

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Geodezija,  
smer Geodezija

Kandidatka:

**Janja Konečnik**

# **Integracija sistemov GPS in GLONASS v geodetski izmeri**

**Diplomska naloga št.: 745**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Bojan Stopar

**Somentor:**

asist. dr. Klemen Kozmus Trajkovski

Ljubljana, 10. 4. 2008

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **JANJA KONEČNIK** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:  
**»INTEGRACIJA SISTEMOV GPS IN GLONASS V GEODETSKI IZMERI«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,  
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, april 2008

Janja Konečnik

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>528.28(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Janja Konečnik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Bojan Stopar</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. mag. Klemen Kozmus Trajkovski</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Integracija sistemov GPS in GLONASS v geodetski izmeri</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>122 str., 31 pregl., 36 sl., 45 en., 4 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>GPS, GLONASS, oddane efemeride, precizne efemeride, integracija,</b>

### **Izveček**

Tema te diplomske naloge je ugotoviti možnosti uporabe satelitskega navigacijskega sistema GLONASS v geodetski praksi. Želeli smo preizkusiti, kako ta sistem vpliva na postopke terenskega dela in pridobljene rezultate, ko potrebujemo rezultate (koordinate točk) visoke točnosti. Rezultati naj bi bili dobri, vendar je potrebno vedeti, da sistem GLONASS še ni popolnoma operativen in še tudi kar nekaj let ne bo. Trenutno je aktivnih 16 satelitov, ki lahko dopolnjujejo sistem GPS, samostojni sistem GLONASS kot tak pa je v geodetski izmeri le pogojno uporaben ob skrbnem predhodnem planiranju meritev.

Diplomska naloga je sestavljena iz teoretičnega in praktičnega dela. V teoretičnem delu sta opisana oba sistema, tako njuna sestava in njuno delovanje kot tudi njune prednosti in slabosti. Opisani so vplivi na opazovanja, tipi opazovanj in določitev položaja sprejemnika. Prav tako sta podrobneje opisani položajna in časovna transformacija med sistemoma. Predstavljene so tudi službe, ki skrbijo za podatke o položajih satelitov obeh sistemov. V praktičnem delu pa so na kratko opisani instrumenti, ki so bili uporabljeni za izmero, metode izmere, potek meritev, obdelava opazovanj ter rezultati in njihova interpretacija.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 528.28(043.2)  
**Author:** Janja Konečnik  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Bojan Stopar  
**Cosupervisor:** Assist. MSc. Klemen Kozmus Trajkovski  
**Title:** Integration of GPS and GLONASS in geodetic survey  
**Notes:** 122 p., 31 tab., 36 fig., 45 eq., 4 ann.  
**Key words:** GPS, GLONASS, broadcast ephemeris, precise ephemeris, integration

### **Abstract**

The topic of this Graduation Thesis is the assessment of the possibility of a practical application of the satellite navigation system GLONASS in geodetic surveys. We examined how this satellite system influences field work procedures and the acquired results, when accurate coordinates are needed. The preliminary results are positive but the GLONASS satellite system is not yet fully operational and it is not going to be for at least a few years. There are only 16 active satellites that can supplement the GPS satellite system, and GLONASS as a self-contained system can be used only conditionally, with careful prior planning.

The Graduation Thesis consists of a theoretical and practical part. The theoretical part deals with the structure, functioning, advantages and disadvantages of both satellite systems. Subsequently, the influences on observations, the types of observations and the determination of the position of the receiver are being described. Positioning and timing transformations between both of the systems are described in-depth as well. Furthermore, services which operate with information about positions of satellites of both systems are presented. In the practical part I shortly describe the instruments, the methods, which were used, the types of observation, the processing of the acquired data, the obtained results and the interpretation of these results.

## ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Bojanu Stoparju, ki mi je omogočil, da je moja ideja postala stvarnost in da je tukaj pred Vami to diplomsko delo. Pri tem sem imela veliko pomoči s strani somentorja asist. mag. Klemena Kozmusa Trajkovskega, ki mi je nudil oporo pri praktičnem delu in sem mu za to tudi zelo hvaležna.

Najlepša hvala g. Deanu Kordežu, ki je posodil enega od Topcon-ovih sprejemnikov, brez katerega statične metode izmere ne bi bilo. Posebna zahvala za trud in čas gre Albinu Mencinu ter Mojci Grilc, ki sta mi pomagala pri izvajanju opazovanj statične metode izmere.

Hvala mag. Zlati Ploštajner, ki si je vzela čas za lektoriranje te diplomske naloge.

Najlepše se zahvaljujem tudi mojim domačim in Simonu, ki ste mi vsa ta leta študija stali ob strani, za vašo pomoč in podporo, predvsem pa preganjanje k pisanju (Hvala, mama!).

Hvala tudi vsem ostalim, ki ste mi naredili študentska leta nepozabna!

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PRIMERJAVA SISTEMOV GPS IN GLONASS</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Sestava sistemov</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Vesoljski segment</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1.1</b>	<b>Generacije satelitov GPS in GLONASS</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Kontrolni segment</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Uporabniški segment</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Tirnice satelitov</b>	<b>8</b>
<b>2.3</b>	<b>Referenčni datum in čas</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Referenčni datum</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Realizacija koordinatnih sistemov</b>	<b>12</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Referenčni čas</b>	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Signal in navigacijsko sporočilo</b>	<b>14</b>
<b>2.4.1</b>	<b>GPS signal</b>	<b>14</b>
<b>2.4.1.1</b>	<b>Modulacija nosilnih valovanj</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1.2</b>	<b>Navigacijsko sporočilo</b>	<b>15</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Signal sistema GLONASS</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2.1</b>	<b>Struktura signala</b>	<b>17</b>
<b>2.4.2.1.1</b>	<b>C/A koda</b>	<b>17</b>
<b>2.4.2.1.2</b>	<b>P koda</b>	<b>18</b>
<b>2.4.2.1.3</b>	<b>Časovna koda</b>	<b>19</b>
<b>2.4.2.1.4</b>	<b>Sinhronizacija bitov</b>	<b>19</b>
<b>2.4.2.1.5</b>	<b>Struktura navigacijskih podatkov</b>	<b>19</b>
<b>2.4.2.1.6</b>	<b>Struktura navigacijskega sporočila GLONASS – M satelita</b>	<b>20</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Osnovna razlika med signali obeh sistemov</b>	<b>20</b>

<b>2.5</b>	<b>Viri napak – vplivi na opazovanja</b>	<b>23</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Viri napak v sistemu GPS</b>	<b>23</b>
<b>2.5.1.1</b>	<b>Omejen dostop do sistema – SA</b>	<b>24</b>
<b>2.5.1.2</b>	<b>Geometrija satelitov</b>	<b>24</b>
<b>2.5.1.3</b>	<b>Tirnice satelitov</b>	<b>25</b>
<b>2.5.1.4</b>	<b>Efekt večpotja</b>	<b>25</b>
<b>2.5.1.5</b>	<b>Atmosferski vplivi</b>	<b>26</b>
<b>2.5.1.6</b>	<b>Relativistični vplivi</b>	<b>27</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Viri napak v sistemu GLONASS</b>	<b>28</b>
<b>2.5.2.1</b>	<b>Zakasnitve signalov</b>	<b>28</b>
<b>2.5.2.2</b>	<b>Izgube celoštevilčne narave neznanega števila celih valov (NŠCV)</b>	<b>29</b>
<b>2.6</b>	<b>Tipi opazovanj in določitev položaja</b>	<b>33</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Kodna opazovanja</b>	<b>33</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Fazna opazovanja</b>	<b>35</b>
<b>2.6.2.1</b>	<b>Fazne razlike</b>	<b>36</b>
<b>2.6.2.2</b>	<b>Linearne kombinacije faznih opazovanj</b>	<b>38</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Kombinirana opazovanja GPS/GLONASS</b>	<b>39</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Določitev položaja</b>	<b>40</b>
<b>2.6.4.1</b>	<b>Določitev absolutnega položaja na podlagi kodnih opazovanj</b>	<b>40</b>
<b>2.6.4.2</b>	<b>Določitev absolutnega položaja na podlagi faznih opazovanj</b>	<b>41</b>
<b>2.6.4.3</b>	<b>Določitev relativnega položaja na podlagi faznih opazovanj</b>	<b>42</b>
<b>2.7</b>	<b>Transformacija med sistemoma</b>	<b>43</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Transformacijski parametri</b>	<b>43</b>
<b>2.7.1.1</b>	<b>Ruske ocene transformacijskih parametrov</b>	<b>45</b>
<b>2.7.1.2</b>	<b>Ameriške ocene</b>	<b>47</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Uporaba globalnih transformacijskih parametrov</b>	<b>48</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Transformacija časovnih sistemov</b>	<b>49</b>
<b>2.8</b>	<b>Služba IGS</b>	<b>51</b>
<b>2.8.1</b>	<b>Splošno o službi IGS</b>	<b>51</b>



