

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GEODETSKI FAKULTET**

**Gordan Horvat**

**Matjaž Štanfel**

**ANALIZA KONTINUIRANIH MJERENJA NA ODABRANIM  
TOČKAMA EUROPSKE PERMANENTNE MREŽE**

**ZAGREB, 2014.**

Ovaj rad izrađen je u Zavodu za geomatiku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom dr. sc. Željka Hećimovića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2013./2014.

Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu:

GPS – Global Positioning System (Globalni pozicijski sustav)

GNSS –Global Navigation Satellite System (Globalni navigacijski satelitski sustavi)

EUREF – European Reference Frame (Europski referentni okvir)

EPN – EUREF Permanent Network (EUREF permanentna mreža)

ITRS - International Terrestrial Reference System (Međunarodni terestrički referentni sustav)

ITRF 05 –International Terrestrial Reference Frame 2005 (Međunarodni terestrički referentni okvir 2005)

ETRS89 - European Reference Terrestrial System 1989 (Europski referentni terestrički sustav 1989)

GRS 80 - Geodetic Reference System 1980 (Geodetski referentni sustav 1980)

IGS - International GNSS Service (Međunarodni GNSS Servis)

SINEX - Solution INdependent EXchange Format (Rješenje nezavisnog formata za razmjenu)

ILRS - International Laser Ranging Service (Međunarodni servis za lasersko određivanje udaljenosti)

IVS - International VLBI service (Međunarodni VLBI servis za geodeziju i astrometriju)

VLBI – Very long baseline interferometry (Dugobazična interferometrija)

IDS – International DORIS Service (Međunarodni DORIS servis)

GGOS - Global Geodetic Observing System (Globalni geodetski opažajući sustav)

IGUG - International Union of Geodesy and Geophysics

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
1.1. EUREF-u.....	2
1.2. O koordinatnom sustavu.....	3
1.3. Opći i specifični ciljevi rada.....	5
2. METODE I PLAN RADA.....	9
2.1. Izbor točaka za analizu.....	9
2.2. Sinex format.....	11
2.3. Preuzimanje i obrada podataka.....	18
2.3.1. Sastavljanje popisa tjednih rješenja koordinata.....	19
2.3.2. Uklanjanje pogrešaka iz podataka.....	19
2.3.3. Aproksimacija podataka polinomom 9. stupnja.....	21
2.3.4. Određivanje tjednih ubrzanja gibanja točaka.....	22
2.3.5. Određivanje međusobne korelacije pomaka točaka.....	24
2.3.6. Ispitivanje šuma mjerenja.....	25
3. REZULTATI.....	26
3.1. Regresijski pravci – gibanja stanica uslijed pomaka tektonskih ploča u odnosu na ITRF05.....	26
3.2. Prosječne brzine gibanja stanica.....	34
3.3. Srednja ubrzanja stanica.....	38

3.4.	Modeli sustavnih pogrešaka kontinuiranih mjerenja u obliku polinoma 9. stupnja.....	41
3.5.	Tablice korelacije između modela sustavnih pogrešaka .....	53
3.6.	Model pogrešaka polinoma 9. stupnja nastalih uslijed odstupanja stvarnih mjerenja od modela.....	56
4.	RASPRAVA .....	67
5.	ZAKLJUČAK.....	70
6.	ZAHVALA .....	71
7.	POPIS LITERATURE .....	72
8.	SAŽETAK .....	76
9.	SUMMARY .....	77

## POPIS SLIKA:

Slika 1 - EUREF permanentna mreža GNSS točaka - EPN (URL1).....	2
Slika 2 - Promjena ITRF okvira s obzirom na GPS tjedan (URL16) .....	4
Slika 3 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke BPDL .....	6
Slika 4 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke CHIZ .....	6
Slika 5 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke ESCO .....	7
Slika 6 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke IGEO.....	7
Slika 7 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke QAQ1.....	8
Slika 8 - Prostorni raspored odabranih točaka (URL 12) .....	10
Slika 9 - Primjer grube pogreške za točku QAQ1 u 1482 GPS tjednu.....	19
Slika 10 - Vektori gibanja tektonskih ploča u odnosu na ITRF 2005 (URL 13).....	20
Slika 11 - Primjer uklanjanja sistematskog utjecaja pomaka tektonske ploče određivanjem regresijskog pravca za X koordinatu točke QAQ1 .....	20
Slika 12 - Primjer modeliranja podataka polinomom 9. stupnja za Y koordinatu točke CHIZ....	22
Slika 13 - Regresijski pravac za točku BPDL.....	27
Slika 14 - Regresijski pravac za točku BPDL.....	27
Slika 15 - Regresijski pravac za točku BPDL.....	27
Slika 16 - Regresijski pravac za točku CHIZ.....	28
Slika 17 - Regresijski pravac za točku CHIZ.....	28
Slika 18 - Regresijski pravac za točku CHIZ.....	28

Slika 19 - Regresijski pravac za točku ESCO.....	29
Slika 20 - Regresijski pravac za točku ESCO.....	29
Slika 21 - Regresijski pravac za točku ESCO.....	29
Slika 22 - Regresijski pravac za točku IGEO .....	30
Slika 23 - Regresijski pravac za točku IGEO .....	30
Slika 24 - Regresijski pravac za točku IGEO .....	30
Slika 25 - Regresijski pravac za točku QAQ1 .....	31
Slika 26 - Regresijski pravac za točku QAQ1 .....	31
Slika 27 - Regresijski pravac za točku QAQ1 .....	31
Slika 28 - Brzina gibanja stanica (X koordinata).....	34
Slika 29 - Vektori brzina gibanja stanica po X-osi.....	35
Slika 30 - Brzina gibanja stanica (Y koordinata).....	35
Slika 31- Vektori brzina gibanja stanica po Y-osi.....	36
Slika 32 - Brzina gibanja stanica (Z koordinata) .....	36
Slika 33 - Vektori brzina gibanja stanica po Z-osi .....	37
Slika 34 - Ubrzanje točaka (X koordinata) .....	39
Slika 35 - Ubrzanje točaka (Y koordinata) .....	39
Slika 36 - Ubrzanje točaka (Z koordinata).....	40
Slika 37 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku BPDF.....	41
Slika 38 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku CHIZ.....	41

Slika 39 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku ESCO.....	42
Slika 40 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku IGEO .....	42
Slika 41 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku QAQ1 .....	42
Slika 42 - Grafički prikaz svih modela polinoma 9. stupnja ( X koordinata).....	43
Slika 43 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku BPDF.....	44
Slika 44 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku CHIZ.....	44
Slika 45 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku ESCO.....	44
Slika 46 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku IGEO .....	45
Slika 47 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku QAQ1 .....	45
Slika 48 - Grafički prikaz svih modela polinoma 9. stupnja (Y koordinata).....	45
Slika 49 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku BPDF.....	46
Slika 50 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku CHIZ.....	47
Slika 51 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku ESCO.....	47
Slika 52 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku IGEO .....	47
Slika 53 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku QAQ1 .....	48
Slika 54 - Grafički prikaz svih modela polinoma 9. stupnja (Z koordinata) .....	48
Slika 55 - Popravke mjerenja na stanici BPDF - X koordinata .....	57
Slika 56 - Popravke mjerenja na stanici BPDF - Y koordinata .....	57
Slika 57 - Popravke mjerenja na stanici BPDF - Z koordinata.....	57
Slika 58 - Popravke mjerenja na stanici CHIZ - X koordinata .....	59



Slika 59 - Popravke mjerenja na stanici CHIZ - Y koordinata.....	59
Slika 60 - Popravke mjerenja na stanici CHIZ - Z koordinata .....	59
Slika 61 - Popravke mjerenja na stanici ESCO - X koordinata .....	61
Slika 62 - Popravke mjerenja na stanici ESCO - Y koordinata .....	61
Slika 63- Popravke mjerenja na stanici ESCO - Z koordinata.....	61
Slika 64 - Popravke mjerenja na stanici IGEO - X koordinata.....	63
Slika 65 - Popravke mjerenja na stanici IGEO - Y koordinata.....	63
Slika 66 - Popravke mjerenja na stanici IGEO - Z koordinata .....	63
Slika 67 - Popravke mjerenja na stanici QAQ1 - X koordinata.....	65
Slika 68 - Popravke mjerenja na stanici QAQ1 - Y koordinata.....	65
Slika 69 - Popravke mjerenja na stanici QAQ1 - Z koordinata .....	65
Slika 70- koeficijenti korelacije sustavnih pogrešaka po X-osi.....	67
Slika 71 - koeficijenti korelacije sustavnih pogrešaka po Y-osi.....	68
Slika 72- koeficijenti korelacije sustavnih pogrešaka po Z-osi .....	69

## POPIS TABLICA

Tablica 1 – Osobine ITRF05 referentnog okvira.....	5
Tablica 2 - Popis i karakteristike odabranih točaka .....	9
Tablica 3 – Približne elipsoidne koordinate stanica .....	10
Tablica 4 - Eksplicitne jednadžbe gibanja permanentnih stanica uslijed pomaka tektonskih ploča u odnosu na ITRF05.....	32
Tablica 5 - Referentna standardna odstupanja regresijskog pravca.....	33
Tablica 6 – Brzine gibanja stanica .....	34
Tablica 7 – Srednja ubrzanja gibanja stanica.....	38
Tablica 8 – Statistički podaci polinoma 9. stupnja za X koordinatu.....	43
Tablica 9 – Statistički podaci polinoma 9. stupnja za Y koordinatu .....	46
Tablica 10 - Statistički podaci polinoma 9. stupnja za Z koordinatu.....	48
Tablica 11 - Referentna standardna odstupanja polinoma.....	52
Tablica 12 - Koeficijent korelacije (r) - X koordinata .....	53
Tablica 13 - Koeficijent korelacije (r) - Y koordinata .....	54
Tablica 14 - Koeficijent korelacije (r) - Z koordinata.....	55
Tablica 15 - Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu BPDF.....	58
Tablica 16- Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu CHIZ.....	60
Tablica 17 - Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu ESCO.....	62
Tablica 18 - Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu IGEO .....	64

Tablica 19 - Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu QAQ1 ..... 66

## 1. UVOD

Promatrajući grafičke prikaze tjednih rješenja koordinata GPS stanica Europske permanentne mreže (engl. European Permanent Network, URL 1), na pojedinim stanicama opazili smo sustavne pogreške. Naime, poznavajući osnove rada GPS permanentnih stanica, osnove prirode gibanja tektonskih ploča te sagladavajući grafička rješenja koordinata na prvi pogled vidljivo je da koordinate točaka imaju određen vremenski tok promjene. Riječ je o pomaku koji ima svoju frekvenciju, odnosno period i koji djeluje na sve tri komponente koordinata stanica (X, Y i Z).

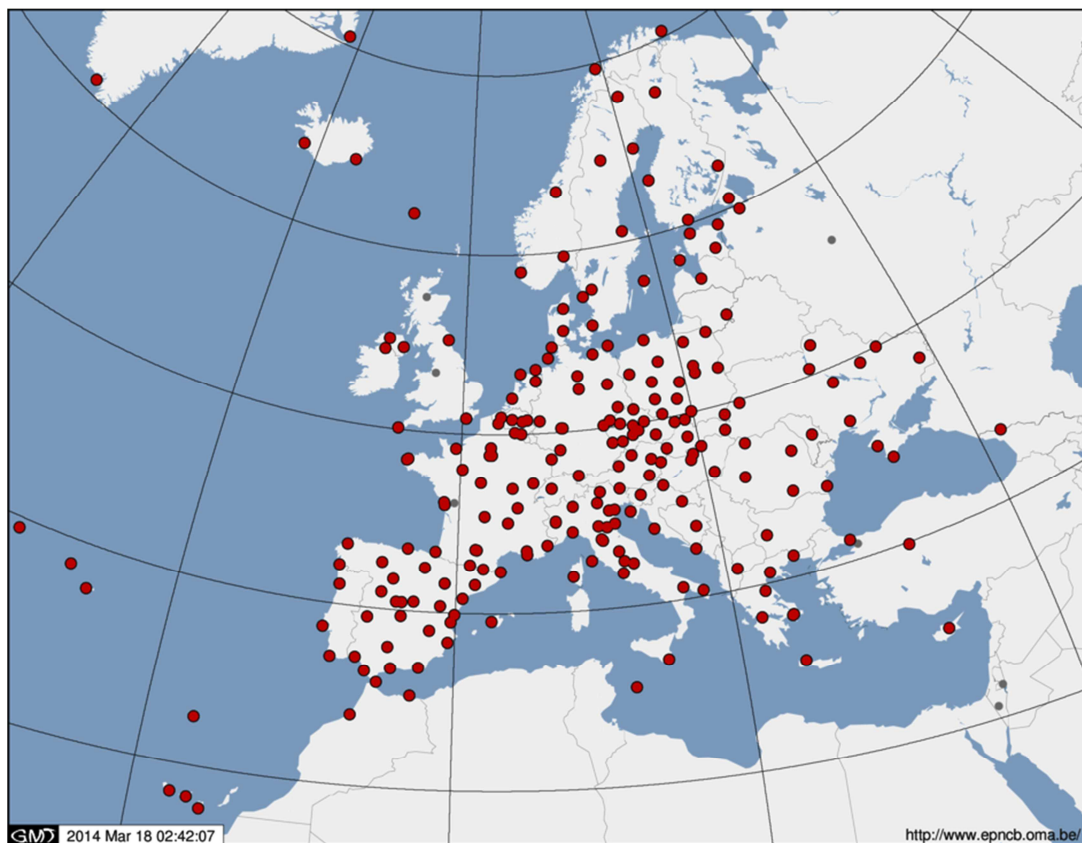
Nakon pregleda svih točaka mreže stanica zaključili smo da je riječ o pojavi koja se javlja na gotovo polovici stanica u jačem ili blažem obliku. Valja imati na umu da se prilikom odabira stanica za istraživanje u ovom radu, odabir točaka radi na nasumičnoj bazi s kriterijem da se sustavne pogreške javljaju na sve tri koordinatne osi.

Od niza stanica prvotno je izabrano šest stanica, međutim zbog nepotpunosti podataka jedna stanica je izbačena prije same obrade te je za analizu sustavnih pogrešaka korišteno pet stanica.

U nastavku uvoda bit će objašnjeni temeljni pojmovi korišteni u radu, koji su potrebni za razumijevanje materije s naglaskom na pojašnjenje pojmova koordinatnog sustava i okvira te opći i specifični ciljevi rada.

## 1.1. EUREF-u

EUREF permanentna mreža (EPN) je vremenski konstantno operativna mreža referentnih GNSS stanica, održavana na volonterskoj bazi, od strane EUREF članica (Bruyninx i dr., 2010). Već 1987. godine uspostavljanjem prvih permanentnih GPS stanica pojavila se ideja o stvaranju i održavanju Europskog referentnog okvira EUREF (engl. European Reference Frame, URL 1). Misija EUREF-a je pružiti najbolje moguće, jedinstvene i homogene referentne sustave te njihove realizacije (Sideris 2009). Mreža je uspostavljena kako bi služila kao Europski regionalni referentni okvir (Borkowski i dr., 2001). Glavni razlog uspostave leži u činjenici da se Euroazijska ploča u odnosu na globalni ITRS (International Terrestrial Reference System), odnosno NNR (No – Net – Rotation) pomiče brzinom od oko 2,5 cm/god. Navedena činjenica bila je jedna od tema Simpozija o EUREF-u, održanog 1990. godine te je u konačnici donijeta odluka o uspostavi ETRS89 (European Reference Terrestrial System 89).



Slika 1 - EUREF permanentna mreža GNSS točaka - EPN (URL1)

U tako definiranom koordinatnom sustavu, permanentne GPS stanice će biti „fiksirane“ za Euroazijsku tektonsku ploču, tj. u tom sustavu koordinate će se minimalno mijenjati tokom različitih vremenskih epoha. Slika 2 prikazuje prostorni raspored GPS stanica Europske permanentne mreže (EPN), koje su nam služile kao izvornik za daljnu obradu podataka. Konačno, prema Völksen (2011), EPN je uspostavljena krajem 1995.

## 1.2. O koordinatnom sustavu

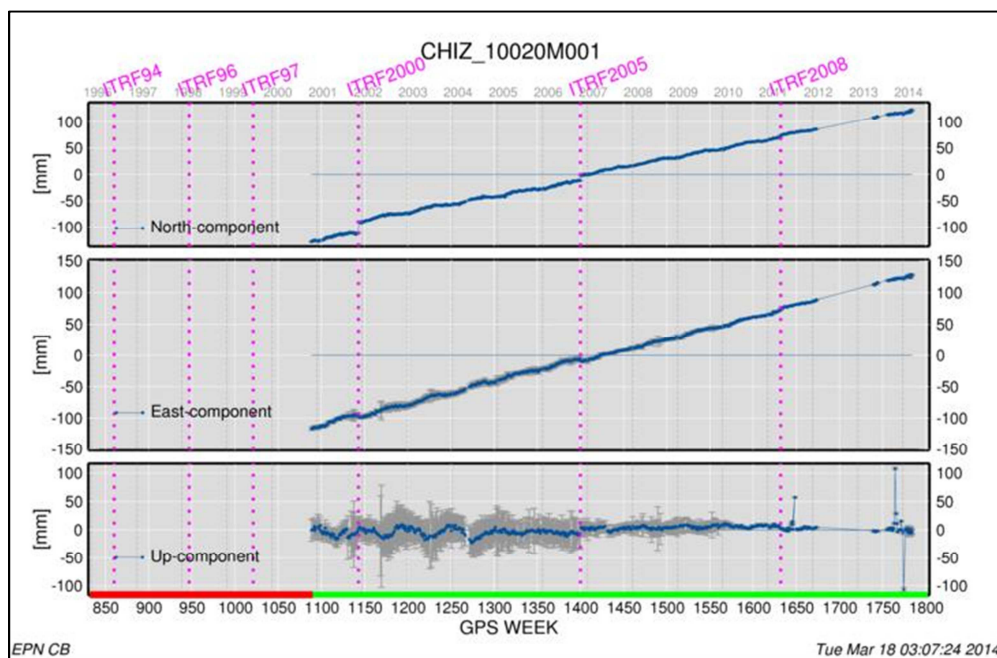
Prije daljnjeg pojašnjenja općih i specifičnih ciljeva rada bitno je pojasniti terminologiju i značenje osnovnih geodetskih pojmova koji će se koristiti u radu. Tako u *geodeziji*, pod točkom podrazumijevamo objekt zadan koordinatama, brzinama gibanja (neki autori bi željeli i ubrzanja), njihovom procjenom kvalitete i epohama na koje se odnose u zadanom referentnom okviru. Koordinatni sustav je skup matematičkih zakonitosti koje definiraju kako će koordinate biti pridružene točkama te je on matematička osnova svakog geodetskog referentnog sustava (Hećimović, 2010).

Bitno je *razlikovati pojmove koordinatnog sustava i okvira*. Koordinatni referentni sustav ili *referentni sustav* jest koordinatni sustav koji je vezan za realni svijet s pomoću datuma (Hećimović, 2010). Sastoji se od usvojenog koordinatnog sustava i od skupa konstanti, modela i parametara koji koordinatni sustav vežu za realni svijet. Koordinatni referentni okvir ili kraće *referentni okvir* je realizacija referentnog sustava.

Drugim riječima referentni okvir sadrži definirano ishodište, orijentaciju osi te pripadajuće mjerilo (Hećimović, 2010). U geodeziji razlikujemo koordinatne sustave s obzirom na broj dimenzija: jednodimenzionalne (1D), dvodimenzionalne (2D), trodimenzionalne (3D), četverodimenzionalne (4D) ili n-dimenzionalne (nD). Treba spomenuti da se u geodeziji se ne primjenjuju sustavi s više od četiri dimenzije. Kod jednodimenzionalnih sustava točka ima samo jedan stupanj mehaničke slobode gibanja (primjer: gravimetrijski ili visinski sustavi). Kod dvodimenzionalnih sustava postoje dva stupnja mehaničke slobode gibanja (primjer: 2D elipsoidne koordinate, koordinate u ravnini projekcije), dok kod 3D sustava koji su korišteni prilikom izrade ovog rada postoje tri stupnja mehaničke slobode gibanja (3D Kartezijevi sustavi, 3D sferni sustavi, 3D elipsoidni). Četverodimenzionalne koordinatne sustave koristimo za

proširenje trodimenzionalnih koordinatnih sustava dodajući komponentu vremena, stoga u konačnici oni služe za opisivanje događaja i procesa koji se mijenjaju tokom vremena.

Bitno je napomenuti, da su tokom različitih vremenskih epoha realizacija koordinata permanentnih GPS stanica EPN-a dane u različitim referentnim okvirima. Kao što je vidljivo na Slika 2, riječ je o Međunarodnim terestričkim referentnim okvirima (ITRF 1994/97 i ITRF 2000/05/08).



Slika 2 - Promjena ITRF okvira s obzirom na GPS tjedan (URL16)

International Terrestrial Reference System (ITRS, URL 3) je skup konvencija, preporuka i modela koji definiraju ishodište, skalu, orijentaciju i vrijeme terestričkog referentnog sustava.

ITRS je matematički definiran kao euklidski afini sustav s ishodištem, mjerilom i orijentacijom u odnosu na Zemlju. Realizacija ITRS-a je ITRF. Trenutni ITRF definiraju ulazni podaci dobiveni pomoću svemirskih geodetskih tehnika VLBI (URL 5), SLR (URL 4), GPS (URL 9) i DORIS (URL 7) te Zemljini orijentacijski parametri (Altamimi, Collilieux 2013).

Tokom vremena izdane su različite realizacije: ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF95, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005 (Tablica 1), ITRF2008. Valja

napomenuti da je ITRS usvojen 1991. od IUGG-a (URL 15), za sveznanstvene primjene u geoznanostima.

Tablica 1 – Osobine ITRF05 referentnog okvira

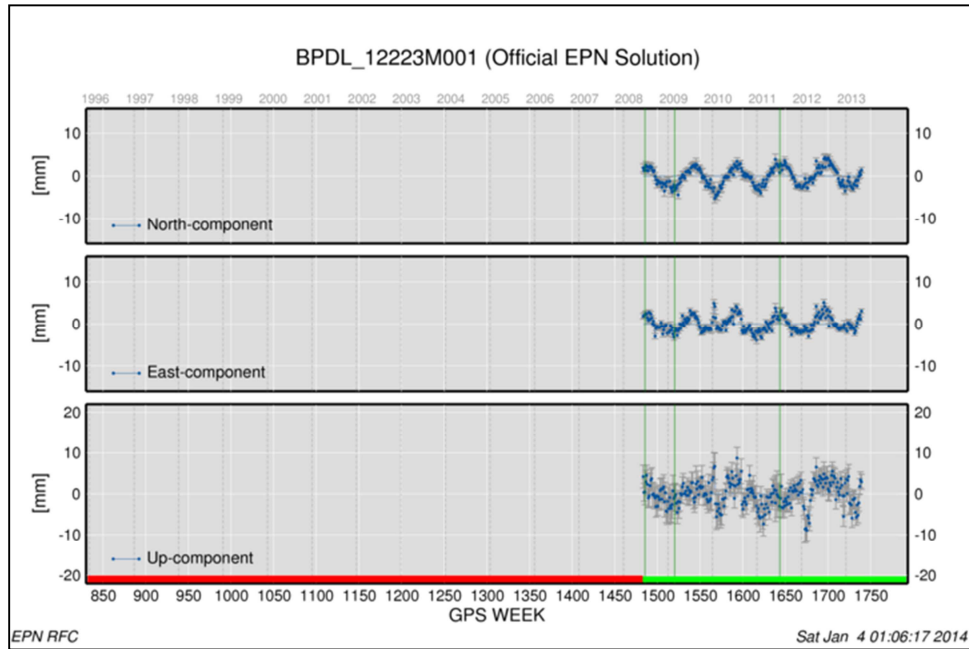
Ishodište:	Centar masa cijele Zemlje uključujući oceane i atmosferu.
Jedinica duljine:	Metar SI, konzistentan s TCG (Geocentric Coordinate Time).
Orijentacija:	Konzistentan s BIH (Bureau International de l'Heure) orijentacijom od 1984.0.
Vremenske promjene orijentacije:	Osigurane s No-Net-Rotation(NNR) uvjetima, horizontalno tektonsko gibanje na cijeloj Zemlje.

### 1.3. Opći i specifični ciljevi rada

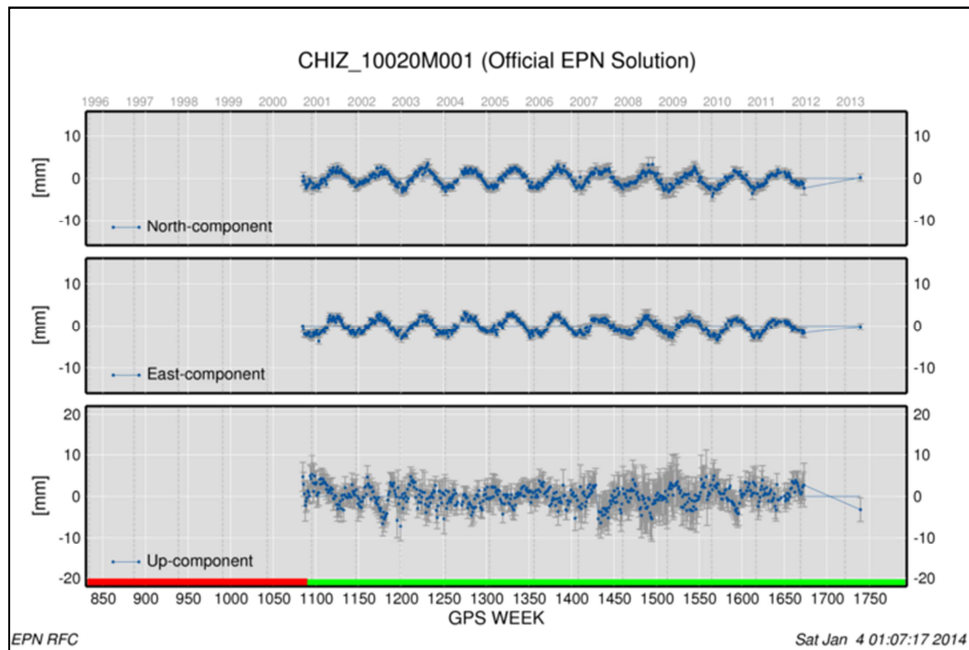
Prema (Bruyninx i dr., 2010) aktivno je 247 permanentnih GNSS stanica EUREF mreže. Promatrajući službena tjedna rješenja EPN (EUREF Permanent Network), za Northing, Easting koordinatu i visinsku komponentu, kod nekih EUREF permanentnih stanica je vidljivo periodičko ponašanje promjena koordinata u obliku sinusoida s amplitudima do  $\pm 20$  mm, što je prikazano na slikama ( 3-7).

Cilj ovog rada bio je ispitati postojanje korelacije između koordinata odabranih permanentnih stanica EPN mreže, u 3D Kartezijevom koordinatnom sustavu (X, Y i Z) odnoseći se na ITRF 2005 referentni okvir. Prilikom obrade podataka, potrebno je ukloniti utjecaj pomicanja tektonskih ploča u odnosu na referentni okvir.

