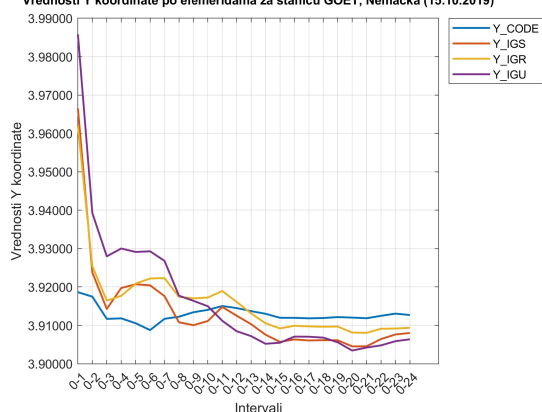
Vrednosti Z koordinate po efemeridama za stanicu GOET, Nemačka (15.08.2018)



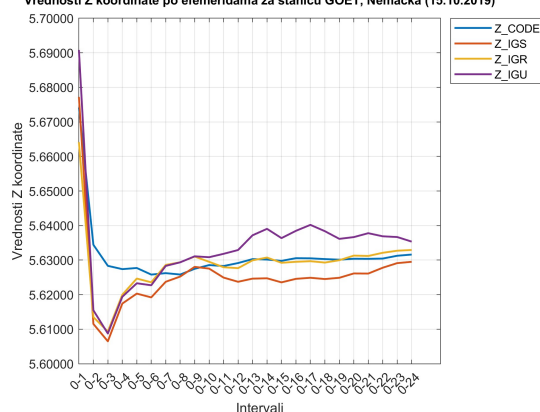
Vrednosti X koordinate po efemeridama za stanicu GOET, Nemačka (15.10.2019)



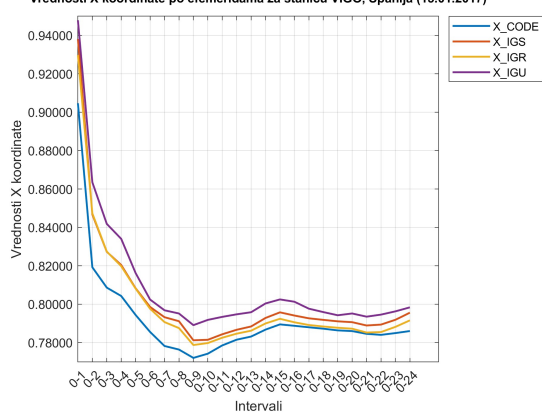
Vrednosti Y koordinate po efemeridama za stanicu GOET, Nemačka (15.10.2019)



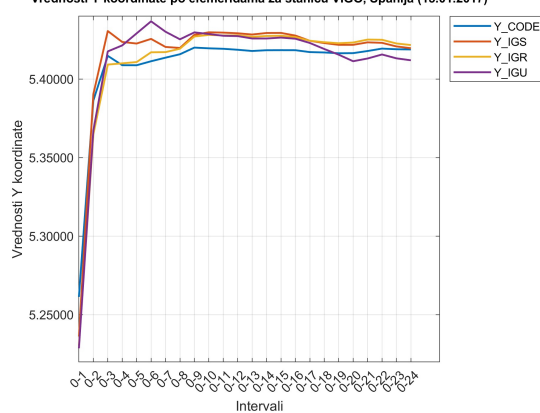
Vrednosti Z koordinate po efemeridama za stanicu GOET, Nemačka (15.10.2019)



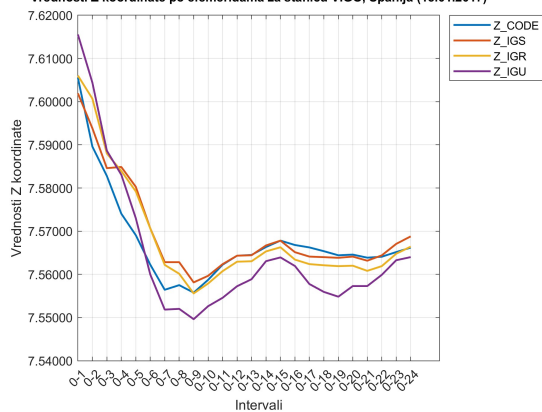
Vrednosti X koordinate po efemeridama za stanicu VIGO, Španija (15.01.2017)



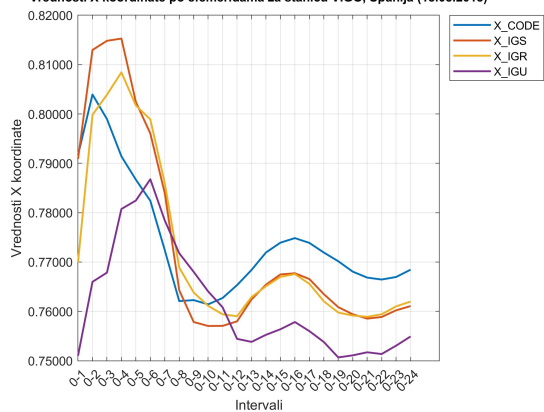
Vrednosti Y koordinate po efemeridama za stanicu VIGO, Španija (15.01.2017)

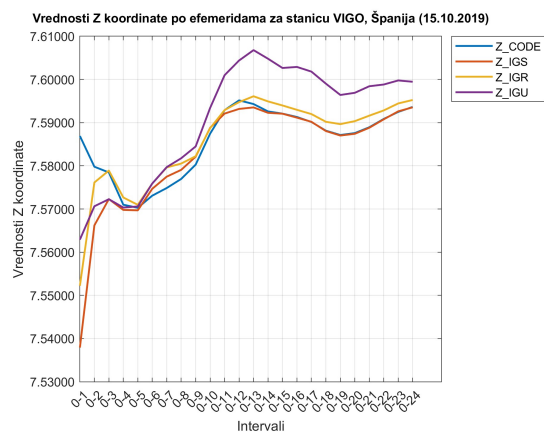
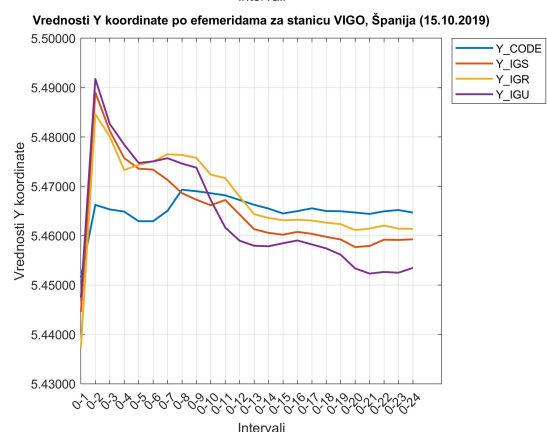
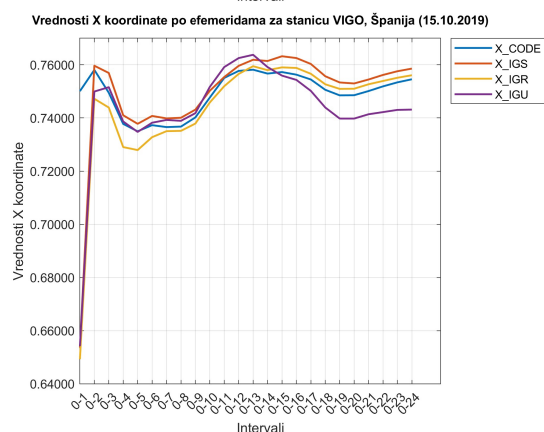
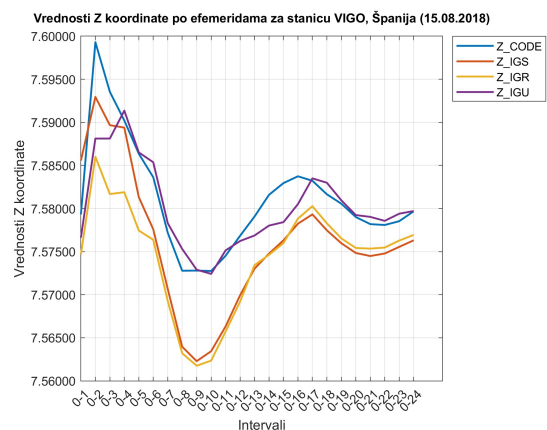
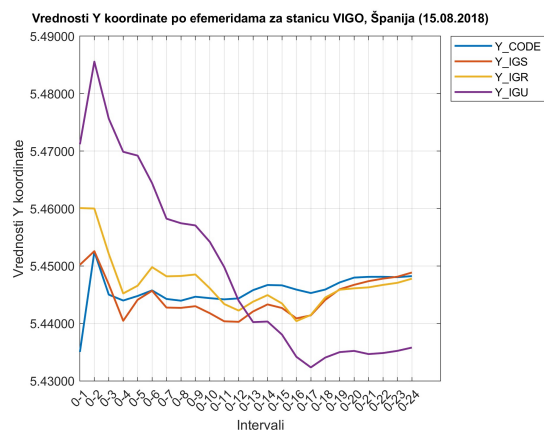


Vrednosti Z koordinate po efemeridama za stanicu VIGO, Španija (15.01.2017)

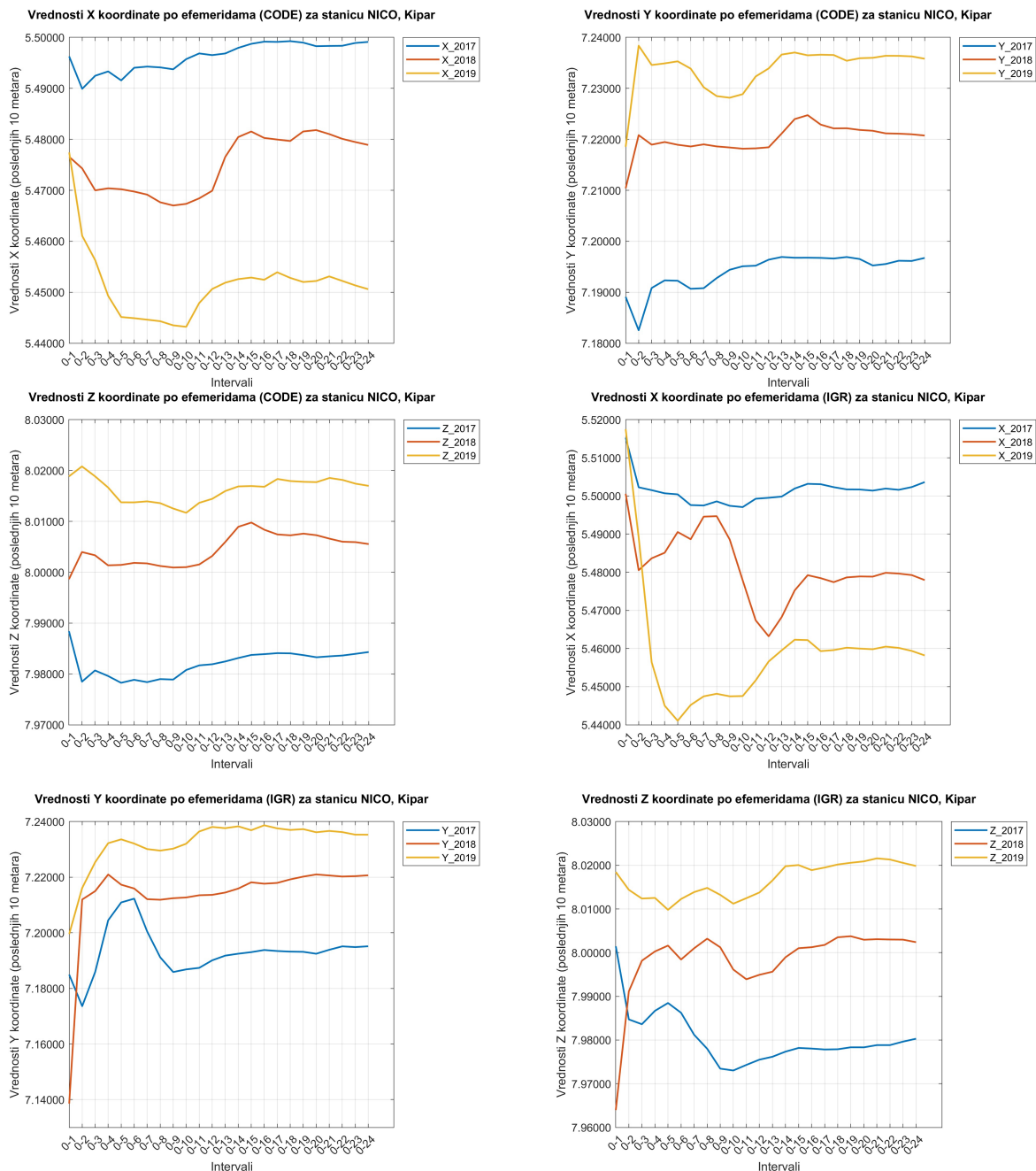


Vrednosti X koordinate po efemeridama za stanicu VIGO, Španija (15.08.2018)

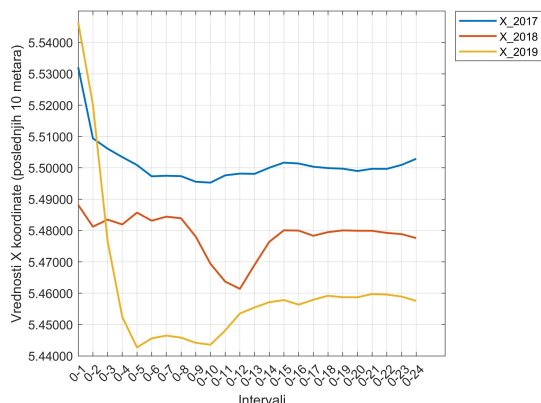




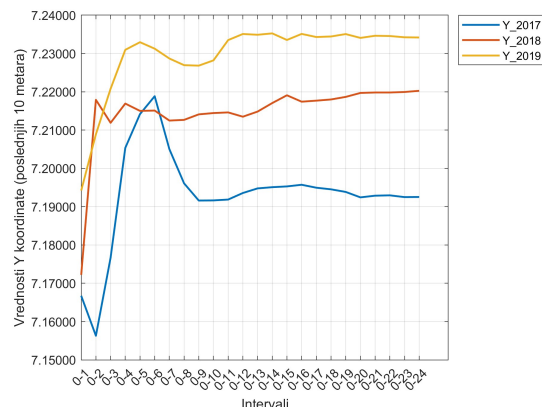
Prilog 25: Dijagrami ponašanja pojedinačne efemeride kroz više godina za svaku koordinatu



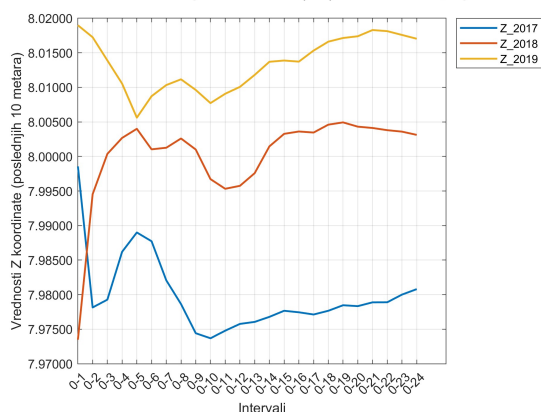
Vrednosti X koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu NICO, Kipar



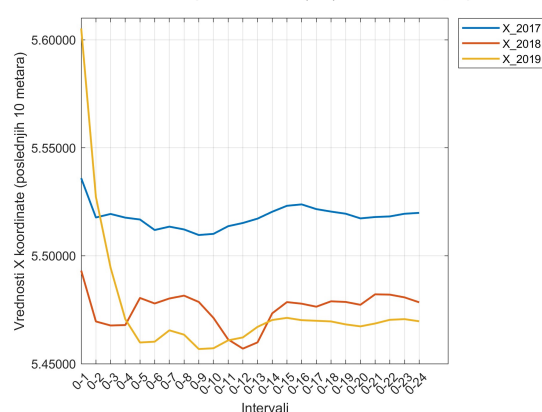
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu NICO, Kipar