<b>2.8.2</b>	<b>Analizni centri in pridruženi analizni centri</b>	<b>54</b>
<b>2.8.3</b>	<b>Precizne efemeride</b>	<b>55</b>
<b>3</b>	<b>MERITVE</b>	<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>Statična metoda izmere</b>	<b>58</b>
<b>3.2</b>	<b>Kinematična metoda izmere</b>	<b>60</b>
<b>3.3</b>	<b>RTK (Real Time Kinematic) metoda izmere</b>	<b>60</b>
<b>3.4</b>	<b>Instrumentarij</b>	<b>61</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Delovanje sprejemnika HiPer Pro</b>	<b>63</b>
<b>3.5</b>	<b>Izvedba meritev</b>	<b>66</b>
<b>3.6</b>	<b>Obdelava opazovanj</b>	<b>75</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Opis programskih paketov</b>	<b>75</b>
<b>3.6.1.1</b>	<b>Trimble Total Control</b>	<b>75</b>
<b>3.6.1.2</b>	<b>Topcon Tools</b>	<b>76</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Obdelava podatkov statične metode izmere</b>	<b>78</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Obdelava podatkov kinematične metode izmere</b>	<b>82</b>
<b>4</b>	<b>REZULTATI MERITEV IN NJIHOVA INTERPRETACIJA</b>	<b>84</b>
<b>4.1</b>	<b>Rezultati statične metode izmere</b>	<b>84</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Vpliv časa izvajanja meritev</b>	<b>85</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Vpliv višinskega kota</b>	<b>88</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Primerjava z danimi koordinatami točk</b>	<b>91</b>
<b>4.2</b>	<b>Rezultati kinematične metode izmere</b>	<b>97</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Izmera s sateliti sistema GLONASS</b>	<b>98</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Izmera s sateliti sistema GPS</b>	<b>102</b>

<b>4.2.3</b>	<b>Integracija meritev GPS/GLONASS</b>	<b>108</b>
<b>4.3</b>	<b>Rezultati RTK metode izmere</b>	<b>113</b>
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>117</b>
<b>6</b>	<b>VIRI</b>	<b>119</b>
<b>7</b>	<b>PRILOGE</b>	
	<b>Priloga A: Tabelarni prikaz rezultatov statične metode izmere</b>	
	<b>Priloga B: Grafični prikaz rezultatov kinematične metode izmere</b>	
	<b>Priloga C: Tabelarni prikaz rezultatov RTK metode izmere</b>	
	<b>Priloga D: Tabelarni prikaz rezultatov RTK metode izmere za točki FGG2 in FGG4</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 2.1: Velika polos in sploščenost referenčnih elipsoidov sistemov GPS in GLONASS.	11
Preglednica 2.2: Osnovna razlika med sistemoma GPS in GLONASS [Börjesson].	22
Preglednica 2.3: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili ruski znanstveniki leta 1993 [Roßbach, 2000, str. 43].	45
Preglednica 2.4: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili ruski znanstveniki leta 1998 [Roßbach, 2000, str. 43].	45
Preglednica 2.5: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili nemški znanstveniki [Roßbach, 2000, str. 45].	46
Preglednica 2.6: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili znanstveniki 29. raziskovalnega inštituta topografske službe ruskega ministrstva za obrambo [Roßbach, 2000, str. 44].	46
Preglednica 2.7: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma SGS-85 in WGS-84 kot so jih določili ameriški znanstveniki leta 1994 [Roßbach, 2000, str. 44]	47
Preglednica 2.8: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili ameriški znanstveniki leta 1996 [Roßbach, 2000, str. 44].	47
Preglednica 2.9: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili ameriški znanstveniki z opazovanji na zahodni obali ZDA [Roßbach, 2000, str. 44].	48
Preglednica 3.1: Metode satelitske izmere in njihove lastnosti [Stopar in Pavlovčič Prešeren, 2001, str. 73].	57
Preglednica 3.2: Specifikacije sprejemnika HiPer Pro [Navodila za uporabo sprejemnika HiPer Pro; Topcon].	62
Preglednica 3.3: Tabelarni prikaz ovir na posamezni točki detajlne RTK izmere.	70
Preglednica 4.1: Razlike v koordinatnih komponentah točke SMKP glede na uporabljene efemeride sistema GPS v obeh časovnih intervalih opazovanj.	84
Preglednica 4.2: Primerjava koordinatnih komponent točke SMKP glede na čas izvajanja opazovanj.	85
Preglednica 4.3: Primerjava koordinatnih komponent točke MALJ glede na čas izvajanja opazovanj.	86

Preglednica 4.4: Primerjava koordinatnih komponent točke SMKP ob različnem številu satelitov glede na višinski kot spremljanih satelitov.	88
Preglednica 4.5: Primerjava koordinatnih komponent točke MALJ ob različnem številu satelitov glede na višinski kot spremljanih satelitov.	89
Preglednica 4.6: Primerjava koordinatnih komponent točke SMKP izračunane v programskem paketu Trimble Total Control glede na dane koordinate.	90
Preglednica 4.7: Primerjava koordinatnih komponent točke MALJ izračunane v programskem paketu Trimble Total Control glede na dane koordinate.	92
Preglednica 4.8: Primerjava koordinatnih komponent točke SMKP izračunane v programskem paketu Topcon Tools glede na dane koordinate.	93
Preglednica 4.9: Primerjava koordinatnih komponent točke MALJ izračunane v programskem paketu Topcon Tools glede na dane koordinate.	95
Preglednica 4.10: Prikaz rezultatov kinematične GLONASS izmere glede na uporabljen programski paket, efemeride in višinski kot.	100
Preglednica 4.11: Prikaz rezultatov kinematične GPS izmere točke FGG2 glede na uporabljen programski paket, efemeride in višinski kot.	104
Preglednica 4.12: Prikaz rezultatov kinematične GPS izmere točke FGG2 glede na uporabljen programski paket in čas meritev.	106
Preglednica 4.13: Prikaz rezultatov kinematične GPS izmere točke FGG2 glede na uporabljeno nosilno valovanje, višinski kot in efemeride.	107
Preglednica 4.14: Prikaz rezultatov integrirane GPS/GLONASS izmere glede na uporabljen programski paket, efemeride in višinski kot.	111
Preglednica 4.15: Prikaz značilnih parametrov v opazovani točki FGG2 glede na opazovanja satelitov sistemov GPS in GLONASS ob višinskem kotu 15° izračunanih v programskem paketu Trimble Total Control ob uporabljenih oddanih efemeridah.	112
Preglednica 4.16: Prikaz značilnih parametrov razlik v opazovani točki FGG2 glede na opazovanja satelitov sistemov GPS in GLONASS ob višinskem kotu 15° izračunanih v programskem paketu Topcon Tools ob uporabljenih oddanih efemeridah.	112
Preglednica 4.17: Koordinatna odstopanja GPS in integrirane GPS/GLONASS izmere v obeh serijah RTK metode izmere.	114
Preglednica 4.18: Koordinatna odstopanja med 1. in 2. serijo GPS in integrirane GPS/GLONASS izmere v točkah FGG2 in FGG4.	116

Preglednica 4.19: Koordinate točk FGG2 in FGG4 kot predhodno znane, izmerjene z GPS in integrirano GPS/GLONASS izmero v državnem koordinatnem sistemu.

117

## KAZALO SLIK

Slika 2.1: Tirnica GPS-satelita v nebesnem koordinatnem sistemu s prikazanimi Keplerjevimi elementi tirnice [Pavlovčič Prešeren in Stopar, 2004, str. 155].	9
Slika 2.2: Struktura navigacijskega sporočila sistema GPS [Pavlovčič Prešeren in Stopar, 2004, str. 154].	16
Slika 2.3: Struktura podatkovnega niza C/A kode sistema GLONASS [Roßbach, 2000, str. 15].	18
Slika 2.4: Frekvenčni pristop [FDMA/CDMA, 2000, str. 10].	21
Slika 2.5: Kodni pristop [FDMA/CDMA, 2000, str. 11].	21
Slika 2.6: Struktura službe IGS [Pavlovčič Prešeren in Stopar, 2005, str. 180].	52
Slika 3.1: Lokacije točk, ki so bile uporabljene za statično izmero [Stopar et al., 2006, str. 616].	66
Slika 3.2: Vidnost satelitov GPS in GLONASS dne 25.4.2007 [Trimble Total Control – modul Planing ].	67
Slika 3.3: Stabilizacija točke SMKP na starem pomolu v Kopru.	67
Slika 3.4: Vidnost satelitov GPS in GLONASS dne 26.6.2007 [Trimble Total Control – modul Planing ].	68
Slika 3.5: Lokacije točk, katerih koordinate so bile določene z RTK metodo izmere.	69
Slika 3.6: Približne lokacije točk, katerim smo z RTK metodo izmere določali koordinate, podlaga rastrska slika [www.geopedia.si].	70
Slika 3.7: Pogled na Jamovo cesto v križišču z Groharjevo ulico (točki: 1, 2).	71
Slika 3.8: Pogled na Jamovo cesto v križišču z ulico Lepi pot.	72
Slika 3.9: Pogled po Jamovi cesti v smeri Viča (točka 4).	72
Slika 3.10: Pogled po ulici Lepi pot z Jamove ceste (točka 6).	72
Slika 3.11: Pogled na park (točka 7).	72
Slika 3.12: Pogled po Jamovi cesti v smeri proti Centru (točka 3).	73
Slika 3.13: Pogled po Langusovi ulici v smeri proti Rožniku (točka 4).	73
Slika 3.14: Vidnost satelitov GPS in GLONASS dne 5.7.2007 [Trimble Total Control – modul Planing].	74
Slika 3.15: Osnovno delovno okno programskega paketa Trimble Total Control.	75
Slika 3.16: Osnovno delovno okno programskega paketa Topcon Tools.	77