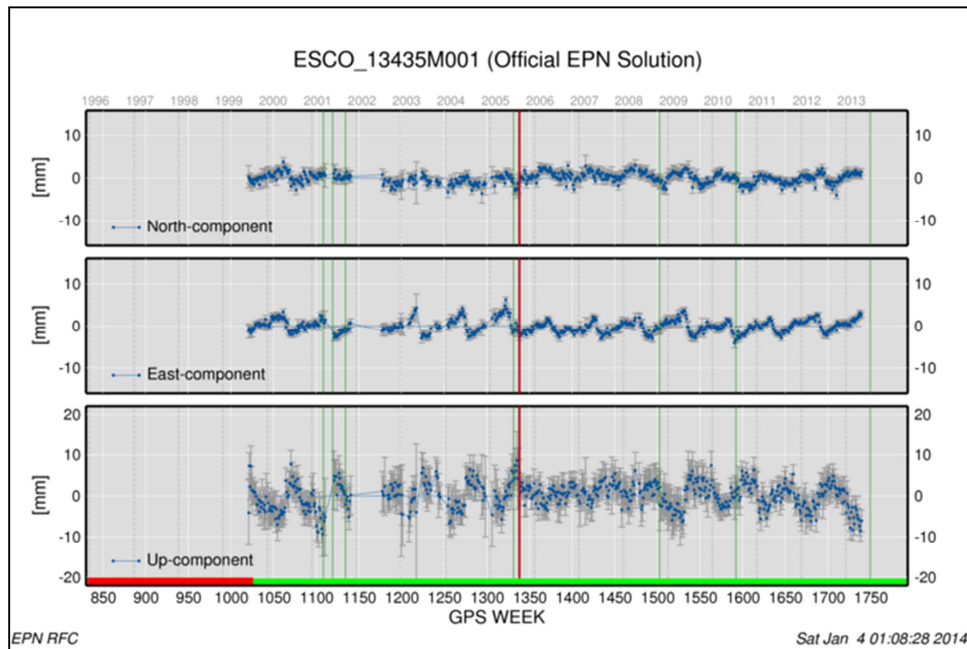




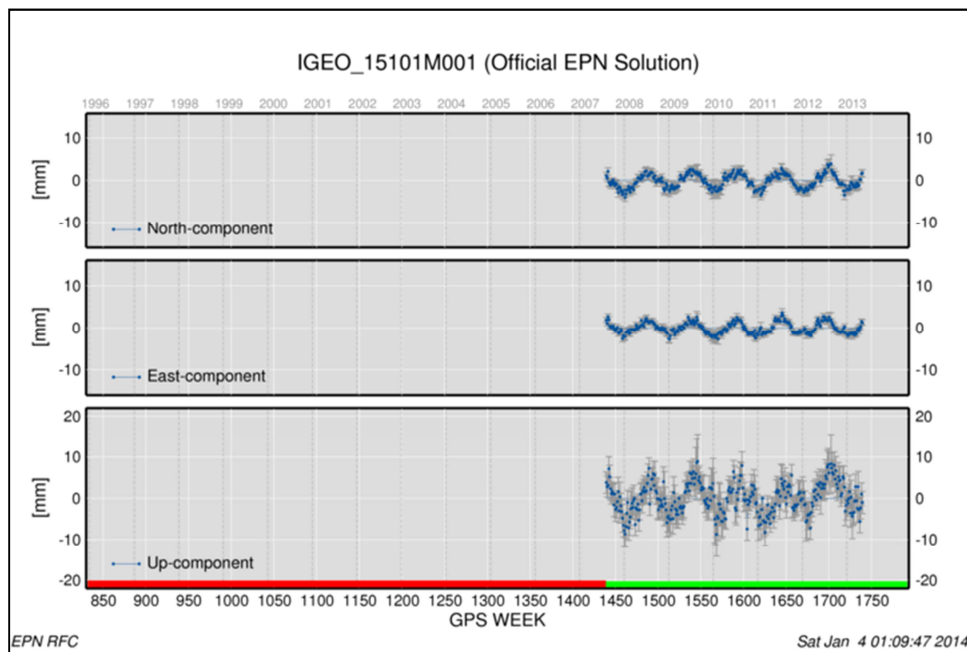
Slika 3 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke BPD\_L



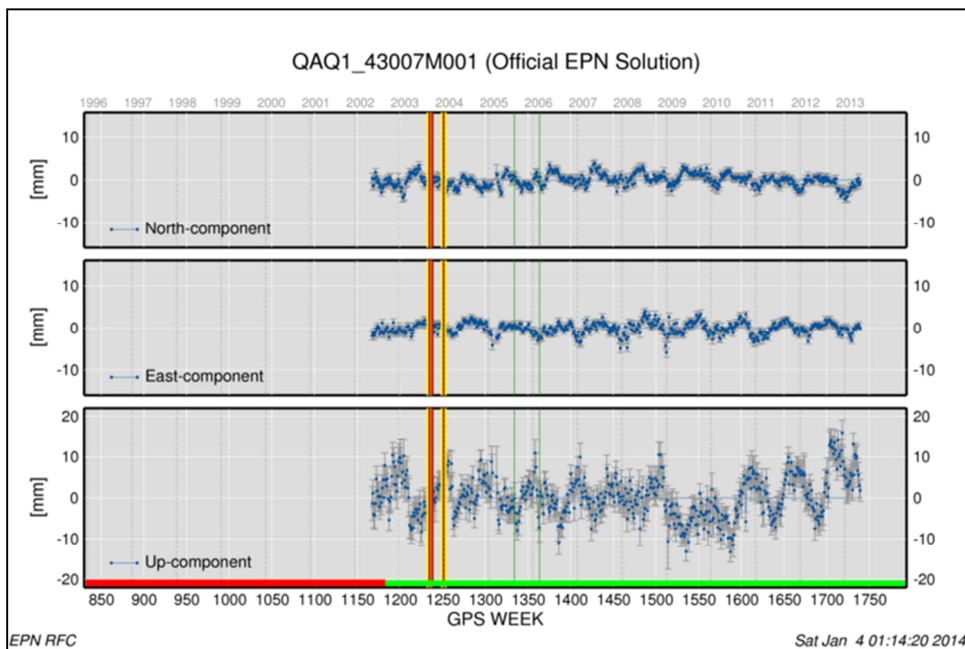
Slika 4 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke CHIZ



Slika 5 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke ESCO



Slika 6 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke IGEO



Slika 7 - Grafički prikaz varijacija u rješenjima koordinata točke QAQ1

Prema (Bruyninx i dr., 2005), promjena referentnog okvira uzrokuje skokove u rješenjima koordinata EPN stanica. Upravo smo iz tog razloga odabrali vremenski prozor u kojemu skok ne utječe na rezultate odnosno onaj period u kojem se tjedna rješenja koordinata stanica nalaze u istom ITRF-u.

## 2. METODE I PLAN RADA

Prije početka analize podataka te naposljetku određivanja korelacije između pogrešaka, potrebno je izraditi plan rada te definirati metode po kojima će se obrada i analiza podataka izvršavati. U nastavku je objašnjen kriterij kojim su odabrane stanice za analizu, pojašnjenje korištenog SINEX formata te naposljetku objašnjenje metoda rada s temeljnim načelima, kako bi čitatelj imao što jasniji uvid u dobivene rezultate ovog rada.

### 2.1. Izbor točaka za analizu

Na službenoj Internetskoj stranici Europske permanentne mreže (URL 1) i pregledom dostupnih podataka, uočena su karakteristična i zanimljiva prostorna ponašanja pojedinih točaka. Najveća pažnja je posvećena dostupnim grafičkim podacima pojedinih točaka. Pritom, upravo su ovi grafički prilozi bili glavna vodilja u odabiru karakterističnih točaka. Prvi korak koji je učinjen, bilo je pregledavanje svih dostupnih grafičkih podataka točaka EPN mreže. Tijekom pregledavanja napravljene su zabilješke imena karakterističnih točaka, koje karakterizira određeno međusobno slično ponašanje promjene koordinata po jedinici vremena (slike 3 – 7).

Tablica 2 - Popis i karakteristike odabranih točaka

Ime stanice	Mjesto	Država	Aktivna od (GPS tjedan)	Prijemnik	Antena
<i>BPDL</i>	Biala Podlaska	Poljska	1483-	TRIMBLE NETR5	Trimble
<i>CHIZ</i>	Chize	Francuska	1090-	ASHTECH Z-XII3	Ashtech
<i>ESCO</i>	Naut Aran	Španjolska	1026-	TRIMBLE NETRS	Trimble
<i>IGEO</i>	Chisnau	Moldavija	1439-	ASHTECH Z	Ashtech
<i>QAQI</i>	Qaqortoq / Julianehaab	Grenland (Danska)	1183-	ASHTECH UZ-12	Ashtech

Prvotna ideja bila je obaviti obradu podataka s šest stanica, no prilikom preuzimanja podataka za točke MOSE uočena je česta nedostupnost tjednih rješenja koordinata. Upravo iz tog razloga ova točka je izbačena iz daljnje obrade i analize podataka, zaključivši da nema dovoljno dostupnih podataka te ne može doprinijeti kvalitetnoj interpretaciji rješenja i zaključaka vezanih za cilj ovoga rada. Na kraju je odabrano pet točaka (Tablica 2) za koje su i preuzeti podaci. Vrlo je bitno napomenuti da je glavni kriterij prilikom izbora točaka bio odabir stanica kod kojih se

periodičke promjene pojavljuju na *sve 3 koordinatne osi* Kartezijevog koordinatnog sustava. Tablica 3 prikazuje elipsoidne koordinate koordinate točkaka, a Slika 8 njihov prostorni položaj na karti.



Slika 8 - Prostorni raspored odabranih točkaka (URL 12)

Tablica 3 – Približne elipsoidne koordinate stanica

STANICA	MJESTO	$\varphi$	$\lambda$	H [m]
BPDŁ	Biala Podlaska, Poljska	23°07'38,0"	52°02'07,0"	196,4
CHIZ	Chize, Francuska	359°35'32,3"	46°08'00,5"	113,2
ESCO	Naut Aran, Španjolska	0°58'32,4"	42°41'36,9"	2508,4
IGEO	Kišnjev, Moldavija	28°50'36,7"	47°01'49,3"	105,9
QAQ1	Qaqortoq , Greenland	313°57'08,0"	60°42'55,0"	110,4

## 2.2. Sinex format

SINEX - *Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format* (URL 6) je IGS format za izdavanje rješenja koordinata permanentnih GPS stanica od 1995 godine. Prvi oblik formata predložen je 1994. kada se zahvaljujući radu i doprinosu IGS-ovoj SINEX radnoj grupi pojavljuju prve verzije 0.04, 0.05 i 1.00. Unatoč činjenici da je IGS razvio SINEX format za ILRS (URL 4) i IVS (URL 5), isti se koristi i za GPS mjerenja. Razlog tome je činjenica da je SINEX format općenit te pruža mogućnost podrške GPS-u i ostalim GNSS tehnikama. Kako bi format udovoljio standardima i potrebama obiju servisa (SLR i VLBI), proširen je od strane ILRS analitičke radne grupe sa novim elementima i detaljnijim specifikacijama. Spajanjem sa prethodnim 1.00 formatom nastala je nova verzija; SINEX 2.00 koji predstavlja jedinstven format definiranja za sve svemirske geodetske mjerne tehnike. Cilj radne grupe jest održavanje SINEX formata sukladno potrebama IERS-a, IDS-a (URL 7), IGS-a, ILRS-a, IVS-a te GGOS-a (URL 8).

Prilikom izrade ovog rada koristili smo tjedna rješenja koordinata iako su dostupna i dnevna rješenja u SINEX formatu. Njegova struktura se sastoji od zaglavlja u kojem je opisan zapis formata i tijela podijeljenog u blokove koji sadržava podatke o rješenjima koordinata te podacima o matricama potrebnih za ocjenu točnosti.

U zaglavlju SINEX formata nalaze se informacije poput opisa (tjedno ili dnevno rješenje), kontakt, ime softvera i hardvera koji se koristio za izradu datoteke te podatak o verziji SINEX formata. Prema (Habrich, 2009) razlikujemo dnevna i tjedna rješenja koordinata stanica. Također možemo pronaći i informaciju o statističkim parametrima poput broja opažanja, broju nepoznanica, broju stupnjeva slobode, interval registracije te ocjene točnosti u obliku varijance. Imena stanica u zaglavlju (Mervat i Weber, 2007) sadrže četiri početna slova imena stanice.

Primjer zaglavlja SINEX formata 1.00 nalazi se u nastavku:

```
%=SNX 1.00 BKG 09:008:53310 EPN 08:321:86385 08:326:86385 P 00636 0 X

*-----
#NAME?

*INFO_TYPE_____ INFO_____

DESCRIPTION      EUREF EPN weekly combined solution in SINEX format

OUTPUT           by Bundesamt fuer Kartographie und Geodaesie (BKG)

CONTACT          heinz.habrich@bkg.bund.de

SOFTWARE         Bernese GPS Software Version 5.0

HARDWARE         Intel Pentium 4 CPU 3.00 GHz

INPUT            EPN Local Analysis Centres

#NAME?

*-----

#NAME?

*AGY DESCRIPTION_____

EUR IAG Commission 1, SC 1.3a, Regional Reference Frame for Europe (EUREF)

#NAME?

*_STATISTICAL PARAMETER_____ VALUE(S)_____

NUMBER OF OBSERVATIONS      2259

NUMBER OF UNKNOWNNS        654

NUMBER OF DEGREES OF FREEDOM 1605

SAMPLING INTERVAL (SECONDS) 180

PHASE MEASUREMENTS SIGMA    0.00100

VARIANCE FACTOR             0.278875261819596
```

Tijelo SINEX formata podijeljeno je u blokove koji opisuju pozicije samih EUREF točaka (koordinate), opise točaka, informacije o početku i kraju registriranja GNSS podataka, vrsti i serijskom broju antena. Primjeri blokova SINEX tijela za točke nad kojima smo obavljali analizu (BPDF, CHIZ, ESCO, IGEO i QAQ1) nalaze se u nastavku:

#NAME?

\*CODE PT \_\_DOMES\_\_ T \_\_STATION DESCRIPTION\_\_ APPROX\_LON\_ APPROX\_LAT\_ \_APP\_H\_

BPDL	A	12223M001	P Biala Podlaska, PL	23 7 38.5	52 2 7.0	196.4
CHIZ	A	10020M001	P Chize, FR	359 35 32.3	46 8 0.5	113.2
ESCO	A	13435M001	P Naut Aran, ES	0 58 32.4	42 41 36.9	2508.4
IGEO	A	15101M001	P Chisinau, __	28 50 36.7	47 1 49.3	105.9
QAQ1	A	43007M001	P Qaqortoq , GL	313 57 8.0	60 42 55.0	110.4

#NAME?

\*SITE PT SOLN T DATA\_START\_\_ DATA\_END\_\_\_\_ DESCRIPTION\_\_\_\_\_ S/N\_\_ FIRMWARE\_\_

BPDL	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	TRIMBLE NETR5	----	-----
CHIZ	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	ASHTECH Z-XII3	----	-----
ESCO	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	TRIMBLE NETRS	----	-----
IGEO	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	ASHTECH Z-XII3	----	-----
QAQ1	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	ASHTECH UZ-12	----	-----

#NAME?

\*UP\_\_\_\_\_ NORTH\_\_ EAST\_\_

\*SITE PT SOLN T DATA\_START\_\_ DATA\_END\_\_\_\_ AXE ARP->BENCHMARK(M)\_\_\_\_\_

BPDL	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	UNE	0.0000	0.0000	0.0000
CHIZ	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	UNE	1.0640	0.0000	0.0000
ESCO	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	UNE	0.0540	0.0000	0.0000
IGEO	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	UNE	-0.0136	0.0000	0.0000
QAQ1	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	UNE	0.1206	0.0000	0.0000

#NAME?

\*CODE PT SOLN T \_DATA\_START\_ \_\_DATA\_END\_\_ \_MEAN\_EPOCH\_

BPDL	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	08:324:43185
CHIZ	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	08:324:43185
ESCO	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	08:324:43185
IGEO	A	0001	P 08:321:00000	08:327:86370	08:324:43185



QAQ1 A 0001 P 08:321:00000 08:327:86370 08:324:43185

Dio SINEX formata koji nam je prilikom izrade ovog seminarskog rada bio potreban, jest onaj blok koji sadržava informacije o koordinatama točaka STAX (X koordinata), STAY (Y koordinata) i STAZ (Z koordinata). Primjeri za točke nad kojima smo obavljali analizu nalaze se u nastavku:

#NAME?

\*INDEX TYPE\_\_ CODE PT SOLN \_REF\_EPOCH\_\_ UNIT S \_\_ESTIMATED VALUE\_\_\_\_ \_STD\_DEV\_\_\_\_

64	STAX	BPDL	A 0001	08:324:43185	m	0 0.361598973953623E+07	.687357E-03
65	STAY	BPDL	A 0001	08:324:43185	m	0 0.154439111309118E+07	.372541E-03
66	STAZ	BPDL	A 0001	08:324:43185	m	0 0.500537373241571E+07	.853530E-03
112	STAX	CHIZ	A 0001	08:324:43185	m	0 0.442760320045666E+07	.144793E-02
113	STAY	CHIZ	A 0001	08:324:43185	m	0 -.315059766797545E+05	.454373E-03
114	STAZ	CHIZ	A 0001	08:324:43185	m	0 0.457562184656538E+07	.139954E-02
166	STAX	ESCO	A 0001	08:324:64785	m	0 0.469626490367422E+07	.119528E-02
167	STAY	ESCO	A 0001	08:324:64785	m	0 0.799785676097955E+05	.375869E-03
168	STAZ	ESCO	A 0001	08:324:64785	m	0 0.430424503012320E+07	.111673E-02
238	STAX	IGEO	A 0001	08:324:43185	m	0 0.381497520607739E+07	.898458E-03
239	STAY	IGEO	A 0001	08:324:43185	m	0 0.210107522710341E+07	.521685E-03
240	STAZ	IGEO	A 0001	08:324:43185	m	0 0.464414401421841E+07	.103276E-02
433	STAX	QAQ1	A 0001	08:324:43185	m	0 0.217094203083877E+07	.550119E-03
434	STAY	QAQ1	A 0001	08:324:43185	m	0 -.225182999148786E+07	.426244E-03
435	STAZ	QAQ1	A 0001	08:324:43185	m	0 0.553998839551692E+07	.113383E-02

Prvi stupac dakle sadrži indekse koji označuju broj retka te o kojoj je komponenti riječ (X, Y ili Z). Drugi stupac sadrži ime, odnosno kod permanentne GPS stanice (u primjeru su izdvojene samo one stanice koje su korištene prilikom izrade ovog rada). Sljedeći stupci pružaju

informacije o referentnoj epohi, jedinicama, vrijednostima odnosno koordinatama te standardnom odstupanju. Vrlo je bitno napomenuti da je prilikom izrade ovog rada težina mjerenja odnosno težina svakog ulaznog podatka prilikom izjednačenja bila jednaka jedinici odnosno svim ulaznim podacima dodijeljeno je jednako standardno odstupanje.

Osim informacija o koordinatama točaka u SINEX formatu dostupne su i apriori vrijednosti odnosno predikcije vrijednosti koordinata. Primjer bloka nalazi se u nastavku:

#NAME?

```
*INDEX TYPE__ CODE PT SOLN _REF_EPOCH__ UNIT S __APRIORI VALUE_____ _STD_DEV___
64 STAX BPDFL A 0001 08:324:43185 m 0 0.361598973512034E+07 .166996E+01
65 STAY BPDFL A 0001 08:324:43185 m 0 0.154439112063682E+07 .166996E+01
66 STAZ BPDFL A 0001 08:324:43185 m 0 0.500537373368843E+07 .166996E+01
112 STAX CHIZ A 0001 08:324:43185 m 0 0.442760320264593E+07 .166996E+01
113 STAY CHIZ A 0001 08:324:43185 m 0 -.315059768032257E+05 .166996E+01
114 STAZ CHIZ A 0001 08:324:43185 m 0 0.457562184598836E+07 .166996E+01
166 STAX ESCO A 0001 08:324:64785 m 0 0.469626489372930E+07 .166996E+01
167 STAY ESCO A 0001 08:324:64785 m 0 0.799785815344845E+05 .166996E+01
168 STAZ ESCO A 0001 08:324:64785 m 0 0.430424502818651E+07 .166996E+01
238 STAX IGEO A 0001 08:324:43185 m 0 0.381497520382321E+07 .166996E+01
239 STAY IGEO A 0001 08:324:43185 m 0 0.210107523140252E+07 .166996E+01
240 STAZ IGEO A 0001 08:324:43185 m 0 0.464414401108843E+07 .166996E+01
433 STAX QAQ1 A 0001 08:324:43185 m 0 0.217094202700610E+07 .166996E+01
434 STAY QAQ1 A 0001 08:324:43185 m 0 -.225182998098562E+07 .166996E+01
435 STAZ QAQ1 A 0001 08:324:43185 m 0 0.553998838191122E+07 .166996E+01
```

Slično kao i kod prethodnog primjera blok sadrži informacije o indeksu stanice, kodu stanice, referentnoj epohi i korištenim jedinicama. Značajna razlika u odnosu na prethodni blok jest upravo to da blok sadrži apriori vrijednost i njihova standardna odstupanja umjesto stvarnih vrijednosti.

Najveći dio SINEX datoteke (gotovo 95%) zauzima dio u kojemu se nalaze parametri rješenja varijanc-kovarijanc matrice. Primjer početka bloka se nalazi u nastavku:

#NAME?

\*PARA1 PARA2 \_\_\_\_\_ PARA2+0 \_\_\_\_\_ PARA2+1 \_\_\_\_\_ PARA2+2 \_\_\_\_\_

```

1 1 0.16205181553727E-05
2 1 -0.17406831906989E-06 0.17029900106624E-06
3 1 0.12372319686838E-05 -0.12779675022402E-06 0.13172008323352E-05
4 1 0.90642291590366E-07 0.15246251222277E-07 0.70291188082980E-07
4 4 0.19186294126117E-05
5 1 0.13153006416067E-07 0.19077057235722E-07 0.14639985674033E-07
5 4 -0.20486134592389E-07 0.18218678654365E-06
6 1 0.72873484230824E-07 0.17137034373104E-07 0.90102865820175E-07
6 4 0.12605179599383E-05 -0.33810461911898E-08 0.11862158945480E-05
7 1 0.90927426868435E-07 0.15318053343540E-07 0.71840364610531E-07
7 4 0.12360633037644E-06 0.13049002983101E-07 0.99454426675989E-07
7 7 0.24184402496823E-05
8 1 0.13957790121345E-07 0.18773185365227E-07 0.15335060221182E-07
8 4 0.12496254640868E-07 0.21798101484806E-07 0.14284632252857E-07
8 7 -0.55601940427408E-07 0.22569733303347E-06
9 1 0.73730146429354E-07 0.17188419087503E-07 0.91751712537872E-07
9 4 0.10049945068800E-06 0.14674137552714E-07 0.12235471447505E-06
9 7 0.15911680741392E-05 -0.28978020673238E-07 0.15112943384100E-05
10 1 0.52722495383904E-07 0.14175577412523E-07 0.44703187666079E-07
10 4 0.65209951124802E-07 0.12200536688433E-07 0.58450720842406E-07
10 7 0.61577527634119E-07 0.12376394409179E-07 0.54827386565335E-07
10 10 0.80579643903052E-06

```

SINEX format pogodan je za IGS/ITRF projekte te prema informacijama iz IGS-a, u budućnost će bez sumnje u njemu biti implementirane manje promjene i dopune, prvenstveno uvođenje

dodatnih opisnih blokova te blokova za ostale mjerne tehnike. Međutim, najsignifikantniji blok sa rješenjima matrice varijance-kovarijance se zasigurno neće mijenjati.

### 2.3. Preuzimanje i obrada podataka

Na službenoj internetskoj stranici Europske permanentne mreže, dostupni su podaci o permanentnim točkama koje su sastavni dio ove mreže. Kao ulazne veličine korištena su *tjedna rješenja* EPN stanica u SINEX formatu (ver. 1.00). Kod obrade i analize podataka korištene su 3D prostorne Kartezijeve koordinate (X,Y,Z) u ITRF2005 referentnom okviru.

Podaci koji su bili predmet istraživanja u ovom radu jesu koordinate točaka, u periodu od 1450-1612 GPS tjedna (URL 10), što odgovara periodu od 21.10.2007. do 4.12.2010 godine. Valja napomenuti da su GPS tjedni u periodu od 1475 do 1477 te 1482 *izbačeni* zbog pogreška mjerenja (outlier-a), dok GPS tjedni 1521 i 1557 ne sadrže podatke mjerenja za dovoljan broj točaka koje su predmet istraživanja ovoga rada.

Iako je prvotno preuzimanje podataka izvršeno u intervalu od 1450 do 1764 GPS tjedna, vrijedi napomenuti da smo zbog ograničenja softverskih rješenja bilo primorani smanjiti vremenski period za obradu i analizu podataka. Stoga su u sklopu ovog rada prikazana rješenja između 1450 i 1612 GPS tjedna.

Nakon preuzimanja SINEX datoteka započeli smo sa procesom obrade podataka. Prvi korak bio je prebacivanje tjednih rješenja koordinata točaka u softver koji će nam omogućiti brzo, jednostavno i točno računanje te daljnje izjednačenje. Za izradu ovog rada odlučili smo se za korištenje Microsoft Office Excel-a (URL 11) poznatog programa za računске operacije.

*Plan obrade podataka* može se podijeliti u nekoliko koraka:

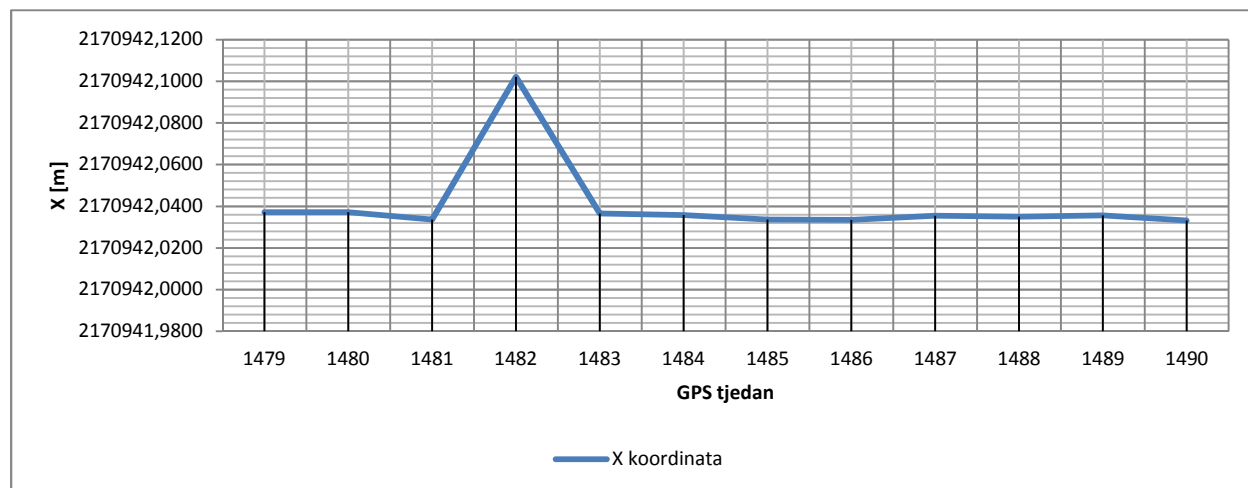
- 1. korak – sistematiziranje popisa tjednih rješenja koordinata točaka po GPS tjednima,
- 2. korak – uklanjanje sistematskih (pomicanje Euroazijske tektonske ploče u odnosu na ITRF05) i grubih pogrešaka iz podataka,
- 3. korak – aproksimacija podataka polinomom 9.-og stupnja
- 4. korak – određivanje tjednih *ubrzanja* gibanja točaka
- 5. korak – određivanje međusobne korelacije pomaka točaka
- 6. korak – ispitivanje šuma mjerenja

### 2.3.1. Sastavljanje popisa tjednih rješenja koordinata

Kao što je ranije spomenuto, postupak obrade podataka započeli smo izdvajanjem i sistematiziranjem tjednih rješenja koordinata točaka EPN mreže. Sam postupak podrazumijevao je kopiranje podataka o koordinatama iz bloka SINEX datoteka (X,Y i Z) te nakon toga slaganje u određene stupce i retke sukladno GPS tjednu. Već prije spomenuti GPS tjedni 1465-1477, 1482, 1521 i 1557 nisu korišteni prilikom analize podataka. Razlog grubim greškama nije poznat, a manjkavost podataka se pripisuje neaktivnosti permanentne GPS stanice tokom određenog tjedna. Treba spomenuti da je sav doprinos EPN-a na volonterskoj bazi te poput većine takvih organizacija na volonterskoj bazi, sukladno tome ima svoja ograničenja u financiranju svoje misije. EPN polaže prava na sve podatke korištene prilikom izrade ovog rada.

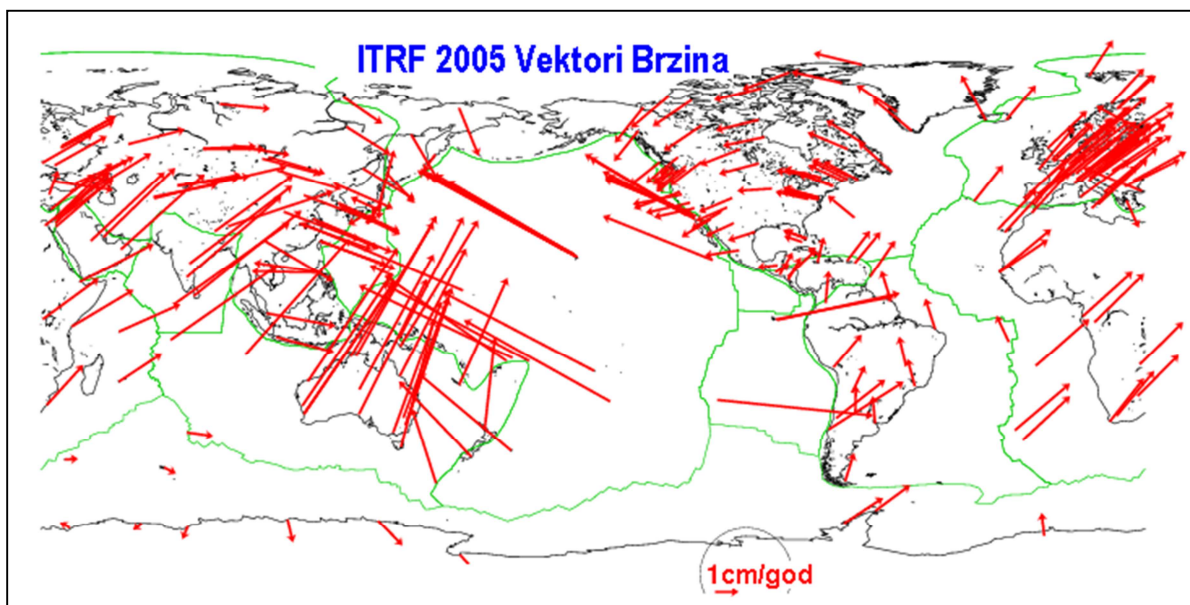
### 2.3.2. Uklanjanje pogrešaka iz podataka

Pošto je u daljnjoj obradi korištena metoda najmanjih kvadrata (Rožić, 2007), iz podataka mjerenja potrebno je izbaciti sistematske i grube pogreške. Grube pogreške su lako eliminirane, pošto su odstupanja, odnosno pomaci veći od 5 cm u vremenskom razdoblju od tjedan dana gotovo nemogući. U razdoblju od 1465 do 1477 GPS tjedna nema dovoljno podataka za analizu, stoga ti tjedni nisu uzeti u obzir, a podaci iz GPS tjedna 1482 su izbačeni upravo zbog očite grube pogreške sadržane u rješenjima koordinata kao što prikazuje Slika 9.