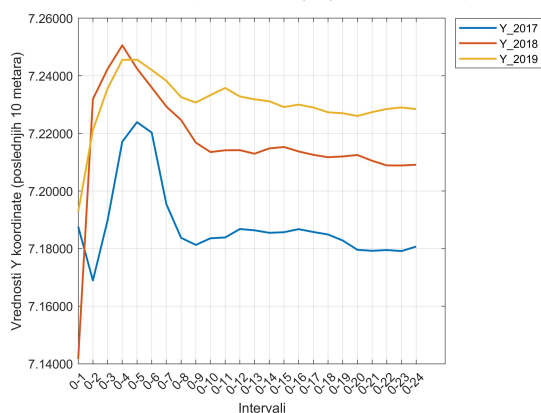
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu NICO, Kipar



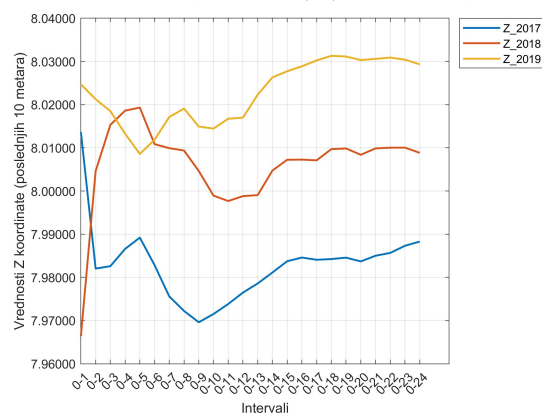
Vrednosti X koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu NICO, Kipar



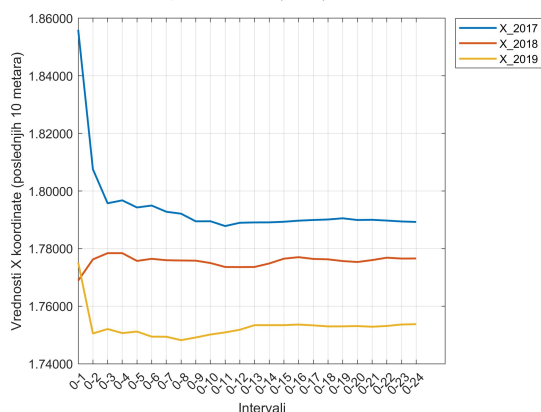
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu NICO, Kipar



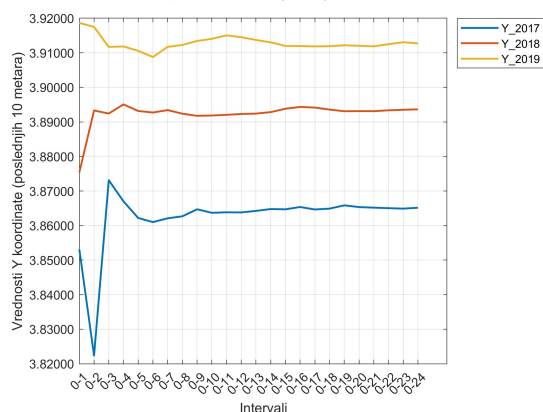
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu NICO, Kipar



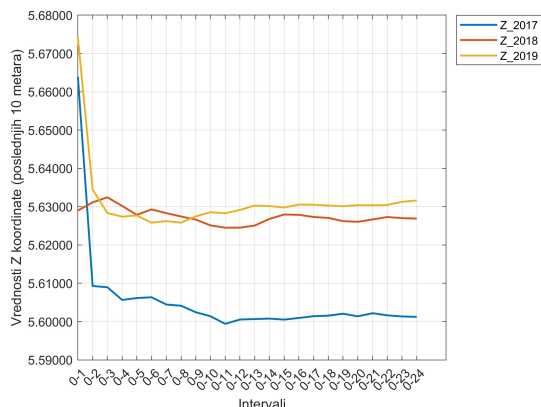
Vrednosti X koordinate po efemeridama (CODE) za stanicu GOET, Nemačka



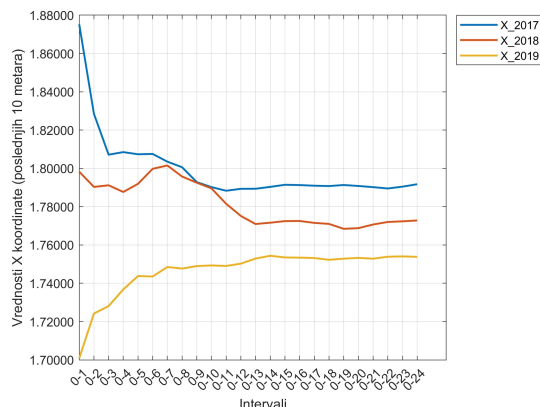
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (CODE) za stanicu GOET, Nemačka



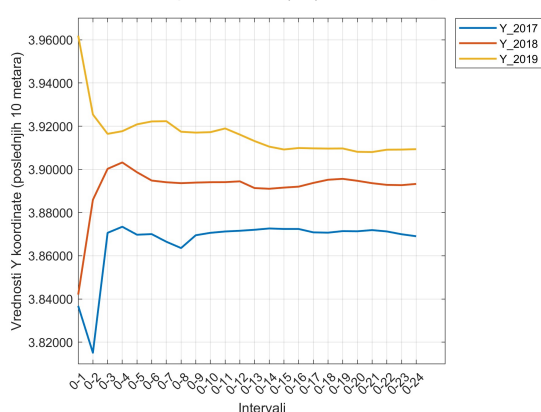
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (CODE) za stanicu GOET, Nemačka



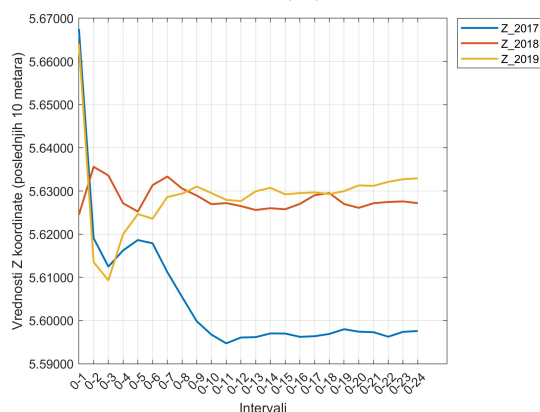
Vrednosti X koordinate po efemeridama (IGR) za stanicu GOET, Nemačka



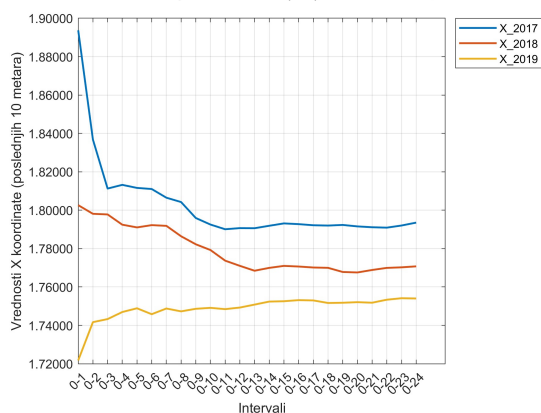
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (IGR) za stanicu GOET, Nemačka



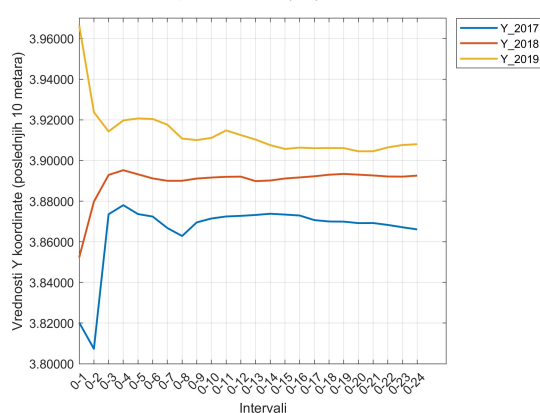
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (IGR) za stanicu GOET, Nemačka



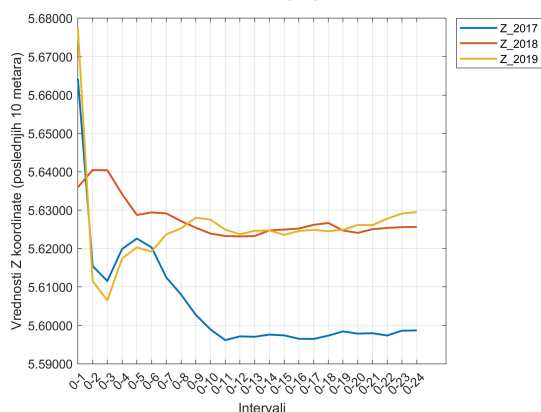
Vrednosti X koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu GOET, Nemačka



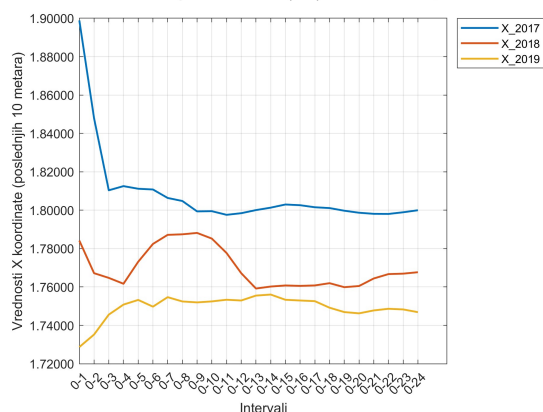
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu GOET, Nemačka



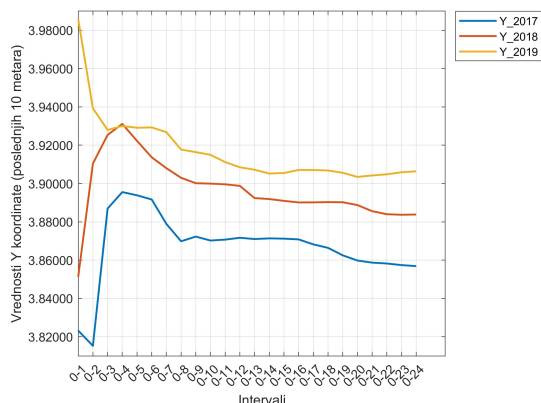
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu GOET, Nemačka



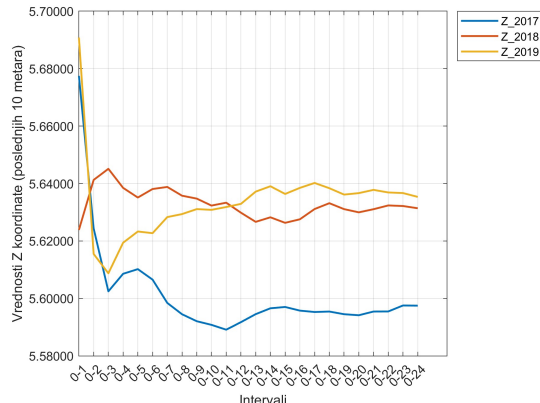
Vrednosti X koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu GOET, Nemačka



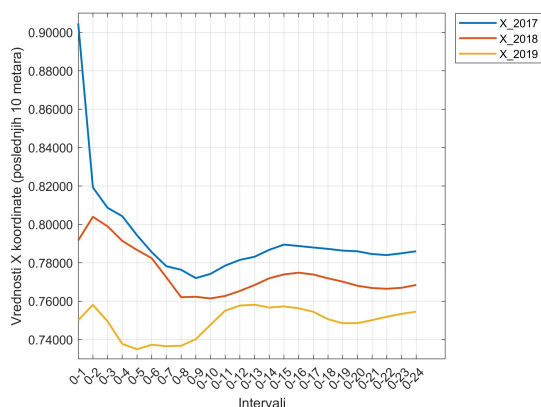
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu GOET, Nemačka



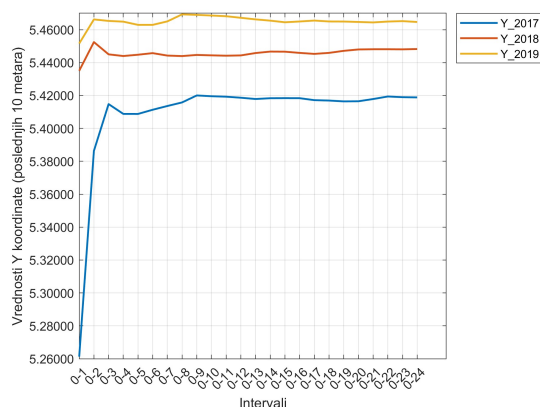
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu GOET, Nemačka



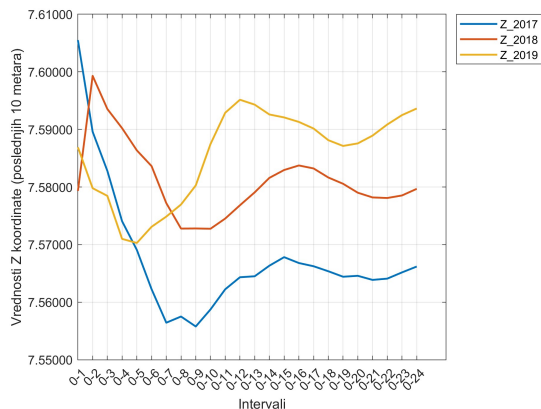
Vrednosti X koordinate po efemeridama (CODE) za stanicu VIGO, Španija



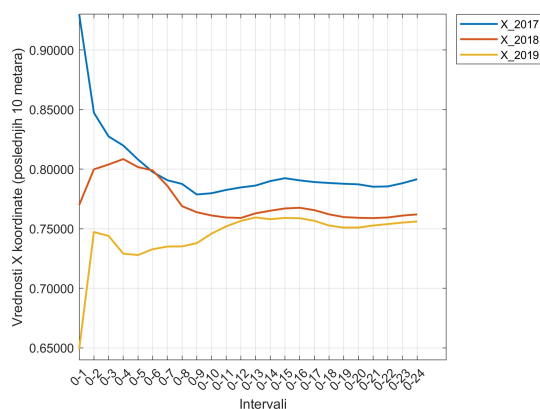
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (CODE) za stanicu VIGO, Španija



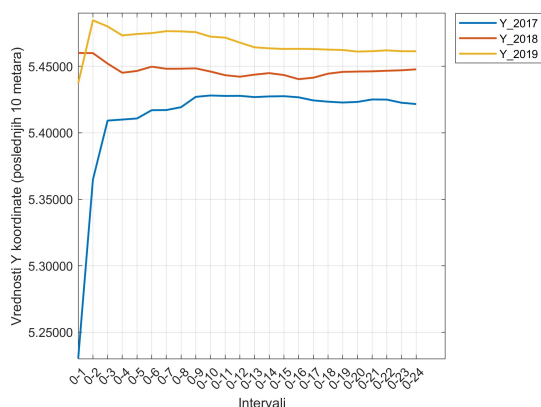
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (CODE) za stanicu VIGO, Španija



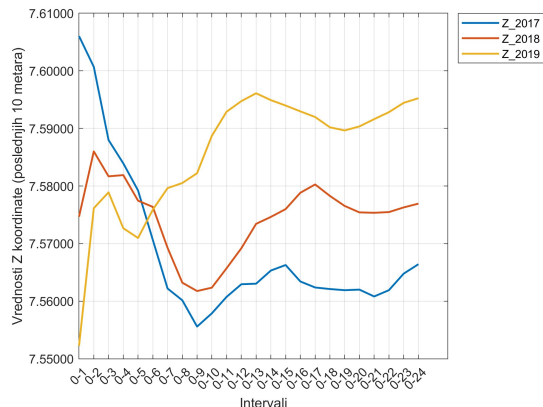
Vrednosti X koordinate po efemeridama (IGR) za stanicu VIGO, Španija