Slika 3.17: Sprejem signalov satelitov na točkah SMKP (modra) in SOCE (vijolična), [Trimble Total Control].	80
Slika 3.18: Sprejem signalov satelitov na točkah MALJ (vijolična) in SOCE (modra), [Trimble Total Control].	80
Slika 3.19: Sprejem signalov satelitov na točkah MALJ (vijolična) in SMKP (modra), [Trimble Total Control].	81
Slika 4.1: Sprejem signalov satelitov na točkah FGG2 (modra) in FGG3 (vijolična), [Trimble Total Control].	97
Slika 4.2a: Spreminjanje koordinate E v času GLONASS opazovanj na točki FGG2.	98
Slika 4.2b: Spreminjanje koordinate N v času GLONASS opazovanj na točki FGG2.	99
Slika 4.2c: Spreminjanje višine v času GLONASS opazovanj na točki FGG2.	99
Slika 4.3a: Spreminjanje koordinate E v času GPS opazovanj na točki FGG2.	103
Slika 4.3b: Spreminjanje koordinate N v času GPS opazovanj na točki FGG2.	103
Slika 4.3c: Spreminjanje višine GPS opazovanj na točki FGG2.	104
Slika 4.4a: Spreminjanje koordinate E v času integriranih GPS/GLONASS opazovanj na točki FGG2.	109
Slika 4.4b: Spreminjanje koordinate N v času integriranih GPS/GLONASS opazovanj na točki FGG2.	110
Slika 4.4c: Spreminjanje višine integriranih GPS/GLONASS opazovanj na točki FGG2.	110
Slika 4.5: Razpršenost RTK opazovanj na posamezni točki.	115

## OKRAJŠAVE

AS	angl. Anti Spoofing slov. izkrivljanje s satelitov (sistema GPS) oddanih podatkov
BIH	fr. Bureau International de l'Heure angl. International Time Bureau slov. mednarodna pisarna za čas
BPSK	angl. Binary Phase Shift Keying slov. binarni fazni ključ
C/A	angl. Coarse Acquisition slov. standardna koda GPS signala
CDDIS	angl. Crustal Dynamics Data Information System slov. krovni informacijski sistem dinamičnih podatkov
CDMA	angl. Code Division Multiple Access slov. kodni dostop
CODE	angl. Center for Orbit Determination in Europe slov. evropski center, ki pripravlja podatke o tirnicah satelitov
CTP	angl. Conventional Terrestrial Pole slov. dogovorjeni zemeljski pol
DOP	angl. Dilution Of Precision slov. slabšanje natančnosti
ECEF	angl. Earth-centered Earth-fixed slov. koordinatni sistem s fiksnimi osmi, ki ima izhodišče v središču Zemlje
ED-50	angl. European Datum slov. evropski datum
FAGS	angl. Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services slov. federacija analiznih služb za astronomske in geofizikalne podatke
FARA	angl. Fast Ambiguity Resolution Approach slov. pristop hitre rešitev NŠCV



FCS	angl. Free Chanell Scan slov. metoda iskanja prostega kanala
FDMA	angl. Frequency Division Multiple Access slov. frekvenčni dostop
GIS	slov. Geografski Informacijski Sistem
GLONASS	rus. Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema angl. Global Navigation Satellite System slov. ruski globalni navigacijski satelitski sistem
GNSS	angl. Global Navigation Satellite System slov. globalni navigacijski satelitski sistem
GPS	angl. Global Positioning System slov. ameriški globalni navigacijski satelitski sistem za pozicioniranje
GRS-80	angl. Geodetic Reference System slov. geodetski referenčni sistem
HIRAN	angl. High Range Navigation slov. navigacija visokega dosega
HOW	angl. Hand Over Word slov. nadzorna beseda
IAC	angl. Information-Analytical Center slov. informacijski analitični center
IAG	angl. International Association of Geodesy slov. mednarodno združenje geodetov
ICA	angl. International Cartographic Association slov. mednarodna zveza za kartografijo
IERS	angl. International Earth Rotation and Reference System Service slov. mednarodna služba za rotacijo Zemlje in referenčne sisteme
IGEX	angl. International GLONASS Experiment slov. mednarodni GLONASS poskus
IGLOS-PP	angl. International GLONASS Service Pilot Project slov. pilotski projekt mednarodne službe za GLONASS
IGS	angl. International GNSS Service slov. mednarodna GNSS služba

ION	angl. Institute of Navigation slov. inštitut za navigacijo
IONEX	angl. IONosphere Map Exchange slov. standardni podatkovni format za podatke ionosfere
ITRF	angl. International Terrestrial Reference Frame slov. mednarodni terestrični refrenčni sestav
LAMBDA	angl. Least Squares Ambignity Decorelation Adjustment Method slov. dekorelacija NŠCV po MNK
MCC	rus. Center Upravljenija Poletami angl. Mission Control Center slov. kontrolni center za vesoljske polete
MNK	slov. Metoda Najmanjših Kvadratov
NAS	angl. North American System slov. Severnoameriški sistem
NASA	angl. North American Space Agency slov. severnoameriška vesoljska agencija
NŠCV	slov. Neznano Število Celih Valov
OTF	angl. On – The – Fly slov. metoda za določitev NŠCV, »nekaj se ustvari, ko je to potrebno«
P	angl. Precise slov. precizna koda GPS signala
PPS	angl. Precision Positioning Service slov. natančna določitev položaja
PRN	angl. Pseudo Random Noise slov. koda naključnega šuma satelitov
PZ-90	rus. Parametri Zemli slov. parametri Zemlje
RINEX	angl. Receiver INdependent EXchange slov. standardni podatkovni format, ki je neodvisen od sprejemnika
RMS	angl. Root Mean Square slov. kvadratni srednji odklon
RTK	angl. Real Time Kinematic

	slov. kinematična metoda izmere, kjer so rezultati dobljeni v dejanskem času
S/A	angl. Selective Availability slov. omejena dostopnost do vsebine satelitskega signala sistema GPS
SGS-85	rus. Sovetskaja Geodeziceskaja Sistema angl. Soviet Geodetic System slov. sovjetski geodetski sistem
SIGNAL	slov. Slovenija Geodezija NAVigacija Lokacija
SINEX	angl. Solution INdependent EXchange slov. standardni podatkovni format, ki je neodvisen od rešitve
SLR	angl. Satellite Laser Ranging slov. satelitsko lasersko merjenje razdalj
SPS	angl. Standard Positioning Service slov. standardna določitev položaja
TEC	angl. Total Electron Content slov. količina, ki podaja skupno število prostih elektronov v ionosferi na površini $1 \text{ m}^2$ vzdolž poti med satelitom in sprejemnikom
TLM	angl. Telemetry Word slov. telemetrijska beseda
UTC	angl. Universal Time Coordinated slov. univerzalni koordinirani čas
UTM	angl. Universal Transverse Mercator slov. univerzalna transverzalna Mercatorjeva projekcija
WGS-84	angl. World Geodetic System slov. globalni referenčni sestav za uporabo v geodeziji in navigaciji

## 1 UVOD

Satelitska navigacija in določanje položaja v prostoru sta v zadnjih letih napredovala iz nečesa, za kar mnogi ljudje še slišali niso, do nečesa, kar se vsak dan uporablja v najrazličnejše namene. V prvi vrsti se uporablja ameriški GPS (angl. Global Positioning System), toda obstaja tudi drugi sistem, ki je v njegovi senci, to je ruski Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (angl. Global Navigation Satellite System) ali GLONASS. Čeprav v zadnjem času GLONASS vedno bolj pridobiva na vrednosti in uporabnosti.

Tako kot v drugih strokah tudi v geodeziji stremimo k optimizaciji terenskega dela in s tem k boljši izrabi časa, ki je potreben, da opravimo neko delo, in seveda k čim manjšim stroškom. Tega se zavedajo tudi proizvajalci geodetske merske opreme, ki se trudijo izdelovati čim bolj kompatibilno mersko strojno kot tudi programsko opremo. Ena od prednosti pri optimizaciji meritev je tudi izdelava sprejemnikov, ki sledijo tako satelitom sistema GPS kot satelitom sistema GLONASS. Sledenje satelitov obeh sistemov nam lahko olajša praktično delo predvsem v primerih, ko bi sledenje satelitov enega sistema onemogočalo doseganje potrebne natančnosti, ki jo je potrebno zagotoviti v geodeziji.

GLONASS je začel operativno delovati že v zgodnjih osemdesetih, vendar so bile informacije o njem zelo redke, vse do razpada Sovjetske zveze, saj se je tako kot GPS tudi GLONASS razvijal za vojaške namene in so kakršni koli podatki o njem predstavljali državno skrivnost. Interes za GLONASS je narasel skozi vse večji pretok informacij o sistemu samem, ki so omogočale izdelavo sprejemnikov, ki so bili sposobni poleg GPS slediti tudi GLONASS satelitom. To je privedlo do raziskovanja možnosti uporabe, ki se nanašajo na večje število vidnih satelitov, kot pa če bi uporabili samo GPS satelite. Drugi izziv pa se je nanašal na združitev meritev, ki se nanašajo na dva različna referenčna sistema.

Študija, ki jo predstavlja ta diplomska naloga, je majhen del raziskovanj vpliva in uporabe sistema GLONASS (tako samostojnega, kot tudi) v kombinaciji s sistemom GPS. Povezava sistemov se marsikje smatra kot temeljna, saj lahko izboljša zanesljivost in produktivnost pri

satelitskem določanju položaja posebej v območjih, kjer lahko prav sprejemanje satelitov obeh sistemov omogoči praktično delo v okviru geodetske natančnosti. Izkušnje bodo uporabne tudi pozneje, ko in če bomo začeli uporabljati evropski sistem Galileo.