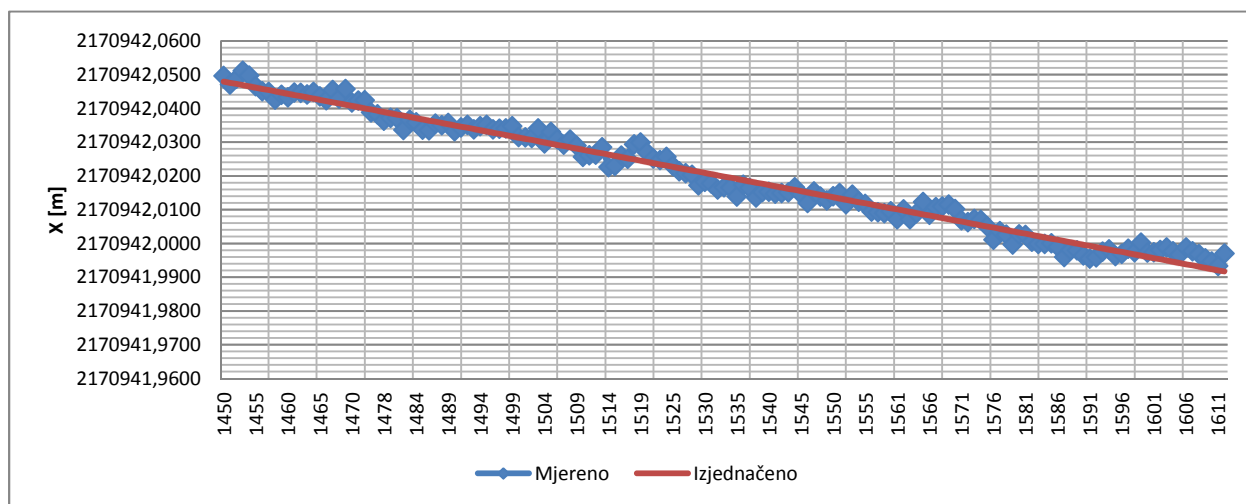
Slika 9 - Primjer grube pogreške za točku QAQ1 u 1482 GPS tjednu

Nakon što su izbačene sve grube pogreške, u podacima je sadržana “sistematska pogreška” vezana uz utjecaj pomicanja Euroazijske tektonske ploče u odnosu na ITRF05 referentni okvir.



Slika 10 - Vektori gibanja tektonskih ploča u odnosu na ITRF 2005 (URL 13)

Kao što Slika 10 prikazuje, Euroazijska tektonska ploča giba se u smjeru sjeveroistoka što potvrđuju i tjedna rješenja koordinata GPS stanica.



Slika 11 - Primjer uklanjanja sistematskog utjecaja pomaka tektonske ploče određivanjem regresijskog pravca za X koordinatu točke QAQ1

Dakle, nakon što smo uklonili grube pogreške iz seta podataka, sukladno metodi najmanjih kvadrata, određen je regresijski pravac (Slika 11). On ujedno određuje i brzinu gibanja GPS stanice u razdoblju 21.10.2007. do 4.12.2010. u ITRF2005 okviru po određenoj osi referentnog sustava.

Funkcija posrednih mjerenja je eksplicitna jednadžba pravca gdje su koeficijent smjera A i odsječak na ordinatnoj osi B, nepoznanice tog pravca kojim smo aprosimirali podatke (1).

$$\bar{Y}_i = Y_i + v_i = \bar{A} * x_i + \bar{B} \quad (1)$$

Gdje je:

$\bar{Y}_i$  izjednačena vrijednost,

$Y_i$  mjerena vrijednost,

$\bar{A}, \bar{B}$  izjednačene nepoznanice,

$v_i$  popravka i

$x_i$  prikraćena nepoznanica.

Računanjem regresijskog pravca i njegovim oduzimanjem od prvotnih tjednih rješenja koordinata permanentnih stanica, uklonjen je sistematski utjecaj pomicanja Euroazijske tektonske ploče u odnosu na ITRF05. Pošto je riječ o stabilnom trendu pomicanja, nagib pravca nam sadrži informaciju o srednjoj brzini gibanja točke. *Jednadžbe regresijskih pravaca te rezultati vezani uz brzine gibanja permanentnih GPS stanica nalaze se u poglavlju rezultati .Izjednačenje je obavljeno koristeći Microsoft Office Excel.*

### **2.3.3. Aproksimacija podataka polinomom 9. stupnja**

Nakon uklanjanja sistematskih i grubih pogrešaka, dobiveni su podaci koji prikazuju periodičko gibanje permanentne GPS stanice tokom vremena i upravo su ta periodička gibanja bila predmet istraživanja ovog rada. Stoga je vrlo bitno dobro aproksimirati podatke polinom nekog stupnja, kako bi naše istraživanje u konačnici dalo odgovor o međusobnoj korelaciji. Odlučili smo se za aproksimaciju polinomom 9. stupnja pošto je tako dobiven model, vrlo vjerna aproksimacija periodičkih pomaka.



Za određivanje polinoma korišteno je izjednačenje po metodi najmanjih kvadrata, a pritom nam je funkcija posrednih mjerenja glasila (2):

$$\bar{Y}_i = Y_i + v_i = \bar{A} + \bar{B} * x_i + \bar{C} * x_i^2 + \bar{D} * x_i^3 + \bar{E} * x_i^4 + \bar{F} * x_i^5 + \bar{G} * x_i^6 + \bar{H} * x_i^7 + \bar{I} * x_i^8 + \bar{J} * x_i^9 \quad (2)$$

Kao i u prijašnjem koraku vrijedi:

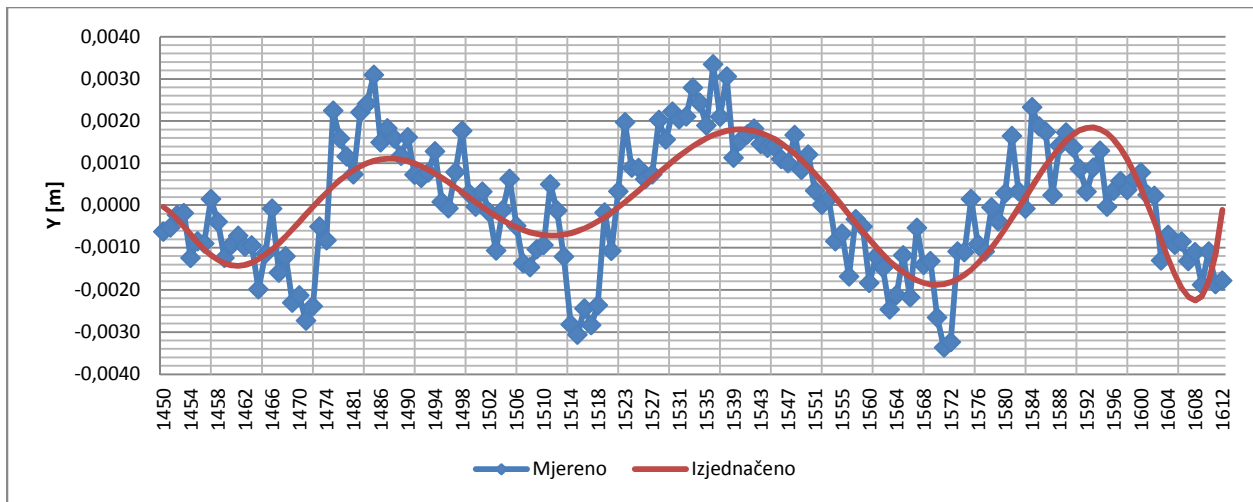
$\bar{Y}_i$  izjednačena vrijednost,

$Y_i$  mjerena vrijednost,

$\bar{A}.. \bar{J}$  izjednačene nepoznanice,

$v_i$  popravka i

$x_i$  prikraćena nepoznanica.



Slika 12 - Primjer modeliranja podataka polinomom 9. stupnja za Y koordinatu točke CHIZ

Rezultati i jednadžbe vezani uz aproksimacije podataka polinomom devetog stupnja (Slika 12) nalaze se u poglavlju *rezultati*. *Izjednačenje je obavljeno koristeći Microsoft Office Excel.*

### 2.3.4. Određivanje tjednih ubrzanja gibanja točaka

Sljedeća komponenta koju smo htjeli ispitati, bilo je ubrzanje gibanja točaka nakon što je iz podataka mjerenja uklonjen sistematski utjecaj gibanja Euroazijske tektonske ploče. Pošto smo raspolagali sa tjednim rješenjima cilj je bio računati sa podacima na tjednoj razini. Ubrzanja bi pritom bila računata pomoću sljedećih izraza (3-5).

$$a_{Xi} = \frac{(X_i - X_{i-1})}{7^2} * 1000 \quad (3)$$

$$a_{Yi} = \frac{(Y_i - Y_{i-1})}{7^2} * 1000 \quad (4)$$

$$a_{Zi} = \frac{(Z_i - Z_{i-1})}{7^2} * 1000 \quad (5)$$

Gdje je:

$a_{Xi}$  tjedno ubrzanje stanice u tjednu  $i$  za koordinatu X,

$a_{Yi}$  tjedno ubrzanje stanice u tjednu  $i$  za koordinatu Y,

$a_{Zi}$  tjedno ubrzanje stanice u tjednu  $i$  za koordinatu Z,

$X_i$  tjedno rješenje koordinate X u tjednu  $i$ ,

$Y_i$  tjedno rješenje koordinate Y u tjednu  $i$ ,

$Z_i$  tjedno rješenje koordinate Z u tjednu  $i$ ,

$X_{i-1}$  tjedno rješenje koordinate X u tjednu  $i - 1$ ,

$Y_{i-1}$  tjedno rješenje koordinate Y u tjednu  $i - 1$ ,

$Z_{i-1}$  tjedno rješenje koordinate Z u tjednu  $i - 1$ .

Jedinica u kojoj su pritom izražena ubrzanja su *milimetri po danu na kvadrat* (mm/dan<sup>2</sup>), dok smo brzine gibanja stanica računali prema sljedećim izrazima (6-8).

$$v_X = \frac{(X_z - X_p)}{br. god.} * 1000 \quad (6)$$

$$v_Y = \frac{(Y_z - Y_p)}{br. god.} * 1000 \quad (7)$$

$$v_Z = \frac{(X_z - X_p)}{br. god.} * 1000 \quad (8)$$

Gdje je:

$v_X$  prosječna brzina gibanja stanice po X koordinatnoj osi,

$v_Y$  prosječna brzina gibanja stanice po Y koordinatnoj osi,

$v_Z$  prosječna brzina gibanja stanice po Z koordinatnoj osi,

$X_z - X_p$  razlika X koordinata stanica zadnjeg i početnog GPS tjedna proučavanja,

$Y_z - Y_p$       razlika Y koordinata stanica zadnjeg i početnog GPS tjedna proučavanja,

$Z_z - Z_p$       razlika Z koordinata stanica zadnjeg i početnog GPS tjedna proučavanja.

Na taj način dobivene su prosječne brzine gibanja stanica izražene u jedinici brzine *milimetar po godini* (mm/god).

### 2.3.5. Određivanje međusobne korelacije pomaka točaka

Prema Teoriji pogrešaka i računu izjednačenja (Klak, 1982) korelacija je dio matematičke statistike koja omogućuje ispitivanje postojanja fizikalne ili matematičke korelacije tj. određivanja da li između dva skupa podataka (pojava) postoji povezanost (9).

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{f_i} \sum_{j=1}^m f_{ij} y_{ij} \quad (9)$$

Gdje je:

$\bar{Y}_i$       srednja vrijednost

$f_{ij}$       frekvencija u kojoj nalazimo pojedinu vrijednost  $y_{ij}$

$f_i$       broj svih  $y_{ij}$  za neki  $x_i$

Prema tome svaki  $x_i \dots x_n$  dobiti će pripadne srednje vrijednosti. Računanje srednjih vrijednosti pomoću gornje formule naziva se regresija. Spajanjem točaka dobivenih regresijom dobivamo krivulju regresije odnosno regresijsku krivulju. Krivulja regresije je najčešće nepravilna zbog pogrešaka mjerenja međutim ona se može aproksimirati i pravilnom krivuljom koja bolje opisuje mjerenja. Međutim cilj ovog rada nije samo odrediti krivulju regresije već i odrediti povezanosti između pojava tj. koeficijent korelacije koji će nam dati informacije u kolikoj su mjeri povezane pojave ili pak nisu.

Opći slučaj kada krivulju regresije želimo aproksimirati pravcem glasi:

$$y_i = ax_i + b \quad (10)$$

Koeficijent smjera  $a$  možemo izračunati kao:

$$a = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x^2} \quad (11)$$

Te naposljetku koeficijent korelacije glasi:

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (12)$$

Kad je koeficijent korelacije  $\pm 1$  postoji funkcijska veza. Općenito gledajući može se reći da postoji korelacija ukoliko je koeficijent korelacije veći ili jednak po apsolutnoj vrijednosti od 0,5. Predznak nam daje informaciju na način ukoliko je pozitivan tada obje veličine x i y rastu, dok u suprotnom to nije slučaj.

### **2.3.6. Ispitivanje šuma mjerenja**

Poslijednji korak u ovom radu podrazumijevao je analizu pogrešaka mjerenja odnosno šuma modela sistematskih pogrešaka (polinoma 9. stupnja). Naime, pošto je model aproksimacija i ne može sadržavati sve podatke mjerenja kao rezultat dobivamo među ostalim i određena odstupanja od modela – tj. šum mjerenja. Cilj ispitivanja šuma mjerenja bio je određivanje međusobne povezanosti trenda šuma na godišnjoj razini tj. određivanje postojanja korelacije između pogrešaka modela što bi značilo da se šum temelji na sezonskim promjenama. Analogno formulama (9-12) koje smo koristili za određivanje korelacije postupak je primjenjen na šum mjerenja.

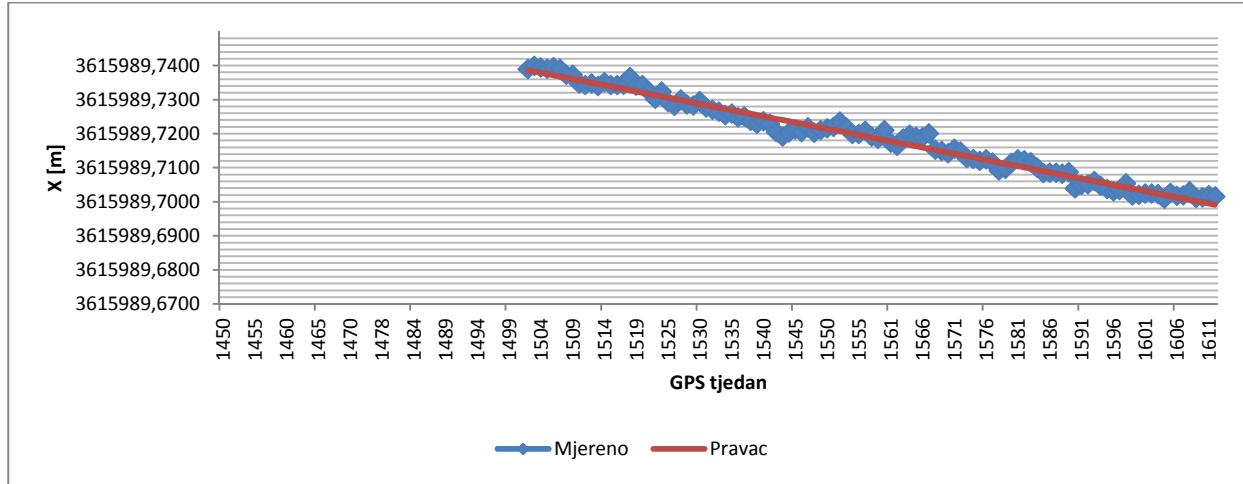
### 3. REZULTATI

Nakon unosa svih potrebnih podataka iz sirovih SINEX datoteka u Microsoft Office Excel, njihove obrade sukladno opisanim metodama te planu rada, dobiveni su sljedeći rezultati:

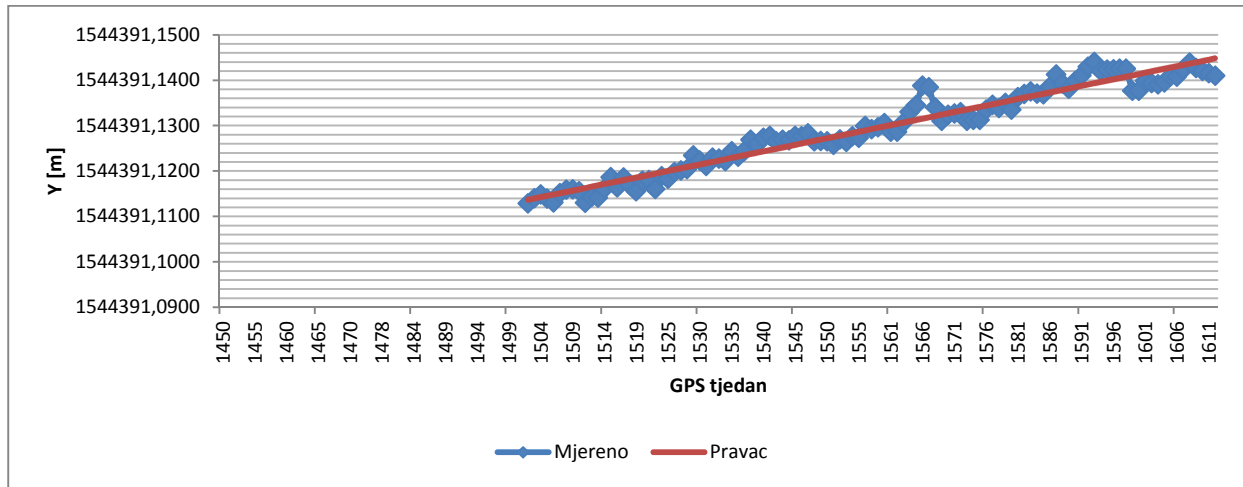
- a) Regresijske pravce koji opisuju gibanja stanica kao posljedicu gibanja tektonskih ploča u odnosu na ITRF 2005, na temelju trogodišnjih opažanja
- b) Prosječne brzine gibanja stanica uslijed gibanja tektonskih ploča u odnosu na ITRF 2005 sa pripadajućim statističkim podacima
- c) Srednja ubrzanja gibanja stanica sa pripadajućim statističkim podacima
- d) Modele sustavnih pogrešaka kontinuiranih mjerenja u obliku polinoma 9. stupnja
- e) Tablice korelacije između modela sustavnih pogrešaka i
- f) Model pogrešaka polinoma 9. stupnja nastalih uslijed odstupanja stvarnih mjerenja od modela i pripadajuće tablice korelacije

#### 3.1. Regresijski pravci – gibanja stanica uslijed pomaka tektonskih ploča u odnosu na ITRF05

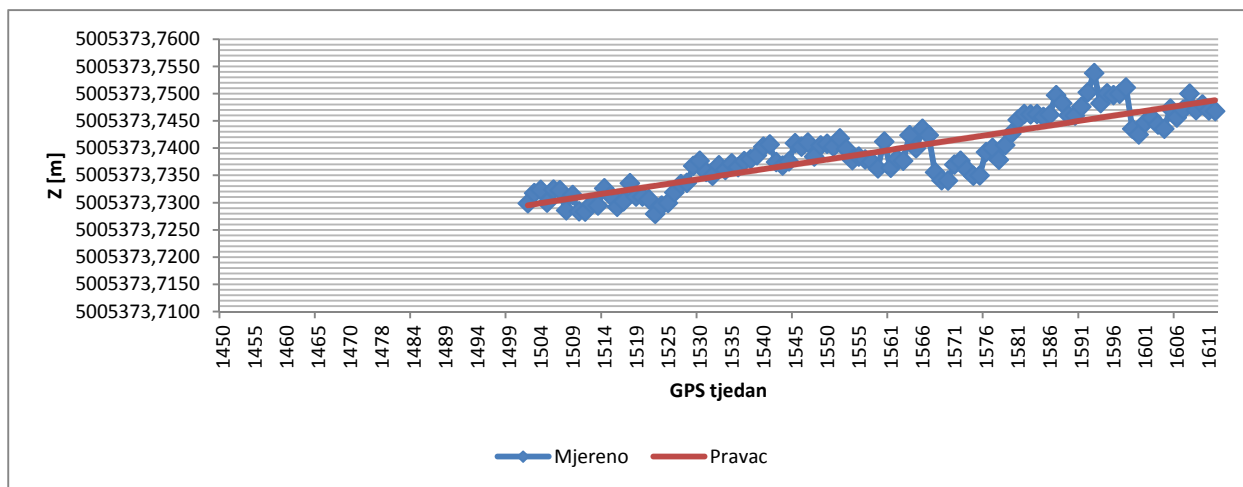
Već smo ranije spomenuli da se tektonske ploče gibaju u odnosu na ITRF 2005. Koristeći metodu najmanjih kvadrata dobiveni su modeli gibanja stanica na temelju trogodišnjih opažanja te se vrlo jednostavno mogu opisati pomoću pravaca pošto je riječ o konstantnom gibanju sa ujednačenim trendom. U nastavku je dan popis eksplicitnih jednadžbi pravaca te grafički prikaz za svaku pojedinu koordinatu (slike 13-27).



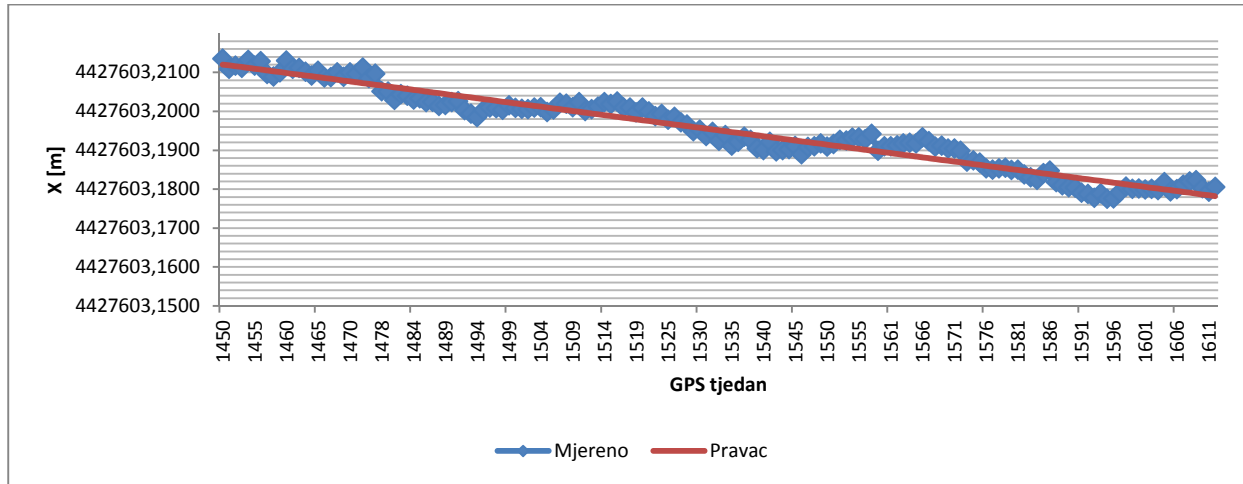
Slika 13 - Regresijski pravac za točku BPD



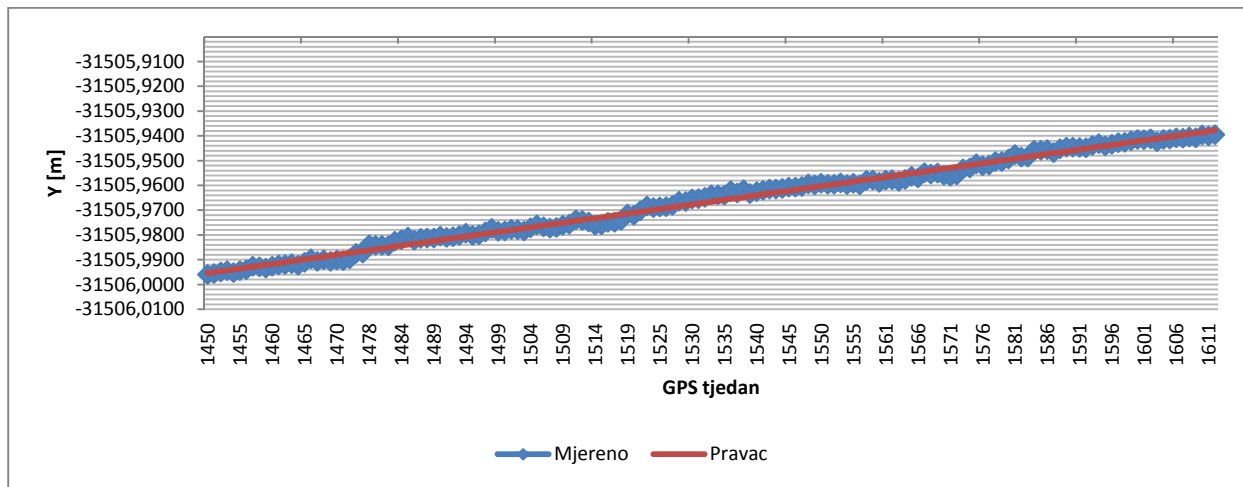
Slika 14 - Regresijski pravac za točku BPD



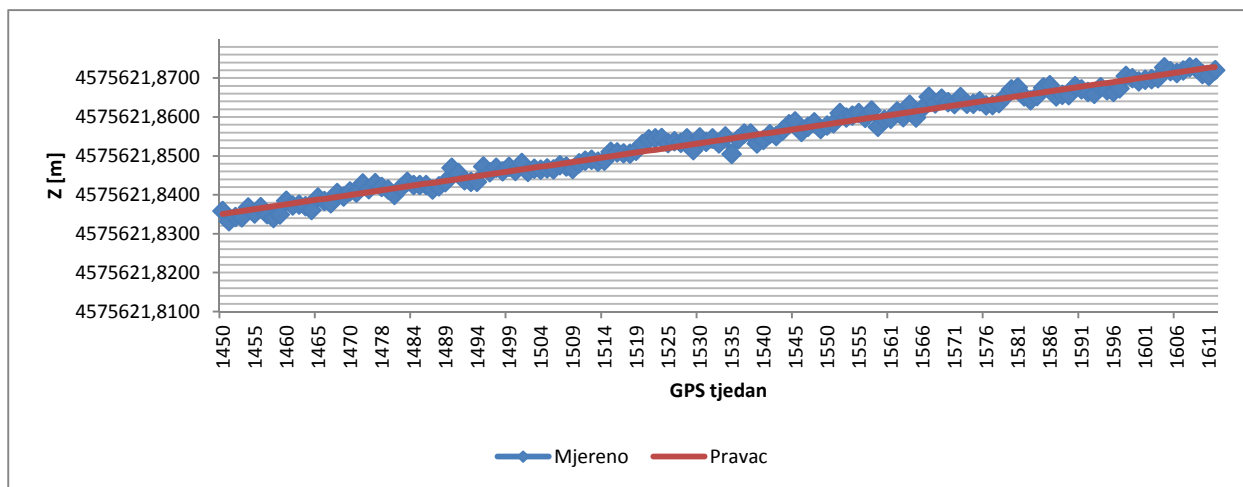
Slika 15 - Regresijski pravac za točku BPD



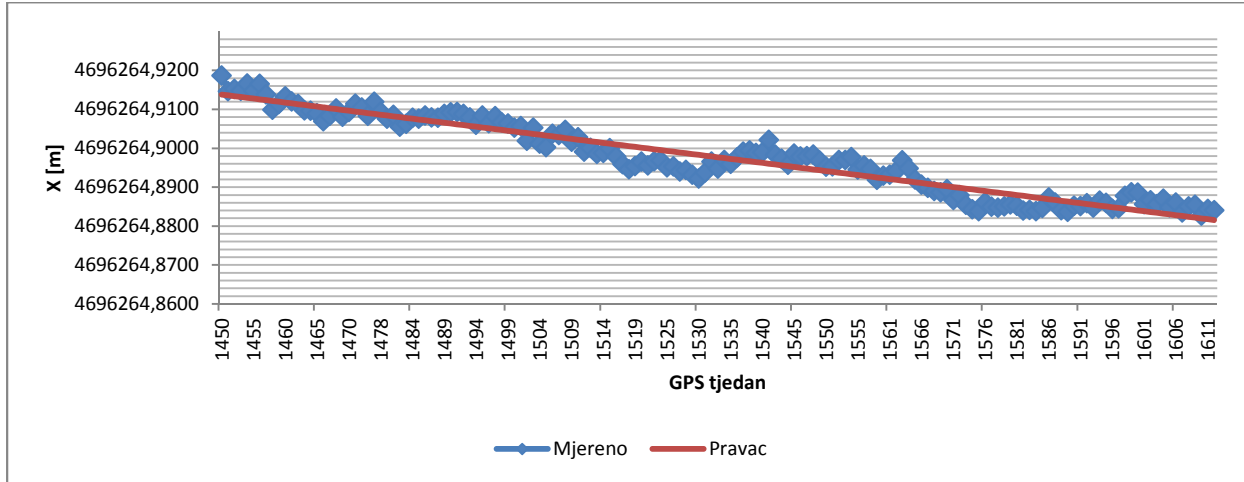
Slika 16 - Regresijski pravac za točku CHIZ