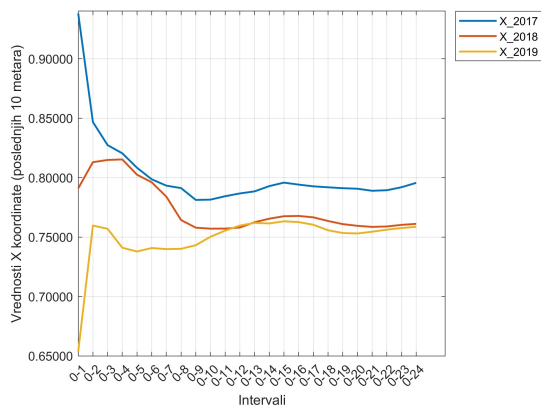
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (IGR) za stanicu VIGO, Španija



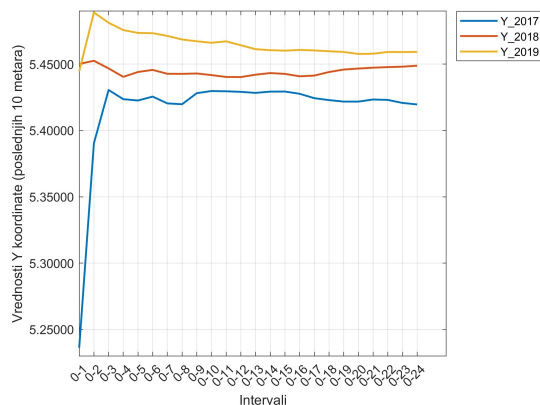
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (IGR) za stanicu VIGO, Španija



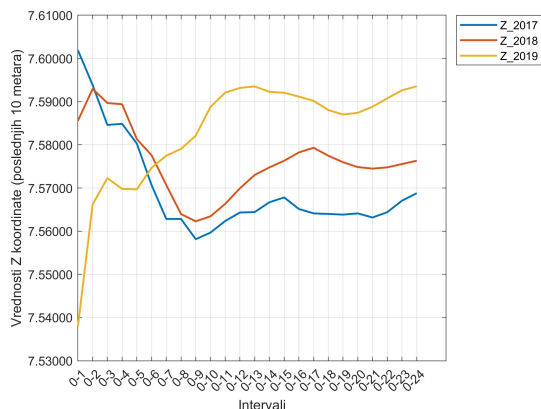
Vrednosti X koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu VIGO, Španija



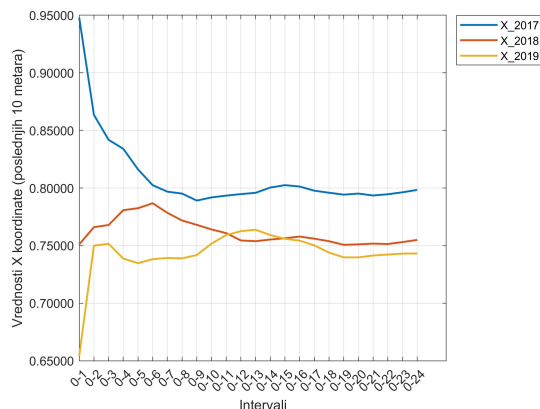
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu VIGO, Španija



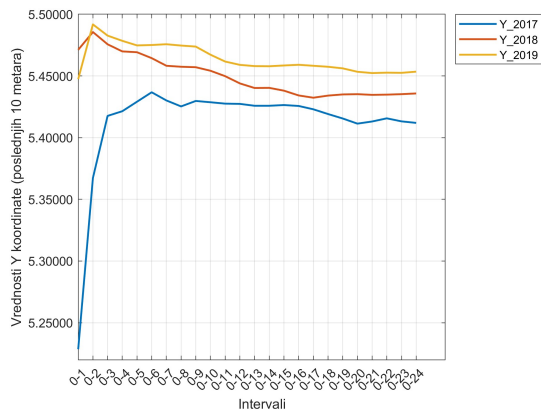
Vrednosti Z koordinate po efemeridama (IGS) za stanicu VIGO, Španija



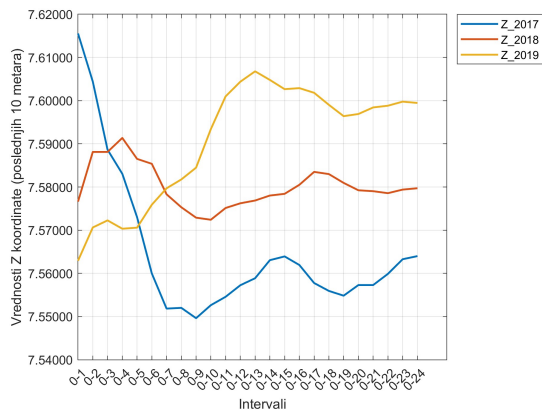
Vrednosti X koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu VIGO, Španija



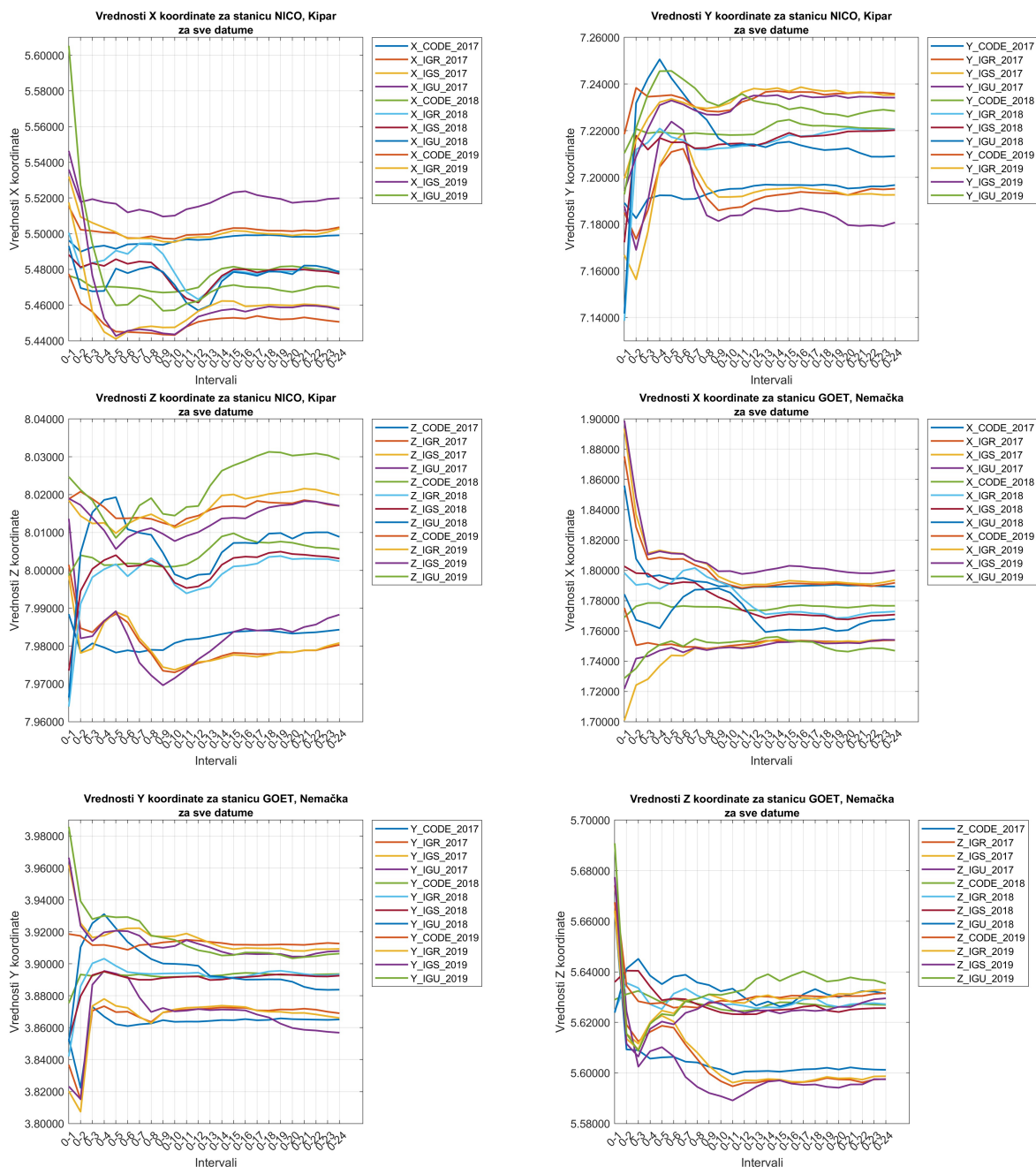
Vrednosti Y koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu VIGO, Španija

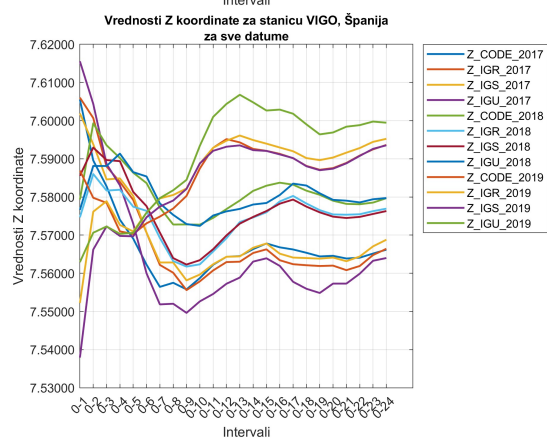
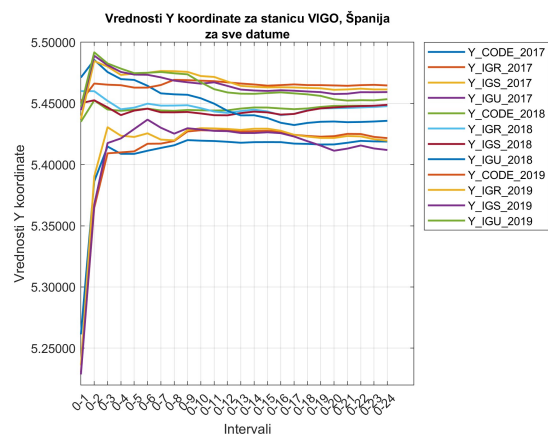
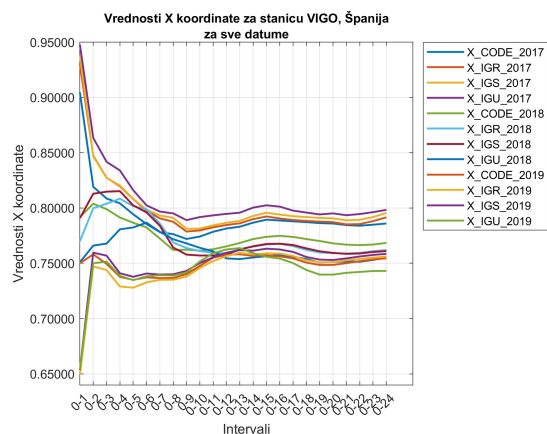


Vrednosti Z koordinate po efemeridama (IGU) za stanicu VIGO, Španija



Prilog 26: Dijagrami koordinata GNSS stanica kroz sve efemeride i sve godine





Prilog 27: Statistička analiza odstupanja koordinata GNSS stanica po vremenskim segmentima

Tabela 37: Razlika X koordinata – NICO, CODE, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00285	-0.00920	0.00635	0.00262
4-8	-0.00484	-0.00755	0.00271	0.00129
8-12	-0.00226	-0.00537	0.00311	0.00139
12-16	0.00005	-0.00227	0.00232	0.00102
16-20	0.00015	-0.00084	0.00099	0.00044
20-24	0.00000	-0.00079	0.00079	0.00040

Tabela 38: Razlika Y koordinata – NICO, CODE, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00440	-0.01419	0.00979	0.00431
4-8	-0.00395	-0.00605	0.00210	0.00105
8-12	-0.00034	-0.00232	0.00198	0.00082
12-16	0.00019	0.00001	0.00018	0.00008
16-20	0.00018	-0.00148	0.00166	0.00074
20-24	0.00000	-0.00119	0.00119	0.00049

Tabela 39: Razlika Z koordinata – NICO, CODE, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00410	-0.00583	0.00993	0.00450
4-8	-0.00532	-0.00605	0.00073	0.00035
8-12	-0.00240	-0.00541	0.00301	0.00137
12-16	-0.00041	-0.00185	0.00144	0.00065
16-20	-0.00022	-0.00103	0.00081	0.00038
20-24	0.00000	-0.00084	0.00084	0.00037

Tabela 40: Razlika X koordinata – NICO, CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00233	-0.00891	0.00658	0.00317
4-8	-0.00869	-0.01125	0.00256	0.00111
8-12	-0.00899	-0.01188	0.00289	0.00130
12-16	0.00263	-0.00237	0.00500	0.00218
16-20	0.00291	0.00077	0.00214	0.00109
20-24	0.00213	0.00000	0.00213	0.00091

Tabela 41: Razlika Y koordinata – NICO, CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00008	-0.01035	0.01043	0.00474
4-8	-0.00173	-0.00214	0.00041	0.00021
8-12	-0.00230	-0.00258	0.00028	0.00013
12-16	0.00400	0.00040	0.00360	0.00156
16-20	0.00143	0.00094	0.00049	0.00024
20-24	0.00043	0.00000	0.00043	0.00019

Tabela 42: Razlika Z koordinata – NICO, CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02115	0.00332	0.01783	0.00832
4-8	0.00818	-0.00229	0.01047	0.00475
8-12	-0.00479	-0.00727	0.00248	0.00109
12-16	-0.00211	-0.00412	0.00201	0.00092
16-20	-0.00196	-0.00246	0.00050	0.00027
20-24	0.00000	-0.00146	0.00146	0.00071

Tabela 43: Razlika X koordinata – NICO, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02683	-0.00132	0.02815	0.01197
4-8	-0.00546	-0.00628	0.00082	0.00036
8-12	0.00004	-0.00738	0.00742	0.00359
12-16	0.00228	0.00127	0.00101	0.00042
16-20	0.00332	0.00141	0.00191	0.00086
20-24	0.00251	0.00000	0.00251	0.00109

Tabela 44: Razlika Y koordinata – NICO, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00256	-0.01727	0.01983	0.00887
4-8	-0.00051	-0.00733	0.00682	0.00316
8-12	-0.00190	-0.00765	0.00575	0.00275
12-16	0.00122	0.00067	0.00055	0.00024
16-20	0.00073	-0.00040	0.00113	0.00046
20-24	0.00058	0.00000	0.00058	0.00027

Tabela 45: Razlika Z koordinata – NICO, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01776	-0.00265	0.02041	0.00938
4-8	0.00820	-0.00216	0.01036	0.00486
8-12	-0.00503	-0.00711	0.00208	0.00087
12-16	-0.00313	-0.00474	0.00161	0.00073
16-20	-0.00233	-0.00367	0.00134	0.00062
20-24	0.00000	-0.00191	0.00191	0.00093

Tabela 46: Razlika X koordinata – NICO, IGR, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01166	-0.00293	0.01459	0.00693
4-8	-0.00321	-0.00613	0.00292	0.00135
8-12	-0.00411	-0.00655	0.00244	0.00125
12-16	-0.00045	-0.00379	0.00334	0.00155
16-20	-0.00132	-0.00223	0.00091	0.00038
20-24	0.00000	-0.00202	0.00202	0.00089