Ideja o integraciji obeh sistemov se je začela uresničevati leta 1998, ko so mednarodna zveza za geodezijo IAG (angl. International Association of Geodesy), mednarodna služba za GNSS (angl. Global Navigation Satellite Systems), IGS (angl. International GNSS Service), inštitut za navigacijo ION (angl. Institute of Navigation) in mednarodna služba za rotacijo Zemlje in referenčne sisteme IERS (angl. International Earth Rotation and Reference Systems Service) organizirale prvo kampanjo za raziskovanje sistema GLONASS. Poimenovali so jo IGEX (angl. International GLONASS Experiment). Glavni cilji kampanje so bili:

- razviti in testirati post-procesno programsko opremo sistema GLONASS
- določiti precizne tirnice satelitov v dobro definiranem zemeljskem koordinatnem sestavu
- določiti transformacijske parametre med referenčnima sistemoma PZ-90 (rus. Parametri Zemli) in ITRF (angl. International Terrestrial Reference Frame)
- raziskati razliko med GLONASS in GPS časom
- s pomočjo SLR (angl. Satellite Laser Ranging) določiti natančnost izračunanih tirnic sistema GLONASS.

Vlogo analiznega centra je prevzela služba CODE (angl. Center for Orbit Determination in Europe). Za GPS tedne od 990 do 1066 so bili dobljeni naslednji rezultati: precizne tirnice satelitov, razlike v koordinatnem sistemu in času med sistemoma GLONASS in GPS ter transformacijski parametri med koordinatnima sistemoma PZ-90 in ITRF-97. Predsedstvo službe IGS je odobrilo nadaljevanje IGEX kampanje v okviru IGS-ove delovne skupine za GLONASS. Glavna naloga tega pilotskega projekta mednarodne službe za GLONASS IGLOS-PP (angl. International GLONASS Service Pilot Project) sestoji iz vzpostavitve in vzdrževanja globalne mreže sledilnih postaj in iz izračuna preciznih tirnic satelitov, ocene satelitskih ur in koordinat postaj [Hugentobler *et al.*, 2006].

## 2 PRIMERJAVA SISTEMOV GPS IN GLONASS

V splošnem sta si sistema zelo podobna. Oba sistema imata enako osnovo za delovanje, vendar pa se po drugi strani zelo razlikujeta. Vsak od sistemov ima svoje prednosti in svoje slabosti, ki bodo predstavljene v tej diplomski nalogi.

V nadaljevanju so za vsak sistem posebej opisane njune lastnosti. Predstavljeni so sestava, vzdrževanje in področja uporabe obeh sistemov, tipi opazovanj, določitev položaja na osnovi opazovanj, vplivi na opazovanja ter trenutno stanje obeh sistemov. Opisana je tudi povezanost obeh sistemov s službo IGS ter dostop do informacij (tirnice satelitov).

### 2.1 Sestava sistemov

Sistema GPS in GLONASS sestavljajo trije segmenti (Stopar in Pavlovčič, 2001; Perminov in Koptev, 2002):

- vesoljski (množica satelitov)
- kontrolni (kontrolne postaje)
- uporabniški (uporabniška oprema in aplikacije).

#### 2.1.1 Vesoljski segment

Vesoljski segment sistema GPS sestavlja 24 satelitov, ki v vsakem trenutku kjerkoli na zemeljskem površju zagotavlja globalno pokritost s štirimi do osmimi naključno opazovanimi sateliti z višinskim kotom nad  $15^\circ$ . Sateliti krožijo na višini okoli 20180 km v šestih orbitalnih ravninah. Na vsaki ravnini se nahajajo štirje sateliti, ki pa zaradi optimalne pokritosti niso enakomerno razporejeni po ravnini. Ravnine tirnic satelitov so proti ravnini ekvatorja nagnjene za  $55^\circ$  (inklinacija). Da satelit opravi polni »krog« po tirnici, potrebuje  $11^{\text{h}} 58^{\text{min}} 00^{\text{s}}$  (12 zvezdnih ur). Takšna razporeditev orbitalnih ravnin zagotavlja, da ni preveč satelitov prepogosto nad poloma, obenem pa razporeditev omogoča stabilnejšo postavitev satelitov. S

tem imajo tudi sončni vetrovi in gravitacijska polja (nebesnih teles) enak vpliv na vse satelite. Trenutno je delujočih 31 satelitov sistema GPS.

Popolnoma razvit sistem GLONASS je sestavljen iz 24 satelitov (21 delujočih in 3 rezervnih), ki krožijo v treh orbitalnih ravninah. Rektascenzije dvižnih vozlov ravnin se razlikujejo za  $120^\circ$ . Tako je 8 satelitov enakomerno razporejenih po 3 ravninah. Med sabo so razmaknjeni za  $45^\circ$ . Ravnine tirnic so med sabo relativno razmaknjene za  $15^\circ$ . Sateliti krožijo na višini okrog 19130 km z inklinacijo  $64.8^\circ$ , kar omogoča boljšo pokritost s signalom na višjih zemljepisnih širinah. Vsak satelit naredi en polni krog po tirnici v  $11^h 15^{min} 40^s$ . Razmak med sateliti naj bi zagotavljal neprekinjeno pokritost satelitskega signala 5 satelitov na površju Zemlje in njegovi bližini (Perminov in Koptev, 2002). Trenutno je v orbiti delujočih 16 satelitov. Zaradi raznih po pravil se njihovo število občasno zmanjša na 14 ali 15. Sistem naj bi bil popolnoma razvit do leta 2011.

#### 2.1.1.1 Generacije satelitov GPS in GLONASS

Sateliti obeh sistemov so podlaga za radio oddajnik, atomske ure, računalnike in različno opremo, ki se uporablja za določitev položaja in druge vojaške namene. Oprema satelitov omogoča uporabnikom, da s sprejemniki sočasno izmerijo kvazi topocentrične razdalje do vsaj treh satelitov. Vsak satelit oddaja signal, ki uporabniku omogoča, da prepozna satelit in določi njegov položaj v vesolju. Sateliti so opremljeni s solarnimi celicami, s katerimi pridobivajo energijo ter reaktorskimi motorji za ohranjanje tirnice.

Z razvojem sistemov GPS in GLONASS so se razvijali tudi vedno boljši sateliti, ki jih lahko razporedimo v več generacij. Med sabo se generacije satelitov razlikujejo po življenjski dobi satelita, številom in vrsto atomskih ur na krovu satelita, možnosti degradacije in vrstami satelitskega signala, ki ga oddajajo, komunikacijah ter številom dni avtonomnega delovanja satelita. Pri vsaki novi generaciji pride tudi do fizičnih izboljšav (novi materiali, razvoj elektronike,...).

Prva generacija GPS satelitov so bili **Block I** sateliti. Prvi satelit je bil izstreljen 1978. leta. Ti sateliti niso imeli možnosti degradacije (poslabšanja) signala na osnovi AS (angl. Anti

Spoofing) in S/A (angl. Selective Availability)<sup>1</sup>. Inklinacija teh satelitov je bila 63°. Sateliti so bilo sposobni samostojno delovati do 4 dni. Sateliti (11) so služili testiranju temeljev satelitsko podprte navigacije, izkušnje pa so predvsem služile izboljšavam v naslednjih skupinah satelitov.

Druga generacija satelitov, **Block II**, sega nazaj v leto 1989. Ti sateliti so opremljeni s štirimi atomskimi urami (cezijeve, rubidijeve) in imajo degradiran satelitski signal na osnovi AS in S/A. Življenjska doba teh satelitov je 7.5 let, samostojno pa lahko delujejo do 14 dni.

Sateliti skupine **Block IIA** spadajo v tretjo generacijo satelitov. Prvi satelit iz te generacije je začel operativno delovati 1990. leta. Trenutno v orbiti kroži 16 satelitov Block II/IIA. Od predhodnikov se ločijo po dolžini delovanja, saj lahko avtonomno delujejo do 180 dni.

Trenutno aktualna skupina GPS satelitov je **Block IIR**. Ti sateliti so začeli zamenjevati satelite prejšnjih dveh skupin leta 1997. V orbiti se nahaja 12 Block IIR satelitov. Samostojno lahko delujejo do 6 mesecev, medtem ko je njihova življenjska doba ocenjena na 10 let. Procesorji na teh satelitih se lahko tudi preprogramirajo, kar omogoča odpravljanje težav in nadgradnjo. Njihova oprema omogoča komunikacijo med sateliti in samostojno pripravo navigacijskih sporočil. Zadnjih 7 Block IIR satelitov oddaja nov vojaški signal (M – koda, ki ima robustnejšo in sposobnejšo arhitekturo) na obeh nosilnih valovanjih L1 in L2 ter tudi drugi bolj robusten civilni signal (L2C) na L2 valovanju. Prvi modernizirani Block IIR (preimenovan v Block IIR – M) satelit je bil izstreljen septembra 2005.

**Block IIF** sateliti so najnovejša generacija GPS satelitov. Prvi satelit iz te skupine bo predvidoma izstreljen leta 2008. Ti sateliti bodo imeli vse zmožnosti prejšnjih generacij, seveda z nekaterimi izboljšavami, kot so daljša življenjska doba do 12 let, hitrejši procesorji z več spomina in nov civilni signal na tretjem valovanju L5. Izdelali naj bi od 12 do 19 satelitov te generacije.

---

<sup>1</sup> AS Anti Spoofing je proces, kjer je P koda, ki se uporablja za precizno pozicioniranje, »zakodirana«. Kot takšna se imenuje Y koda. Zakodirani podatki se lahko dekodirajo le z GPS sprejemniki, ki prepoznajo lažnive podatke.

S/A Selective Availability je ime za proces, ki ameriškemu ministrstvu za obrambo dovoljuje, da omejuje natančnost določitve položaja civilnim uporabnikom. To je doseženo z manipulacijo navigacijskega sporočila in/ali frekvence satelitovih ur. S/A je bil z letom 2000 odstranjen.