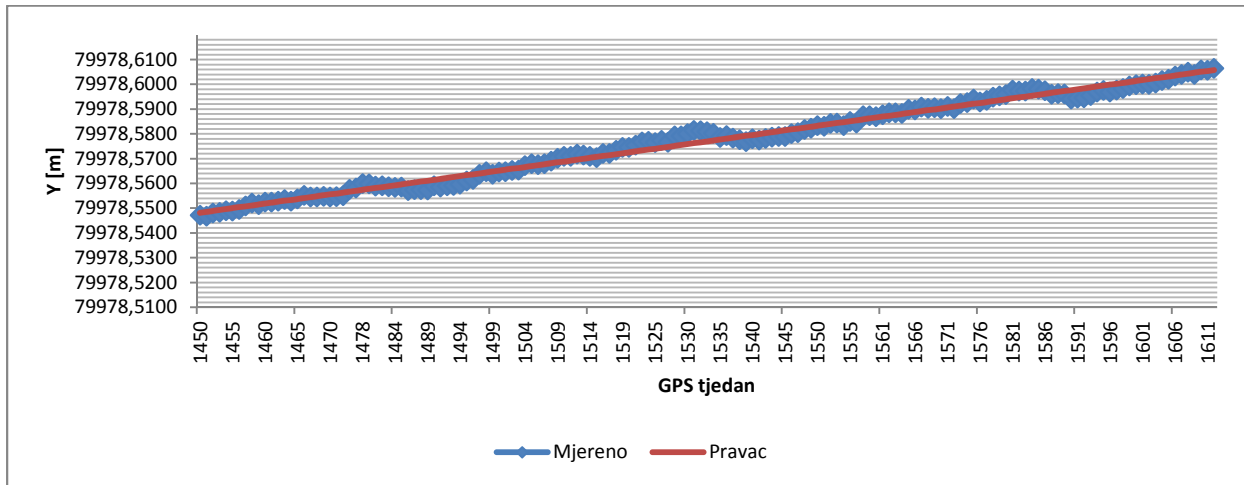
Slika 17 - Regresijski pravac za točku CHIZ



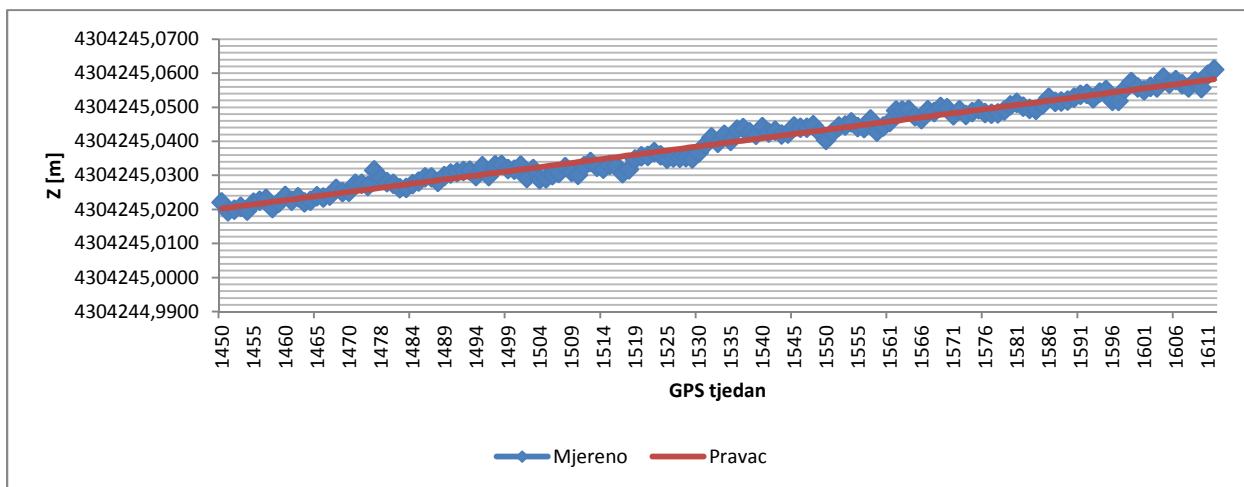
Slika 18 - Regresijski pravac za točku CHIZ



Slika 19 - Regresijski pravac za točku ESCO

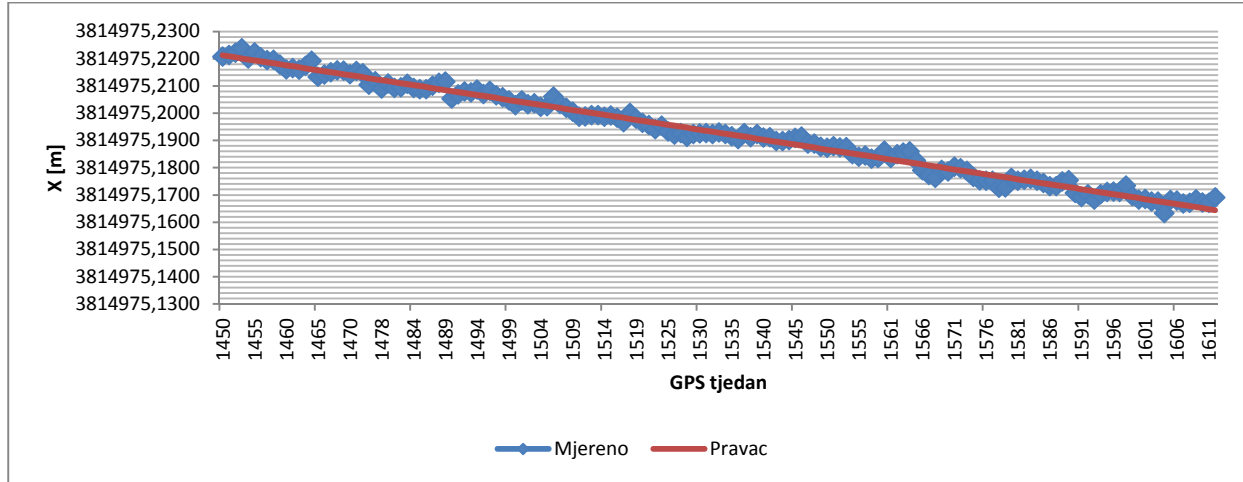


Slika 20 - Regresijski pravac za točku ESCO

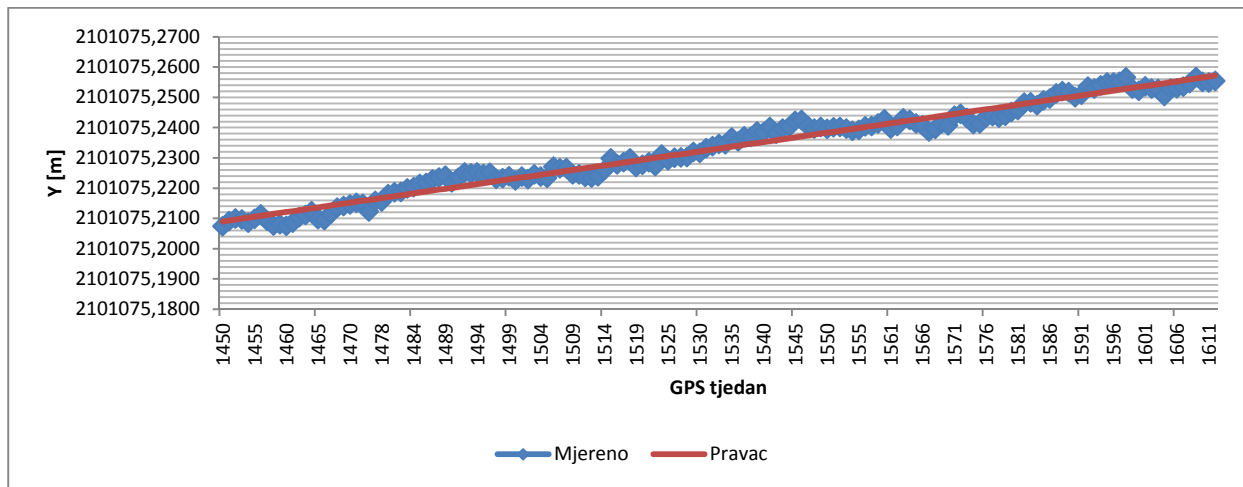


Slika 21 - Regresijski pravac za točku ESCO

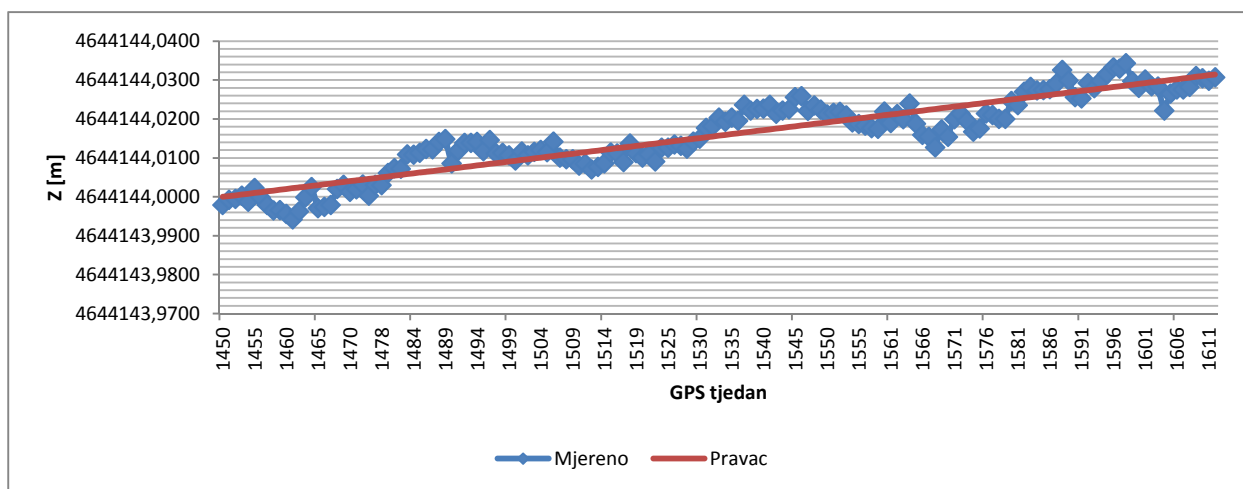




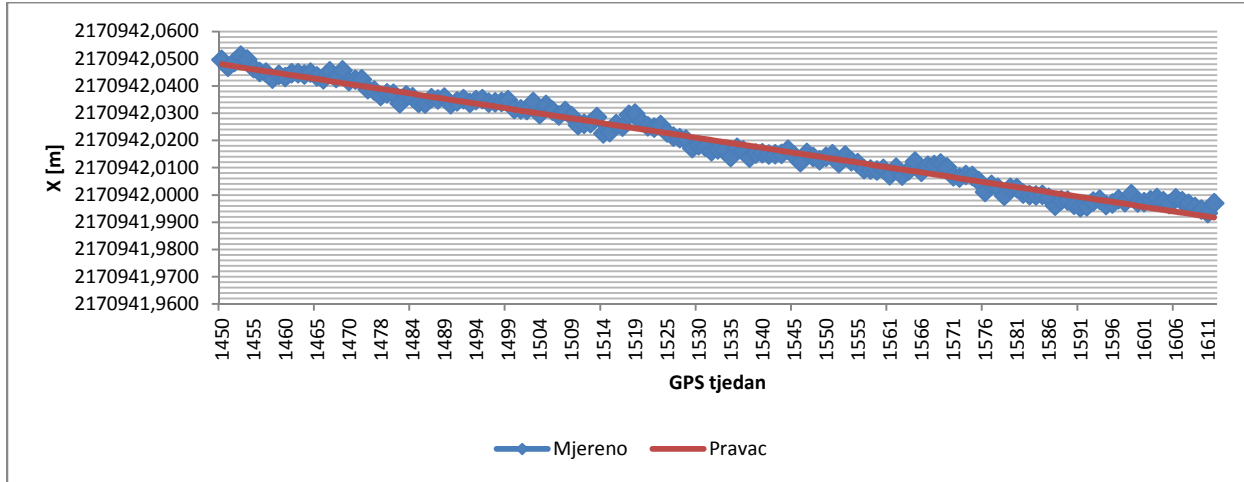
Slika 22 - Regresijski pravac za točku IGEO



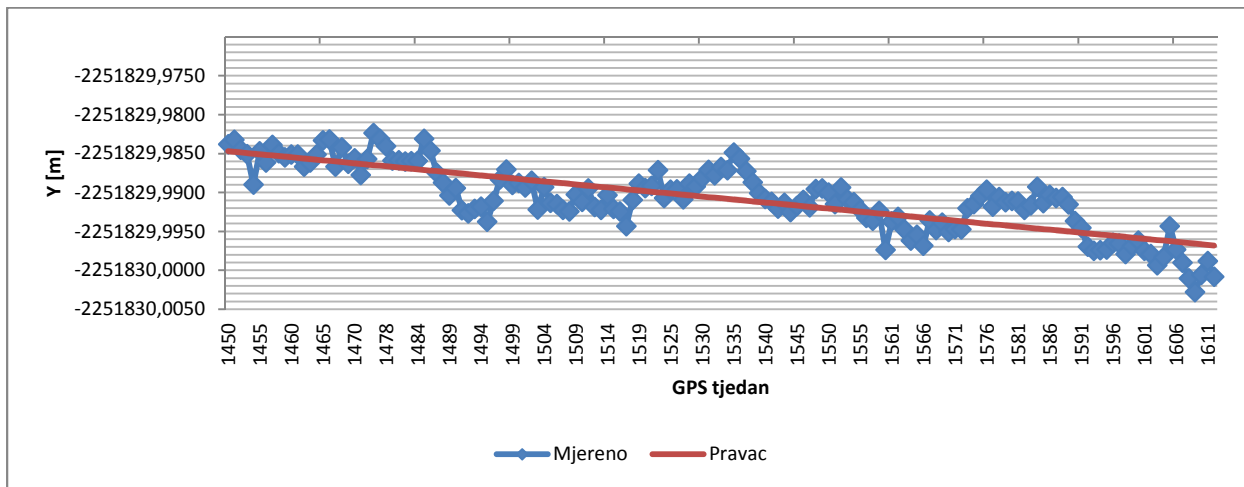
Slika 23 - Regresijski pravac za točku IGEO



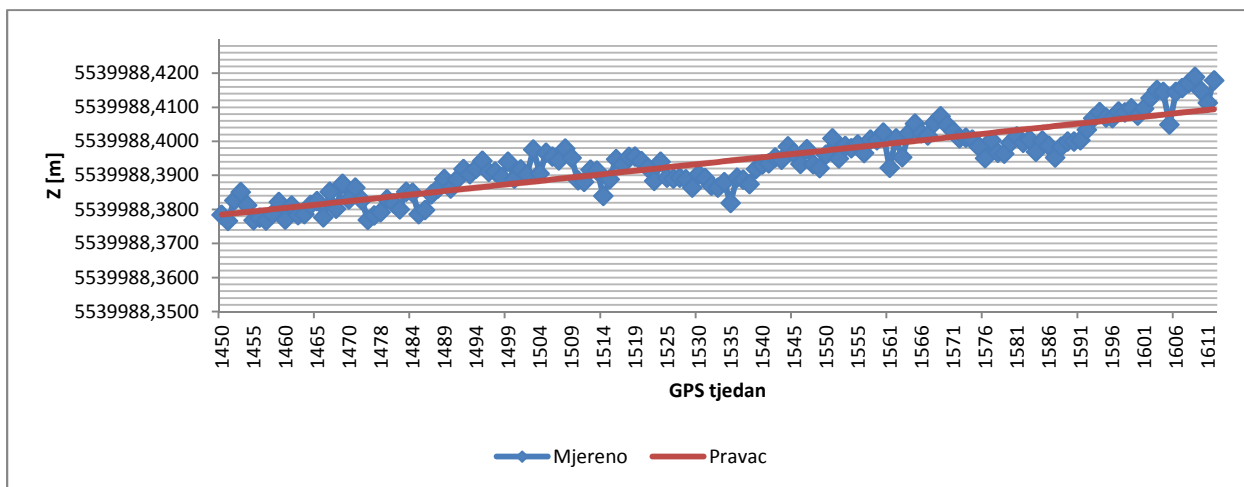
Slika 24 - Regresijski pravac za točku IGEO



Slika 25 - Regresijski pravac za točku QAQ1



Slika 26 - Regresijski pravac za točku QAQ1



Slika 27 - Regresijski pravac za točku QAQ1

Kao što je vidljivo iz eksplicitnih jednadžbi (Tablica 4) te grafova, sve točke imaju po predznaku jednake koeficijente i smjerove gibanja s izuzetkom stanice QAQ1. Razlog tome je što se stanica QAQ1 nalazi na Grenlandu te za razliku od ostalih stanica nije dio Euroazijske tektonske ploče.

Tablica 4 - Eksplicitne jednadžbe gibanja permanentnih stanica uslijed pomaka tektonskih ploča u odnosu na ITRF05

Stanica	Koordinata	Koeficijenti		
		A	B	Jednadžbappravca
BPDL	X	-0,0004	3615989,756	y= -0,0004 x + 3615989,756
	Y	0,0003	1544391,100	y= 0,0003 x + 1544391,100
	Z	0,0002	5005373,721	y= 0,0002 x + 5005373,721
CHIZ	X	-0,0002	4427603,212	y= -0,0002 x + 4427603,212
	Y	0,0004	-31505,995	y= 0,0004 x + -31505,995
	Z	0,0002	4575621,835	y= 0,0002 x + 4575621,835
ESCO	X	-0,0002	4696264,914	y= -0,0002 x + 4696264,914
	Y	0,0004	79978,548	y= 0,0004 x + 79978,548
	Z	0,0002	4304245,020	y= 0,0002 x + 4304245,020
IGEO	X	-0,0004	3814975,221	y= -0,0004 x + 3814975,221
	Y	0,0003	2101075,209	y= 0,0003 x + 2101075,209
	Z	0,0002	4644144,000	y= 0,0002 x + 4644144,000
QAQ1	X	-0,0004	2170942,048	y= -0,0004 x + 2170942,048
	Y	-0,0001	-2251829,985	y= -0,0001 x + -2251829,985
	Z	0,0002	5539988,378	y= 0,0002 x + 5539988,378

Nakon provedbe izjednačenja izračunato je referentno standardno odstupanje. Referentno standardno odstupanje je osnovni kriterij ocjene točnosti pri posrednim mjerenjima (Feil, 1989). Međutim kako se izjednačenjem ne određuju prave, već najvjerojatnije pogreške referentno standardno odstupanje je izračunato pomoću najvjerojatnijih popravaka koje su dobivene kao rezultat izjednačenja, te u konačnici izraz za referentno standardno odstupanje glasi:

$$S_0 = \sqrt{\frac{v^t v}{n_{ref}}} \quad (13)$$

Gdje je:

v - vektor popravka dobiven izjednačenjem,

$n_{ref}$  - broj prekobrojnih mjerenja.

Referentna standardna odstupanja regresijskih pravaca su dana u Tablica 5:

Tablica 5 - Referentna standardna odstupanja regresijskog pravca

Ime točke	Koordinata	Točnost referentnog mjerenja [ $S_0$ ]	
BPDL	X	0,002	[m]
	Y	0,002	[m]
	Z	0,003	[m]
CHIZ	X	0,002	[m]
	Y	0,001	[m]
	Z	0,001	[m]
ESCO	X	0,003	[m]
	Y	0,002	[m]
	Z	0,002	[m]
IGEO	X	0,002	[m]
	Y	0,002	[m]
	Z	0,004	[m]
QAQ1	X	0,002	[m]
	Y	0,003	[m]
	Z	0,004	[m]

### 3.2. Prosječne brzine gibanja stanica

Na temelju modela gibanja izračunate su i brzine gibanja točaka. Izračunate vrijednosti su prikazane u Tablica 6.

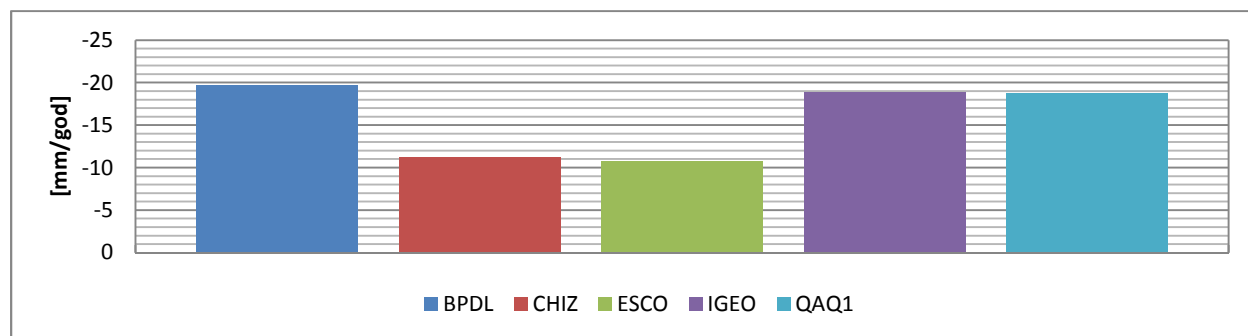
Tablica 6 – Brzine gibanja stanica

Ime stanice	Koordinata			
	X	Y	Z	jedinica
BPDL	-19,8	15,6	9,6	[mm/god]
CHIZ	-11,3	19,2	12,6	[mm/god]
ESCO	-10,7	19,2	12,7	[mm/god]
IGEO	-18,9	16,0	10,5	[mm/god]
QAQ1	-18,8	-4,0	10,3	[mm/god]

Statistički podaci brzina gibanja:

<i>Min</i>	-10,7	-4,0	9,6	[mm/god]
<i>Max</i>	-19,8	19,2	12,7	[mm/god]
<i>Aritm. sredina</i>	-15,9	13,2	11,1	[mm/god]
<i>St. odstupanje</i>	4,5	9,8	1,4	[mm/god]

Kao što je vidljivo u Tablica 6, sve točke imaju poprilično slične trendove s izuzetkom permanentne GPS stanice QAQ1 što je i logično, pošto je ona između odabranih točaka, jedina koja se ne nalazi na Euroazijskoj tektonskoj ploči već na Grenlandu, koji je dio Sjevernoameričke tektonske ploče (Slika 29).

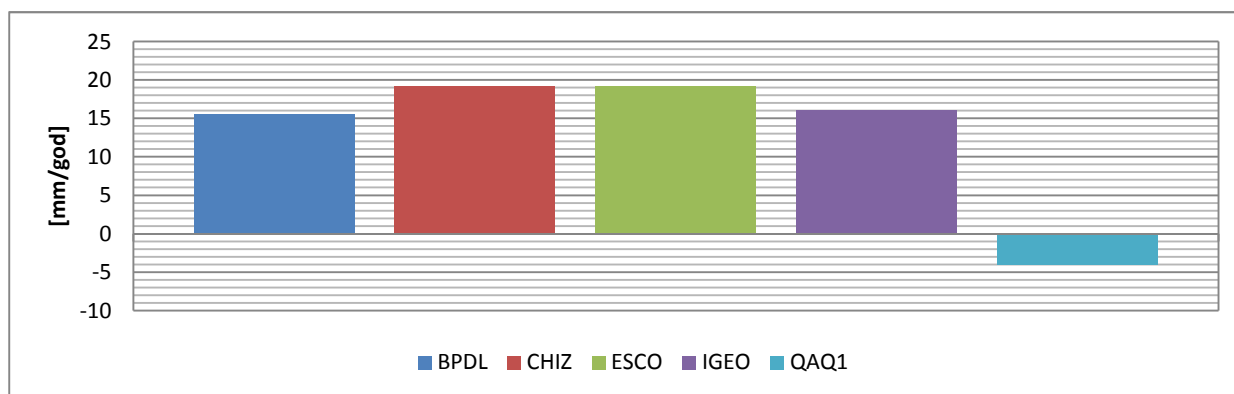


Slika 28 - Brzina gibanja stanica (X koordinata)



Slika 29 - Vektori brzina gibanja stanica po X-osi

Gledajući brzine gibanja stanica po X osi možemo zaključiti kako je riječ o negativnom trendu. Najmanja brzina pomaka stanice po X osi je na permanentnoj stanici ESCO i iznosi -10,7 mm/god dok je najveća brzina zabilježena na stanici BPDL i iznosi -19,8 mm/god (Slika 28).



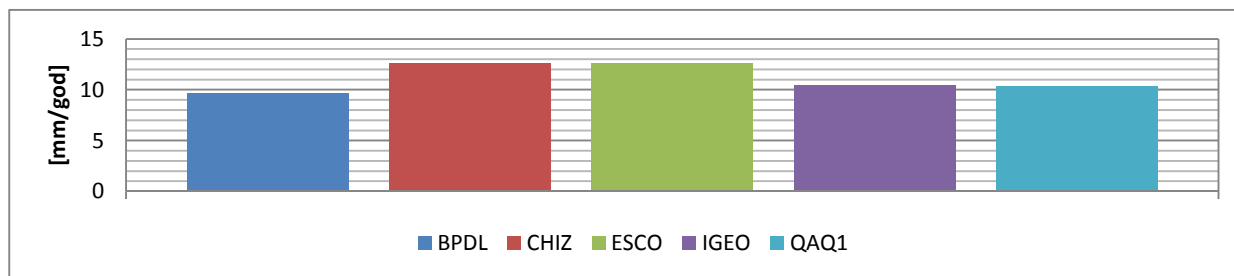
Slika 30 - Brzina gibanja stanica (Y koordinata)

Kod Y koordinatne osi već smo ranije spomenuuli stanicu QAQ1 koja jedina ima negativni predznak što je posljedica gibanja Sjevernoameričke tektonske ploče u suprotnom smjeru (Slika 31). Ostale točke prate pozitivan trend gibanja i stanice CHIZ i ESCO prednjače s 19,2 mm/god (Slika 29). Kod Y komponente, očit je pad brzine gibanja od zapada prema istoku.



Slika 31- Vektori brzina gibanja stanica po Y-osi

Naposlijetku, određeni su i pomaci odnosno brzine gibanja u smjeru Z koordinatne osi. Sve točke prate trend povećanja od 9,6 mm/god do 12,7 mm/god (Slika 32). Vidljiva je tendencija povećanja brzine gibanja u smjeru od sjevera prema jugu s izuzetkom stanice QAQ1(Slika 33).



Slika 32 - Brzina gibanja stanica (Z koordinata)



Slika 33 - Vektori brzina gibanja stanica po Z-osi

Najmanje standardno odstupanje gledajući brzine gibanja po osima prisutno je kod brzina po Z koordinatnoj osi dok je najveće kod Y koordinatne osi.



### 3.3. Srednja ubrzanja stanica

Predmet istraživanja ovog rada bile su upravo sustavne pogreške, kod kojih nije riječ o konstantnom gibanju, već o gibanju koje ima promjene u brzini i smjeru gibanja. U Tablica 7 su prikazana srednja ubrzanja gibanja permanentnih GPS stanica u trogodišnjem periodu, izračunata pomoću sirovih podataka iz SINEX datoteka. Bitno je imati na umu da su to srednje vrijednosti te da su se ubrzanja mijenjala na tjednoj bazi.

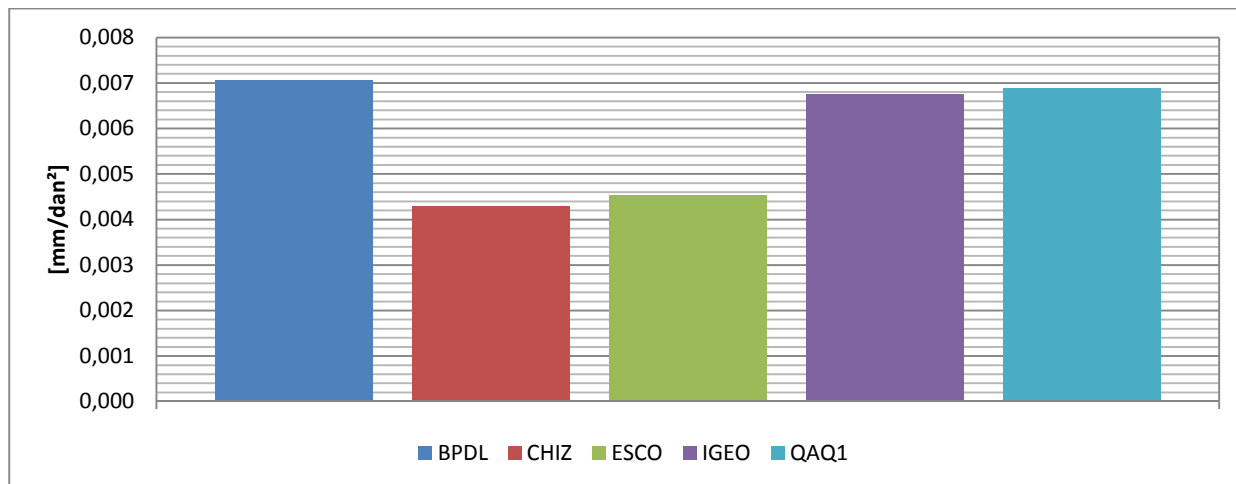
Tablica 7 – Srednja ubrzanja gibanja stanica

Ime stanice	Koordinata			
	X	Y	Z	
BPDL	0,0071	0,0053	0,0032	[mm/dan <sup>2</sup> ]
CHIZ	0,0043	0,0074	0,0047	[mm/dan <sup>2</sup> ]
ESCO	0,0045	0,0078	0,0051	[mm/dan <sup>2</sup> ]
IGEO	0,0068	0,0063	0,0043	[mm/dan <sup>2</sup> ]
QAQ1	0,0069	0,0022	0,0052	[mm/dan <sup>2</sup> ]

Statistički podaci ubrzanja gibanja:

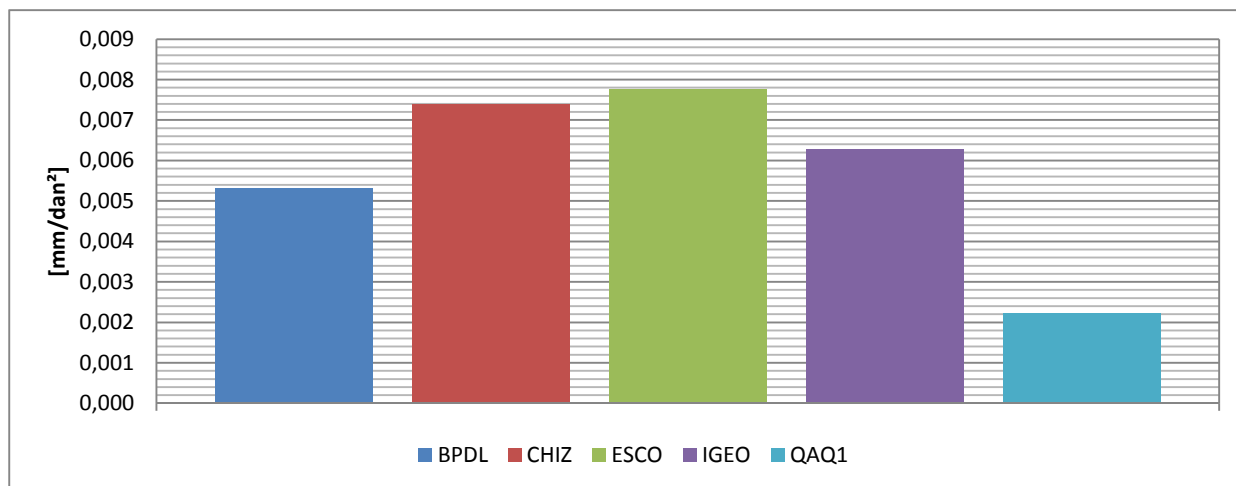
<i>Min</i>	0,0043	0,0022	0,0032	[mm/dan <sup>2</sup> ]
<i>Max</i>	0,0071	0,0078	0,0052	[mm/dan <sup>2</sup> ]
<i>Aritm. sredina</i>	0,0059	0,0049	0,0045	[mm/dan <sup>2</sup> ]
<i>St. odstupanje</i>	0,0014	0,0041	0,0008	[mm/dan <sup>2</sup> ]

Promatrajući X koordinatu (Slika 34), sve stanice imaju sličan trend ubrzanja. Najveće ubrzanje po X osi ima stanica BPDL od 0,0071 mm/dan<sup>2</sup>, dok stanica CHIZ ima najmanje ubrzanje u iznosu od 0,0043 mm/dan<sup>2</sup>.