Tabela 47: Razlika Y koordinata – NICO, IGR, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00936	-0.02155	0.03091	0.01280
4-8	0.01713	-0.00395	0.02108	0.00987
8-12	-0.00505	-0.00926	0.00421	0.00181
12-16	-0.00134	-0.00336	0.00202	0.00086
16-20	-0.00170	-0.00268	0.00098	0.00042
20-24	0.00000	-0.00126	0.00126	0.00059

Tabela 48: Razlika Z koordinata – NICO, IGR, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00044	-0.02963	0.02919	0.01330
4-8	0.00088	-0.00209	0.00297	0.00137
8-12	-0.00212	-0.00780	0.00568	0.00260
12-16	0.00049	-0.00554	0.00603	0.00277
16-20	0.00181	0.00034	0.00147	0.00063
20-24	0.00100	0.00000	0.00100	0.00042

Tabela 49: Razlika X koordinata – NICO, IGR, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02261	0.00259	0.02002	0.00893
4-8	0.01675	0.01071	0.00604	0.00301
8-12	0.01065	-0.01474	0.02539	0.01137
12-16	0.00128	-0.00970	0.01098	0.00500
16-20	0.00095	-0.00055	0.00150	0.00071
20-24	0.00191	0.00000	0.00191	0.00086

Tabela 50: Razlika Y koordinata – NICO, IGR, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00029	-0.08210	0.08239	0.03888
4-8	-0.00338	-0.00879	0.00541	0.00273
8-12	-0.00703	-0.00824	0.00121	0.00059
12-16	-0.00253	-0.00621	0.00368	0.00169
16-20	0.00031	-0.00274	0.00305	0.00132
20-24	0.00000	-0.00044	0.00044	0.00021

Tabela 51: Razlika Z koordinata – NICO, IGR, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00976	-0.04244	0.05220	0.02398
4-8	0.01047	0.00053	0.00994	0.00467
8-12	-0.00421	-0.01116	0.00695	0.00313
12-16	-0.00157	-0.00979	0.00822	0.00387
16-20	0.00101	-0.00174	0.00275	0.00128
20-24	0.00120	0.00000	0.00120	0.00057

Tabela 52: Razlika X koordinata – NICO, IGR, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.05932	-0.01317	0.07249	0.03285
4-8	-0.01005	-0.01712	0.00707	0.00319
8-12	-0.00158	-0.01072	0.00914	0.00433
12-16	0.00412	0.00113	0.00299	0.00164
16-20	0.00203	0.00140	0.00063	0.00027
20-24	0.00231	0.00000	0.00231	0.00103

Tabela 53: Razlika Y koordinata – NICO, IGR, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00306	-0.03575	0.03269	0.01416
4-8	-0.00168	-0.00573	0.00405	0.00186
8-12	0.00278	-0.00503	0.00781	0.00366
12-16	0.00338	0.00160	0.00178	0.00078
16-20	0.00227	0.00087	0.00140	0.00060
20-24	0.00135	0.00000	0.00135	0.00068

Tabela 54: Razlika Z koordinata – NICO, IGR, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00382	-0.00031	0.00413	0.00169
4-8	-0.00305	-0.00340	0.00035	0.00014
8-12	-0.00255	-0.00530	0.00275	0.00121
12-16	-0.00004	-0.00102	0.00098	0.00046
16-20	0.00135	0.00073	0.00062	0.00028
20-24	0.00155	0.00000	0.00155	0.00070

Tabela 55: Razlika X koordinata – NICO, IGS, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02920	0.00055	0.02865	0.01311
4-8	-0.00199	-0.00559	0.00360	0.00176
8-12	-0.00473	-0.00760	0.00287	0.00144
12-16	-0.00122	-0.00480	0.00358	0.00164
16-20	-0.00253	-0.00390	0.00137	0.00057
20-24	0.00000	-0.00321	0.00321	0.00151

Tabela 56: Razlika Y koordinata – NICO, IGS, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01282	-0.03623	0.04905	0.02110
4-8	0.02631	0.00356	0.02275	0.01009
8-12	0.00104	-0.00093	0.00197	0.00094
12-16	0.00319	0.00224	0.00095	0.00040
16-20	0.00242	-0.00010	0.00252	0.00110
20-24	0.00043	-0.00003	0.00046	0.00023

Tabela 57: Razlika Z koordinata – NICO, IGS, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02532	-0.00626	0.03158	0.01507
4-8	0.00092	-0.01605	0.01697	0.00759
8-12	-0.01181	-0.01868	0.00687	0.00297
12-16	-0.00370	-0.00970	0.00600	0.00272
16-20	-0.00372	-0.00459	0.00087	0.00036
20-24	0.00000	-0.00328	0.00328	0.00150

Tabela 58: Razlika X koordinata – NICO, IGS, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01058	0.00364	0.00694	0.00312
4-8	0.00813	0.00555	0.00258	0.00108
8-12	0.00046	-0.01619	0.01665	0.00741
12-16	0.00248	-0.00855	0.01103	0.00518
16-20	0.00245	0.00074	0.00171	0.00078
20-24	0.00233	0.00000	0.00233	0.00098

Tabela 59: Razlika Y koordinata – NICO, Tabela 60: Razlika Z koordinata – NICO,
IGS, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00235	-0.04805	0.04570	0.02184	0-4	-0.00157	-0.00691	0.00534	0.00240
4-8	-0.00516	-0.00777	0.00261	0.00143	4-8	-0.00370	-0.00431	0.00061	0.00028
8-12	-0.00564	-0.00676	0.00112	0.00049	8-12	-0.00233	-0.00461	0.00228	0.00106
12-16	-0.00117	-0.00543	0.00426	0.00175	12-16	0.00423	0.00042	0.00381	0.00164
16-20	-0.00056	-0.00257	0.00201	0.00089	16-20	0.00205	0.00172	0.00033	0.00015
20-24	0.00000	-0.00044	0.00044	0.00021	20-24	0.00106	0.00000	0.00106	0.00044

Tabela 61: Razlika X koordinata – NICO, Tabela 62: Razlika Y koordinata – NICO,
IGS, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.08883	-0.00514	0.09397	0.04228	0-4	-0.00322	-0.03997	0.03675	0.01582
4-8	-0.01108	-0.01485	0.00377	0.00167	4-8	-0.00123	-0.00723	0.00600	0.00266
8-12	-0.00403	-0.01399	0.00996	0.00459	8-12	0.00091	-0.00735	0.00826	0.00401
12-16	0.00026	-0.00211	0.00237	0.00102	12-16	0.00107	-0.00065	0.00172	0.00079
16-20	0.00163	0.00036	0.00127	0.00053	16-20	0.00089	-0.00011	0.00100	0.00043
20-24	0.00218	0.00000	0.00218	0.00099	20-24	0.00045	0.00000	0.00045	0.00023

Tabela 63: Razlika Z koordinata – NICO, Tabela 64: Razlika X koordinata – NICO,
IGU, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00212	-0.03842	0.03630	0.01674	0-4	0.01605	-0.00221	0.01826	0.00887
4-8	0.00080	-0.00397	0.00477	0.00198	4-8	-0.00308	-0.00794	0.00486	0.00223
8-12	-0.00117	-0.00849	0.00732	0.00325	8-12	-0.00469	-0.01026	0.00557	0.00271
12-16	-0.00115	-0.00676	0.00561	0.00260	12-16	0.00392	-0.00267	0.00659	0.00301
16-20	0.00136	-0.00063	0.00199	0.00089	16-20	0.00174	-0.00256	0.00430	0.00182
20-24	0.00068	0.00000	0.00068	0.00031	20-24	0.00000	-0.00193	0.00193	0.00094

Tabela 65: Razlika Y koordinata – NICO, Tabela 66: Razlika Z koordinata – NICO,
IGU, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.03641	-0.01176	0.04817	0.01984	0-4	-0.00138	-0.00746	0.00608	0.00283
4-8	0.04320	0.00303	0.04017	0.01943	4-8	-0.00502	-0.01003	0.00501	0.00219
8-12	0.00608	0.00057	0.00551	0.00226	8-12	-0.00607	-0.00863	0.00256	0.00111
12-16	0.00604	0.00477	0.00127	0.00059	12-16	0.00021	-0.00332	0.00353	0.00161
16-20	0.00506	-0.00113	0.00619	0.00275	16-20	0.00105	-0.00036	0.00141	0.00061
20-24	0.00000	-0.00157	0.00157	0.00073	20-24	0.00174	0.00000	0.00174	0.00079

Tabela 67: Razlika X koordinata – NICO, Tabela 68: Razlika Y koordinata – NICO,
IGU, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01467	-0.01073	0.02540	0.01238	0-4	0.04147	-0.06743	0.10890	0.05055
4-8	0.00309	-0.00054	0.00363	0.00153	4-8	0.03339	0.01554	0.01785	0.00779
8-12	0.00017	-0.02145	0.02162	0.00976	8-12	0.00770	0.00440	0.00330	0.00147
12-16	0.00010	-0.01855	0.01865	0.00865	12-16	0.00617	0.00383	0.00234	0.00105
16-20	0.00046	-0.00203	0.00249	0.00116	16-20	0.00344	0.00261	0.00083	0.00040
20-24	0.00370	0.00000	0.00370	0.00171	20-24	0.00139	-0.00026	0.00165	0.00079

Tabela 69: Razlika Z koordinata – NICO, Tabela 70: Razlika X koordinata – NICO,
IGU, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00195	-0.00649	0.00844	0.00374	0-4	0.13560	0.00098	0.13462	0.05869
4-8	-0.00587	-0.01142	0.00555	0.00245	4-8	-0.00418	-0.00981	0.00563	0.00270
8-12	-0.00696	-0.00931	0.00235	0.00102	8-12	-0.00747	-0.01284	0.00537	0.00267
12-16	-0.00315	-0.00523	0.00208	0.00099	12-16	0.00159	-0.00258	0.00417	0.00181
16-20	0.00036	-0.00171	0.00207	0.00092	16-20	0.00024	-0.00235	0.00259	0.00121
20-24	0.00126	0.00000	0.00126	0.00057	20-24	0.00100	-0.00102	0.00202	0.00090

Tabela 71: Razlika Y koordinata – NICO, Tabela 72: Razlika Z koordinata – NICO,
IGU, 2019 IGU, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01708	-0.03573	0.05281	0.02298	0-4	-0.00464	-0.01606	0.01142	0.00482
4-8	0.01717	0.00415	0.01302	0.00557	4-8	-0.01025	-0.02076	0.01051	0.00482
8-12	0.00733	0.00227	0.00506	0.00208	8-12	-0.01234	-0.01488	0.00254	0.00127
12-16	0.00339	0.00070	0.00269	0.00120	12-16	-0.00045	-0.00702	0.00657	0.00286
16-20	0.00056	-0.00240	0.00296	0.00123	16-20	0.00197	0.00090	0.00107	0.00055
20-24	0.00056	-0.00105	0.00161	0.00068	20-24	0.00156	0.00000	0.00156	0.00068

Tabela 73: Razlika X koordinata – GOET, Tabela 74: Razlika Y koordinata – GOET,
CODE, 2017 CODE, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.06669	0.00649	0.06020	0.02847	0-4	0.00798	-0.04280	0.05078	0.02264
4-8	0.00569	0.00286	0.00283	0.00131	4-8	-0.00247	-0.00415	0.00168	0.00071
8-12	0.00024	-0.00143	0.00167	0.00078	8-12	-0.00044	-0.00146	0.00102	0.00047
12-16	0.00044	-0.00017	0.00061	0.00028	12-16	0.00022	-0.00091	0.00113	0.00046
16-20	0.00126	0.00067	0.00059	0.00028	16-20	0.00070	-0.00049	0.00119	0.00052
20-24	0.00074	0.00000	0.00074	0.00033	20-24	0.00003	-0.00025	0.00028	0.00013

Tabela 75: Razlika Z koordinata – GOET, Tabela 76: Razlika X koordinata – GOET,
CODE, 2017 CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.06261	0.00442	0.05819	0.02799	0-4	0.00185	-0.00767	0.00952	0.00452
4-8	0.00511	0.00290	0.00221	0.00114	4-8	-0.00012	-0.00085	0.00073	0.00032
8-12	0.00120	-0.00183	0.00303	0.00129	8-12	-0.00076	-0.00299	0.00223	0.00109
12-16	-0.00029	-0.00072	0.00043	0.00018	12-16	0.00045	-0.00295	0.00340	0.00156
16-20	0.00081	0.00014	0.00067	0.00031	16-20	-0.00016	-0.00123	0.00107	0.00050
20-24	0.00095	0.00000	0.00095	0.00043	20-24	0.00027	-0.00056	0.00083	0.00035

Tabela 77: Razlika Y koordinata – GOET, CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00143	-0.01824	0.01967	0.00917
4-8	-0.00022	-0.00127	0.00105	0.00047
8-12	-0.00135	-0.00189	0.00054	0.00024
12-16	0.00069	-0.00124	0.00193	0.00088
16-20	0.00050	-0.00056	0.00106	0.00049
20-24	0.00000	-0.00054	0.00054	0.00023

Tabela 78: Razlika Z koordinata – GOET, CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00554	0.00209	0.00345	0.00146
4-8	0.00238	0.00054	0.00184	0.00079
8-12	-0.00028	-0.00239	0.00211	0.00099
12-16	0.00105	-0.00183	0.00288	0.00134
16-20	0.00041	-0.00085	0.00126	0.00062
20-24	0.00040	-0.00023	0.00063	0.00026

Tabela 79: Razlika X koordinata – GOET, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02140	-0.00322	0.02462	0.01205
4-8	-0.00257	-0.00555	0.00298	0.00123
8-12	-0.00193	-0.00461	0.00268	0.00113
12-16	-0.00013	-0.00034	0.00021	0.00010
16-20	-0.00041	-0.00077	0.00036	0.00017
20-24	0.00000	-0.00088	0.00088	0.00042

Tabela 80: Razlika Y koordinata – GOET, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00595	-0.00101	0.00696	0.00367
4-8	-0.00044	-0.00393	0.00349	0.00154
8-12	0.00234	0.00072	0.00162	0.00069
12-16	0.00101	-0.00074	0.00175	0.00085
16-20	-0.00054	-0.00086	0.00032	0.00014
20-24	0.00036	-0.00084	0.00120	0.00050

Tabela 81: Razlika Z koordinata – GOET, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.04255	-0.00422	0.04677	0.02227
4-8	-0.00389	-0.00580	0.00191	0.00090
8-12	-0.00246	-0.00413	0.00167	0.00069
12-16	-0.00105	-0.00182	0.00077	0.00032
16-20	-0.00109	-0.00149	0.00040	0.00017
20-24	0.00000	-0.00124	0.00124	0.00061

Tabela 82: Razlika X koordinata – GOET, IGR, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.08353	0.01542	0.06811	0.03181
4-8	0.01580	0.00887	0.00693	0.00334
8-12	0.00109	-0.00341	0.00450	0.00193
12-16	-0.00029	-0.00237	0.00208	0.00096
16-20	-0.00042	-0.00096	0.00054	0.00025
20-24	0.00000	-0.00223	0.00223	0.00093

Tabela 83: Razlika Y koordinata – GOET, Tabela 84: Razlika Z koordinata – GOET,
IGR, 2017 IGR, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00440	-0.05396	0.05836	0.02807	0-4	0.06992	0.01491	0.05501	0.02593
4-8	0.00099	-0.00547	0.00646	0.00305	4-8	0.02106	0.00790	0.01316	0.00619
8-12	0.00254	0.00047	0.00207	0.00091	8-12	0.00225	-0.00286	0.00511	0.00216
12-16	0.00360	0.00300	0.00060	0.00025	12-16	-0.00056	-0.00142	0.00086	0.00047
16-20	0.00238	0.00166	0.00072	0.00036	16-20	0.00041	-0.00121	0.00162	0.00069
20-24	0.00285	0.00000	0.00285	0.00128	20-24	0.00000	-0.00132	0.00132	0.00059