Sateliti sistema GLONASS so trenutno razporejeni v tri generacije. Skupne so jim cezijeve ure na krovih satelitov ter tri-osni stabilizacijski sistem, ki satelite med letom drži v pravilni legi [GLNSAT].

Prva generacija satelitov je tako imenovana **Uragan** generacija. Prvi satelit iz te generacije je bil izstreljen oktobra 1982, zadnji pa leta 2007. Skupaj je bilo izstreljenih 87 satelitov. Generacija ima štiri podskupine:

- Block I: pričakovana življenjska doba 1 leto, izstreljenih 10 satelitov
- Block IIa: pričakovana življenjska doba 1 leto, novi časovni in frekvenčni standardi, povečana stabilnost frekvence, izstreljenih 6 satelitov
- Block IIb: pričakovana življenjska doba 2 leti, izstreljenih 12 satelitov
- Block IIc: pričakovana življenjska doba 3 leta, po letu 1991 izboljšana konstrukcija, ki poveča življenjsko dobo na približno 5 let, izstreljenih 51 satelitov.

Masa posameznega satelita znaša 1415 kg.

Drugo generacijo **Uragan– M** sestavlja 12 satelitov. Tem satelitom je dodan civilni referenčni signal na L2 nosilnem valovanju. Na ta način se je povečala natančnost navigacije za civilne uporabnike. Sateliti imajo tudi izboljšane oddajnike in življenjsko dobo do 7 let. Prvi satelit te generacije je bil izstreljen leta 2003. Tudi ta generacija ima dve podskupini:

- GLONASS-M Block I: pričakovana življenjska doba od 5 do 7 let, izboljšani so časovni in frekvenčni standardi, masa 1480 kg, uporabljena SPS (angl. Standard Positioning Service) koda na obeh nosilnih valovanjih, s katero so omogočeni ionsferski popravki.
- GLONASS-M Block II: masa 2000 kg, izboljšani podsistemi, možna komunikacija med sateliti ter 60 dnevno avtonomno delovanje.

**Uragan-K** so tretja, najnovejša, generacija satelitov sistema GLONASS. Ti sateliti bodo lažji, 745 kg, življenjska doba satelitov pa bo od 12 do 15 let. Dodano bo tudi tretje nosilno valovanje za civilne uporabnike. To generacijo satelitov bodo predvidoma začeli izstreljevati leta 2009.

### 2.1.2 Kontrolni segment

Kontrolni segment sistema GPS sestavlja 5 kontrolnih postaj, ki so enakomerno razporejene vzdolž ekvatorja. Te kontrolne postaje so Kwajalein, Hawaii, Ascension Island in Diego Garcia ter glavna kontrolna postaja v bližini Colorado Springs-a v Coloradu.

Glavna naloga kontrolnega segmenta je ugotavljanje stanja sistema GPS in posameznih satelitov na osnovi sprejetih signalov, določanje parametrov tirnic satelitov, ugotavljanje teka satelitovih ur ter periodično obnavljanje navigacijskega sporočila. V primeru, da stanje satelita ni ustrezno, kontrolni segment poskrbi za odstranitev nastalih težav. Glavna kontrolna postaja lahko komunicira s sateliti in odstranjuje morebitne težave, prav tako pa posreduje satelitom parametre o tirnicah.

Kontrolne postaje sistema GLONASS so razporejene po vsem ozemlju bivše Sovjetske zveze. Te postaje so v okolici mest: St. Petersburg, Ternopol, Eniseisk in Komsomolsk-na-Amure. Povezane so s sistemskim kontrolnim centrom, ki se nahaja v bližini Moskve. Celotna struktura kontrolnih postaj, skupaj s postajami za lasersko merjenje dolžin (v bližini mest Balchas, Jevpatoria in Kitab), tvori tako imenovani kontrolni kompleks.

Vsaka kontrolna postaja sledi satelitom ter sprejema njihova navigacijska sporočila. Ti podatki, skupaj s podatki radarskega merjenja razdalj, dajejo parametre satelitove tirnice do treh metrov natančno. Nadalje so ti podatki poslani v sistemski kontrolni center, kjer se izračunajo popravki satelitovih ur, statusa satelitov in navigacijskega sporočila. Vse skupaj je spet poslano nazaj do kontrolnih postaj, kjer podatke posredujejo satelitom. Razdalje merjene z radarskimi razdaljemerji so periodično kalibrirane z laserskimi meritvami dolžin. S teh postaj so sateliti vidni samo na severni polobli, z izjemo velikega dela severne Amerike. To je ena od slabosti sistema GLONASS, saj povzroča zamude pri raziskovanju satelitovih anomalij in posodabljanju podatkov o satelitih. V dobi razvoja sistema GLONASS sta bili planirani tudi kontrolni postaji na Kubi in v Angoli, vendar zaradi razpada Sovjetske zveze tega nikoli niso uresničili [Roßbach, 2000].

### 2.1.3 Uporabniški segment

Uporabniški segment sestavljajo uporabniki sistemov GPS in GLONASS. Tako uporabniki s posebno strojno in programsko opremo opazujejo in shranjujejo sprejeti signal, na osnovi katerega lahko določajo svoj položaj in hitrost ter pridobivajo podatek o času. Civilni uporabniki imajo na voljo le del celotne vsebine satelitskega signala, ki pa je lahko tudi namerno izkrivljen. Celotno vsebino imajo na voljo le pooblaščen uporabniki (vojska).

Danes je na trgu mogoče dobiti veliko različnih proizvajalcev sprejemnikov in programske opreme, s katero lahko uporabniki z različno natančnostjo določajo svoj položaj v prostoru, hitrost in čas. Cene sprejemnikov so odvisne od namena uporabe. Tako so za povprečnega uporabnika na voljo navigacijske naprave, ki omogočajo uporabniku določitev položaja v prostoru in hitrost premikanja. Uporabni so predvsem za potovanja in rekreacijo. Za potrebe geodezije takšni instrumenti oziroma naprave niso uporabni, saj ne omogočajo predpisane točnosti. Zato so za te potrebe razviti posebni, robustnejši instrumenti, ki pa so dražji.

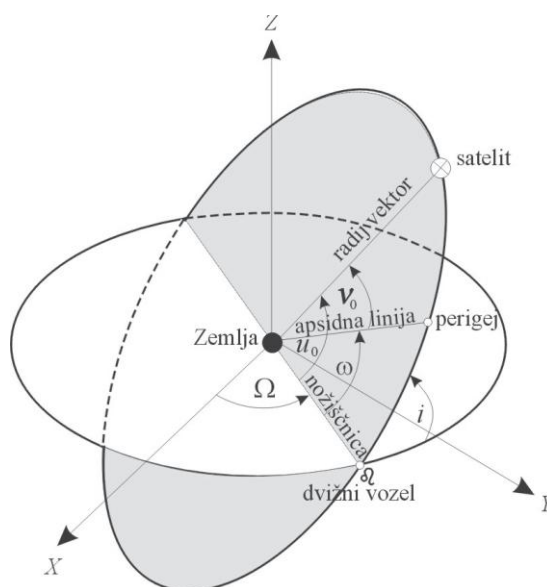
## 2. 2 Tirnice satelitov

Gibanje satelita po tirnici je rezultat delovanja različnih sil. Najpomembnejša je privlačna sila Zemlje, večji vpliv pa imata tudi privlačni sili Sonca in Lune. Ostale sile so v primerjavi z naštetimi zanemarljive.

Položaj satelita na tirnici je izračunan vnaprej. Ta položaj se primerja z dejanskim položajem satelita v času, kar omogoča izboljšavo začetnih pogojev za bodoče obhode.

Položaj GPS satelita v prostoru je podan s šestimi Keplerjevimi elementi, ki definirajo in orientirajo elipso glede na telo Zemlje ter umestijo položaj satelita na elipsi v določenem času. Velikost elipse je podana z velikostjo velike polosi  $a$  in normalno ekscentriciteto  $e$ . S pravo anomalijo  $f$  je podan položaj satelita na tirnici. Ravnino tirnice v prostoru obravnavamo v nebesnem koordinatnem sistemu, saj se ne vrti skupaj z Zemljo. Točka, kjer satelit preide

ravnino ekvatorja, se imenuje dvižni vozlel. Linija, ki povezuje dvižni vozlel in gorišče elipse se imenuje nožišćnica. Rektascenzija dvižnega vozla se oznaćuje z  $\Omega$  in je kot, kjer Sonce in satelit preideta ekvator. Toćko perigeja (toćka, kjer je satelit najbližje Zemlji, v obratni smeri je apogej) in gorišće elipse povezuje apsida. Kot med nožišćnico in apsidno je argument perigeja  $\omega$ . Kot med ravnino ekvatorja in ravnino tirnice se imenuje inklinacija  $i$ . Z elementoma  $i$  in  $\Omega$  je podan položaj ravnine tirnice v nebesnem koordinatnem sistemu. Z elementi  $i$ ,  $\Omega$  in  $\omega$  je podan položaj satelita v prostoru in z elementi  $a$ ,  $e$  in  $f$  položaj satelita v ravnini tirnice. Za dejanske tirnice satelitov je vseh šest elementov funkcija ćasa.



Slika 2.1: Tirnica GPS-satelita v nebesnem koordinatnem sistemu s prikazanimi Keplerjevimi elementi tirnice [Pavlovćić Prešeren in Stopar, 2004, str. 155].

Dejanska tirnica, ki jo opiše GPS satelit, odstopa od Keplerjeve tirnice, saj se satelit giblje v težnostnem polju Zemlje, obremenjen pa je tudi z ostalimi vplivi. To je potrebno pri izraćunu položaja GPS satelita upošćevati.