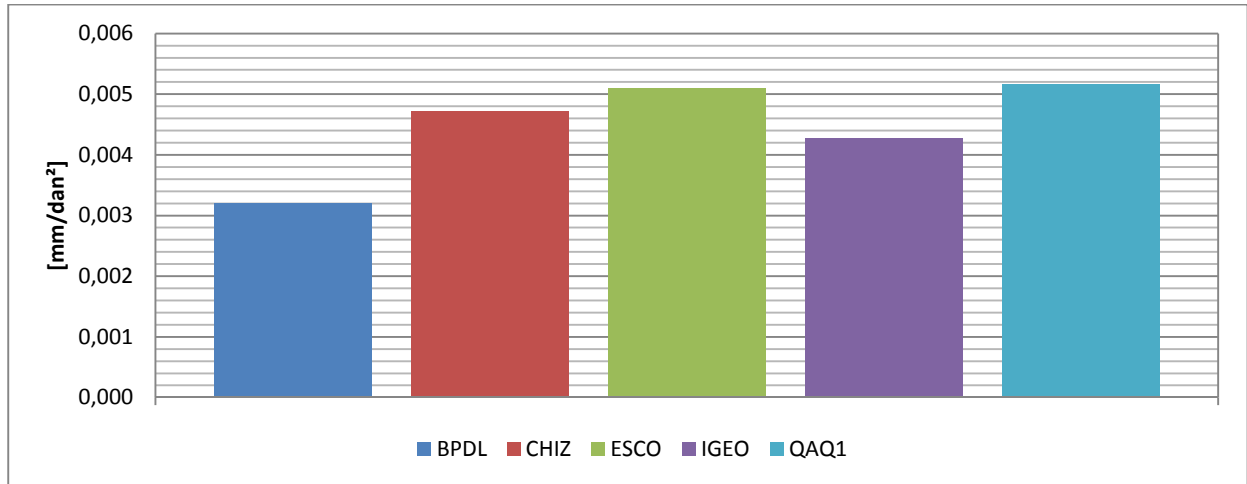
Slika 34 - Ubrzanje točkaka (X koordinata)

Kod Y koordinate (Slika 35) također je prisutno ubrzanje s jednakim trendom kod svih stanica s izuzetkom stanice QAQ1 koja pokazuje najmanji iznos ubrzanja od 0,0022 mm/dan<sup>2</sup>, dok se ubrzanje kod ostalih stanica kreće od 0,0053 mm/dan<sup>2</sup> na stanici BPD, odnosno 0,0078 mm/dan<sup>2</sup> na stanici ESCO.



Slika 35 - Ubrzanje točkaka (Y koordinata)

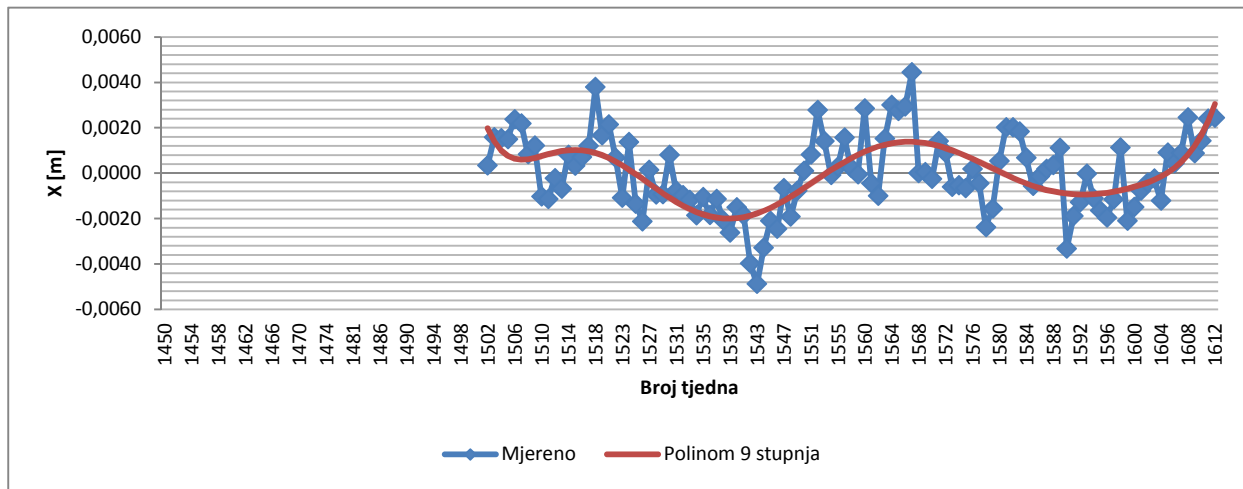
Naposlijetku, Z koordinata (Slika 36) na svim točkama ima iznos ubrzanja u rasponu od 0,0032 mm/dan<sup>2</sup> na stanici BPD, do 0,0052 mm/dan<sup>2</sup> na stanici QAQ1.



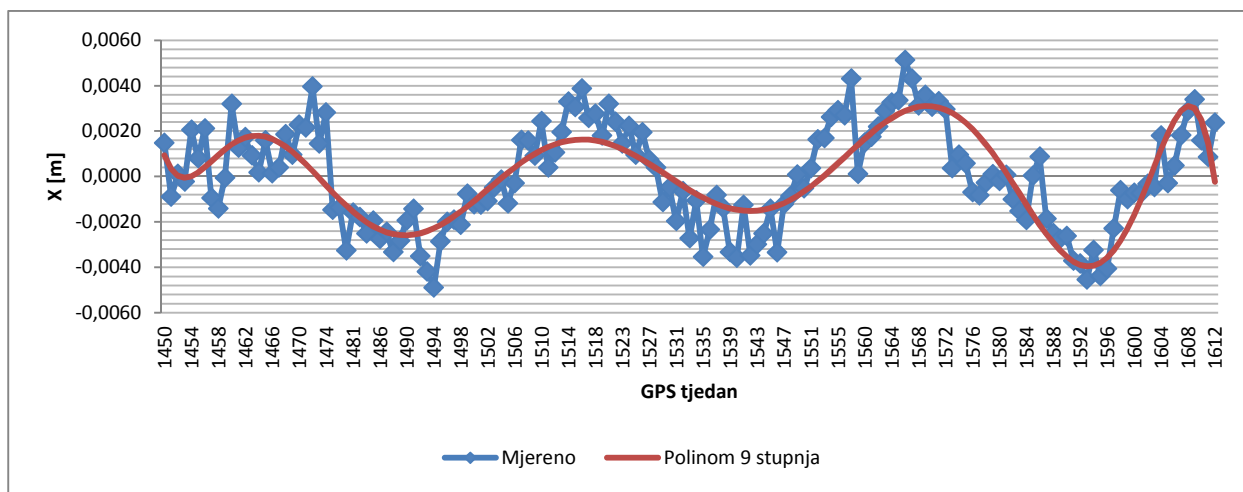
Slika 36 - Ubrzanje točaka (Z koordinata)

### 3.4. Modeli sustavnih pogrešaka kontinuiranih mjerenja u obliku polinoma 9. stupnja

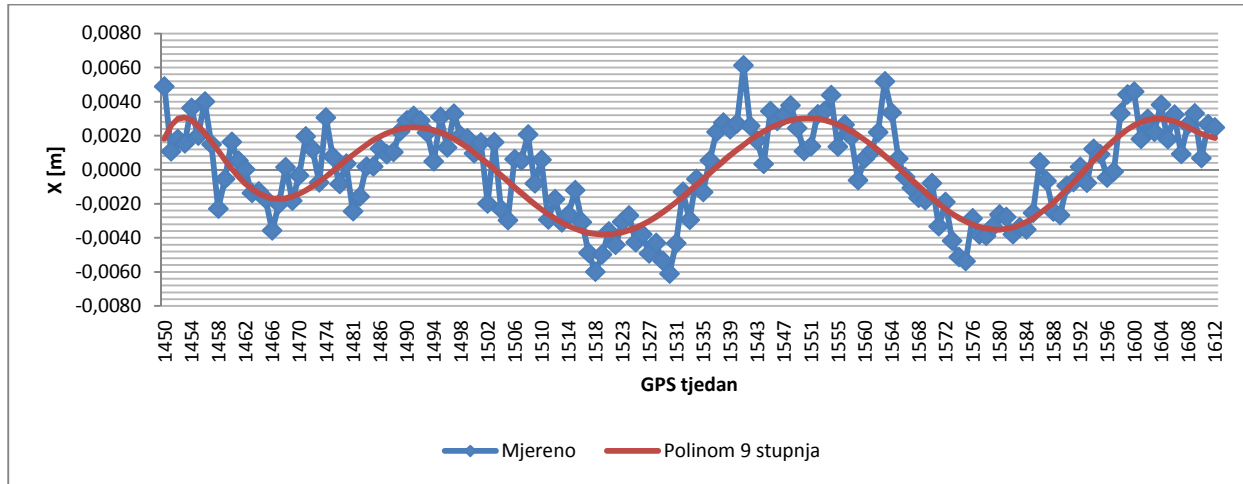
Sljedeći korak bilo je određivanje modela sustavnih pogrešaka kontinuiranih mjerenja permanentnih GPS stanica. Kao matematički modeli za analizu, korišteni su modeli bazirani na polinomima 9. stupnja. Ulazni podaci dobiveni su eliminacijom utjecaja gibanja tektonskih ploča u odnosu na ITRF 2005 iz sirovih podataka, a grafički rezultati su prikazani u nastavku:



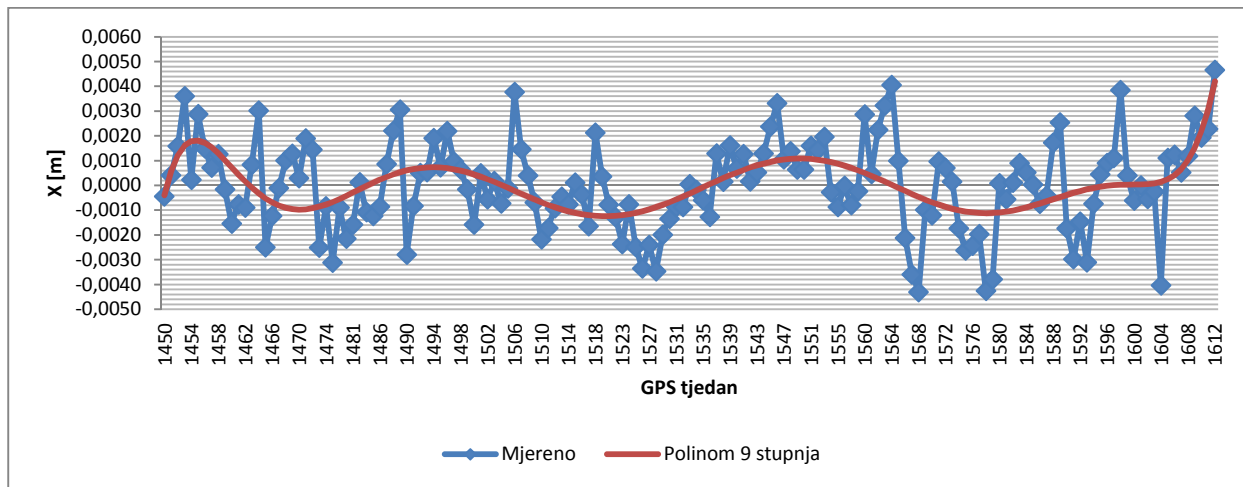
Slika 37 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku BPD



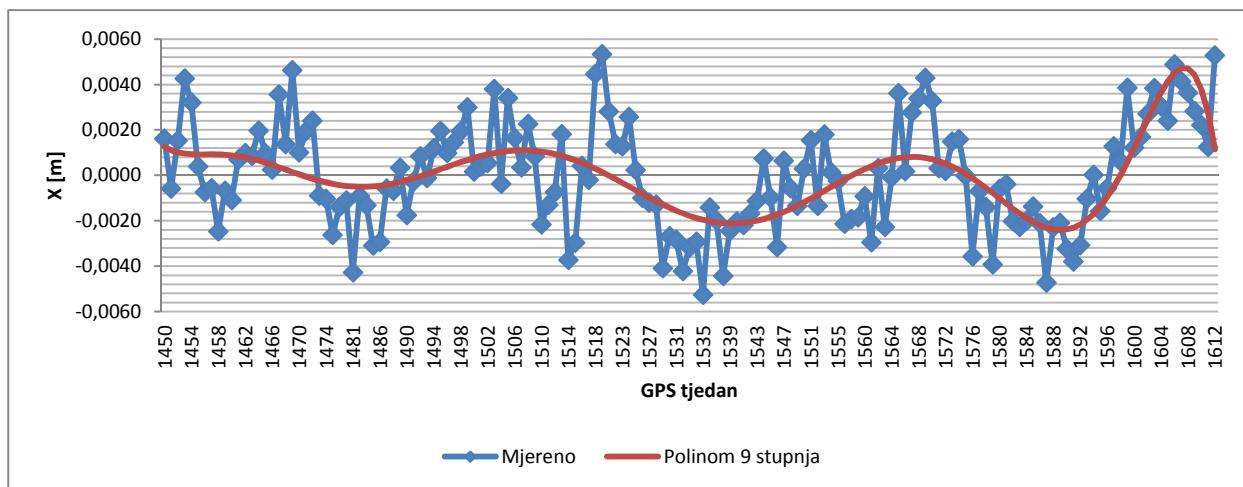
Slika 38 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku CHIZ



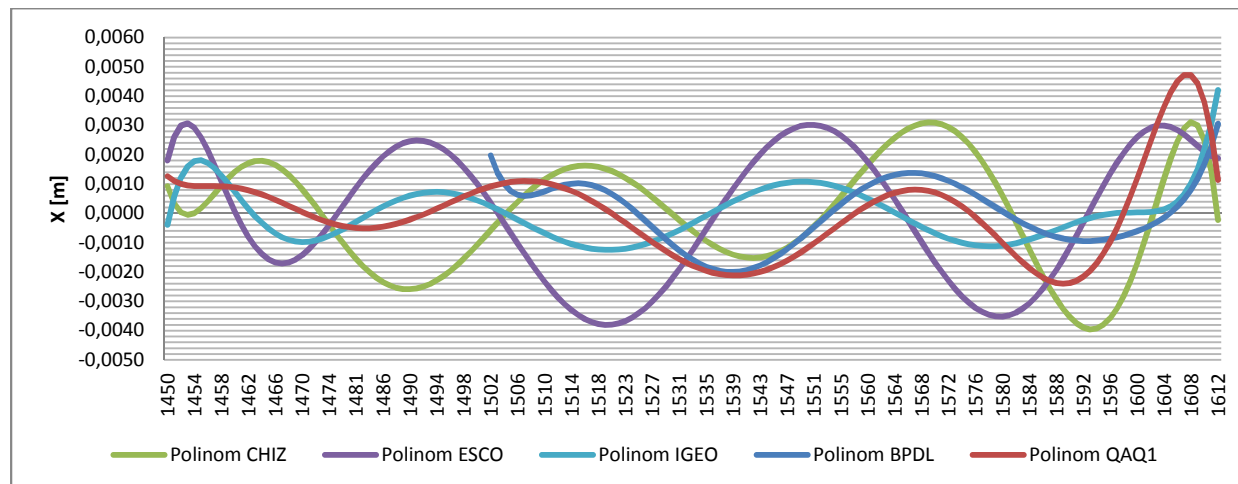
Slika 39 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku ESCO



Slika 40 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku IGEO



Slika 41 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku QAQ1



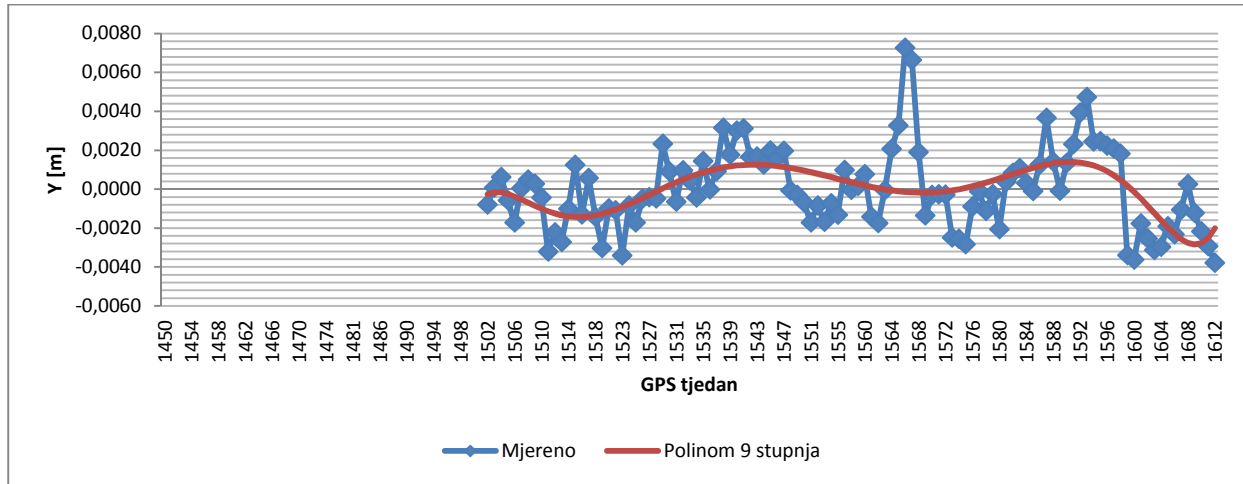
Slika 42 - Grafički prikaz svih modela polinoma 9. stupnja ( X koordinata)

Valja napomenuti da smo za stanicu BPDFL raspolagali podacima tek od 1502. GPS tjedna te se zbog toga ne pojavljuje prije. Razlog neaktivnosti stanice nije poznata. Prikazani su i statistički podaci (Tablica 8).

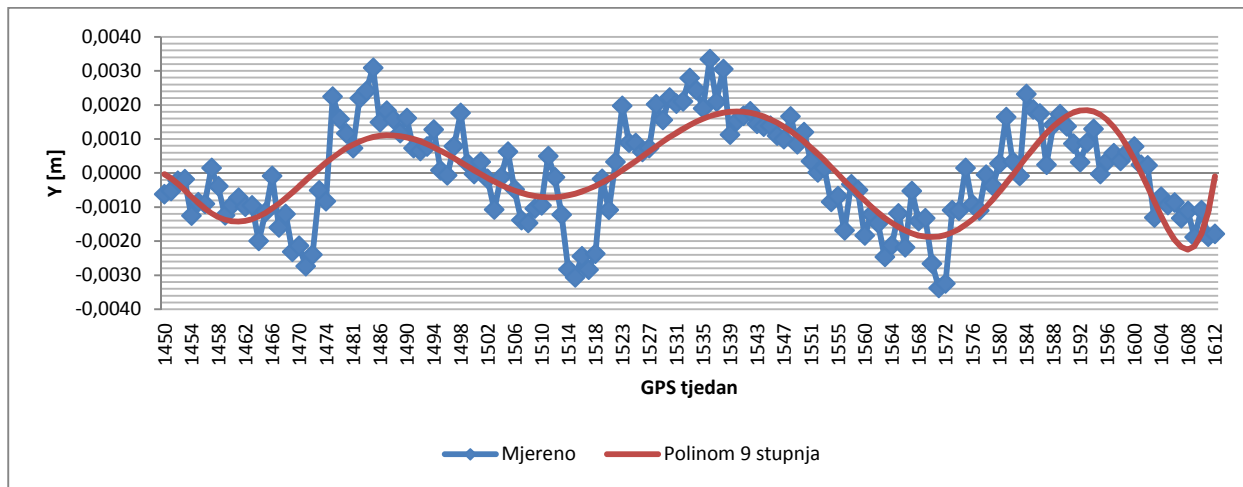
Tablica 8 – Statistički podaci polinoma 9. Stupnja za X koordinatu

	<b>BPDFL</b>	<b>CHIZ</b>	<b>ESCO</b>	<b>IGEO</b>	<b>QAQ1</b>	
<b>MIN</b>	-0,0020	-0,0040	-0,0038	-0,0012	-0,0024	[m]
<b>MAX</b>	0,0031	0,0031	0,0031	0,0042	0,0047	[m]
<b>ARIT. SREDINA</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	[m]
<b>ST. ODSUPANJE</b>	0,0009	0,0018	0,0022	0,0009	0,0015	[m]

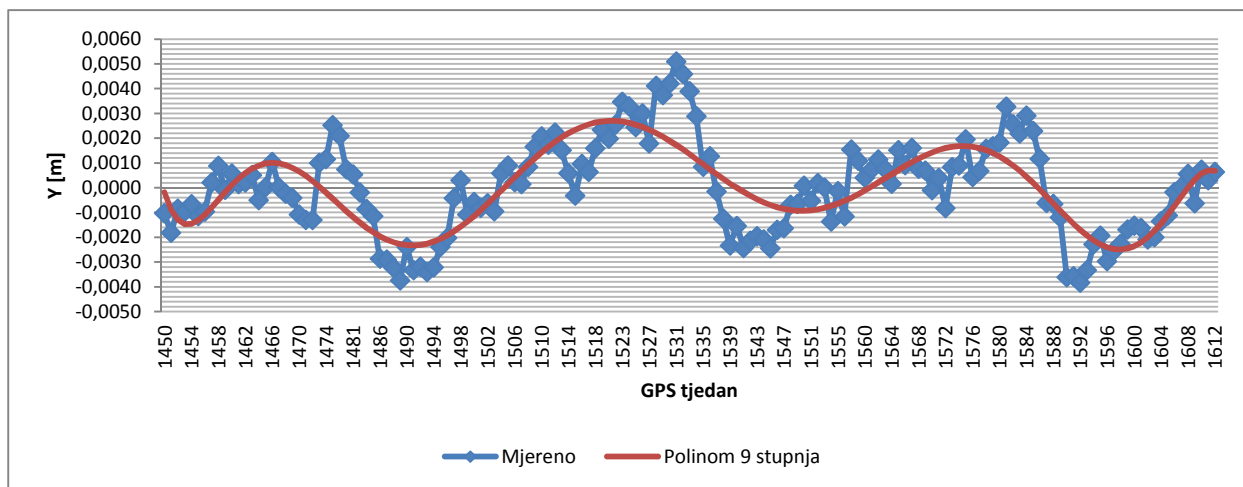
Najmanju vrijednost poprima X koordinata stanice CHIZ i iznosi -4,0 mm dok najveću vrijednost X koordinata poprima polinom 9. stupnja za stanicu QAQ1 te iznosi +4,7 mm. Gledajući aritmetičke vrijednosti svi polinomi imaju jednaku vrijednost: 0,0 mm što znači da suma svih popravaka iznosi 0 – što je implicirano iz činjenice da smo određivanje polinoma obavljali po metodi najmanjih kvadrata čije je temeljno načelo da suma kvadrata popravaka iznosi nula. Promatrajući standardna odstupanja najmanje standardno odstupanje od 0,9 mm imaju stanice BPDFL i IGEO dok najveće ima stanica ESCO i iznosi 2,2 mm. Na sljedećim stranicama nalaze se grafički prikazi regresijskih modela polinoma sa Y koordinate stanica.



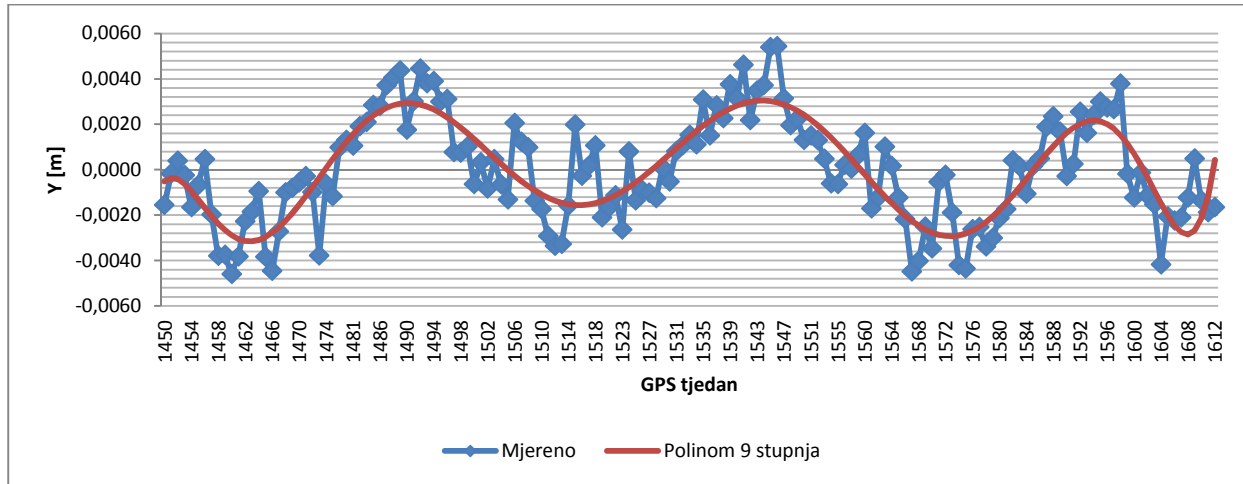
Slika 43 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku BPD



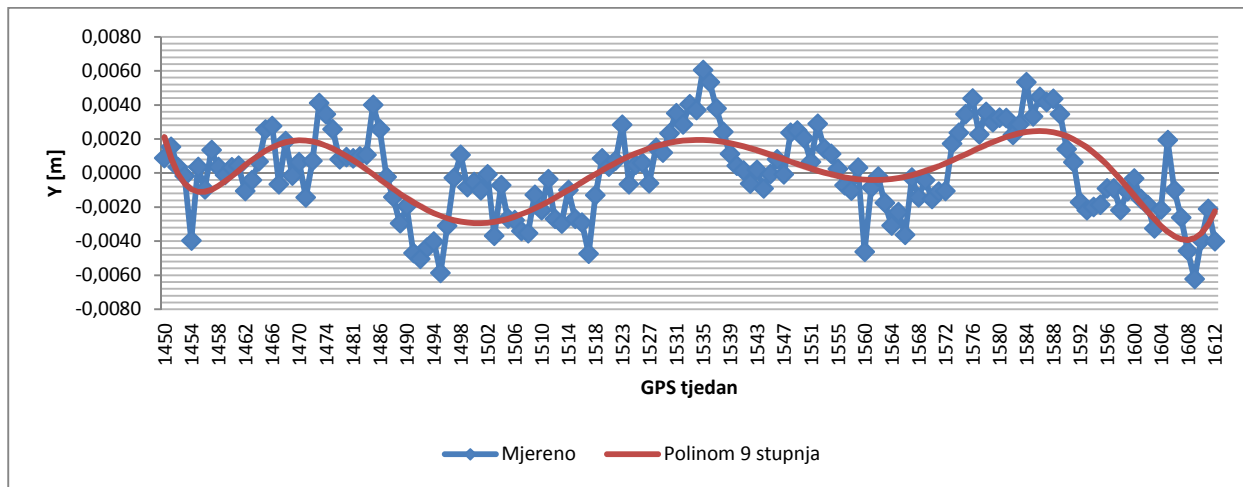
Slika 44 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku CHIZ