Tabela 85: Razlika X koordinata – GOET, Tabela 86: Razlika Y koordinata – GOET,
IGR, 2018 IGR, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02544	0.01486	0.01058	0.00452	0-4	0.00994	-0.05125	0.06119	0.02825
4-8	0.02870	0.01912	0.00958	0.00428	4-8	0.00541	0.00035	0.00506	0.00231
8-12	0.01970	0.00235	0.01735	0.00787	8-12	0.00119	0.00062	0.00057	0.00024
12-16	-0.00028	-0.00186	0.00158	0.00075	12-16	-0.00126	-0.00224	0.00098	0.00041
16-20	-0.00127	-0.00437	0.00310	0.00156	16-20	0.00235	0.00046	0.00189	0.00081
20-24	0.00000	-0.00212	0.00212	0.00091	20-24	0.00034	-0.00057	0.00091	0.00042

Tabela 87: Razlika Z koordinata – GOET, Tabela 88: Razlika X koordinata – GOET,
IGR, 2018 IGR, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00841	-0.00269	0.01110	0.00524	0-4	-0.01702	-0.05299	0.03597	0.01537
4-8	0.00617	-0.00195	0.00812	0.00346	4-8	-0.00531	-0.01026	0.00495	0.00258
8-12	0.00176	-0.00069	0.00245	0.00107	8-12	-0.00356	-0.00483	0.00127	0.00059
12-16	-0.00017	-0.00158	0.00141	0.00063	12-16	0.00055	-0.00089	0.00144	0.00060
16-20	0.00233	-0.00109	0.00342	0.00163	16-20	-0.00054	-0.00155	0.00101	0.00046
20-24	0.00040	-0.00002	0.00042	0.00021	20-24	0.00023	-0.00096	0.00119	0.00054

Tabela 89: Razlika Y koordinata – GOET, Tabela 90: Razlika Z koordinata – GOET,
IGR, 2019 IGR, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.05252	0.00709	0.04543	0.02139	0-4	0.03122	-0.02359	0.05481	0.02532
4-8	0.01295	0.00807	0.00488	0.00228	4-8	-0.00355	-0.00935	0.00580	0.00287
8-12	0.00959	0.00674	0.00285	0.00119	8-12	-0.00190	-0.00526	0.00336	0.00156
12-16	0.00375	-0.00015	0.00390	0.00170	12-16	-0.00219	-0.00370	0.00151	0.00066
16-20	0.00037	-0.00123	0.00160	0.00078	16-20	-0.00163	-0.00364	0.00201	0.00087
20-24	0.00000	-0.00133	0.00133	0.00060	20-24	0.00000	-0.00173	0.00173	0.00078

Tabela 91: Razlika X koordinata – GOET, Tabela 92: Razlika Y koordinata – GOET,
IGS, 2017 IGS, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.10018	0.01774	0.08244	0.03844	0-4	0.01193	-0.05874	0.07067	0.03622
4-8	0.01808	0.01072	0.00736	0.00356	4-8	0.00755	-0.00325	0.01080	0.00504
8-12	0.00241	-0.00345	0.00586	0.00264	8-12	0.00667	0.00347	0.00320	0.00144
12-16	-0.00041	-0.00292	0.00251	0.00111	12-16	0.00771	0.00684	0.00087	0.00037
16-20	-0.00121	-0.00197	0.00076	0.00033	16-20	0.00459	0.00310	0.00149	0.00061
20-24	0.00000	-0.00262	0.00262	0.00119	20-24	0.00315	0.00000	0.00315	0.00137

Tabela 93: Razlika Z koordinata – GOET, Tabela 94: Razlika X koordinata – GOET,
IGS, 2017 IGS, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.06552	0.01286	0.05266	0.02453	0-4	0.03187	0.02170	0.01017	0.00416
4-8	0.02392	0.00935	0.01457	0.00678	4-8	0.02147	0.01568	0.00579	0.00268
8-12	0.00406	-0.00254	0.00660	0.00291	8-12	0.01150	0.00026	0.01124	0.00511
12-16	-0.00110	-0.00219	0.00109	0.00048	12-16	0.00024	-0.00228	0.00252	0.00112
16-20	-0.00027	-0.00223	0.00196	0.00083	16-20	-0.00060	-0.00318	0.00258	0.00137
20-24	0.00000	-0.00133	0.00133	0.00062	20-24	0.00000	-0.00189	0.00189	0.00080

Tabela 95: Razlika Y koordinata – GOET, IGS, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00267	-0.04022	0.04289	0.01969	0-4	0.01481	0.00854	0.00627	0.00317
4-8	0.00064	-0.00255	0.00319	0.00150	4-8	0.00377	0.00151	0.00226	0.00101
8-12	-0.00050	-0.00144	0.00094	0.00043	8-12	-0.00021	-0.00248	0.00227	0.00105
12-16	-0.00089	-0.00272	0.00183	0.00085	12-16	-0.00043	-0.00239	0.00196	0.00088
16-20	0.00083	-0.00033	0.00116	0.00049	16-20	0.00102	-0.00155	0.00257	0.00121
20-24	0.00008	-0.00050	0.00058	0.00029	20-24	0.00000	-0.00060	0.00060	0.00027

Tabela 97: Razlika X koordinata – GOET, IGS, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00705	-0.03226	0.02521	0.01133	0-4	0.05847	0.00626	0.05221	0.02393
4-8	-0.00510	-0.00819	0.00309	0.00145	4-8	0.01269	0.00279	0.00990	0.00460
8-12	-0.00472	-0.00555	0.00083	0.00039	8-12	0.00679	0.00203	0.00476	0.00205
12-16	-0.00086	-0.00318	0.00232	0.00099	12-16	0.00229	-0.00232	0.00461	0.00204
16-20	-0.00101	-0.00234	0.00133	0.00060	16-20	-0.00187	-0.00349	0.00162	0.00079
20-24	0.00014	-0.00220	0.00234	0.00107	20-24	0.00000	-0.00347	0.00347	0.00156

Tabela 99: Razlika Z koordinata – GOET, IGS, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.04771	-0.02301	0.07072	0.03300	0-4	0.09889	0.01039	0.08850	0.04138
4-8	-0.00427	-0.01030	0.00603	0.00283	4-8	0.01119	0.00481	0.00638	0.00319
8-12	-0.00146	-0.00578	0.00432	0.00207	8-12	-0.00049	-0.00239	0.00190	0.00089
12-16	-0.00477	-0.00595	0.00118	0.00055	12-16	0.00299	0.00008	0.00291	0.00132
16-20	-0.00337	-0.00499	0.00162	0.00071	16-20	0.00155	-0.00130	0.00285	0.00131
20-24	0.00000	-0.00340	0.00340	0.00154	20-24	0.00000	-0.00193	0.00193	0.00090

Tabela 101: Razlika Y koordinata – GOET, Tabela 102: Razlika Z koordinata – GOET,
IGU, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.03867	-0.04162	0.08029	0.04184	0-4	0.07998	0.00498	0.07500	0.03410
4-8	0.03698	0.01298	0.02400	0.01127	4-8	0.01271	-0.00299	0.01570	0.00722
8-12	0.01542	0.01337	0.00205	0.00093	8-12	-0.00542	-0.00837	0.00295	0.00132
12-16	0.01449	0.01396	0.00053	0.00023	12-16	-0.00046	-0.00296	0.00250	0.00110
16-20	0.01136	0.00293	0.00843	0.00380	16-20	-0.00205	-0.00334	0.00129	0.00062
20-24	0.00183	0.00000	0.00183	0.00082	20-24	0.00006	-0.00205	0.00211	0.00119

Tabela 103: Razlika X koordinata – GOET, Tabela 104: Razlika Y koordinata – GOET,
IGU, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01648	-0.00601	0.02249	0.01007	0-4	0.04731	-0.03255	0.07986	0.03658
4-8	0.01975	0.00546	0.01429	0.00667	4-8	0.03846	0.01917	0.01929	0.00827
8-12	0.02047	-0.00052	0.02099	0.00936	8-12	0.01635	0.01495	0.00140	0.00062
12-16	-0.00690	-0.00849	0.00159	0.00071	12-16	0.00858	0.00631	0.00227	0.00101
16-20	-0.00571	-0.00779	0.00208	0.00087	16-20	0.00646	0.00493	0.00153	0.00074
20-24	0.00000	-0.00326	0.00326	0.00141	20-24	0.00175	-0.00013	0.00188	0.00088

Tabela 105: Razlika Z koordinata – GOET, Tabela 106: Razlika X koordinata – GOET,
IGU, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01373	-0.00754	0.02127	0.00929	0-4	0.00394	-0.01817	0.02211	0.00998
4-8	0.00742	0.00373	0.00369	0.00178	4-8	0.00781	0.00287	0.00494	0.00208
8-12	0.00336	-0.00155	0.00491	0.00207	8-12	0.00647	0.00508	0.00139	0.00060
12-16	-0.00315	-0.00507	0.00192	0.00087	12-16	0.00917	0.00607	0.00310	0.00155
16-20	0.00176	-0.00142	0.00318	0.00132	16-20	0.00573	-0.00062	0.00635	0.00287
20-24	0.00098	-0.00033	0.00131	0.00062	20-24	0.00176	0.00000	0.00176	0.00077

Tabela 107: Razlika Y koordinata – GOET, Tabela 108: Razlika Z koordinata – GOET, IGU, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.07943	0.02160	0.05783	0.02714	0-4	0.05546	-0.02660	0.08206	0.03839
4-8	0.02292	0.01136	0.01156	0.00545	4-8	-0.00599	-0.01263	0.00664	0.00340
8-12	0.01002	0.00210	0.00792	0.00360	8-12	-0.00243	-0.00451	0.00208	0.00093
12-16	0.00082	-0.00117	0.00199	0.00104	12-16	0.00370	0.00102	0.00268	0.00122
16-20	0.00067	-0.00293	0.00360	0.00165	16-20	0.00485	0.00080	0.00405	0.00183
20-24	0.00000	-0.00216	0.00216	0.00099	20-24	0.00244	0.00000	0.00244	0.00101

Tabela 109: Razlika X koordinata – VIGO, Tabela 110: Razlika Y koordinata – VIGO, CODE, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.11866	0.01825	0.10041	0.04740	0-4	-0.00407	-0.15755	0.15348	0.07205
4-8	0.00835	-0.00964	0.01799	0.00818	4-8	-0.00306	-0.01006	0.00700	0.00301
8-12	-0.00450	-0.01399	0.00949	0.00426	8-12	0.00118	-0.00020	0.00138	0.00058
12-16	0.00347	-0.00287	0.00634	0.00284	12-16	-0.00045	-0.00098	0.00053	0.00025
16-20	0.00196	-0.00002	0.00198	0.00089	16-20	-0.00168	-0.00243	0.00075	0.00036
20-24	0.00000	-0.00199	0.00199	0.00084	20-24	0.00054	-0.00100	0.00154	0.00065

Tabela 111: Razlika Z koordinata – VIGO, Tabela 112: Razlika X koordinata – VIGO, CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.03931	0.00786	0.03145	0.01330	0-4	0.03549	0.02297	0.01252	0.00607
4-8	0.00289	-0.00975	0.01264	0.00576	4-8	0.01824	-0.00636	0.02460	0.01098
8-12	-0.00186	-0.01041	0.00855	0.00378	8-12	-0.00312	-0.00702	0.00390	0.00168
12-16	0.00163	-0.00169	0.00332	0.00139	12-16	0.00640	-0.00005	0.00645	0.00286
16-20	0.00005	-0.00177	0.00182	0.00084	16-20	0.00543	-0.00039	0.00582	0.00248
20-24	0.00000	-0.00232	0.00232	0.00107	20-24	0.00000	-0.00199	0.00199	0.00087

Tabela 113: Razlika Y koordinata – VIGO, CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00423	-0.01320	0.01743	0.00714
4-8	-0.00249	-0.00428	0.00179	0.00079
8-12	-0.00359	-0.00405	0.00046	0.00019
12-16	-0.00155	-0.00244	0.00089	0.00047
16-20	-0.00026	-0.00295	0.00269	0.00121
20-24	0.00000	-0.00019	0.00019	0.00008

Tabela 114: Razlika Z koordinata – VIGO, CODE, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01962	-0.00036	0.01998	0.00840
4-8	0.00668	-0.00690	0.01358	0.00615
8-12	-0.00285	-0.00693	0.00408	0.00192
12-16	0.00406	-0.00061	0.00467	0.00205
16-20	0.00354	-0.00067	0.00421	0.00178
20-24	0.00000	-0.00159	0.00159	0.00073

Tabela 115: Razlika X koordinata – VIGO, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00353	-0.01681	0.02034	0.00838
4-8	-0.01727	-0.01958	0.00231	0.00099
8-12	0.00315	-0.01435	0.01750	0.00788
12-16	0.00360	0.00173	0.00187	0.00081
16-20	-0.00008	-0.00605	0.00597	0.00280
20-24	0.00000	-0.00443	0.00443	0.00192

Tabela 116: Razlika Y koordinata – VIGO, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00156	-0.01309	0.01465	0.00697
4-8	0.00462	-0.00175	0.00637	0.00300
8-12	0.00433	0.00254	0.00179	0.00077
12-16	0.00158	-0.00018	0.00176	0.00075
16-20	0.00086	0.00001	0.00085	0.00036
20-24	0.00052	-0.00027	0.00079	0.00034

Tabela 117: Razlika Z koordinata – VIGO, CODE, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.00673	-0.02264	0.01591	0.00652
4-8	-0.01667	-0.02335	0.00668	0.00283
8-12	0.00152	-0.01336	0.01488	0.00662
12-16	0.00067	-0.00233	0.00300	0.00127
16-20	-0.00348	-0.00650	0.00302	0.00133
20-24	0.00000	-0.00471	0.00471	0.00205

Tabela 118: Razlika X koordinata – VIGO, IGR, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.13822	0.02823	0.10999	0.05049
4-8	0.01654	-0.00400	0.02054	0.00910
8-12	-0.00691	-0.01283	0.00592	0.00269
12-16	0.00083	-0.00537	0.00620	0.00260
16-20	-0.00241	-0.00433	0.00192	0.00083
20-24	0.00000	-0.00633	0.00633	0.00295

Tabela 119: Razlika Y koordinata – VIGO, Tabela 120: Razlika Z koordinata – VIGO,
IGR, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.01166	-0.19140	0.17974	0.08488	0-4	0.03961	0.01751	0.02210	0.01041
4-8	-0.00235	-0.01084	0.00849	0.00366	4-8	0.01280	-0.00627	0.01907	0.00872
8-12	0.00644	0.00542	0.00102	0.00044	8-12	-0.00348	-0.01083	0.00735	0.00322
12-16	0.00592	0.00507	0.00085	0.00040	12-16	-0.00014	-0.00338	0.00324	0.00154
16-20	0.00273	0.00115	0.00158	0.00066	16-20	-0.00404	-0.00451	0.00047	0.00020
20-24	0.00346	0.00000	0.00346	0.00173	20-24	0.00000	-0.00560	0.00560	0.00257

Tabela 121: Razlika X koordinata – VIGO, Tabela 122: Razlika Y koordinata – VIGO,
IGR, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.04643	0.00796	0.03847	0.01740	0-4	0.01229	-0.00257	0.01486	0.00715
4-8	0.03972	0.00688	0.03284	0.01498	4-8	0.00201	-0.00122	0.00323	0.00132
8-12	0.00183	-0.00298	0.00481	0.00219	8-12	0.00073	-0.00555	0.00628	0.00282
12-16	0.00557	0.00090	0.00467	0.00211	12-16	-0.00286	-0.00739	0.00453	0.00194
16-20	0.00359	-0.00284	0.00643	0.00291	16-20	-0.00168	-0.00631	0.00463	0.00213
20-24	0.00000	-0.00309	0.00309	0.00143	20-24	0.00000	-0.00151	0.00151	0.00064