Za razliko od GPS je položaj GLONASS satelita na tirnici podan s pozicijo, hitrostjo in pospeškom v geocentrićnih koordinatah (PZ-90). V teh koordinatah so podani tudi popravki zaradi gravitacijskega vpliva Sonca in Lune. Podatki o položaju so s satelita poslani v oddanih (angl. broadcast) efemeridah in se obnavljajo na vsakih 30 minut. Ti podatki so podobni kot

pri sistemu GPS. To so ekvatorski čas, perioda revolucije, ekscentriciteta tirnice, inklinacija, geografska dolžina dvižnega vozla, argument perigeja in popravek časovne skale.

## 2.3 Referenčni datum in čas

### 2.3.1 Referenčni datum

Referenčni datum je množica parametrov (translacije, rotacije, spremembe merila), ki se uporabljajo za vzpostavitev položaja referenčnega elipsoida glede na točke na Zemljini površini. Informacije sistema GLONASS se nanašajo na datum PZ-90 (rus. Parametri Zemli), medtem ko se sistem GPS nanaša na referenčni datum WGS-84 (angl. World Geodetic System). WGS definira Zemljin globalni referenčni sestav za uporabo v geodeziji in navigaciji. Zadnja veljavna revizija je iz leta 1984 (ponovna revizija je bila leta 2004, ki pa bo prišla v veljavo leta 2010).

Enotni svetovni geodetski sistem je postal nujno potreben konec petdesetih let prejšnjega stoletja. Razlogi so bili predvsem naslednji:

- mednarodna vesoljska znanost in začetki astronavtike
- potreba po medcelinskih geodetskih informacijah
- nezmožnost kontinentalnih geodetskih sistemov (Evropski datum (ED-50), Severnoameriški datum (NAS), ...), da bi zagotovili svetovno referenčno osnovo
- potreba po globalnih kartah za navigacijo, letalstvo in geografijo.

Tako se je začel razvoj svetovnega sistema, na katerega bi se nanašale različne koordinate ter interesi držav in organizacij, ki so sodelovale pri razvoju. Da bi definirali lokalno najbolj prilagajoči se elipsoid s središčem v bližini središča Zemlje za vsakega od izbranih datumov, so uporabili podatke meritev težnosti na Zemljinem površju, podatke astro-geodetskih meritev ter rezultate HIRAN (angl. High Range Navigation) meritev. Prispevek satelitskih podatkov je bila sploščenost elipsoida, ki so jo pridobili iz gibanja satelitov. Vsaka verzija svetovnega sistema je skupaj z razvojem tehnike razpolagala tudi z večjim številom različnih meritev

(Doppler, lasersko merjenje dolžin, interferometrija, radarska altimetrija,...) V preteklosti so tako nastali WGS-60, WGS-66, WGS-72, trenutno aktualni pa je WGS-84 referenčni sistem.

Referenčni sistem WGS-84 je geocentričen, pri katerem je kot osnova uporabljen GRS-80 (angl. Geodetic Reference System) referenčni elipsoid. Lastnosti WGS-84 so:

- središče je težišče Zemlje
- Z os je usmerjena v smeri dogovorjenega zemeljskega pola (CTP), kot ga definira BIH (fr. Bureau International de l' Heure)
- X os je usmerjena proti presečišču ravnine CTP (angl. Conventional Terrestrial Pole) ekvatorja z ničelnim meridianom
- Y os je določena tako, da je sistem desnosučen.

Zadnja revizija WGS-84 se nanaša tudi na Zemljin gravitacijski model in bolj natančen geoid.

Referenčni datum sistema GLONASS se imenuje PZ-90. Sprva se je uporabljal tako imenovani sovjetski geodetski sistem SGS-85 (rus. Sovetskaja Geodeziceskaja Sistema). Po definiciji sta sistema enaka, a se v realizaciji razlikujeta. PZ-90 je geocentričen in je definiran z naslednjimi lastnostmi:

- središče je v masnem središču Zemljinega telesa
- Z os je usmerjena proti srednjemu severnemu polu glede na srednjo epoho 1900-1905 po ICA (angl. International Cartographic Association)
- X os je usmerjena proti presečišču ekvatorja po epohi 1900-1905 in ravnini srednjega Greenwich-ega meridiana
- Y os je določena tako, da je sistem desnosučen.

Preglednica 2.1: Velika polos in sploščenost referenčnih elipsoidov sistemov GPS in GLONASS.

	WGS-84	PZ-90
Velika polos [m]	6378137	6378136
Sploščenost	1/298.257223563	1/298.257839303

Upravljalci sistema GLONASS so septembra 2007 izdali izboljšano različico svojega koordinatnega sistema PZ-90.02. Nove koordinate so že bile posredovane vsem delujočim satelitom. Transformacijski parametri med novim PZ-90.02 in ITRF2000 koordinatnim sistemom sedaj znašajo vzdolž koordinatnih osi:

X: -36 cm,

Y: 8 cm,

Z: 18 cm.

V bližnji prihodnosti lahko pričakujemo tudi spremembo transformacijskih parametrov med koordinatnima sestavoma PZ-90.02 in WGS-84.

### 2.3.2 Realizacija koordinatnih sistemov

WGS-84 koordinatni sistem je realiziran s povprečjem meritev koordinat točk določenih postaj. Vrednosti koordinat teh postaj so pridobili z meritvami Dopplerjevega efekta s sateliti sistema TRANSIT. Pozneje so pridobljene koordinate še izboljšali, tako da standardna deviacija WGS-84 koordinat pri opazovanjih z GPS sateliti v horizontalni in vertikalni smeri znaša:

$$s_{\varphi} = s_{\lambda} = \pm 1 \text{ m} \quad \left( \sigma_{\varphi} \right),$$

$$s_h = \pm 1 \dots 2 \text{ m} \quad \left( \sigma_h \right).$$

Standardni odkloni ne upoštevajo napak pri izvajanju opazovanj, ampak se nanašajo na napake pri določitvi izhodišča koordinatnega sestava grede na težišče Zemljinih mas ter na določitev pravičnega merila. WGS-84 koordinatni sestav je zelo blizu ITRF koordinatnemu sestavu, saj se koordinata točke razlikuje le za nekaj decimetrov. Sistema WGS-84 ne moremo realizirati z metrsko natančnostjo samo z GPS meritvami. Diferencialna določitev položaja GPS sprejemnika uporablja za osnovo točke, ki so določene v ITRF koordinatnem sestavu. S tvorjenjem baznih vektorjev pa se interpolira vrednosti koordinat točk v sestavu WGS-84. Teoretično so dobljene koordinate v mešanem ITRF/WGS-84 koordinatnem sestavu, vendar se sestav na kratko imenuje kar WGS-84 [Roßbach, 2000].

Na podoben način, z nizom postaj z definiranimi koordinatami, je realiziran tudi PZ-90 koordinatni sistem. Za realizacijo so seveda uporabljene druge postaje kot pri WGS-84.

Notranja natančnost sestava je v okviru  $\pm 1$  m do  $\pm 2$  m. Glede na različno realizacijo koordinatnih sistemov, se le ta razlikujeta tako v izhodišču, orientaciji kot tudi v merilu. Transformacija med koordinatnima sestavoma je podana v nadaljevanju.

### 2.3.3 Referenčni čas

Tako sateliti sistema GPS kot sateliti sistema GLONASS oddajajo njihov čas s pomočjo navigacijskega sporočila.

GPS čas je izražen v GPS tednih in sekundah v tednu. Temelji na atomski časovni skali. Prav tako je na atomski časovni skali definiran UTC čas (angl. Universal Time Coordinated). GPS čas je določen tako, da je skladen z UTC časom na dan 6.1.1980 ob 00.00 uri. GPS čas ne šteje prestopnih sekund, zato obstaja razlika med UTC in GPS časom (april 2006: 14s). Vsak teden se v noči iz sobote na nedeljo ob 00.00 GPS teden poveča za ena, sekunde pa se ponovno nastavijo na 0 (GPS teden ima 604800s).

GLONASS čas je zasnovan na atomski časovni skali, ki je podobna GPS. Ta časovna skala je UTC, ki jo vzdržujejo v Rusiji (UTC (RU)). GLONASS časovna skala ni nepretrgana, zato mora biti prilagojena za periodično prestopno sekundo. Prestopne sekunde se uporabljajo zato, da se ohranja UTC čas blizu srednjemu sončevemu času. GLONASS časovna skala se periodično popravlja za celo število sekund sočasno z UTC popravki, ki se nanašajo na objave BIH. Ti popravki nastopijo enkrat letno (lahko tudi leto in pol) točno ob polnoči po UTC iz 31.12 na 1.1. (ali iz 31.3 na 1.4., ... ). Med popravljanjem prestopne sekunde se pri GLONASS času popravi tudi štetje sekundnih pulzov satelitovih ur. V tem primeru časovna oznaka navigacijskega sporočila spremeni svoj položaj, tako da postane sinhrona z dvo-sekundno epoho popravljenе UTC časovne skale.

Razliko med UTC(RU) in GLONASS časom predstavlja spodnja enačba:

$$t_{UTC(RU)} = t_{GLONASS} + \tau_C - 3h. \quad (2.1)$$

Razlika med GLONASS časom in nacionalnim referenčnim časom UTC (RU) naj ne bi presegala 1 milisekunde. Navigacijsko sporočilo vsebuje podatke, ki povezujejo GLONASS



čas z UTC (RU) znotraj 1  $\mu$ s. Drugače pa je razlika, glede na kontrolni segment sistema GLONASS, med časovnima skalama točno 3 ure. Ena izmed izboljšav GLONASS-M satelitov je, da z navigacijskim signalom prenašajo koeficiente, ki določajo razliko med UT1 (definiran glede na rotacijo Zemlje) in UTC časom ter GPS-popravke za sistem GPS glede na GLONASS čas (razlika med časovnima skalama), ki naj ne bi bila večja od 30 ns [Roßbach, 2000].