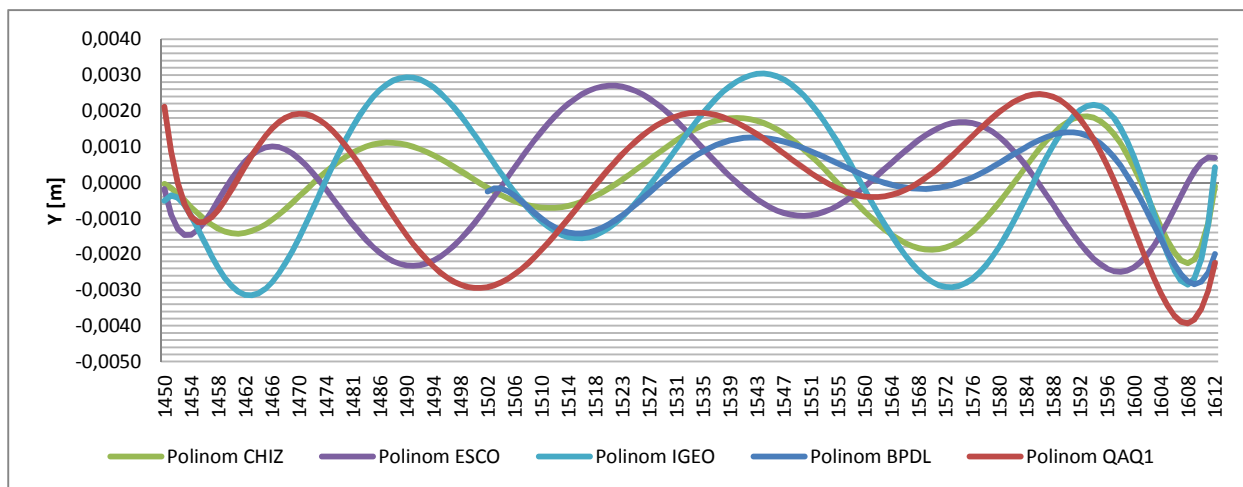
Slika 45 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku ESCO



Slika 46 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku IGEO



Slika 47 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku QAQ1



Slika 48 - Grafički prikaz svih modela polinoma 9. stupnja (Y koordinata)



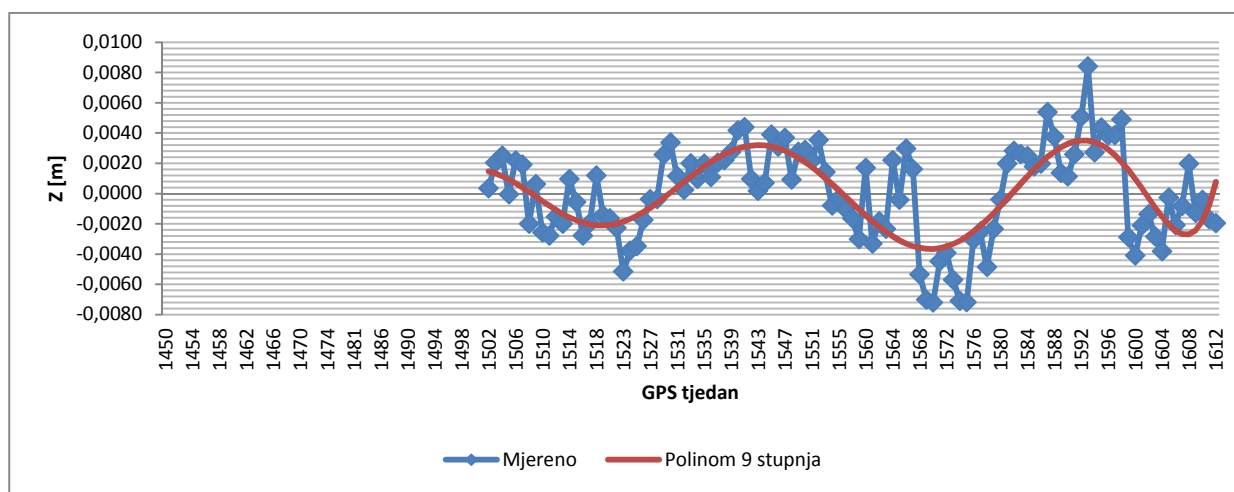
Dan je zajednički prikaz svih modela za Y koordinatu (Slika 48). Na prvi pogled rezultati su vrlo dobri te će biti zanimljivo vidjeti postoji li korelacija između sustavnih pogrešaka. Gledajući u nastavku (Tablica 9), sa statističkim podacima o polinomima dobiveni su sljedeći rezultati:

Tablica 9 – Statistički podaci polinoma 9. stupnja za Y koordinatu

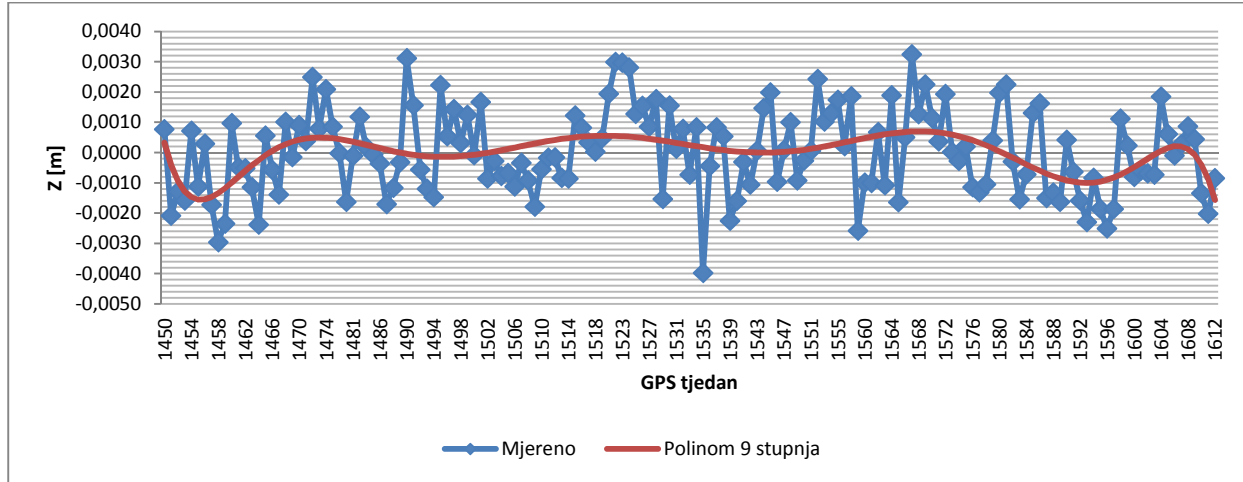
	BPDL	CHIZ	ESCO	IGEO	QAQ1	
<b>MIN</b>	-0,0028	-0,0023	-0,0025	-0,0031	-0,0039	[m]
<b>MAX</b>	0,0014	0,0018	0,0027	0,0030	0,0025	[m]
<b>ARIT. SREDINA</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	[m]
<b>ST. ODSUPANJE</b>	0,0009	0,0011	0,0014	0,0019	0,0017	[m]

Minimalnu vrijednost Y koordinate postiže polinom za QAQ1 i iznosi -3,9 mm dok najveću ima polinom za stanicu IGEO i iznosi +3,0 mm. Najmanje standardno odstupanje ima polinom za stanicu BPDL od 0,9 mm a najveće za stanicu IGEO: 1,9 mm.

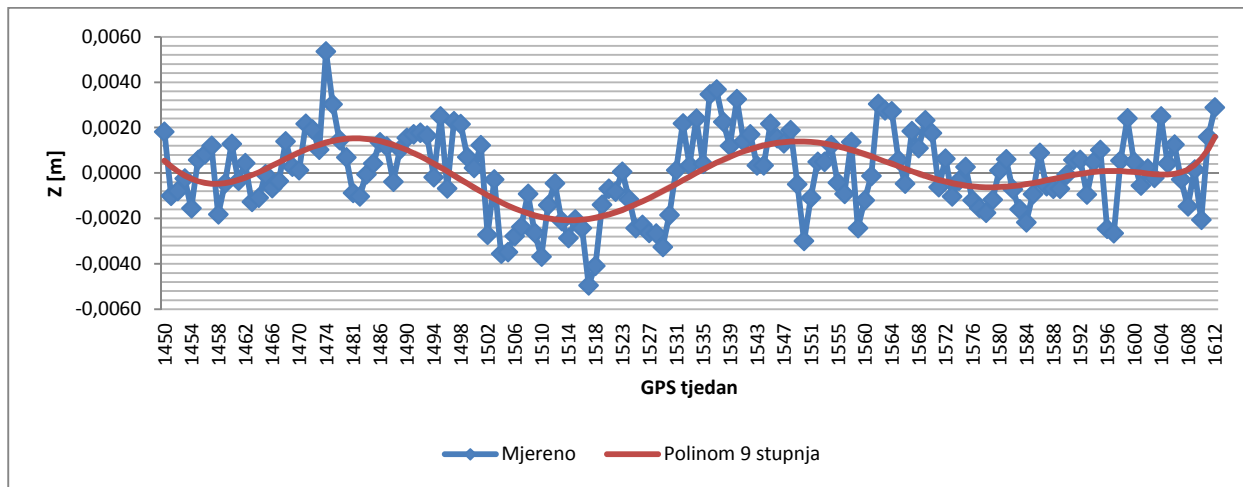
Konačno, u nastavku su prikazani grafički rezultati za Z koordinatu stanica.



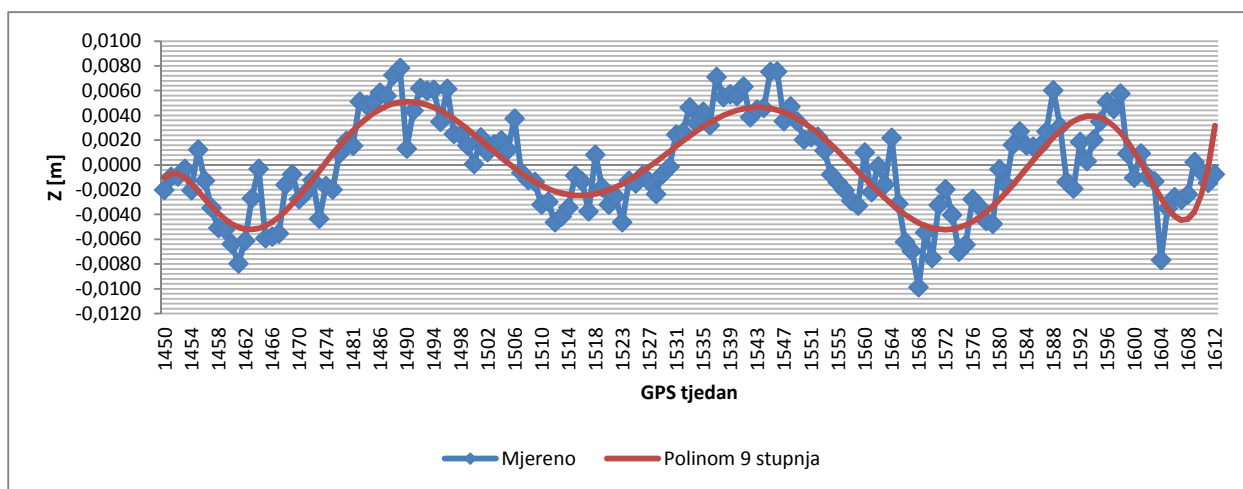
Slika 49 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku BPDL



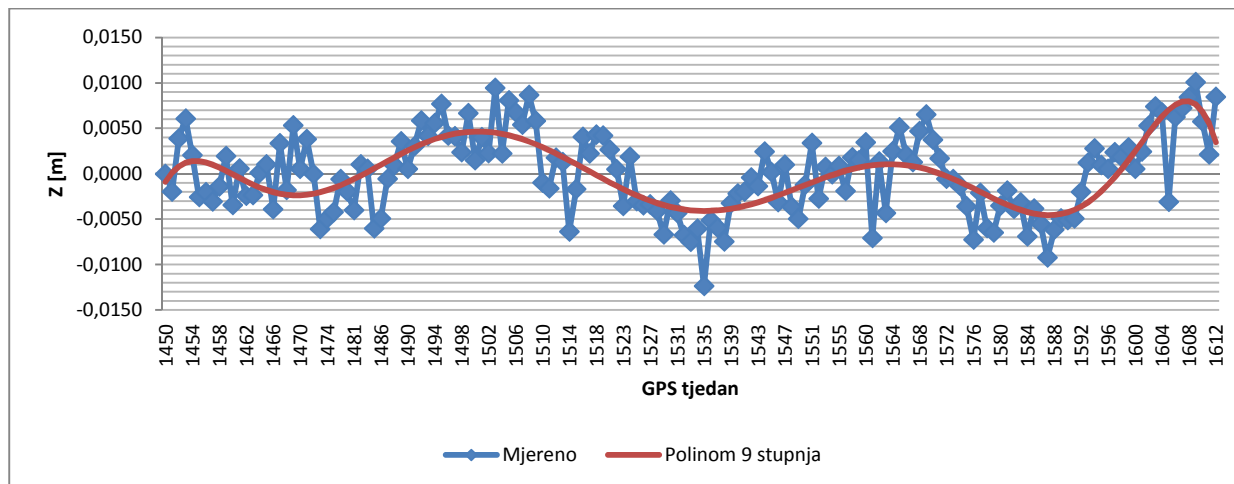
Slika 50 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku CHIZ



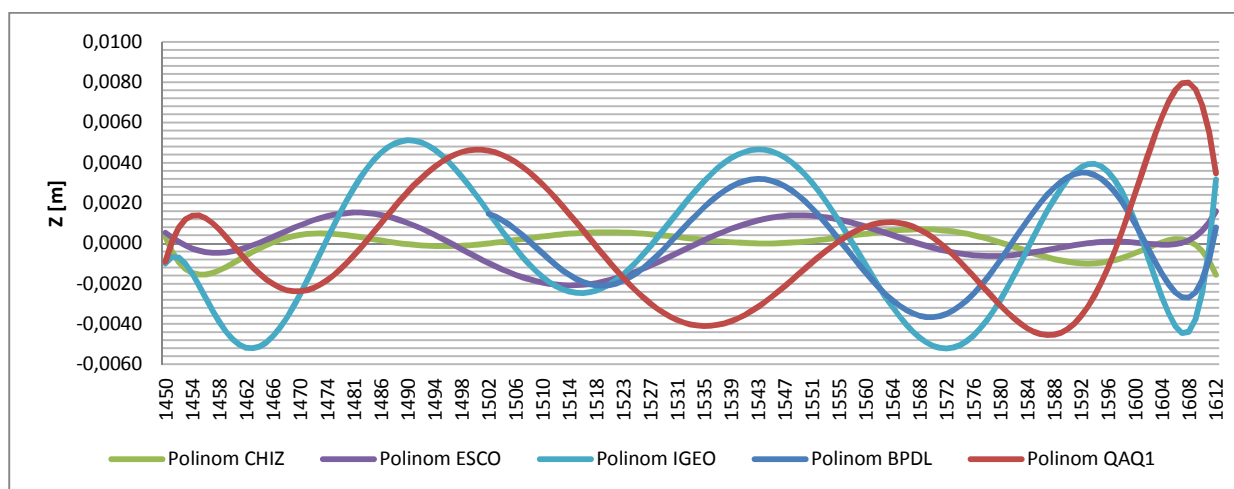
Slika 51 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku ESCO



Slika 52 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku IGEO



Slika 53 - Regresijski model polinoma 9. stupnja za točku QAQ1



Slika 54 - Grafički prikaz svih modela polinoma 9. stupnja (Z koordinata)

Posljednja komponenta za koju smo određivali modele jest Z koordinata permanentnih stanica. Na Slika 54 prikazani su polinomi svih modela pogrešaka stanica.

Tablica 10 - Statistički podaci polinoma 9. stupnja za Z koordinatu

	BPDL	CHIZ	ESCO	IGEO	QAQ1	
<b>MIN</b>	-0,0037	-0,0016	-0,0021	-0,0052	-0,0046	[m]
<b>MAX</b>	0,0035	0,0007	0,0016	0,0051	0,0080	[m]
<b>ARIT. SREDINA</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	[m]
<b>ST. ODPSTUPANJE</b>	0,0018	0,0005	0,0010	0,0032	0,0031	[m]

Najmanju vrijednost sadrži polinom za stanicu IGEO i iznosi -5,2 mm a najveću QAQ1 od čak +8,0 mm. Z vrijednosti koordinata stanice CHIZ imaju najmanje standardno odstupanje od  $\pm 0,5$  mm a najveće se pojavljuje za stanicu IGEO i iznosi  $\pm 3,2$  mm (Tablica 10).

U nastavku se nalazi popis jednadžbi modela sustavnih pogrešaka kontinuiranih mjerenja u obliku polinoma 9. stupnja.

$$\begin{aligned}\bar{X}_{BPD L} = & 4,0889 - 0,3449 * x_{BPD L} + 0,0119 * x_{BPD L}^2 - 2,1509 * 10^{-4} * x_{BPD L}^3 + 2,0302 * 10^{-6} \\ & * x_{BPD L}^4 - 6,8351 * 10^{-9} * x_{BPD L}^5 - 4,7249 * 10^{-11} * x_{BPD L}^6 + 5,8449 \\ & * 10^{-13} * x_{BPD L}^7 - 2,3172 * 10^{-15} * x_{BPD L}^8 + 3,3693 * 10^{-18} * x_{BPD L}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{BPD L} = & -5,2375 - 0,5237 * y_{BPD L} - 0,0227 * y_{BPD L}^2 + 5,5233 * 10^{-4} * y_{BPD L}^3 - 8,7950 * 10^{-6} \\ & * y_{BPD L}^4 + 9,0459 * 10^{-8} * y_{BPD L}^5 - 6,1384 * 10^{-10} * y_{BPD L}^6 + 2,6562 \\ & * 10^{-12} * y_{BPD L}^7 - 6,6598 * 10^{-15} * y_{BPD L}^8 + 7,3732 * 10^{-18} * y_{BPD L}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{BPD L} = & 5,1646 - 0,6017 * z_{BPD L} + 0,0300 * z_{BPD L}^2 - 8,3392 * 10^{-4} * z_{BPD L}^3 + 1,4302 * 10^{-5} \\ & * z_{BPD L}^4 - 1,5668 * 10^{-7} * z_{BPD L}^5 + 1,0973 * 10^{-9} * z_{BPD L}^6 - 4,7422 \\ & * 10^{-12} * z_{BPD L}^7 + 1,1488 * 10^{-14} * z_{BPD L}^8 - 1,1891 * 10^{-17} * z_{BPD L}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{X}_{CHIZ} = & 0,0009 - 0,0008 * x_{CHIZ} + 0,0002 * x_{CHIZ}^2 - 1,4608 * 10^{-5} * x_{CHIZ}^3 + 5,4472 * 10^{-7} \\ & * x_{CHIZ}^4 - 1,0978 * 10^{-8} * x_{CHIZ}^5 + 1,2715 * 10^{-10} * x_{CHIZ}^6 - 8,4659 \\ & * 10^{-13} * x_{CHIZ}^7 + 3,0106 * 10^{-15} * x_{CHIZ}^8 - 4,4294 * 10^{-18} * x_{CHIZ}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{CHIZ} = & -0,00004 - 0,00009 * y_{CHIZ} - 0,00003 * y_{CHIZ}^2 - 4,4678 * 10^{-6} * y_{CHIZ}^3 - 2,0203 * 10^{-7} \\ & * y_{CHIZ}^4 + 4,5302 * 10^{-9} * y_{CHIZ}^5 - 5,6223 * 10^{-11} * y_{CHIZ}^6 + 3,9290 \\ & * 10^{-13} * y_{CHIZ}^7 - 1,4479 * 10^{-15} * y_{CHIZ}^8 + 2,1890 * 10^{-18} * y_{CHIZ}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{CHIZ} = & 0,0003 - 0,0009 * z_{CHIZ} + 0,0001 * z_{CHIZ}^2 - 7,7946 * 10^{-6} * z_{CHIZ}^3 + 2,4124 * 10^{-7} \\ & * z_{CHIZ}^4 - 4,2990 * 10^{-9} * z_{CHIZ}^5 + 4,5745 * 10^{-11} * z_{CHIZ}^6 - 2,8675 \\ & * 10^{-13} * z_{CHIZ}^7 + 9,7614 * 10^{-16} * z_{CHIZ}^8 - 1,3909 * 10^{-18} * z_{CHIZ}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{X}_{ESCO} = & 0,0018 + 0,0010 * x_{ESCO} - 0,0003 * x_{ESCO}^2 + 1,8557 * 10^{-5} * x_{ESCO}^3 - 6,3749 * 10^{-7} \\ & * x_{ESCO}^4 + 1,1913 * 10^{-8} * x_{ESCO}^5 - 1,2838 * 10^{-10} * x_{ESCO}^6 + 7,9707 \\ & * 10^{-13} * x_{ESCO}^7 - 2,6484 * 10^{-15} * x_{ESCO}^8 + 3,6479 * 10^{-18} * x_{ESCO}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{ESCO} = & -0,0002 - 0,00088 * y_{ESCO} + 0,0002 * y_{ESCO}^2 - 1,3765 * 10^{-5} * y_{ESCO}^3 + 4,7590 * 10^{-7} \\ & * y_{ESCO}^4 - 8,9898 * 10^{-9} * y_{ESCO}^5 - 9,8202 * 10^{-11} * y_{ESCO}^6 - 6,1940 \\ & * 10^{-13} * y_{ESCO}^7 + 2,0945 * 10^{-15} * y_{ESCO}^8 - 2,9395 * 10^{-18} * y_{ESCO}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{ESCO} = & 0,0005 - 0,0003 * z_{ESCO} + 0,00001 * z_{ESCO}^2 + 8,6537 * 10^{-7} * z_{ESCO}^3 - 7,3471 * 10^{-8} \\ & * z_{ESCO}^4 + 1,9586 * 10^{-9} * z_{ESCO}^5 - 2,5893 * 10^{-11} * z_{ESCO}^6 + 1,8460 \\ & * 10^{-13} * z_{ESCO}^7 - 6,8037 * 10^{-16} * z_{ESCO}^8 + 1,019 * 10^{-18} * z_{ESCO}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{X}_{IGEO} = & -0,0004 + 0,0011 * x_{IGEO} - 0,0002 * x_{IGEO}^2 + 1,2142 * 10^{-5} * x_{IGEO}^3 - 3,8723 * 10^{-7} \\ & * x_{IGEO}^4 + 6,9723 * 10^{-9} * x_{IGEO}^5 - 7,4013 * 10^{-11} * x_{IGEO}^6 + 4,5920 \\ & * 10^{-13} * x_{IGEO}^7 - 1,5403 * 10^{-15} * x_{IGEO}^8 + 2,1579 * 10^{-18} * x_{IGEO}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{IGEO} = & -0,0005 + 0,00028 * y_{IGEO} - 0,0001 * y_{IGEO}^2 + 1,3405 * 10^{-5} * y_{IGEO}^3 - 5,2716 * 10^{-7} \\ & * y_{IGEO}^4 + 1,0852 * 10^{-8} * y_{IGEO}^5 - 1,2665 * 10^{-10} * y_{IGEO}^6 + 8,4389 \\ & * 10^{-13} * y_{IGEO}^7 - 2,9926 * 10^{-15} * y_{IGEO}^8 + 4,3824 * 10^{-18} * y_{IGEO}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{IGEO} = & -0,0010 + 0,0006 * z_{IGEO} - 0,0003 * z_{IGEO}^2 + 2,3385 * 10^{-5} * z_{IGEO}^3 - 9,1531 * 10^{-7} \\ & * z_{IGEO}^4 + 1,8828 * 10^{-8} * z_{IGEO}^5 - 2,1998 * 10^{-10} * z_{IGEO}^6 + 1,4690 \\ & * 10^{-12} * z_{IGEO}^7 - 5,2240 * 10^{-15} * z_{IGEO}^8 + 7,6749 * 10^{-18} * z_{IGEO}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{X}_{QAQ1} = & 0,0013 - 0,0002 * x_{QAQ1} + 0,00004 * x_{QAQ1}^2 - 4,1050 * 10^{-6} * x_{QAQ1}^3 + 1,7825 * 10^{-7} \\ & * x_{QAQ1}^4 - 4,0458 * 10^{-9} * x_{QAQ1}^5 + 5,1412 * 10^{-11} * x_{QAQ1}^6 - 3,6853 \\ & * 10^{-13} * x_{QAQ1}^7 + 1,3920 * 10^{-15} * x_{QAQ1}^8 - 2,1537 * 10^{-18} * x_{QAQ1}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{QAQ1} = & 0,021 - 0,0014 * y_{QAQ1} + 0,0002 * y_{QAQ1}^2 - 1,1877 * 10^{-5} * y_{QAQ1}^3 + 3,2547 * 10^{-7} \\ & * y_{QAQ1}^4 - 4,9119 * 10^{-9} * y_{QAQ1}^5 + 4,2626 * 10^{-11} * y_{QAQ1}^6 - 2,0959 \\ & * 10^{-13} * y_{QAQ1}^7 + 5,3270 * 10^{-16} * y_{QAQ1}^8 - 5,2580 * 10^{-19} * y_{QAQ1}^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{QAQ1} = & -0,0009 + 0,0012 * z_{QAQ1} - 0,0002 * z_{QAQ1}^2 + 1,0824 * 10^{-5} * z_{QAQ1}^3 - 2,7110 * 10^{-7} \\ & * z_{QAQ1}^4 + 3,3952 * 10^{-8} * z_{QAQ1}^5 - 2,0155 * 10^{-11} * z_{QAQ1}^6 + 2,9730 \\ & * 10^{-14} * z_{QAQ1}^7 + 2,0392 * 10^{-16} * z_{QAQ1}^8 - 6,8569 * 10^{-19} * z_{QAQ1}^9 \end{aligned}$$

Referenta standardana odstupanja polinoma 9.-og stupnja, dobivena izjednačenjem po metodi najmanjih kvadrata, dana su u Tablica 11:

Tablica 11 - Referentna standardna odstupanja polinoma

Ime točke	Koordinata	Točnost referentnog mjerenja [S <sub>0</sub> ]	
BPD L	X	0,001	[m]
	Y	0,002	[m]
	Z	0,002	[m]
CHIZ	X	0,001	[m]
	Y	0,001	[m]
	Z	0,001	[m]
ESCO	X	0,002	[m]
	Y	0,001	[m]
	Z	0,002	[m]
IGEO	X	0,002	[m]
	Y	0,001	[m]
	Z	0,002	[m]
QAQ1	X	0,002	[m]
	Y	0,002	[m]
	Z	0,003	[m]

### 3.5. Tablice korelacije između modela sustavnih pogrešaka

Najznačajni dio ovoga rada je prikaz u ovom poglavlju. Kao što smo već navodili, određivanje korelacije između modela sustavnih pogrešaka je bio predmet istraživanja, a dobiveni rezultati su se pokazali vrlo zanimljivima. Kako bi analiza rezultata bila što preglednija rezultati su prikazani postupno po koordinatnim osima (X, Y i Z). Koeficijenti korelacije izračunati su koristeći Microsoft Office Excel i njegovu statističku funkciju *CORREL*. Ovo je statistička funkcija koja računa koeficijent korelacije između dva odabrana seta podataka. Svi koeficijenti korelacije koji se nalaze u sklopu ovog rada izračunati uz pomoć funkcije *CORREL*.

Tablica 12 - Koeficijent korelacije (r) - X koordinata

	BPDL	CHIZ	ESCO	IGEO	QAQ1
BPDL	-	0,63	-0,17	0,01	0,64
CHIZ	0,63	-	-0,32	-0,17	0,58
ESCO	-0,17	-0,32	-	0,82	0,24
IGEO	0,01	-0,17	0,82	-	0,24
QAQ1	0,64	0,58	0,24	0,24	-

Analizirajući Tablica 12, možemo vidjeti rezultate koji nam daju uvid u iznose korelacije sustavnih pogrešaka razmatrajući samo X komponentu. Stanica BPDL ima najčvršću korelaciju sa stanicom QAQ1, što je vrlo interesantno pošto vidimo da stupanj korelacije nije ovisan o poziciji stanice (Moldavska stanica IGEO najbliža je stanici BPDL, a ipak gledajući tablicu korelacije uočavamo da je zapravo ona u najmanjoj korelaciji sa Poljskom stanicom BPDL). Nadalje, vrlo je značajno i signifikantno što je stupanj korelacije između stanica BPDL-CHIZ te BPDL-QAQ1 gotovo jednak i iznosi  $r_{BPDL-CHIZ}=0,63$  odnosno  $r_{BPDL-QAQ1}=0,64$ , no u drugu ruku i obeshrabrujuće u smislu pronalaženja uzroka sistematskim pogreškama. Stanica BPDL nema korelacije sa stanicama IGEO i ESCO. Francuska stanica CHIZ pokazuje najbolju korelaciju sa stanicom BPDL a u manjoj mjeri i QAQ1, no promatrajući vezu tj. korelaciju sa ostalim stanicama ne možemo govoriti o postojanju čvrste korelacije. Kada je riječ o korelaciji sustavnih pogrešaka X osi valja istaknuti Moldavsku permanentnu stanicu IGEO i Španjolsku ESCO koje imaju najveći stupanj korelacije – čak 0,82. Gledajući nadmorsku visinu (Tablica 3), IGEO se nalazi na 105,9m a ESCO na 2508,4 m iz čega možemo zaključiti da korelacija nije povezana sa



nadmorskom visinom. Gledajući korelacije stanica po X koordinatnoj osi kao skup – svaka stanica ima barem 1 točku sa kojom je u međusobnoj korelaciji, tj. ima stupanj korelacije veći od  $r=0,5$ . Najlošija korelacija  $r=0,01$  odnosno praktički njezino nepostojanje se javlja između stanica BPDL i IGEO, a najbolja korelacija se javlja na relaciji IGEO-ESCO iz čega nam je vrlo teško donositi bilo kakve zaključke koji bi doprinijeli boljem razumijevanju prirode ove pojave.