Tabela 123: Razlika Z koordinata – VIGO, Tabela 124: Razlika X koordinata – VIGO,
IGR, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00907	-0.00227	0.01134	0.00470	0-4	-0.00886	-0.10684	0.09798	0.04609
4-8	0.00051	-0.01373	0.01424	0.00665	4-8	-0.02093	-0.02815	0.00722	0.00338
8-12	-0.00775	-0.01518	0.00743	0.00343	8-12	0.00049	-0.01818	0.01867	0.00808
12-16	0.00189	-0.00351	0.00540	0.00232	12-16	0.00339	0.00191	0.00148	0.00062
16-20	0.00333	-0.00152	0.00485	0.00212	16-20	0.00054	-0.00514	0.00568	0.00267
20-24	0.00000	-0.00159	0.00159	0.00074	20-24	0.00000	-0.00340	0.00340	0.00148

Tabela 125: Razlika Y koordinata – VIGO, IGR, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02325	-0.02411	0.04736	0.02154
4-8	0.01510	0.01296	0.00214	0.00103
8-12	0.01438	0.00651	0.00787	0.00323
12-16	0.00295	0.00173	0.00122	0.00055
16-20	0.00168	-0.00026	0.00194	0.00083
20-24	0.00067	0.00000	0.00067	0.00032

Tabela 126: Razlika Z koordinata – VIGO, IGR, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.01634	-0.04301	0.02667	0.01211
4-8	-0.01472	-0.02427	0.00955	0.00435
8-12	-0.00050	-0.01302	0.01252	0.00555
12-16	0.00086	-0.00228	0.00314	0.00134
16-20	-0.00326	-0.00559	0.00233	0.00100
20-24	0.00000	-0.00363	0.00363	0.00163

Tabela 127: Razlika X koordinata – VIGO, IGS, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.14253	0.02485	0.11768	0.05446
4-8	0.01271	-0.00443	0.01714	0.00765
8-12	-0.00890	-0.01437	0.00547	0.00259
12-16	0.00018	-0.00718	0.00736	0.00315
16-20	-0.00293	-0.00494	0.00201	0.00088
20-24	0.00000	-0.00667	0.00667	0.00305

Tabela 128: Razlika Y koordinata – VIGO, IGS, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01092	-0.18352	0.19444	0.09107
4-8	0.00592	0.00016	0.00576	0.00260
8-12	0.01012	0.00851	0.00161	0.00072
12-16	0.00973	0.00804	0.00169	0.00081
16-20	0.00472	0.00214	0.00258	0.00122
20-24	0.00373	0.00000	0.00373	0.00180

Tabela 129: Razlika Z koordinata – VIGO, IGS, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.03311	0.01580	0.01731	0.00827
4-8	0.01148	-0.00597	0.01745	0.00829
8-12	-0.00447	-0.01065	0.00618	0.00276
12-16	-0.00099	-0.00437	0.00338	0.00152
16-20	-0.00468	-0.00496	0.00028	0.00013
20-24	0.00000	-0.00563	0.00563	0.00255

Tabela 130: Razlika X koordinata – VIGO, IGS, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.05419	0.02982	0.02437	0.01177
4-8	0.04136	0.00321	0.03815	0.01678
8-12	-0.00309	-0.00403	0.00094	0.00050
12-16	0.00665	0.00135	0.00530	0.00245
16-20	0.00548	-0.00166	0.00714	0.00314
20-24	0.00000	-0.00254	0.00254	0.00118

Tabela 131: Razlika Y koordinata – VIGO, IGS, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00372	-0.00840	0.01212	0.00527
4-8	-0.00318	-0.00615	0.00297	0.00140
8-12	-0.00586	-0.00858	0.00272	0.00129
12-16	-0.00555	-0.00798	0.00243	0.00104
16-20	-0.00214	-0.00745	0.00531	0.00236
20-24	0.00000	-0.00150	0.00150	0.00063

Tabela 132: Razlika Z koordinata – VIGO, IGS, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01664	0.00926	0.00738	0.00302
4-8	0.00501	-0.01234	0.01735	0.00767
8-12	-0.00638	-0.01402	0.00764	0.00341
12-16	0.00193	-0.00329	0.00522	0.00222
16-20	0.00301	-0.00147	0.00448	0.00194
20-24	0.00000	-0.00182	0.00182	0.00082

Tabela 133: Razlika X koordinata – VIGO, IGS, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00108	-0.10498	0.10606	0.05015
4-8	-0.01781	-0.02077	0.00296	0.00127
8-12	0.00104	-0.01544	0.01648	0.00710
12-16	0.00465	0.00286	0.00179	0.00078
16-20	0.00175	-0.00559	0.00734	0.00337
20-24	0.00000	-0.00410	0.00410	0.00178

Tabela 134: Razlika Y koordinata – VIGO, IGS, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02973	-0.01473	0.04446	0.01950
4-8	0.01431	0.00935	0.00496	0.00231
8-12	0.00801	0.00501	0.00300	0.00140
12-16	0.00205	0.00093	0.00112	0.00047
16-20	0.00111	-0.00158	0.00269	0.00115
20-24	0.00000	-0.00135	0.00135	0.00064

Tabela 135: Razlika Z koordinata – VIGO, IGS, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	-0.02124	-0.05562	0.03438	0.01595
4-8	-0.01448	-0.02385	0.00937	0.00411
8-12	-0.00037	-0.01143	0.01106	0.00498
12-16	-0.00002	-0.00239	0.00237	0.00098
16-20	-0.00335	-0.00653	0.00318	0.00142
20-24	0.00000	-0.00473	0.00473	0.00209

Tabela 136: Razlika X koordinata – VIGO, IGU, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.14956	0.03568	0.11388	0.05224
4-8	0.01784	-0.00320	0.02104	0.00955
8-12	-0.00363	-0.00927	0.00564	0.00242
12-16	0.00413	-0.00254	0.00667	0.00291
16-20	-0.00069	-0.00412	0.00343	0.00145
20-24	0.00000	-0.00485	0.00485	0.00212

Tabela 137: Razlika Y koordinata – VIGO, Tabela 138: Razlika Z koordinata – VIGO,
IGU, 2017

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.00947	-0.18335	0.19282	0.09019	0-4	0.05154	0.01906	0.03248	0.01483
4-8	0.02482	0.01336	0.01146	0.00477	4-8	0.00902	-0.01215	0.02117	0.00995
8-12	0.01778	0.01541	0.00237	0.00110	8-12	-0.00674	-0.01437	0.00763	0.00322
12-16	0.01447	0.01373	0.00074	0.00033	12-16	-0.00007	-0.00512	0.00505	0.00220
16-20	0.01103	-0.00059	0.01162	0.00497	16-20	-0.00623	-0.00916	0.00293	0.00133
20-24	0.00370	0.00000	0.00370	0.00156	20-24	0.00000	-0.00670	0.00670	0.00311

Tabela 139: Razlika X koordinata – VIGO, Tabela 140: Razlika Y koordinata – VIGO,
IGU, 2018

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.02583	-0.00389	0.02972	0.01217	0-4	0.04977	0.03407	0.01570	0.00711
4-8	0.03185	0.01686	0.01499	0.00637	4-8	0.03341	0.02164	0.01177	0.00555
8-12	0.01309	-0.00048	0.01357	0.00574	8-12	0.02126	0.00814	0.01312	0.00571
12-16	0.00293	-0.00109	0.00402	0.00170	12-16	0.00453	-0.00161	0.00614	0.00287
16-20	0.00109	-0.00424	0.00533	0.00249	16-20	-0.00058	-0.00345	0.00287	0.00131
20-24	0.00000	-0.00355	0.00355	0.00161	20-24	0.00000	-0.00113	0.00113	0.00050

Tabela 141: Razlika Z koordinata – VIGO, Tabela 142: Razlika X koordinata – VIGO,
IGU, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.01165	-0.00309	0.01474	0.00647	0-4	0.00843	-0.08902	0.09745	0.04666
4-8	0.00680	-0.00440	0.01120	0.00543	4-8	-0.00389	-0.00840	0.00451	0.00207
8-12	-0.00348	-0.00729	0.00381	0.00181	8-12	0.01938	-0.00135	0.02073	0.00919
12-16	0.00080	-0.00284	0.00364	0.00152	12-16	0.02062	0.01117	0.00945	0.00417
16-20	0.00379	-0.00047	0.00426	0.00196	16-20	0.00704	-0.00338	0.01042	0.00492
20-24	0.00000	-0.00114	0.00114	0.00049	20-24	0.00000	-0.00175	0.00175	0.00082

Tabela 143: Razlika Y koordinata – VIGO, Tabela 144: Razlika Z koordinata – VIGO,
IGU, 2019

Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]	Interval [h]	$\Delta_{\max}$ [m]	$\Delta_{\min}$ [m]	Opseg [m]	σ [m]
0-4	0.03829	-0.00603	0.04432	0.01924	0-4	-0.02719	-0.03654	0.00935	0.00417
4-8	0.02222	0.02114	0.00108	0.00048	4-8	-0.01771	-0.02887	0.01116	0.00490
8-12	0.02031	0.00550	0.01481	0.00656	8-12	0.00492	-0.01498	0.01990	0.00884
12-16	0.00556	0.00438	0.00118	0.00054	12-16	0.00732	0.00319	0.00413	0.00192
16-20	0.00476	-0.00010	0.00486	0.00213	16-20	0.00235	-0.00306	0.00541	0.00246
20-24	0.00000	-0.00115	0.00115	0.00051	20-24	0.00030	-0.00104	0.00134	0.00061

Prilog 28: Objedinjeni statistički pregled efemerida kroz više vremenskih epoha

Tabela 145: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – NICO, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.01400	0.01200
4-8	0.00200	0.00100
8-12	0.00400	0.00400
12-16	0.00300	0.00200
16-20	0.00200	0.00100
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 146: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – NICO, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.01300	0.00900
4-8	0.00300	0.00300
8-12	0.00300	0.00300
12-16	0.00100	0.00200
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00100	0.00000

Tabela 147: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – NICO, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.01600	0.00900
4-8	0.00700	0.00500
8-12	0.00300	0.00100
12-16	0.00200	0.00100
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00100	0.00100

Tabela 148: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – NICO, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.03600	0.03300
4-8	0.00500	0.00300
8-12	0.01200	0.01100
12-16	0.00600	0.00500
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 149: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – NICO, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.04900	0.03900
4-8	0.01000	0.01000
8-12	0.00400	0.00400
12-16	0.00200	0.00200
16-20	0.00200	0.00100
20-24	0.00100	0.00100

Tabela 150: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – NICO, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.02900	0.02400
4-8	0.00400	0.00500
8-12	0.00500	0.00300
12-16	0.00500	0.00400
16-20	0.00200	0.00100
20-24	0.00100	0.00100

Tabela 151: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – NICO, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.04300	0.04200
4-8	0.00300	0.00200
8-12	0.01000	0.00700
12-16	0.00600	0.00500
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00300	0.00200

Tabela 152: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – NICO, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.04400	0.02200
4-8	0.01000	0.01000
8-12	0.00400	0.00400
12-16	0.00200	0.00200
16-20	0.00200	0.00100
20-24	0.00000	0.00000

Tabela 153: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – NICO, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.02400	0.01700
4-8	0.00700	0.00800
8-12	0.00500	0.00300
12-16	0.00500	0.00300
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00200	0.00200

Tabela 154: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – NICO, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.08200	0.05000
4-8	0.02000	0.01500
8-12	0.01000	0.00800
12-16	0.00400	0.00300
16-20	0.00500	0.00300
20-24	0.00400	0.00300

Tabela 155: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – NICO, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.07000	0.05100
4-8	0.02400	0.01900
8-12	0.00500	0.00200
12-16	0.00200	0.00100
16-20	0.00300	0.00300
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 156: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – NICO, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.00900	0.00500
4-8	0.00700	0.00500
8-12	0.00200	0.00100
12-16	0.00400	0.00300
16-20	0.00200	0.00100
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 157: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – GOET, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.03100	0.02800
4-8	0.00200	0.00100
8-12	0.00200	0.00100
12-16	0.00100	0.00200
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00100	0.00000

Tabela 158: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – GOET, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.02600	0.02300
4-8	0.00200	0.00200
8-12	0.00100	0.00100
12-16	0.00200	0.00100
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00100	0.00100

Tabela 159: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – GOET, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.03600	0.02800
4-8	0.00200	0.00100
8-12	0.00200	0.00100
12-16	0.00100	0.00100
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00100	0.00100

Tabela 160: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – GOET, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.03800	0.03200
4-8	0.00700	0.00400
8-12	0.00800	0.00800
12-16	0.00200	0.00100
16-20	0.00200	0.00200
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 161: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – GOET, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.05500	0.02800
4-8	0.00500	0.00300
8-12	0.00200	0.00100
12-16	0.00200	0.00200
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 162: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – GOET, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.04000	0.02600
4-8	0.00900	0.00600
8-12	0.00400	0.00200
12-16	0.00100	0.00100
16-20	0.00200	0.00200
20-24	0.00100	0.00100

Tabela 163: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – GOET, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.03900	0.03800
4-8	0.00500	0.00400
8-12	0.00600	0.00500
12-16	0.00200	0.00100
16-20	0.00200	0.00100
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 164: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – GOET, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.05500	0.03600
4-8	0.00800	0.00500
8-12	0.00300	0.00200
12-16	0.00200	0.00200
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00200	0.00200

Tabela 165: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – GOET, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.04300	0.03300
4-8	0.00800	0.00700
8-12	0.00400	0.00300
12-16	0.00100	0.00100
16-20	0.00200	0.00100
20-24	0.00200	0.00200

Tabela 166: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – GOET, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.04400	0.04100
4-8	0.00900	0.00700
8-12	0.00800	0.00900
12-16	0.00300	0.00200
16-20	0.00400	0.00300
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 167: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – GOET, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.07300	0.04200
4-8	0.01800	0.01100
8-12	0.00400	0.00400
12-16	0.00200	0.00100
16-20	0.00500	0.00400
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 168: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – GOET, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.05900	0.03800
4-8	0.00900	0.00700
8-12	0.00300	0.00200
12-16	0.00200	0.00100
16-20	0.00300	0.00200
20-24	0.00200	0.00100

Tabela 169: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – VIGO, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.04400	0.04700
4-8	0.01500	0.01100
8-12	0.01000	0.00800
12-16	0.00500	0.00300
16-20	0.00500	0.00300
20-24	0.00300	0.00200

Tabela 170: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – VIGO, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.06200	0.07200
4-8	0.00500	0.00300
8-12	0.00100	0.00100
12-16	0.00100	0.00100
16-20	0.00100	0.00100
20-24	0.00100	0.00100

Tabela 171: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – VIGO, CODE

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.02200	0.01300
4-8	0.01100	0.00600
8-12	0.00900	0.00700
12-16	0.00400	0.00200
16-20	0.00300	0.00200
20-24	0.00300	0.00200

Tabela 172: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – VIGO, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.08200	0.05000
4-8	0.02000	0.01500
8-12	0.01000	0.00800
12-16	0.00400	0.00300
16-20	0.00500	0.00300
20-24	0.00400	0.00300

Tabela 173: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – VIGO, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.08100	0.08500
4-8	0.00500	0.00400
8-12	0.00500	0.00300
12-16	0.00200	0.00200
16-20	0.00300	0.00200
20-24	0.00200	0.00200

Tabela 174: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – VIGO, IGR

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.02000	0.01200
4-8	0.01400	0.00900
8-12	0.00900	0.00600
12-16	0.00400	0.00200
16-20	0.00300	0.00200
20-24	0.00400	0.00300