## 2.4 Signal in navigacijsko sporočilo

### 2.4.1 GPS signal

Princip določitve položaja z GPS in njegova točnost sta močno odvisna od narave signala. Pri razvoju ustrezne strukture signala so bili upoštevani naslednji kriteriji [GPS]:

- frekvenca valovanja naj bi bila manjša od 2 GHz, višja frekvenca bi zahtevala drugačno anteno
- ionosferska refrakcija je ogromna za frekvence nižje od 100 MHz in višje od 10 GHz
- hitrost širjenja elektromagnetnih valov v snovi je tembolj odvisna od svetlobne hitrosti, čim nižja je frekvenca
- PRN koda (angl. Pseudo Random Noise) zahteva visoko valovno dolžino za modulacijo kode na nosilnem valovanju
- izbrana frekvenca naj bo v območju, ki je neobčutljivo na vremenske razmere.

Vsak GPS satelit oddaja dve nosilni valovanji, ki sta označeni z L1 in L2. Civilni GPS sprejemniki uporabljajo valovanje L1 s frekvenco 1575.42 MHz (valovna dolžina valovanja je 19.05 cm). Nosilno valovanje L1 nosi navigacijsko sporočilo in kodo standardne natančnosti, SPS (angl. Standard Positioning Service). L2 valovanje (frekvenca 1227.60 MHz, valovna dolžina 24.45 cm) nosi samo P kodo, ki se lahko sprejema samo s sprejemniki, zasnovani za kodo precizne natančnosti, PPS (angl. Precision Positioning Service).

#### 2.4.1.1 Modulacija nosilnih valovanj

GPS sateliti so v sprejemniku identificirani s pomočjo PRN števil. Za poenostavitev omrežja satelitov je na voljo 32 PRN števil, čeprav jih je nujno potrebnih le 24 (trenutno je aktivnih več kot 24 satelitov, kar optimizira razpoložljivost, zanesljivost in točnost omrežja).

Nosilni valovanji sta desnosučno krožno polarizirani sinusni valovanji, modulirani s tremi binarnimi kodami. Prva izmed njih je C/A koda (angl. Coarse Acquisition), ki je namenjena civilnim uporabnikom. C/A koda je dolga 1023 bitov in se prenaša s frekvenco 1.023 MHz. Definirana je za vsak satelit posebej in se ponovi vsakih 1023 bitov oziroma vsako milisekundo.

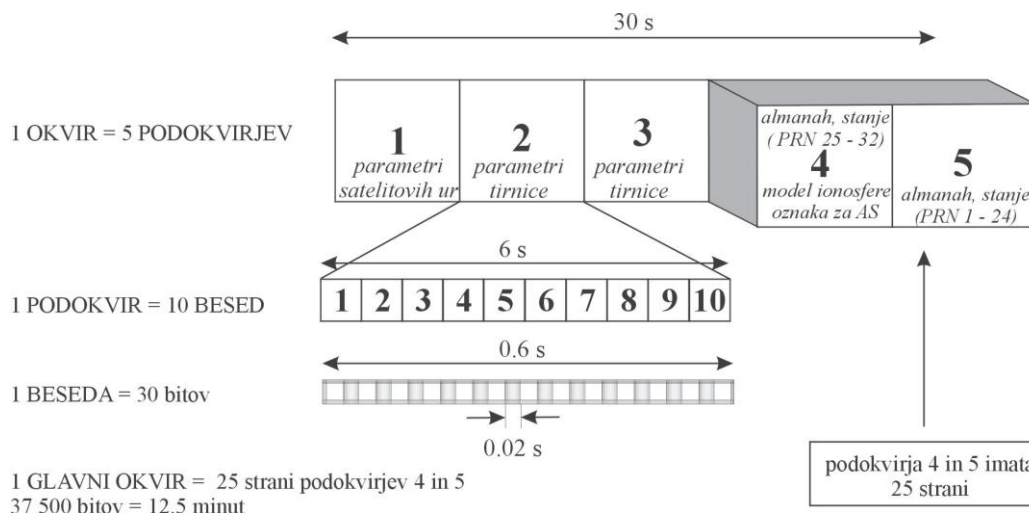
P koda (angl. Precise) je modulirana na obeh nosilnih valovanjih L1 in L2. Njena frekvenca je 10.23 MHz in je dolga 266 dni, uporabnih pa je le 7 dni (GPS teden). Zaradi zaščite pred vmešavanjem neželenih signalov je P koda kodirana z metodo AS in se označuje kot Y koda. Za dekodiranje je potreben poseben AS-modul, ki je dosegljiv samo pooblaščenim uporabnikom. Na ta način je prizadeto določanje absolutnega položaja sprejemnika v realnem času.

#### 2.4.1.2 Navigacijsko sporočilo

Navigacijsko sporočilo je naneseno na obe nosilni valovanji. Je 50 Hz koda, velikosti 37500 bitov. Oddajanje navigacijskega sporočila se ponovi vsakih 12.5 minut.

Osnovna enota, okvir (25), je dolga 1500 bitov. Deli se na 5 podokvirjev. Vsak podokvir vsebuje 10 besed, dolgih 30 bitov. Prva beseda vsakega podokvirja je tako imenovana TLM (angl. Telemetry Word) in vsebuje podatke o starosti efemerid. Druga beseda je HOW (angl. Hand Over Word) s podatki o številu štetih epoh. Ti dve besedi vsebujeta podatke zadnjega GPS tedna. HOW se uporablja tudi kot dostop do P kode s strani pooblaščenih uporabnikov. Preostali del prvega podokvirja vsebuje podatke o statusu in točnosti oddajajočega satelita in popravke njegovih ur. Drugi in tretji podokvir vsebujeta podatke efemerid, podokvirja 4 in 5 pa almanah, kjer so informacije o parametrih tirnic, tehničnem statusu satelitov in njihovi

dejanski postavitvi, identifikacijske številke, ... Podokvir 4 vsebuje še podatke o ionosferskih popravkih ter informacije o UTC času. Prvi trije podokvirji so identični za vseh 25 struktur.



Slika 2.2: Struktura navigacijskega sporočila sistema GPS [Pavlovčič Prešeren in Stopar, 2004, str. 154].

## 2.4.2 Signal sistema GLONASS

Zaradi razlikovanja med posameznimi sateliti, sateliti sistema GLONASS uporabljajo različne frekvence nosilnih valovanj za prenos navigacijskih informacij. Frekvenci posameznega satelita sta določeni z enačbo:

$$f_{L1} = 1602 + k \cdot 0.5625 \text{ MHz za nosilno valovanje L1,} \quad (2.2)$$

$$f_{L2} = 1246 + k \cdot 0.4375 \text{ MHz za nosilno valovanje L2,} \quad (2.3)$$

kjer je število  $k$  frekvenčno število. To število zavzema vrednosti od 0 do 24. Frekvenčno število 0 je tako imenovana tehnična frekvenca, rezervirana za testne namene. Števila 1 – 24 so pripisana operativnim satelitom. Nosilno valovanje L1 zavzema vrednosti frekvenc od 1602 MHz do 1615.5 MHz. Razmerje frekvenc nosilnih valovanj L2 in L1 je 7/9. Nosilno valovanje L2 torej zavzema vrednosti frekvenc od 1246 MHz do 1256.5 MHz.

V začetku je bilo načrtovano, da bi vsak od satelitov imel svojo frekvenčno število. Ker pa je del frekvenčnega spektra pomemben tudi za radio astronomijo, so leta 1993 reorganizirali

frekvence tako, da imata nasprotna satelita na isti ravnini tirnice enako frekvenčno število. Tako so razpolovili število frekvenčnih števil. Sateliti sistema GLONASS imajo tudi možnost menjave frekvenc nosilnega valovanja med tremi frekvenčnimi števili (tehnična in dve operativni). Po letu 2005 je planirano, da se frekvenčna števila postopoma spremenijo in to od -7 do +4, s +5 in +6 kot tehničnima frekvencama. Tako bo nosilno valovanje L1 zavzemalo vrednosti od 1598.0625 MHz do 1605.375 MHz in nosilno valovanje L2 vrednosti od 1242.9375 MHz do 1248.625 MHz.

Da se kompenzirajo relativistični vplivi, se nominalna vrednost frekvence razlikuje za relativno vrednost:

$$\Delta f / f = -4.36 \cdot 10^{-10}, \quad (2.4)$$

kar je enako 4.9999999782 MHz (vrednost je podana za nominalno višino tirnice, 19100 km) [Perminov in Koptev, 2002].

#### 2.4.2.1 Struktura signala

Signal sistema GLONASS je sestavljen iz dveh komponent PRN kode in navigacijske informacije, ki so modulirane z Modulo-2 dodatkom. Navigacijska informacija sestoji iz digitalne informacije in časovne kode. Digitalna informacija je modulirana z Modulo-2 dodatkom ter dodatnim nizom valovanja. Takšen signal je nato moduliran na nosilno valovanje s pomočjo tako imenovanega binarnega faznega ključa BPSK (angl. Binary Phase Shift Keying) [Roßbach, 2000].

Tako kot GPS tudi sistem GLONASS uporablja C/A kodo in precizno P kodo. Nosilno valovanje L1 je modulirano z obema kodama, nosilno valovanje L2 pa samo s P kodo.