Sljedeće što smo analizirali bila je Y komponenta sistematskih pogrešaka, a koeficijenti korelacije prikazani su u Tablica 13:

Tablica 13 - Koeficijent korelacije (r) - Y koordinata

	BPDL	CHIZ	ESCO	IGEO	QAQ1
BPDL	-	0,65	-0,30	0,55	0,67
CHIZ	0,65	-	-0,39	0,91	0,40
ESCO	-0,30	-0,39	-	-0,59	0,30
IGEO	0,55	0,91	-0,59	-	0,08
QAQ1	0,67	0,40	0,30	0,08	-

Kod Y koordinata postignuti su vrlo značajni i obećavajući rezultati sa pregršt koeficijenata korelacije većih od  $r=0,5$ . Stanica BPDL ima sa svim stanicama sličan koef. korelacije i iznosi između  $r=0,55$  i  $r=0,67$  s izuzetkom stanice ESCO ( $r_{BPDL-ESCO}=-0,30$ ), no i dalje uspoređujući rezultate sa podacima u Tablica 3, ne može se otkriti povezanost na temelju lokacije ili međusobne udaljenosti stanica. *Najznačajniji koeficijent korelacije od čak 0,91 javlja se između stanica CHIZ (Francuska) i IGEO (Moldavija)*. Eventualna povezanost može ležati u činjenici da se te dvije stanice nalaze na podjednakoj geografskoj širini, no opet nije moguće reći što je razlog toj velikoj međusobnoj korelaciji. Stanica ESCO ima relativno lošu korelaciju sa ostalim stanicama i kreće se u rasponu od  $r=-0,30$  do  $0,30$ . Izuzetak je koef. korelacije  $r_{IGEO-ESCO}=-0,59$ . Stanica IGEO pokazuje vrlo visok stupanj korelacije sa svim točkama na Euroazijskoj tektonskoj ploči. Stanica QAQ1 ne spada među njih i ima od svih stanica najslabiju korelaciju sa stanicom IGEO te iznosi  $r_{IGEO-QAQ1}=0,08$ . Kao i kod prijašnjeg slučaja sa X koordinatama teško je reći sa sigurnošću što je razlog visokom odnosno niskom koeficijentu korelacije.

Naposlijetku, u Tablica 14, prikazani su koeficijenti korelacije za Z komponentu stanica:

Tablica 14 - Koeficijent korelacije (r) - Z koordinata

	<b>BPDL</b>	<b>CHIZ</b>	<b>ESCO</b>	<b>IGEO</b>	<b>QAQ1</b>
<b>BPDL</b>	-	-0,52	0,32	0,74	-0,41
<b>CHIZ</b>	-0,52	-	-0,07	-0,20	-0,01
<b>ESCO</b>	0,32	-0,07	-	0,44	-0,11
<b>IGEO</b>	0,74	-0,20	0,44	-	-0,15
<b>QAQ1</b>	-0,41	-0,01	-0,11	-0,15	-

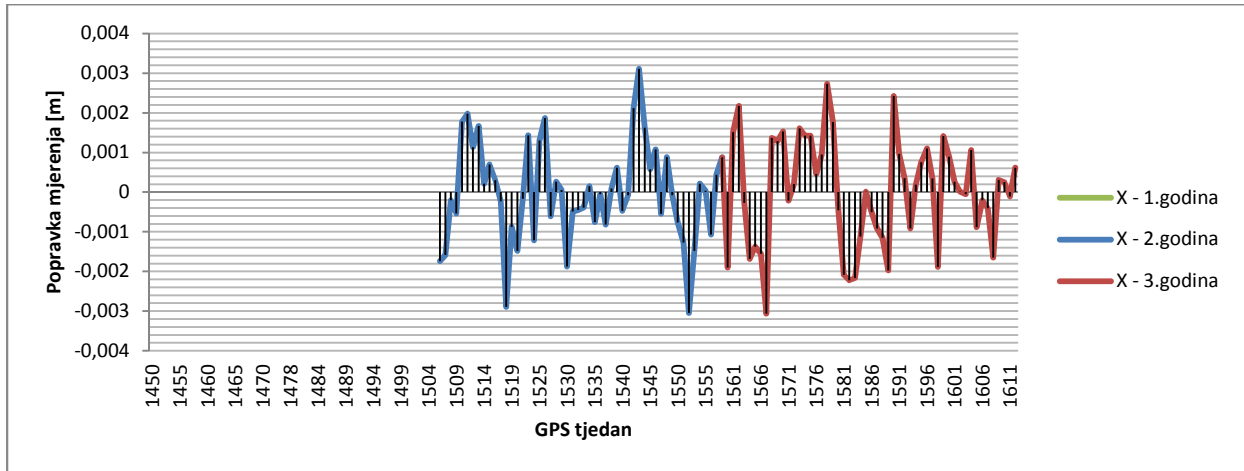
Sukladno očekivanjima u Z smjeru koordinatne osi dobiveni su *najlošiji rezultati*, što je implicirano iz činjenica da GPS sustav i dalje nema mogućnost pružanja visinske komponente sa visokom preciznošću i točnošću te je u startu potrebno gledati na rezultate s određenom rezervom. Unatoč svemu tome dobiveni su solidni rezultati. Stanica BPDL (Poljska) pokazuje korelaciju sa čak 2 stanice – CHIZ (Francuska) i IGEO (Moldavija). Najveći koeficijent korelacije dobiven je između stanica BPDL i IGEO i iznosi  $r=0,74$ . Slijede BPDL i CHIZ sa  $-0,52$  dok ostale stanice nemaju međusobno koeficijent korelacije veći od  $r=\pm 0,5$ . Najmanji stupanj korelacije imaju stanice QAQ1 i CHIZ i on iznosi tek  $r=-0,01$ .

### **3.6. Model pogrešaka polinoma 9. stupnja nastalih uslijed odstupanja stvarnih mjerenja od modela**

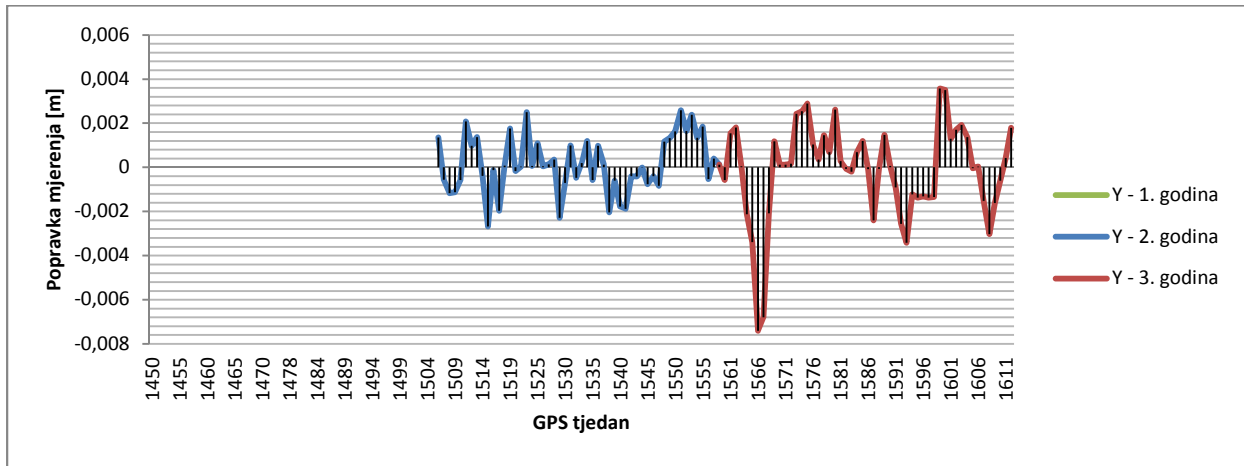
Konačno, posljednji korak računske obrade podataka bila je analiza preostalih pogrešaka modela sustavnih pogrešaka. Naime, uslijed aproksimiranja pogrešaka polinomom 9. stupnja dobili smo popravke koje smo željeli analizirati u smislu da li na godišnjoj razini postoji međusobna povezanost – korelacija. Prema Lomb (1976), čak niti najjednostavniji slučajevi podataka, oslobođeni pogreškama (šumom), koji se ponašaju periodički ne trebaju nužno imati pravilan period.

Analizirana su tjedna rješenja te sa periodom 52 tjedna (približno 1 godina), koja su na slikama (55-69) u nastavku prikazana u različitim bojama. U slučaju pozitivnog rezultata – postojanje korelacije, možemo zaključiti da postoje pojave koje nisu obuhvaćene prvotnim modelom (polinomom 9. stupnja) te mogu biti predmet daljnjeg istraživanja. U suprotnome naš model vjerno dočarava sustavne pogreške permanentnih stanica te ne postoje pojave sa godišnjim periodom koje su značajne i koje bi na bilo koji način mogle pridonijeti boljem razumijevanju i otkrivanju uzroka pojave sustavnih pogrešaka.

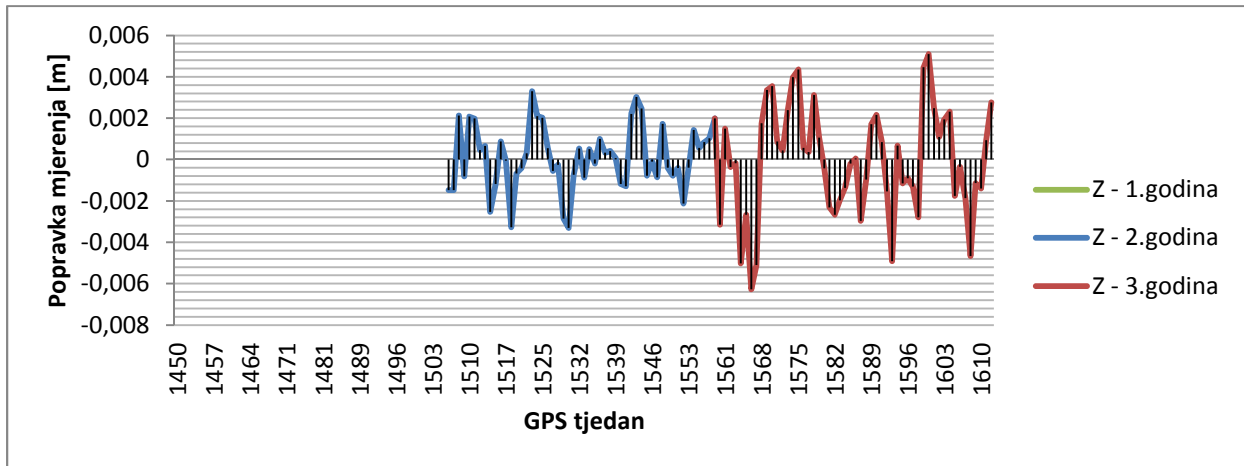
U nastavku ovog poglavlja sustavno su analizirane stanice BPDF, CHIZ, ESCO, IGEO i QAQ1 po koordinatama:



Slika 55 - Popravke mjerenja na stanici BPD L - X koordinata



Slika 56 - Popravke mjerenja na stanici BPD L - Y koordinata

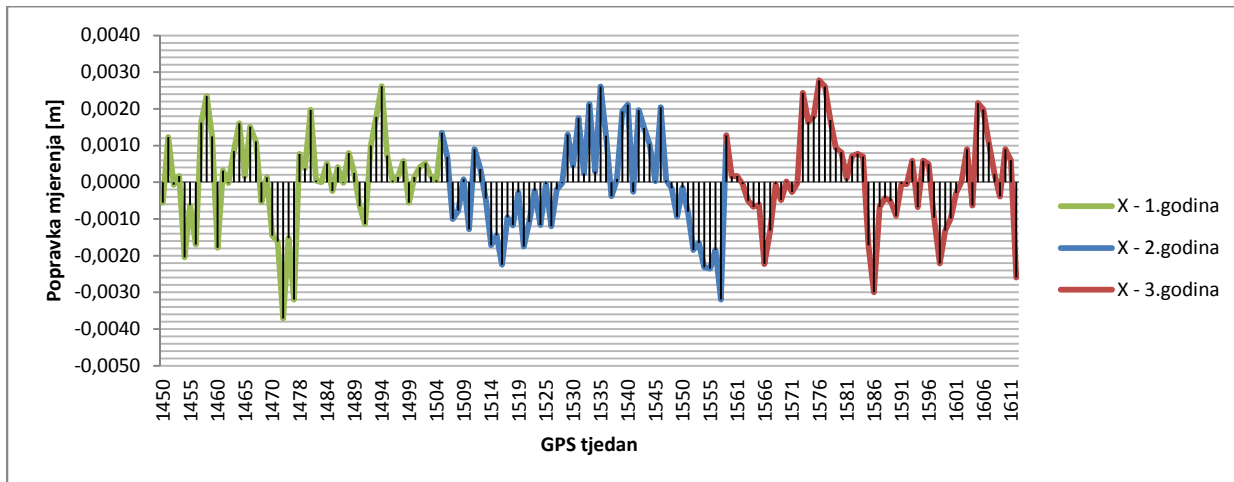


Slika 57 - Popravke mjerenja na stanici BPD L - Z koordinata

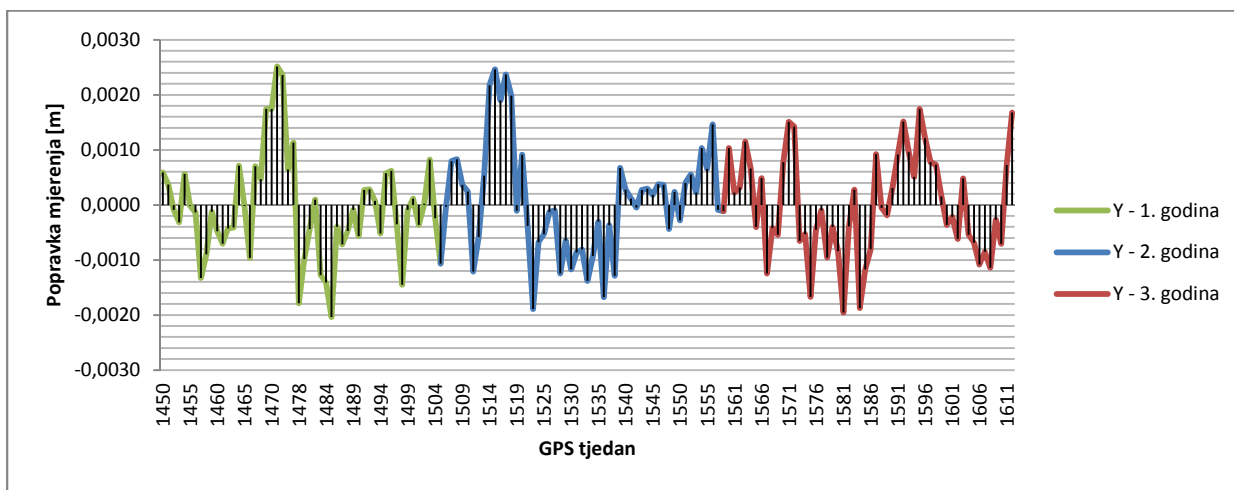
Tablica 15 - Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu BPD L

Stanica	Koordinata								
	X			Y			Z		
BPD L	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina
1. godina	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. godina	-	-	0,03	-	-	-0,05	-	-	-0,04
3.godina	-	0,03	-	-	-0,05	-	-	-0,04	-

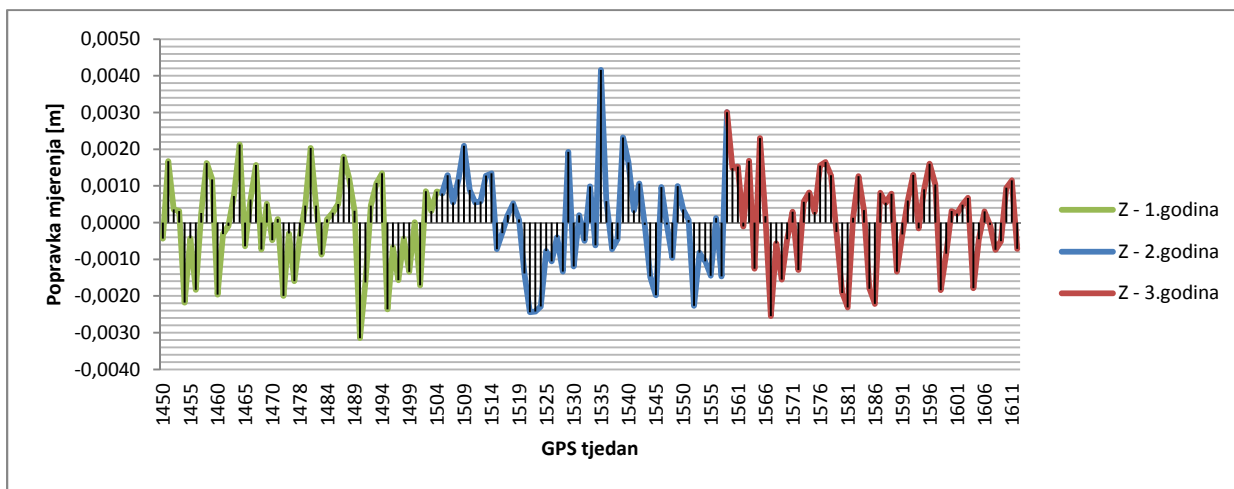
Prva stanica kod koje je određena korelacija popravaka bila je BPD L. Nažalost u periodu do 1506. GPS tjedna nismo imali cjelovite podatke o tjednim rješenjima koordinata te zbog toga nije bilo moguće obaviti kvalitetnu i pouzdanu analize te je stoga taj period za određenu stanicu izbačen i nije razmatran. Preostali period od 1506.-1612. GPS sadržavao je dovoljnu količinu neprekinutih podataka i uspoređeni su periodi od 2 godine. Rezultati nažalost ne pokazuju postojanje korelacije niti po jednoj koordinatnoj osi ( $r < 0,06$ ). Najveći koeficijent korelacije jest za Y koordinatnu osi između 2. i 3. godine promatranja te iznosi  $r = -0,05$  dok je najmanji koeficijent korelacije zabilježen za X os i iznosi  $r = 0,03$  (Tablica 15).



Slika 58 - Popravke mjerenja na stanici CHIZ - X koordinata



Slika 59 - Popravke mjerenja na stanici CHIZ - Y koordinata

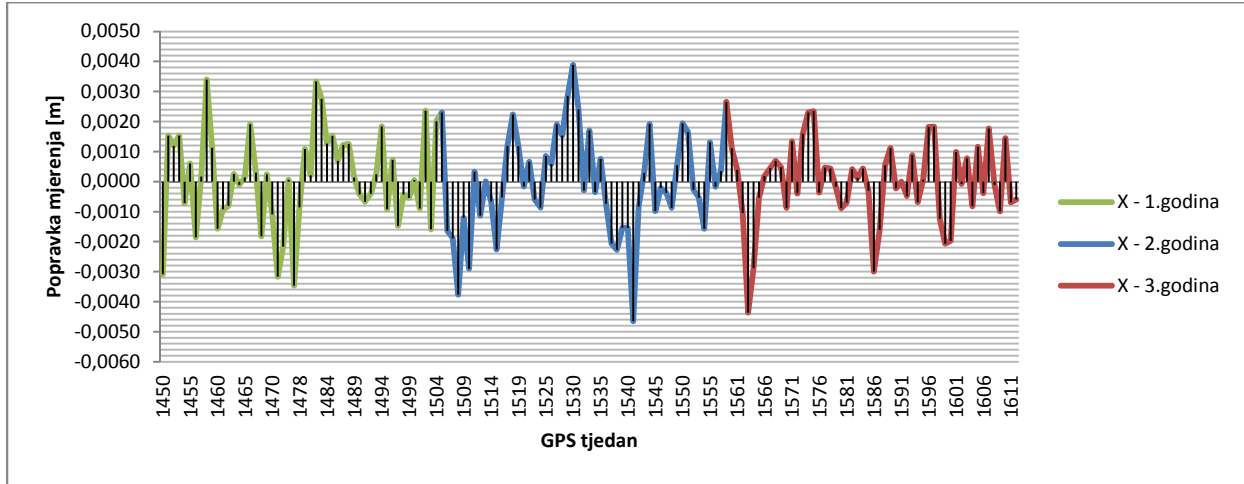


Slika 60 - Popravke mjerenja na stanici CHIZ - Z koordinata

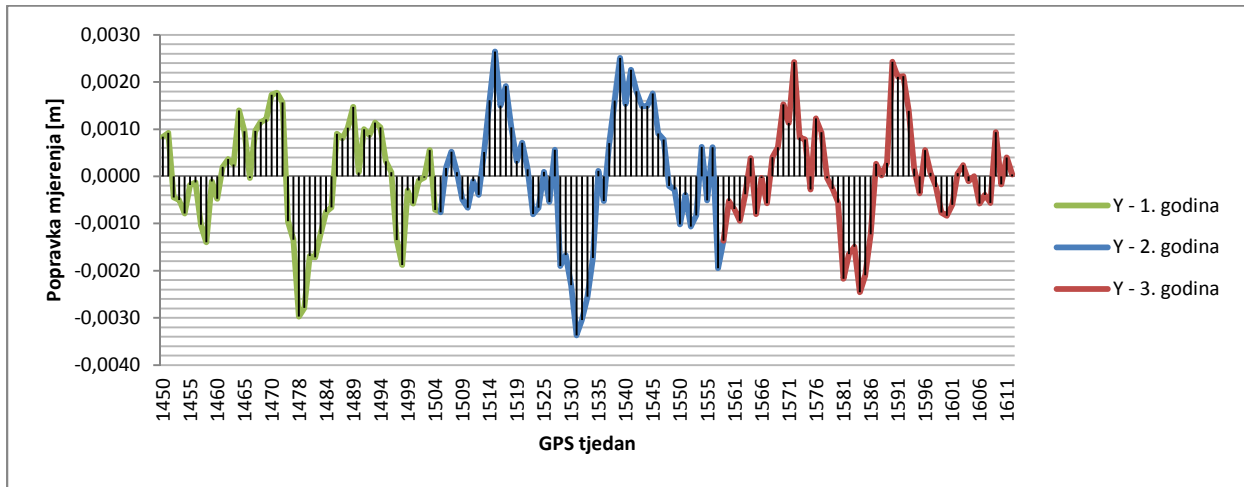
Tablica 16- Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu CHIZ

Stanica	Koordinata								
	X			Y			Z		
CHIZ	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina
1. godina	-	-0,16	-0,07	-	-0,05	-0,26	-	0,05	0,02
2. godina	-0,16	-	-0,31	-0,05	-	0,24	0,05	-	0,09
3. godina	-0,07	-0,31	-	-0,26	0,24	-	0,02	0,09	-

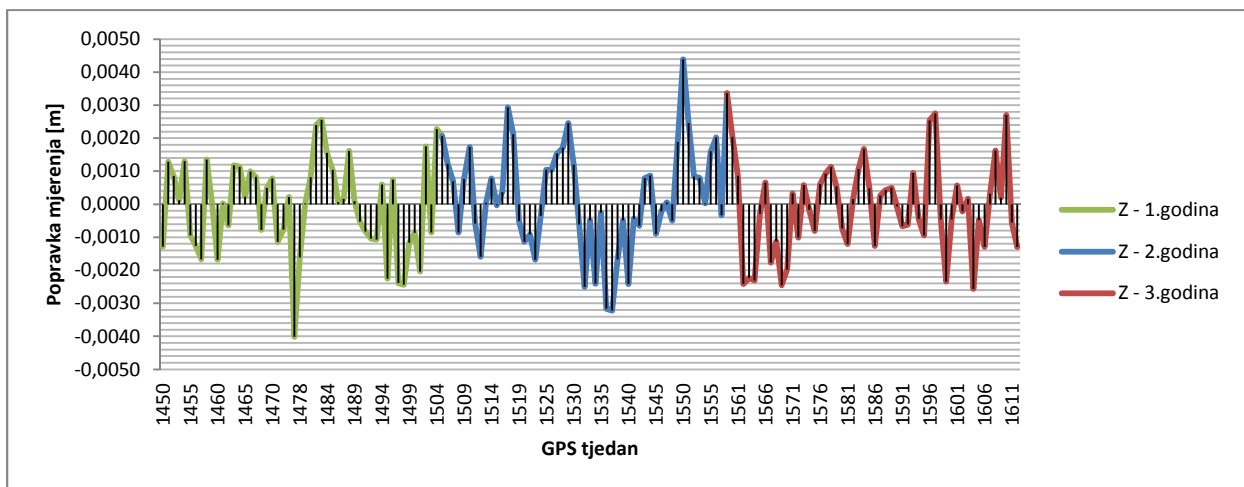
Francuska stanica CHIZ je također kao i BPDFL potvrdila izostanak postojanja signifikantne korelacije, između popravaka po svim osima u 3 godine. Najveći koeficijent korelacije se pojavljuje između 2. i 3. godine po X osi te iznosi  $r=-0,31$ . Međutim to nije dovoljno da bi mogli sa sigurnošću donositi bilo kakve zaključke vezane uz korelaciju. Najmanji koeficijent korelacije se javlja između 1. i 3. godine po Z osi i iznosi  $r=0,02$  (Tablica 16).



Slika 61 - Popravke mjerenja na stanici ESCO - X koordinata



Slika 62 - Popravke mjerenja na stanici ESCO - Y koordinata



Slika 63- Popravke mjerenja na stanici ESCO - Z koordinata



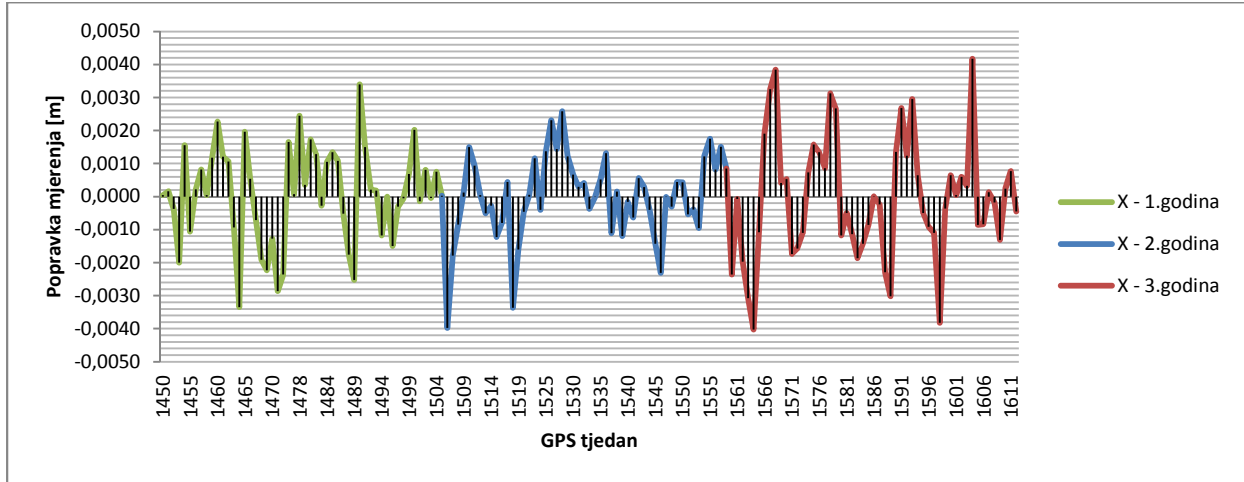
Tablica 17 - Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu ESCO

Stanica	Koordinata								
	X			Y			Z		
ESCO	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina
1. godina	-	-0,25	-0,11	-	0,46	0,09	-	-0,21	0,05
2. godina	-0,25	-	0,15	0,46	-	0,61	-0,21	-	-0,08
3. godina	-0,11	0,15	-	0,09	0,61	-	0,05	-0,08	-

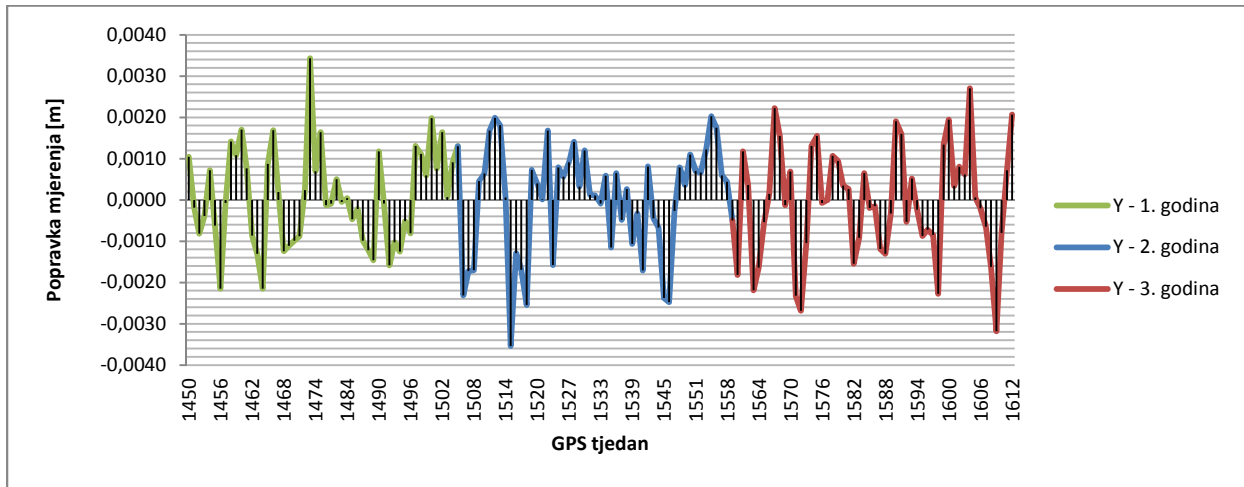
Na stanici ESCO dobili smo zanimljive rezultate vezane uz koeficijent korelacije popravaka Y koordinata između 2. i 3. godine proučavanja i iznosi  $r=0,61$ ! Ovaj podatak je vrlo značajan i dokazuje da u tom periodu na stanici ESCO (Španjolska) *postoje oscilacije koje nisu obuhvaćene modelom sustavnih pogrešaka a koeficijentom korelacije prelaze granicu od  $r=0,5$  i samim time mogu se smatrati signifikantnim* (Tablica 17).