Tabela 175: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – VIGO, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.08300	0.05400
4-8	0.01900	0.01700
8-12	0.00800	0.00700
12-16	0.00500	0.00300
16-20	0.00500	0.00300
20-24	0.00400	0.00300

Tabela 176: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – VIGO, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.08400	0.09100
4-8	0.00500	0.00300
8-12	0.00200	0.00100
12-16	0.00200	0.00100
16-20	0.00400	0.00200
20-24	0.00200	0.00200

Tabela 177: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – VIGO, IGS

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.02000	0.01600
4-8	0.01500	0.00800
8-12	0.00800	0.00500
12-16	0.00400	0.00200
16-20	0.00300	0.00200
20-24	0.00400	0.00300

Tabela 178: Objedinjeni pokazatelji za X koordinatu – VIGO, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.08000	0.05200
4-8	0.01400	0.01000
8-12	0.01300	0.00900
12-16	0.00700	0.00400
16-20	0.00600	0.00500
20-24	0.00300	0.00200

Tabela 179: Objedinjeni pokazatelji za Y koordinatu – VIGO, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.08400	0.09000
4-8	0.00800	0.00600
8-12	0.01000	0.00700
12-16	0.00300	0.00300
16-20	0.00600	0.00500
20-24	0.00200	0.00200

Tabela 180: Objedinjeni pokazatelji za Z koordinatu – VIGO, IGU

Interval [h]	Prosečan opseg [m]	Najveća σ [m]
0-4	0.01900	0.01500
4-8	0.01500	0.01000
8-12	0.01000	0.00900
12-16	0.00400	0.00200
16-20	0.00400	0.00200
20-24	0.00300	0.00300

Literatura

- Abdel-Salam, M. A.-T. (2005). *Precise Point Positioning Using Un-Differenced Code and Carrier Phase Observations*. PhD thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary. UCGE Reports Number 20229.
- AIUB (2007a). *RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10*. IGS/RTCM RINEX Working Group. Introduced SBAS Broadcast Data File. Available at https://epic.awi.de/51856/1/Gurtner_2007_rinex210.pdf.
- AIUB (2007b). *RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.11*. IGS/RTCM RINEX Working Group. Original release: 10 December 2007, minor clarifications: 26 June 2012. Available at <https://files.igs.org/pub/data/format/rinex211.txt>.
- Ashby, N. (2003). Relativity in the global positioning system. *Living Reviews in Relativity*, 6(1).
- Banville, S. and Langley, R. B. (2010). The impact of tropospheric delay modeling errors on ppp-ar. *GPS Solutions*, 14(4):377–388.
- Bartolomé, J., Maufroid, X., Hernández, I., et al. (2014). Overview of galileo system. In Nechayev, Y., Caizzzone, S., and Diessel, O., editors, *GALILEO Positioning Technology*, chapter 2, pages 9–28. Springer.
- Boehm, J., Werl, B., and Schuh, H. (2006). Troposphere mapping functions for gps and vlbi from ecmwf operational analysis data. *Journal of Geophysical Research*, 111:B02406.
- Bruyninx, C., Legrand, J., Fabian, A., and Pottiaux, E. (2019). GNSS metadata and data validation in the EUREF Permanent Network. *GPS Solutions*, 23(106).
- Cabanillas, D. C. (2021). Design of a galileo gnss system demonstrator based on an rf front-end architecture. Master's thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain. Máster Universitario en Teoría de la Señal y Comunicaciones.
- CDDIS (2024). Gns orbit products. <https://cddis.nasa.gov>. Accessed: 2024-08-01.

- Chen, K. and Gao, Y. (2005). An improved model for fast convergence in ppp applications. *GPS Solutions*, 9(3):181–190.
- China Satellite Navigation Office (2019). *BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document: Open Service Signal B1I (Version 3.0)*. Beijing, China. BDS-SIS-ICD-B1I-3.0.
- Choi, K. and Lee, S. (2018). Exploring the use of ppp in maritime navigation applications. *Journal of Navigation*, 71(2):404–417.
- Choy, S. and Kearsley, A. (2008). Evaluation of regional augmentation systems for precise point positioning. *GPS Solutions*, 12(3):169–177.
- Choy, S., Wang, C., and Zhang, K. (2013). Precise point positioning with real-time regional ionospheric modeling. *Journal of Geodesy*, 87(8):701–710.
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P., and Fridez, P. (2015). *User Manual of the Bernese GNSS Software, Version 5.2*. Bern, Switzerland, 5.2 edition. Dostupno na: <http://www.bernese.unibe.ch>.
- Davis, J. L., Herring, T. A., Shapiro, I. I., Rogers, A. E. E., and Elgered, G. (1985). Geodesy by radio interferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length. *Radio Science*, 20(6):1593–1607.
- El-Mowafy, A. (2012). Analysis of the real-time precise point positioning data availability with multiple gnss constellations. *Journal of Navigation*, 65(4):601–615.
- eoPortal (2024). Galileo foc (full operational capability). *eoPortal*. Accessed: 2024-05-09.
- European Space Agency (2023). Galileo on the ground reaches some of earth's loneliest places. Accessed: 2024-04-06.
- European Space Agency (2024). Carrier phase wind-up effect. Accessed: 2024-06-17.
- European Union (2023). *Galileo Open Service Signal-In-Space Interface Control Document (OS SIS ICD)*, issue 2.1 edition. Document subject to terms of use and disclaimers.
- Flores, A. and Nicholas, D. (2021). *NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Interfaces*. Space and Missile Systems Center – LAAFB, 200 N. Pacific Coast Highway, Suite 1800, El Segundo, CA 90245. Approved for public release; distribution is unlimited.

- Gao, Y. and Chen, K. (2004). Performance of precise point positioning with ambiguity resolution using simulated galileo and gps data. *Advances in Space Research*, 34(3):522–528.
- Gao, Y. and Shen, X. (2002). A new method for carrier-phase-based precise point positioning. *Navigation*, 49(2):109–116.
- Gendt, G. and Schmid, R. (2005). Planned changes to igs antenna calibrations. IGS Electronic Mail, Message Number 5189. Available at <http://igscb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2005/msg00111.html>.
- Geng, J., Shi, C., Ge, M., Dodson, A. H., Lou, Y., Zhao, Q., and Liu, J. (2010). Improving the estimation of residual tropospheric delays in precise point positioning by use of the kalman filter. *Journal of Geodesy*, 84(12):731–743.
- Herring, T. (1992). Modeling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data. In De Munck, J. and Spoelstra, T., editors, *Proceedings of Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy*, Geodetic Commission Publications on Geodesy, Netherlands.
- Hilla, S. (2010). The extended standard product 3 orbit format (sp3-c). https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E. (2008). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Wien New York, Vienna, Austria.
- Hopfield, H. S. (1969). Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data. *Journal of Geophysical Research*, 74(18):4487–4498. Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory.
- IERS (2024). Earth orientation data. <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>. Accessed: 2024-08-01.
- IGS (2020). *RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 3.05*. IGS/RTCM RINEX Working Group. Available at <https://files.igs.org/pub/data/format/rinex305.pdf>.
- IGS (2021). *RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 4.00*. International GNSS Service. Available at https://files.igs.org/pub/data/format/rinex_4.00.pdf.

- IGS (2024). IGS Working Group: Reference Frame. <https://igs.org/wg/reference-frame/#documents>. Accessed: 2024-08-13.
- Janes, H., Langley, R., and Newby, S. (1991). Analysis of tropospheric delay prediction models: comparisons with ray-tracing and implications for gps relative positioning. *Bulletin Géodésique*, 65:151–161.
- Kaplan, E. D. and Hegarty, C. J. (2006). *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House, Inc., Norwood, MA, 2 edition. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data ISBN-10: 1-58053-894-0.
- Karabatić, A. (2011). *Precise Point Positioning (PPP) - an Alternative Technique for Ground Based GNSS Troposphere Monitoring*. Ph.d. dissertation, Vienna University of Technology, Vienna, Austria.
- Komjathy, A. (1997). *Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System*. Phd dissertation, University of New Brunswick, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Fredericton, New Brunswick, Canada. Technical Report No. 188.
- Kouba, J. (2009). A guide to using international gnss service (igs) products. *Geophysical Research Abstracts*, 11.
- Kouba, J. and Héroux, P. (2001). Precise point positioning using igs orbit and clock products. *GPS Solutions*, 5:12–28.
- Lambeck, K. (1990). The fourth dimension in geodesy: Observing the deformation of the earth. In Brunner, F. and Rizos, C., editors, *Developments in Four-Dimensional Geodesy*, volume 29 of *Lecture Notes in Earth Sciences*, pages 3–18. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lanyi, G. E. (1984). Tropospheric delay effects in radio interferometry. The Telecommunications and Data Acquisition (TDA) Progress Report 42-78, JPL, California Institute of Technology.
- Laurichesse, D., Mercier, F., and Berthias, J. P. (2009). Integer ambiguity resolution on undifferenced gps phase measurements and its application to ppp. *Journal of Geodesy*, 83(3-4):381–392.

- Li, X., Zhang, X., and Ge, M. (2022). Multi-sensor integration for precise point positioning: A review. *Sensors*, 22(4):1479.
- Liu, Z. and Xie, X. (2020). Applying artificial intelligence to enhance ppp performance. *Remote Sensing*, 12(5):810.
- Lockheed Martin (2024). Gps iii: The world's most advanced gps. Lockheed Martin. Preuzeto sa: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/gps.html>, Datum: 2024-05-05.
- Mao, X. and Gao, W. (2017). Utilizing ppp for precise real-time kinematic positioning. *GPS Solutions*, 21(2):831–842.
- Marini, J. and Murray, C. J. (1973). Correction of laser range tracking data for atmospheric refraction at elevations above 10 degrees. Technical Report X-591-73-351, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Marini, J. W. (1972). Correction of satellite tracking data for an arbitrary tropospheric profile. *Radio Science*, 7(2):223–231. Received July 20, 1971; revised September 15, 1971.
- Marković, M. (2012). Određivanje totalnog sadržaja elektrona u jonosferi koristeći tehnologiju globalnog sistema pozicioniranja. Master's thesis, University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Department of Geodesy and Geoinformatics, Belgrade, Serbia. Mentor: V. prof. dr Siniša Delčev, dipl. geod. inž.
- McCarthy, D. D. (1996). Iers conventions (1996). IERS Technical Note 21, U.S. Naval Observatory.
- Mendes, V. B. and Langley, R. B. (1994). A comprehensive analysis of mapping functions used in modeling tropospheric propagation delay in space geodetic data. In *International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS94)*, Banff, Canada. Geodetic Research Laboratory, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick. Paper presented at KIS94.
- Mendes, V. B. and Langley, R. B. (1998). Optimization of tropospheric delay mapping function performance for high-precision geodetic applications. In *Proceedings of DORIS Days*, pages 27–29, Toulouse, France.

- Niell, A. E. (1996). Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research*, 101(B2):3227–3246. Haystack Observatory, Massachusetts Institute of Technology.
- Oceanic, N., Administration, A., Aeronautics, N., Administration, S., and Force, U. S. A. (1976). *U.S. Standard Atmosphere, 1976*. NOAA, NASA, USAF, Washington, D.C. NOAA Report Number: NOAA-S/T 76-1562.
- Pont, G., Falcone, M., and Bautista, M. M. (2023). Galileo: An exciting road ahead toward new capabilities. *GPS World*. Accessed: 2024-05-09.
- Rabbel, W. and Schuh, H. (1986). The influence of atmospheric loading on vlbi-experiments. *Journal of Geophysics*, 59(1):164–170.
- Rodríguez, J. Á. Á. (2008). *On Generalized Signal Waveforms for Satellite Navigation*. Doctoral thesis, University of the Bundeswehr Munich, Munich, Germany.
- Russian Institute of Space Device Engineering (2008). *GLONASS Interface Control Document*, 5.1 edition. Moscow, Russia: Russian Institute of Space Device Engineering.
- Saastamoinen, J. (1972). Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites. *Geophysical Monograph Series*, 15:247–251. Photogrammetric Research, Division of Physics, National Research Council of Canada.
- Schaer, S. (1999). *Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System*, volume 59 of *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*. Schweizerische Geodätische Kommission, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidg. Technische Hochschule Zürich, Zürich, Switzerland.
- Shi, C., Geng, J., and Lou, Y. (2012). A new approach for estimating tropospheric delays for ppp using gps and glonass. *Advances in Space Research*, 49(6):855–866.
- Subirana, J. S., Zornoza, J. M. J., and Hernández-Pajares, M. (2013a). *GNSS Data Processing: Fundamentals and Algorithms*, volume I of *Technical Memorandum ESA TM-23*. ESA Communications, Noordwijk, The Netherlands. Volume I of the ESA GNSS Data Processing Book.

- Subirana, J. S., Zornoza, J. M. J., and Hernández-Pajares, M. (2013b). *GNSS Data Processing: Laboratory Exercises*, volume II of *Technical Memorandum ESA TM-23/2*. ESA Communications, Noordwijk, The Netherlands. Volume II of the ESA GNSS Data Processing Book.
- United States Department of Defense (1996). *NAVSTAR GPS User Equipment Introduction*. Public Release Version.
- Wang, J. and Zhao, Q. (2023). Investigating future trends and challenges in ppp technology. *Sensors*, 23(2):311.
- Webster, I. R. (1993). A regional model for the prediction of ionospheric delay for single frequency users of the global positioning system. Master's thesis, University of New Brunswick, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Fredericton, New Brunswick, Canada. Reprinted in March 1996.
- Wild, U. (1994). *Ionosphere and Geodetic Satellite Systems, Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring*, volume 48 of *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidg. Technische Hochschule Zürich, Zürich.
- Witchayangkoon, B. (2000). *Elements of GPS Precise Point Positioning*. Phd thesis, University of Maine, Orono, Maine, USA. Advisory Committee: Dr. Alfred Leick, Dr. Neil Comins, Dr. Ray Hintz, Dr. Richard B. Langley, Dr. Charles Mundo.
- Wu, J., Wu, S., Hajj, G., Bertiger, W., and Lichten, S. (1993). Effects of antenna orientation on gps carrier phase measurements. *Manuscripta Geodaetica*, 18:91–98.
- Zhang, B., Li, Y., Wang, N., Guo, J., and Zhang, R. (2021). Real-time precise point positioning with a machine learning approach. *Remote Sensing*, 13(6):1101.
- Zhang, X. and Li, P. (2019). Integrating ppp with atmospheric data to improve convergence times. *Journal of Geodesy*, 93(5):711–725.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., and Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of gps data from large networks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B3):5005–5017.

Skraćenice

A/S „Anti-Spoofing”. 33

AIUB Astronomski institut Univerziteta u Bernu (Astronomical Institute of the University of Bern). 104, 126, 128

AMCS Alternativna glavna kontrolna stanica (Alternative Master Control Station). 17

ANTEX Format za razmenu podataka o antenama (Antenna Exchange Format). 95, 112, 113

APC Fazni centar antene (Antenna Phase Center). 94–96

ARP Referentna tačka antene (Antenna Reference Point). 95

ASCII Američki standardizovani kod za razmenu informacija (American Standard Code for Information Interchange.). 106, 112, 118–120

BDS BeiDou navigacioni satelitski sistem (BeiDou Navigation Satellite System). 27–29, 38, 105, 109

BNTS Testni navigacioni sateliti BeiDou (BeiDou Navigation Test Satellites). 27

BPE Bernese procesni sistem (Bernese Processing Engine). 128

BUFR Format zapisa meteoroloških podataka (Binary Universal Form for the Representation of meteorological data). 102

C/A „Coarse-Acquisition” kod. 30, 34, 35, 99

C/NAV Galileo komercijalna navigaciona poruka (Commercial Navigation Message). 36

CC-M Centralni sinhronizator. 22

CDDIS Informacioni sistem o dinamici Zemljine kore (Crustal Dynamics Data Information System). 109, 115

- CDMA** Višestruki pritup deljenjem koda (Code Division Multiple Access). 21, 34
- CE** Centar čvrstog Zemljinog tela (Center of the Solid Earth). 120
- CGCS2000** Kineski geodetski koordinatni sistem 2000 (China Geodetic Coordinate System 2000). 45
- CIGNET** Kooperativna međunarodna GPS mreža (Cooperative International GPS Network). 104
- CIS** Konvencionalni inercijalni sistem (Conventional Inertial System). 43
- CLK** Format časovnog fajla (Clock Format). 102, 103
- CM** Centar mase (Center of the Mass). 120
- CNAV** Civilna GPS navigaciona poruka (Civil Navigation). 33, 34
- CODE** Centar za određivanje orbita u Evropi (Center for Orbit Determination in Europe). 2, 87, 110, 113, 117, 122, 125, 126, 129, 132, 134, 147, 149, 155, 156
- COSPAR** Komitet za svemirska istraživanja (Committee on Space Research). 104
- CRC** Napredna detekcija grešaka (Cyclic Redundancy Check). 34, 37
- CRF** Nebeski referentni okvir (Celestial Reference Frame). 43, 119
- CRS** Konvencionalni nebeski referentni sistem (Conventional Celestial Reference System). 43, 44
- CS** Komercijalni servis (Commercial Service). 37
- CSTG** COSPAR i IAG bilten. 104
- DCB** Diferencijalni kodni uticaj (Differential Code Bias). 101, 117
- DGPS** Diferencijalni globalni pozicioni sistem (Differential Global Positioning System). 2
- DLR** Nemački centar za vazduhoplovstvo i svemir (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt). 106
- DoD** Ministarstvo odbrane SAD (Department of Defense). 18

DOP „Dilution of Precision”. 11

DORIS Doplerova orbitografija i radiopozicioniranje integrisani sa satelitom (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite). 112

DoY Dan u godini (Day of Year). 69, 107, 108, 111, 114

ECEF „Earth-Centered Earth-Fixed”. 44, 96

EGNOS Evropski geostacionarni navigacioni sistem (European Geostationary Navigation Overlay Service). 23

EM Elektromagnetno (Electromagnetic). 71–73, 79, 81, 83

EOP Parametri orijentacije Zemlje (Earth Rotation Parameters). 95, 112, 115

ERP Parametar orijentacije Zemlje (Earth orientation parameter). 111

ESA Evropska svemirska agencija (European Space Agency). 23, 110

ESCC Evropski centar za koordinaciju svemirskih komponenti (European Space Components Coordination). 25

EU Evropska unija (European Union). 23

EUREF Evropski referentni okvir (European Reference Frame). 123

EUSPA Evropska agencija za svemirski program (European Union Agency for the Space Programme). 23

EUV Ekstremno-ultravioletno (Extreme-Ultraviolet). 71, 73, 75

F/NAV Galileo slobodno dostupna navigaciona poruka (Freely Accesible Navigation Message). 36

FEC Unapređena korekcija grešaka (Forward Error Correction). 34, 37

FOC Pun operativni kapacitet (Full Operational Capacity). 21, 23, 25, 28

G/NAV Galileo vladina navigaciona poruka (Governmental Navigation Message). 36

GCC Centri za kontrolu konstelacije Galileo (Constellation Galileo Control Centres). 25, 26

- GCS** Zemaljski kontrolni segment (Ground Control Segment). 25
- GEO** Geostacionarna orbita (Geostationary Earth Orbit). 27–29, 106, 107
- GGFC** Globalni geofizički centar za fluide (Global Geophysical Fluid Center). 120
- GIM** Globalna jonosferska mapa (Global Ionospheric Map). 86, 113
- GIOVE** „Galileo In-Orbit Validation”. 23
- GMS** Zemaljski misioni segment (Ground Mission Segment). 25
- GNSS** Globalni navigacioni satelitski sistem (Global Navigation Satellite System). vii, ix, x, 1, 3–6, 8, 10–13, 16, 18, 19, 23, 28–31, 45, 50, 55, 79, 85, 86, 91–95, 97, 99, 101–106, 109, 110, 112–115, 121–123, 125, 127–130, 132, 134, 137, 147, 159, 160
- GPS** Globalni pozicioni sistem (Global Positioning System). ix, xii, 3, 8, 13, 15–20, 22, 23, 29–35, 45–51, 97–101, 104, 105, 107–111, 113–116, 125, 128
- GRIB** Format zapisa meteoroloških podataka (Gridded Binary). 102
- GSOC** Nemački centar za svemirske operacije (German Space Operations Center). 106
- GTRF** Galileo terestrički referentni okvir (Galileo Terrestrial Reference Frame). 45
- HSSWS** Solarni vetar velike brzine (High Speed Solar Wind Streams). 79
- I/NAV** Galileo navigaciona poruka o integritetu (Integrity Navigation Message). 36
- IAG** Međunarodna asocijacija za geodeziju (International Association of Geodesy). 104
- IECU** Međunarodna unija za elektronske komunikacije (International Electric Communication Union). 34
- IERS** Međunarodna služba za rotaciju Zemlje i referentne sisteme (International Earth Rotation and Reference Systems Service). 44, 61, 112, 120
- IGS** Međunarodna GNSS služba (International GNSS Service). 2, 44, 45, 47–49, 94, 95, 97, 98, 100, 104, 105, 109–113, 115, 116, 118, 122, 125, 126, 129, 132–134, 137, 147, 155, 156

IGSO Nagnuta geosinhrona orbita (Inclined Geosynchronous Orbit). 28, 29, 38

INS Inercijalni navigacioni sistem. 4

IONEX Format za razmenu modela jonosphere (Ionosphere Model Exchange Format). 113, 115, 116

IOT Stanica za testiranje u orbiti (In-Orbit Testing). 25

IOV Faza orbitalne validacije (In-Orbit Validation). 24

IPP Jonosferska presečna tačka (Ionospheric Pierce Point). 85, 87, 89, 113

IRI Međunarodni referentni model jonosphere (International Reference Ionosphere). 86, 91

ISB Među-sistemi uticaj (Inter-system Bias). 101

ISO Međunarodna organizacija za standardizaciju. 108

ITRF Međunarodni terestrički referentni okvir (International Terrestrial Reference Frame 2005). 44–49, 95, 118

ITU Međunarodna telekomunikaciona unija (International Telecommunication Union). 24

JPL NASA laboratorija za mlazni pogon (Jet Propulsion Laboratory). 50

LEO „Low Earth Orbit” IGS pilot projekat. 105

LNAV GPS navigaciona poruka (Lateral Navigation). 31, 33, 34

LT Lokalno solarno vreme (Local Time). 89

MCS Glavna kontrolna stanica (Master Control Station). 17, 18

MEO Srednja Zemljina Orbita (Medium Earth Orbit). 13, 19, 23, 24, 28, 29, 38

MNAV Vojna GPS navigaciona poruka (Military Navigation). 33

MSLM Modifikovani jednoslojni model jonosphere (Modified Single Layer Model). 87

NGA Nacionalna agencija za geoprostornu obaveštajnu službu (National Geospatial-Intelligence Agency). 18

- NMF** Nilova funkcija mapiranja (Niel Mapping Function). xii, 68–70
- OS** Otvoreni servis (Open Service). 37
- PCO** Pomeranja faznog centra antene (Phase Center Offset). 113
- PCV** Varijacija faznog centra (Phase Centre Variation). 95, 113
- PPP** Apsolutno precizno pozicioniranje (Precise Point Positioning). 1–7, 39, 50, 51, 58, 59, 64, 87, 93, 98, 102, 103, 121–123, 126, 132, 133, 146, 155–160
- PPS** Precizni servis za pozicioniranje (Precise Positioning Service). 30
- PRN** Pseudo-slučajni šum (Pseudo Random Noise). 13, 29–31, 35, 108
- PRS** Javno regulisani servis (Public Regulated Service). 37
- PZ90** „Parametry Zemli 1990”. 45
- QZSS** Japanski Kvazi-Zenitni Sistem (Quasi-Zenith Satellite System). 8, 105, 109
- RF** Radio-frekventni (Radio-frequency) . 26, 30
- RINEX** Receiver Independent Exchange Format. vii, xii, 2, 6, 102–109, 123, 126–130, 158
- RNSS** Služba satelitske radionavigacije (Radionavigation Satellite service). 29
- RTCM** Radio-tehnička komisija za pomorske usluge (Radio Technical Commission for Maritime Services). 105, 108
- RTK** Pozicioniranje u realnom vremenu (Real Time Kinematics). 51
- S/A** Selektivna dostupnost (Selective Availability). 13
- SAR** Pretraga i spasavanje (Search and Rescue). 21
- SBAS** Satelitski zasnovan sistem za augmentaciju (Satellite-Based Augmentation System). 106, 109
- SCC** Centar za sistemsku kontrolu. 22
- SID** Iznenadne jonosferske smetnje (Sudden Ionospheric Disturbances). 77

SINEX „Solution Independent Exchange”. 95, 112

SIP Stohastički parametar jonosfere (Stochastic Ionosphere Parameter). 91

SLM Jednoslojni model jonosfere (Single Layer Model). 86, 87, 113

SLR Satelitsko lasersko opažanje (Satellite Laser Ranging). 46, 112

SMC Centar mase satelita (Satellite Mass Center). 96

SoL „Safety-of-Life”. 15, 30, 37

SP3 „Standard Product 3”. 95, 96, 102, 103, 110, 111

SPS Standardni servis za pozicioniranje (Standard Positioning Service). 30

SSTL Surrey Satellite Technology Ltd.. 24

STEC Kosi totalni sadržaj elektrona (Slant Vertical Total Electron Content). 85, 113

SVN Serijski broj satelita (Satellite Vehicle Number). 13, 15

SW Reč za sinhronizaciju (Synchronisation Word). 37

TC Telekomandni (Telecommand). 26

TEC Totalni sadržaj elektrona (Total Electron Content). 84–87, 89, 90

TLM Telemetrijska reč (Telemetry word). 32

TM Telemetrijski (Telemetry). 26

TRF Terestrički referentni okvir (Terrestrial Reference Frame). 44, 45, 119

TRS Konvencionalni terestrički referentni sistem (Conventional Terrestrial Reference System).
43, 44

TT&C Stanice za telemetriju, praćenje i komandovanje (Telemetry, Tracking and Commanding). 26

TTCF Mreža objekata za telemetriju, praćenje i komandovanje (Telemetry, Tracking, and Command Facility). 26

USAF Vazduhoplovne snage SAD (United States Air Force). 18

UT Univerzalno vreme (Universal Time). 69, 112

UTC Koordinisano univerzalno vreme (Coordinated Universal Time). 33, 112

VLBI Interferometrija sa veoma dugim baznim linijama (Very Long Baseline Interferometry). 46, 112

VMF Viena funkcija mapiranja (Vienna Mapping Function). 70, 71

VTEC Vertikalni totalni sadržaj elektrona (Vertical Total Electron Content). 85, 88, 113, 114

WGS84 Svetski geodetski sistem 1984 (World Geodetic System 1984). 45

ZPD Zenitno kašnjenje signala (Zenith Path Delay). 115

Biografija kandidata

Miloš Marković je rođen 14.12.1985. godine u Beogradu, Republika Srbija, od majke Mile i oca Dragana. Osnovnu školu je završio 2000. godine u Beogradu sa odličnim uspehom, a srednju Politehničku akademiju 2004. godine, smer Mašinski tehničar za kompjutersko konstruisanje, takođe sa odličnim uspehom.

Na geodetski odsek Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu upisao se 2004. godine. Diplomirao je 2012. godine sa prosečnom ocenom 8,46, odbranom diplomskog rada pod nazivom „Određivanje totalnog sadržaja elektrona u jonosferi korišćenjem tehnologije globalnog sistema pozicioniranja” ocenjenog ocenom 10. Trenutno je na doktorskim studijama, koje je upisao 2014. godine. Tokom 2017. godine položio je sve programom predviđene ispite i odbranio pristupni rad pod nazivom „Metoda integrisane kalibracije komponenti u postupku etaloniranja sistema za mobilno mapiranje”. Međutim, usled promene mentora, kandidat je morao da promeni oblast istraživanja, zbog čega je ponovo, 01.11.2023. godine, odbranio pristupni rad pod nazivom „Optimizacija vremena opažanja u apsolutnom preciznom pozicioniranju integracijom modela izvora grešaka”.

Pored zvanja diplomiranog inženjera geodezije, 2016. godine završio je smer „Microsoft Windows Development” pri akademiji IT Academy Link Group, čime je stekao zvanje Aplikativnog programera u Microsoft okruženju, na osnovu čega je dobio sertifikat „Windows Application Developer”.

Miloš tečno govori, čita i piše engleski jezik. Oženjen je i ima jedno dete.

Tokom školovanja na fakultetu, povremeno je bio angažovan na Visokoj građevinsko-geodetskoj školi u Beogradu kao demonstrator na predmetu Geodetski planovi – izrada digitalnog geodetskog plana. Takođe je kao gostujući predavač za predmet Procedure i postupci u katastru nepokretnosti, koji se održavao na specijalističkim studijama na Visokoj građevinsko-geodetskoj školi u Beogradu, 2010. godine održao predavanje na temu „Izrada DKP korišćenjem AutoCAD paketa”.

Nakon završetka studija, zaposlio se u kompaniji Geo Info Strategies, gde se pretežno bavio digitalnom aerofotogrametrijom, razvojem GIS softvera, izradom „3D city” modela, kao i

istraživanjem i razvojem „mobile mapping” i „street view” tehnologije. Kompaniju je napustio 2014. godine na poziciji vođe tima na međunarodnom fotogrametrijskom projektu.

Shodno ugovoru o delu, kandidat je bio zaposlen i u kompaniji GeoLawa u periodu od februara 2021. godine do juna 2022. godine, gde je učestvovao kao vođa projekata iz oblasti geodezije i geoinformacionih sistema, kao i saradnik na izradi projekata u oblasti energetike i sistema tehničke zaštite objekata.

Trenutno radi na Akademiji tehničko-umetničkih strukovnih studija u Beogradu, odsek Visoka građevinsko-geodetska škola, na poziciji asistenta. Na osnovnim strukovnim studijama angažovan je na predmetima Geodetska metrologija, Geodetski premer 1 i 2, Geodezija 1 i Geodetski planovi, dok je na master strukovnim studijama angažovan na predmetu Kartografija. Pored navedene pozicije, kandidat trenutno obavlja i funkciju Pomoćnika rukovodioca za opšta i tehnička pitanja.

IZJAVA O AUTORSTVU

Ime i prezime autora: Miloš Marković

Broj indeksa: 910/14

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

OPTIMIZACIJA VREMENA OPAŽANJA U APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU KOMBINOVANJEM MODELA DOMINANTNIH IZVORA GREŠAKA

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, 24.04.2025.

Potpis autora

IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA

Ime i prezime autora: Miloš Marković
Broj indeksa: 910/14
Studijski program: Geodezija i geoinformatika
Naslov rada: OPTIMIZACIJA VREMENA OPAŽANJA U APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU KOMBINOVANJEM MODELA DOMINANTNIH IZVORA GREŠAKA
mentor: prof. dr Dragan Blagojević, dipl. geod. inž.

Izjavljujem

da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao radi pohranjivanja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**. Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada. Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu..

U Beogradu, 24.04.2025.

Potpis autora

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

OPTIMIZACIJA VREMENA OPAŽANJA U APSOLUTNOM PRECIZNOM POZICIONIRANJU KOMBINOVANJEM MODELA DOMINANTNIH IZVORA GREŠAKA

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje. Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio..

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
- ③. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)**
4. Autorstvo – некомерцијално – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci. Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave.).

U Beogradu, 24.04.2025.

Potpis autora