Uzrok ovih oscilacija nije poznat, niti su u ovom radu obavljena daljnja proučavanja i analize, no ovaj podatak nam još više potvrđuje tezu kako zaista postoje *korelirane* sustavne pogreške na permanentnim stanicama Europske permanentne mreže!

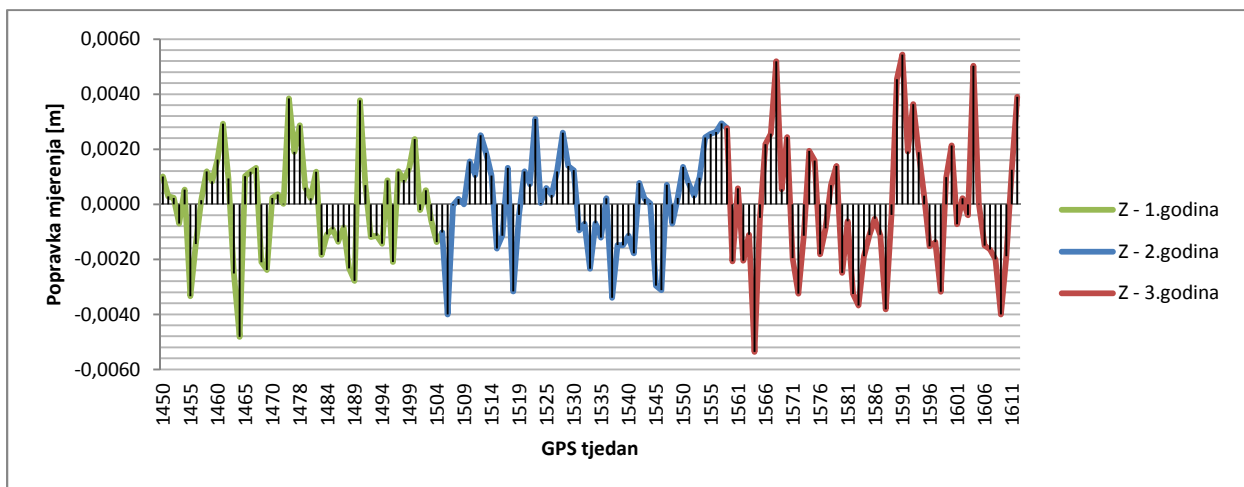
Ostatak podataka ne ukazuje na međusobnu korelaciju. Najmanji koeficijent korelacije za stanicu ESCO izračunat je za period između 1. i 3. godine proučavanja za Z komponentu.



Slika 64 - Popravke mjerenja na stanici IGEO - X koordinata



Slika 65 - Popravke mjerenja na stanici IGEO - Y koordinata

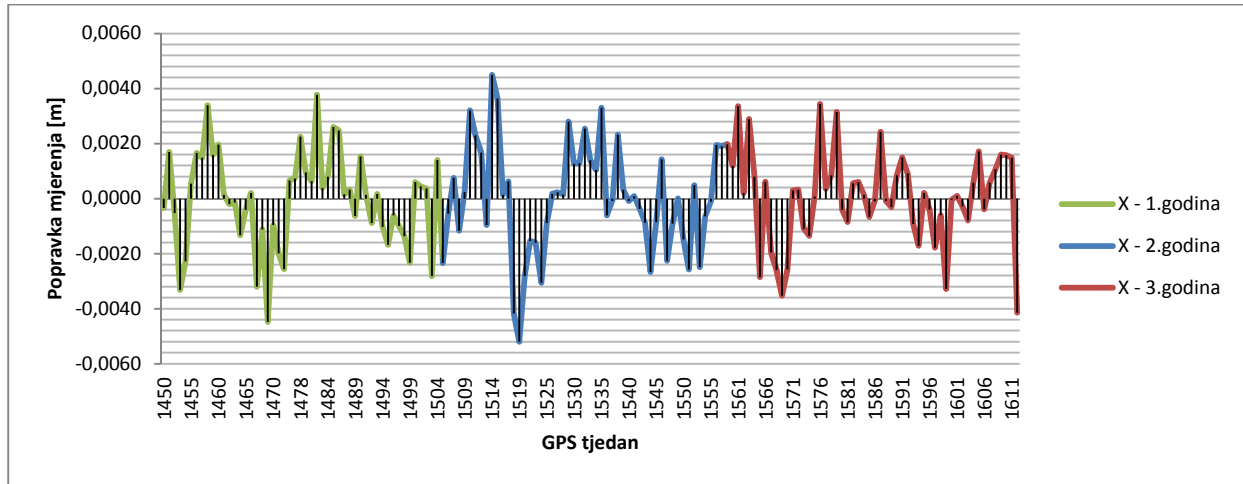


Slika 66 - Popravke mjerenja na stanici IGEO - Z koordinata

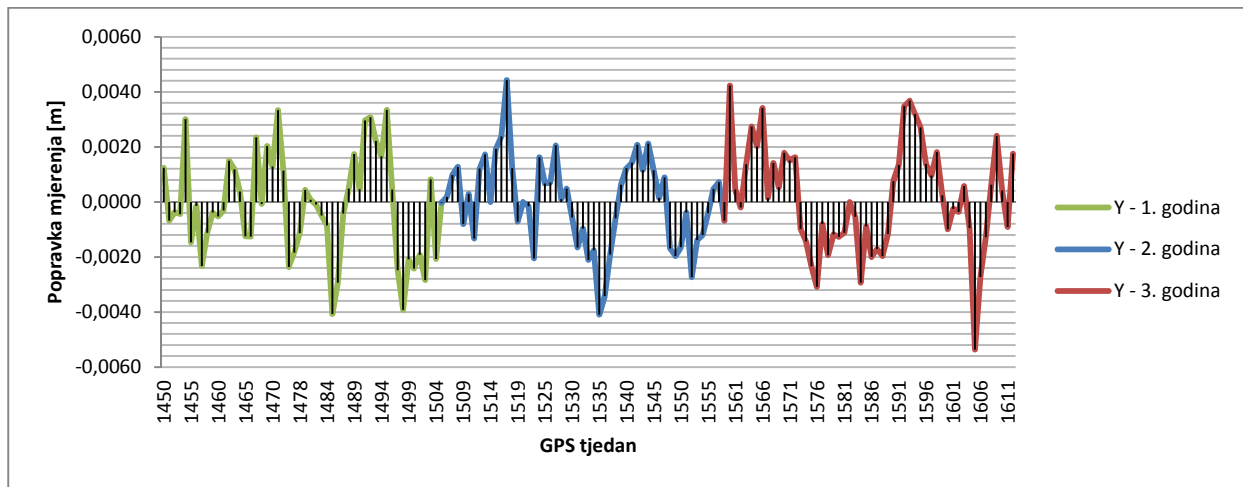
Tablica 18 - Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu IGEO

Stanica	Koordinata								
IGEO	X			Y			Z		
	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina
1. godina	-	-0,24	-0,10	-	0,08	-0,09	-	-0,01	-0,31
2. godina	-0,24	-	0,07	0,08	-	0,14	-0,01	-	-0,14
3. godina	-0,10	0,07	-	-0,09	0,14	-	-0,31	-0,14	-

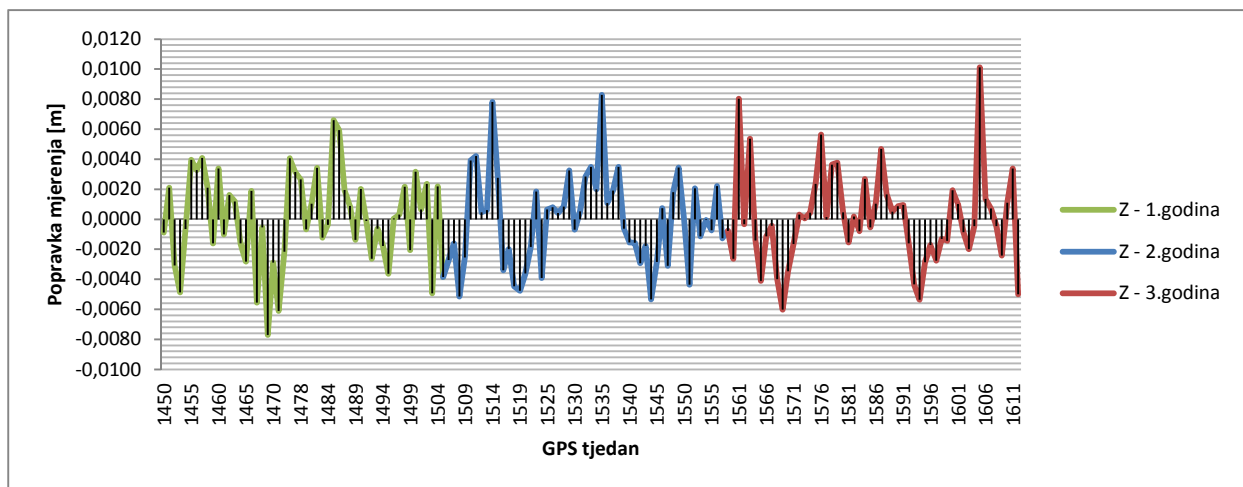
Na permanentnoj stanici IGEO nažalost nisu dobiveni značajniji rezultati. Koeficijenti korelacije kreću se u rasponu od  $r=-0,31$  do  $r=0,01$  (Tablica 18).



Slika 67 - Popravke mjerenja na stanici QAQ1 - X koordinata



Slika 68 - Popravke mjerenja na stanici QAQ1 - Y koordinata



Slika 69 - Popravke mjerenja na stanici QAQ1 - Z koordinata

Tablica 19 - Korelacija popravaka sustavnih pogrešaka modela za stanicu QAQ1

Stanica	Koordinata								
	X			Y			Z		
QAQ1	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina	1. godina	2. godina	3. godina
1. godina	-	0,30	-0,33	-	0,27	0,16	-	0,16	-0,16
2. godina	0,30	-	-0,03	0,27	-	0,52	0,16	-	0,03
3. godina	-0,33	-0,03	-	0,16	0,52	-	-0,16	0,03	-

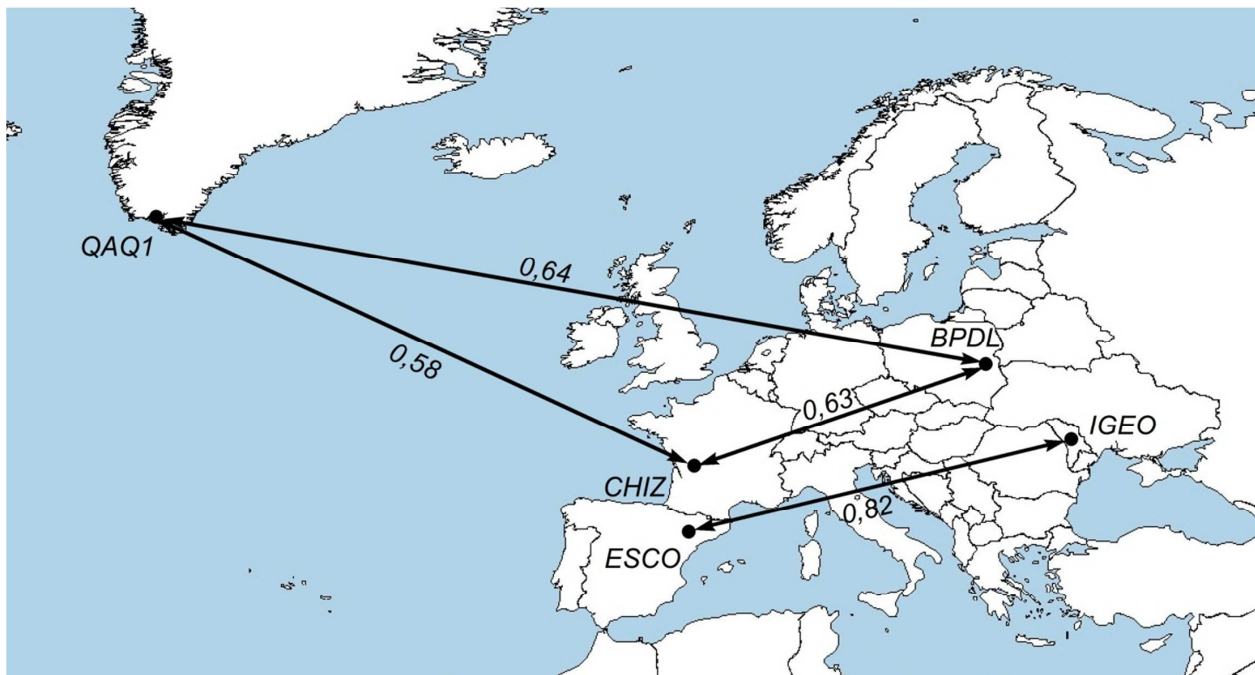
Naposljetku na stanici smještenoj na Grenlandu – QAQ1 dobiven je jedan značajan podatak. Koeficijent korelacije između 2. i 3. godine promatranja za Y koordinatu iznosi  $r=0,52$ . To je drugi pozitivan rezultat nakon stanice ESCO i ponovo potvrđuje postojanje periodičkog ponašanja popravaka modela. Ostali koeficijenti korelacije kreću se u rasponu od  $r=-0,33$  do  $r=0,27$  te nisu signifikantni i ne dokazuju međusobnu korelaciju (Tablica 19).

## 4. RASPRAVA

Očito je da se periodička osciliranja koordinata gotovo poklapaju na godišnjoj razini. Teško je reći sa sigurnošću što je točno uzrok tome gibanju pošto prilikom izrade ovog rada u obzir nisu uzimani meteorološki podaci poput temperature, tlaka i vlage zraka pa je nezahvalno govoriti o klimatskom utjecaju (poput post-glacijalnog izdizanja ili utjecaj kišnih razdoblja).

Međutim, ono što je zanimljivo jest da je riječ o pomacima sa periodom koji traje približno jednu kalendarsku godinu. Tokom godine gibanja permanentnih stanica mijenjaju svoja ubrzanja i smjerove po koordinatnim osima ITRF 2005 koordinatnog okvira iz čega zaključujemo da nije riječ o konstantnom gibanju već o gotovo pravilnim promjenama koje je moguće i prediciirati i dobiti vrlo pouzdana rješenja (npr. korištenjem Kalman filtera).

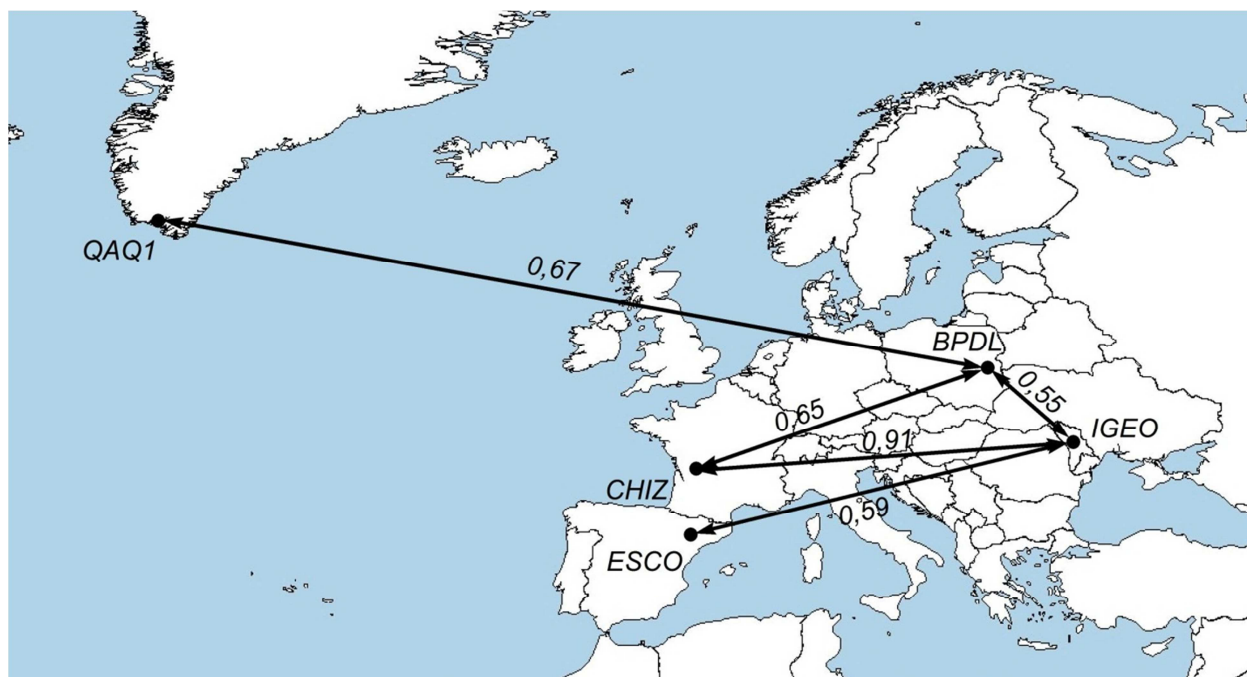
Opažane periodičke promjene teško je objasniti sa fizikalnog stajališta a jedan od mogućih uzroka može biti nekonzistentnost GPS sustava poput pogrešaka preciznih efemerida.



Slika 70- koeficijenti korelacije sustavnih pogrešaka po X-osi

Značajni iznosi koeficijenata korelacije (Slika 70) koji su veći po apsolutnim vrijednostima od 0,5 i samim time možemo reći da je korelacija dobra (Klak, 1982). Najbolja povezanost

sustavnih pogrešaka očituje se između stanica ESCO i IGEO. Promatrajući sliku korelacija za X-os vrlo je teško na prvi pogled donositi zaključke koji bi mogli objasniti zbog čega dolazi do sustavnih pogrešaka no međutim to nije niti bio predmet istraživanja ovog rada, ali je bitno napomenuti da je u ovom dijelu moguć daljnji rad, a naročito bi bilo razmotriti i klimatske i meteorološke podatke za promatrana područja.



Slika 71 - koeficijenti korelacije sustavnih pogrešaka po Y-osi

Slično kao i u prijašnjem slučaju za X komponentu sustavnih pogrešaka kod Y komponente (Slika 71) nezahvalno je donositi bilo kakve zaključke. Možemo reći da jačina povezanosti sustavnih pogrešaka ne ovisi o međusobnoj udaljenosti stanica pošto vidimo da je gotovo ista jačina korelacije između stanica CHIZ-BPDJ (1825 km) i QAQ1-BPDJ (4160 km). Međutim za Y možemo reći da je dao najbolje pokazatelje povezanosti pošto se između stanica IGEO i CHIZ javlja koeficijent korelacije od čak 0,91 što nam govori da sigurno nije riječ o slučajnom šumu već o sistematskoj pogrešci.

Što se tiče Z komponente sustavnih pogrešaka već prilikom samog početka odabira stanica za analizu na temelju grafičkih rješenja koordinata stanica bilo nam je jasno da će vrlo vjerovatno rezultati biti negativni odnosno da nećemo naići na postojanje korelacije između sustavnih

pogrešaka pošto se sinusoidalni oblik pogrešaka nije lako uočavao već je za Z komponentu raspored pogrešaka više sličio slučajnom šumu mjerenja.



Slika 72- koeficijenti korelacije sustavnih pogrešaka po Z-osi

Na Slika 72 prikazani su rezultati koji su nedovoljni za donošenje bilo kakvih zaključaka pošto se značajan iznos korelacije javlja u samo dva slučaja.



## 5. ZAKLJUČAK

Temelj istraživanja ovog rada bila je analiza odabranih permanentnih GPS stanica sa ciljem boljeg razumijevanja sustavnih pogrešaka vezanih uz tjedna rješenja Europske permanentne mreže. Koristeći znanje stečeno tokom studija i sukladno metodologiji rada analize i obrade podataka odnosno geofizičke, satelitske te globalne geodezije prikazali smo i proveli analizu pogodnu za praćenje prirode kinematičkih pomaka permanentnih GPS stanica što podrazumijeva praćenje brzine, smjera i ubrzanja gibanja permanentnih stanica EPN-a te određivanje korelacije između istih.

Metodologija rada je primjenjena na 5 točaka a vremenski prozor obuhvaćao je razdoblje od 1450-1612 GPS tjedna tj. period od 21.10.2007. do 04.12.2010. Osim opće poznatog pomaka stanica uslijed pomaka tektonskih ploča otkrili smo pojavu sustavnih pogrešaka periodičkog karaktera čiji uzrok nije geodinamika. Modeliranjem polinomom 9. stupnja dobiveni su modeli koji opisuju upravo te pogreške te smo ispitali postojanje korelacije između pojedinih točaka po različitim osima referentnog sustava. U većini slučajeva postoji korelacija što dokazuje da je zaista riječ o pogrešci koja djeluje na stanice na regionalnoj (Europskoj) razini.

Daljnjim analiziranjem šuma mjerenja u odnosu na model ubrzanja (polinom 9. stupnja) dobili smo podatke koji ne ukazuju na sezonsku korelaciju šuma što znači da pogreške modela nemaju korelaciju na godišnjoj razini (razdoblje od 52 tjedna).

Što je razlog sustavnih pogrešaka teško je reći no zasigurno je riječ o cikličkim pogreškama s godišnjim periodom.

## **6. ZAHVALA**

Zahvaljujemo se dr. sc. Željku Hećimoviću na ljubaznoj pomoći i smjernicama prilikom izrade rada čak i u svoje slobodno vrijeme te našim obiteljima koje su nam pružile bezuvjetnu podršku ne samo tokom izrade ovog rada već tokom cijelog studija.

## 7. POPIS LITERATURE

URL 1 - EUREF Permanent Network, <http://www.epncb.oma.be/>, (18.03.2014)

URL 2 - Geodetic Reference System 1980, <http://geodis.dgfi.badw.de/index.php?id=71>, (18.03.2014.)

URL 3 - International Terrestrial Reference Frame 2005, [http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2005/ITRF2005.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/ITRF2005.php), (18.03.2014.)

URL 4 - International Laser Ranging Service, <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/>, (18.3.2014.)

URL 5 - International VLBI Service for Geodesy and Astrometry, <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/>, (18.3.2014.)

URL 6 - SINEXformat, [http://www.iers.org/nn\\_10880/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Documents/ac/sinex/sinexv2.pdf;templateId=raw,property=publicationFile.pdf/sinex\\_v2\\_pdf.pdf](http://www.iers.org/nn_10880/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Documents/ac/sinex/sinexv2.pdf;templateId=raw,property=publicationFile.pdf/sinex_v2_pdf.pdf), (18.03.2014.)

URL 7 - International DORIS Service, <http://ids-doris.org/>, (18.3.2014.)

URL 8 - Global Geodetic Observing System, <http://www.iag-ggos.org/>, (18.3.2014.)

URL 9 - International GNSS Service, <http://www.igs.org/>, (18.3.2014.)

URL 10 - GPS Calendar, <https://www.ngs.noaa.gov/CORS/Gpscal.shtml>, (19.3.2014.)

URL 11 - Microsoft Excel, [http://office.microsoft.com/hr-hr/microsoft-excel-program-za-proracunske-tablice-FX010048762.aspx?WT.intid1=ODC\\_HRHR\\_FX010064710\\_XT103926083](http://office.microsoft.com/hr-hr/microsoft-excel-program-za-proracunske-tablice-FX010048762.aspx?WT.intid1=ODC_HRHR_FX010064710_XT103926083), (25.3.2014.)

URL 12 - Slijepa karta Europe, [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Plates\\_tect2\\_en.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Plates_tect2_en.svg), (08.4.2014.)

URL 13 - Karta vektora brzine pomaka tektonskih ploča u ITRF 2005 referentnom okviru, [http://geodesy.hartrao.ac.za/images/ITRF2005\\_velocities.png](http://geodesy.hartrao.ac.za/images/ITRF2005_velocities.png), (07.4.2014.)

URL 14 - Global Positioning System, <http://www.gps.gov/>, (12.4.2014)

URL 15 - International Union of Geodesy and Geophysics, <http://www.iugg.org/>, (12.4.2014)

URL 16 – slika promjena ITRF rješenja za stanicu CHIZ,  
[http://www.epncb.oma.be/\\_productsservices/timeseries/index.php?station=CHIZ\\_10020M001#extracted](http://www.epncb.oma.be/_productsservices/timeseries/index.php?station=CHIZ_10020M001#extracted), (14.04.2014.)

- [1] Altamimi Z., Collilieux X (2013): *Reference Frames for Applications in Geosciences*, IAG Symposia 138, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, DOI 10.1007/978-3-642-32998-2\_2, str 7
- [2] Borkowski, A., Bosa, J., Kontny, B., (2001): *Preliminary results of time series analysis of EPN stations in Central Europe Region*, Agricultural University of Wrocław, Wrocław, Poljska
- [3] Bruyninx C., (2004): *The EUREF Permanent Network: a multi-disciplinary network serving surveyors as well as scientists*, GeoInformatics, Vol 7, str 32-35,
- [4] Bruyninx, C., Habrich, H., Söhne, W., Kenyeres, A., Stangl, G., Völksen, C., (2012): *Enhancement of the EUREF Permanent Network Services and Products*, "Geodesy for Planet Earth", IAG Symposia Series, Vol 136, str. 27-35, DOI 10.1007/978-3-642-20338-1\_4
- [5] Bruyninx, C., Baire, Q., Legrand, J. i Roosbeek, F., (2011): *The EUREF Permanent Network: Recent Developments and Key Issues*, Royal Observatory of Belgium, Av. Circulaire 3, B-1 180 Brussels, Belgija
- [6] Bruyninx, C., Baire, Q., Legrand, J. i Aerts, W., (2010): *The EPN Infrastructure: Status, Monitoring and Plans*, Royal Observatory of Belgium, Av. Circulaire 3, B-1180 Brussels, Belgija
- [7] Bruyninx, C., Carpentier, G., Defraigne, P., (2005): *Analysis of the Coordinate Differences caused by Different Methods to align the Combined EUREF Solution to the ITRF*, Royal Observatory of Belgium, Av. Circulaire 3, B-1180 Brussels, Belgija
- [8] Habrich, H, (2007): *Updated Options and New Products of EPN analysis*, Federal Agency for Cartography and Geodesy, Frankfurt, Njemačka
- [9] Hećimović, Ž., (2010): *Predavanja iz Geodetskih referentnih okvira*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [10] Klak, S., (1982): *Teorija pogrešaka i račun izjednačenja*, Liber, Zagreb, str. 333-343

- [11] Lomb, N. R., (1976): *Least squares frequency analysis of unequally spaced data*, Astrophysics and Space Science, School of Physics, University of Sydney, N.S.W. Australia, str. 448
- [12] Mervat, L., Weber, G., (2007): Federal Agency for Cartography and Geodesy, Frankfurt, Njemačka
- [13] Rožić, N., (2007): *Računska obrada geodetskih mjerenja*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [14] Sideris M.G., (2009): *Observing and Changing Earth*, IAG Symposia 133, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, DOI 10.1007/978-3-540-85426-5\_6, str 48
- [15] Völksen, C., (2011): *An Update on the EPN Reprocessing Project: Current Achievement and Status*, Kommission für Erdmessung und Glaziologie, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, Njemačka
- [16] Feil, L., (1989): *Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – prvi dio*, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb

## 8. SAŽETAK

Naslov:

ANALIZA KONTINUIRANIH MJERENJA NA ODABRANIM TOČKAMA EUROPSKE PERMANENTNE MREŽE

Tekst sažetka:

Na odabranim permanentnim GPS stanicama EPN mreže pojavljuju se sustavne pogreške u tjednim rješenjima koordinata stanica koja nisu posljedica konstantnog pomicanja tektonskih ploča u odnosu prostorno fiksni ITRF05 referentni okvir. Analizom sirovih SINEX podataka određeni su koreficijeni korelacije pogrešaka koji iznose čak do 0,91 i time potvrđuju tezu da su pogreške u tjednim rješenjima koordinata stanica međusobno korelirane. Nadalje, određeni su modeli funkcija sustavnih pogrešaka određivanjem polinoma 9. stupnja metodom najmanjih kvadrata, prosječne brzine pomaka stanica po svim osima koordinatnog okvira, ubrzanja stanica na tjednoj razini te naposljetku analiziran je šum nakon uklanjanja sustavnih pogrešaka iz podataka mjerenja i ispitano je postojanje korelacije u šumu na sezonskoj razini.

Autori:

Gordan Horvat, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

Matjaž Štanfel, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

Ključne riječi:

EPN, sustavne GPS pogreške, ubrzanja, brzine pomaka.

## 9. SUMMARY

Title:

*ANALYSIS OF CONTINUOUS MEASUREMENTS ON SPECIFIED STATIONS OF EUROPEAN PERMANENT NETWORK*

Summary text:

On selected permanent GPS stations of EPN network, systematic errors appears in the weekly coordinate solutions which are not a result of the constant movement of tectonic plates in relation to spatially fixed ITRF05 reference frame. The analysis of the raw SINEX data indicates correlation of this errors up to 0,91 thus confirming the hypothesis that the errors in weekly coordinate solutions of stations are correlated. Furthermore, we have defined models as functions of systematic errors by specifying the ninth degree polynomial using least squares method as well as the average speed of stations displacements in coordinate frame, the accelerations of stations based on a weekly basis and finally we have analyzed the data noise after removing the systematic errors from measurements and examined the existence of data noise correlations on a seasonal basis.

Authors:

Gordan Horvat, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

Matjaž Štanfel, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

Key words:

EPN, systematic GPS errors, accelerations, displacement velocity.