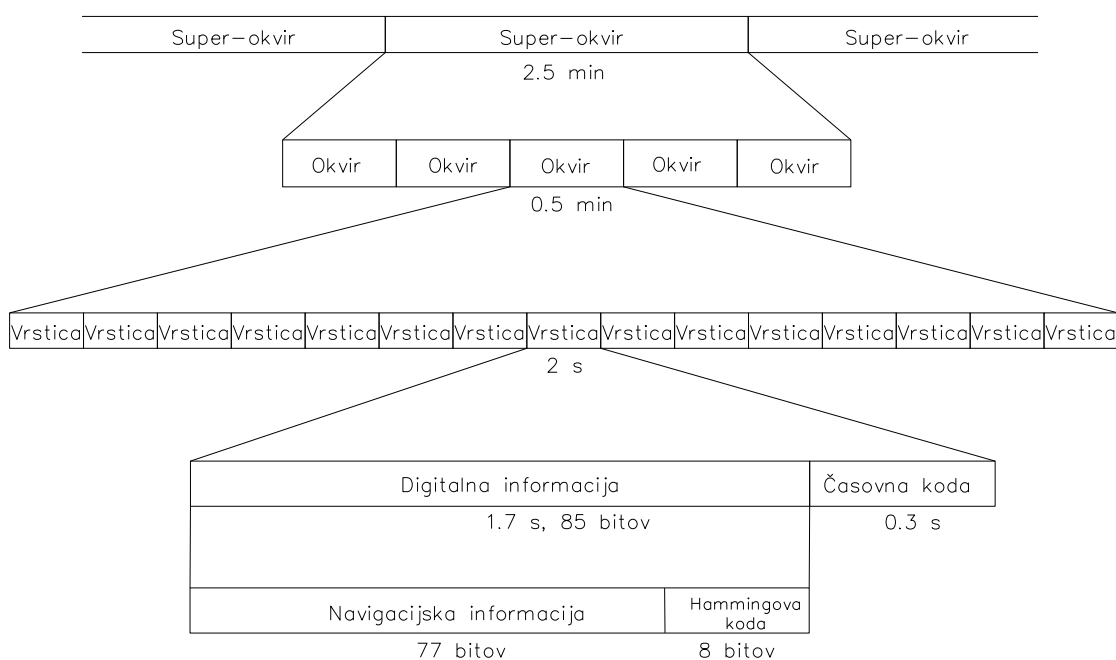
##### 2.4.2.1.1 C/A koda

C/A koda je psevdo-stohastični niz binarnih števil, ki zaseda 7 od 9-tih mest registra. Koda je opisana s polinomom:

$$1 + x^5 + x^9. \quad (2.5)$$

Koda je dolga 511 znakov. Frekvenca je 511 kHz, kar je enako trajanju 1 ms. Začetni položaj kode je definiran kot bit z vrednostjo 1. C/A koda se ponovi vsake 2.5 minute, efemeride in parametri satelitovih ur pa se ponovijo vsakih 30 s.

Podatkovni niz C/A kode sistema GLONASS sestoji iz tako imenovanih super-okvirjev, ki trajajo 2.5 minute. Posamezen super-okvir je razdeljen v 5 okvirjev s trajanjem 0.5 min. Vsak okvir vsebuje 15 vrstic, ki trajajo po 2 s. Vrstico sestavljata niz digitalne informacije, ki traja 1.7 s in 0.3 s dolga časovna koda. Digitalna informacija, v velikosti 85 bitov, je sestavljena iz 77 bitov navigacijske informacije ter 8 bitov Hammingove kode (namen zaznave napak in odstranjevanje le teh), ki sta na nosilno valovanje naneseni s pomočjo Modulo-2 dodatka [Roßbach, 2000].



Slika 2.3: Struktura podatkovnega niza C/A kode sistema GLONASS [Roßbach, 2000, str.15].

#### 2.4.2.1.2 P koda

P koda je skrajšan psevdo-stohastičen niz binarnih števil 25 bitnega registra. Koda je opisana s polinomom:

$$1 + x^3 + x^{25}, \tag{2.6}$$

in je dolga 33554431 znakov. P koda ima frekvenco 5.11 MHz, kar je enako trajanju 6.566 s. Začetni položaj je definiran kot bit, ki vsebuje vrednost 1. Vsako sekundo, ko se register ponastavi na začetno vrednost, odseka del P kode. To pomeni, da P koda dejansko traja le 1s.

Ruske oblasti niso objavile nobenih podatkov o podatkovnem sporočilu P kode sistema GLONASS. Znano je, da se celotno sporočilo ponovi vsakih 12 minut. Efemeride in parametri satelitovih ur pa se ponovijo vsakih 10 s [Roßbach, 2000].

#### 2.4.2.1.3 Časovna koda

Časovna koda se nahaja na koncu vsake vrstice in traja 0.3 s. Sestoji iz 30 bitov, kar je enako razmerju 100 bit/s (enako kot dodatni niz valovanja). Časovna koda je skrajšan psevdostohastični niz, ki se opiše s polinomom:

$$1 + x^3 + x^5, \quad (2.7)$$

oziroma sestoji iz znakov: 111110001101110101000010010110.

Prvi bit digitalne informacije vsake vrstice je vedno 0, z razlogom, da zapolni manjkajoči niz časovne kode prejšnje vrstice.

#### 2.4.2.1.4 Sinhronizacija bitov

Meje vrstic, znakov digitalne informacije, bitov dodatnega niza valovanja, znakov časovne kode in bitov PRN kode se vse ujemajo med seboj. Meje dodatnega niza valovanja in meje znakov digitalne informacije sovpadajo z začetkom prvega bita PRN kode. Konec zadnjega bita časovne kode pa sovpada s trenutkom (satelitova časovna skala), ki se razlikuje od začetka dneva (moskovski čas) za celo vrednost, sodo število sekund.

#### 2.4.2.1.5 Struktura navigacijskih podatkov

Vrstice 1 – 4 posameznega okvirja vsebujejo operativne informacije, ki se nanašajo na oddajajoči satelit (efemeride). Vrstica 5 vsebuje posredne informacije o celotnem sistemu. Te vrstice se ponovijo v vsakem okvirju, vse dokler je vsebina podatkov veljavna. Vrstice 6 – 15

vsebujejo informacije, ki se nanašajo na posamezen satelit (almanah). Almanah posameznega satelita zahteva dve polni vrstici. Torej se lahko almanah petih satelitov prenese v enem okvirju, almanah celotnega sistema (24 satelitov) pa zahteva pet okvirjev oziroma en super-okvir. Celotni almanah sistema GLONASS se lahko pridobi iz enega satelita v 2.5 minutah.

Almanah sistema GLONASS je urejen tako, da prvi štirje okvirji posameznega super-okvirja vsebujejo almanah petih sledečih satelitov (1 – 5, 6 – 10, ...), medtem ko podatki satelitov 21 – 24 zasedejo vrstice 6 – 13 okvirja 5. Vrstici 14 in 15 pa nista uporabljene pri prenosu podatkov.

#### 2.4.2.1.6 Struktura navigacijskega sporočila GLONASS-M satelita

Izboljšave GLONASS-M satelitov vsebujejo prenos razlike med GLONASS in GPS časovno skalo in druge uporabne informacije. Da ne bi posegli v tradicionalno strukturo navigacijskih podatkov sistema GLONASS, so pripisali podatke praznim bitom navigacijskega sporočila. Tako se sedaj tudi vrstici 14 in 15 petega okvirja uporabljata za prenos navigacijskih podatkov. Stari sprejemnik, ki ne razlikuje med GLONASS in GLONASS-M sateliti, bo določil podatkovna polja GLONASS-M satelitov, a manj natančno, novi sprejemnik pa naj bi določil podatkovna polja pravilno, vendar odvisno od prilagodljivosti satelita [Roßbach, 2000].

#### 2.4.3 Osnovna razlika med signali obeh sistemov

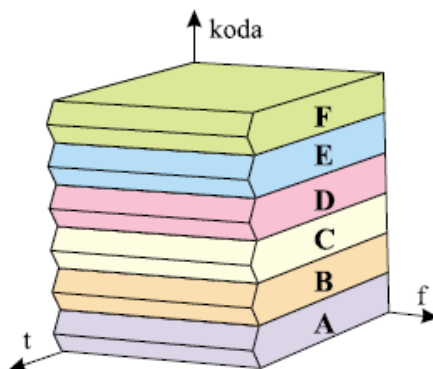
Sistem GPS uporablja kodni dostop CDMA (angl. Code Division Multiple Access). Za razliko od GPS sistema uporablja sistem GLONASS frekvenčni dostop FDMA (angl. Frequency Division Multiple Access) za razlikovanje signalov satelitov na anteni, kar povzroča probleme pri integraciji med sistemoma. Razlika med navedenima dostopoma je naslednja [FDMA/CDMA]:

- v primeru frekvenčnega pristopa so signali ločeni frekvenčno. Vsakemu satelitu je dodeljen določen frekvenčni pas. Signali so frekvenčno neprekrivajoči.



Slika 2.4: Frekvenčni pristop [FDMA/CDMA, 2000, str. 10].

- v primeru kodnega pristopa pa so signali ločeni s kodami. Vsi aktivni sateliti oddajajo signal sočasno v celotnem frekvenčnem pasu. Kode so izbrane tako, da se sateliti med sabo ne motijo.



Slika 2.5: Kodni pristop [FDMA/CDMA, 2000, str. 11].

Frekvenčni pristop pri sistemu GLONASS prinaša kar nekaj težav pri razločevanju signala. Glavne težave so [FDMA/CDMA]:

- celoštevilčna narava neznanega števila celih valov (NŠCV) se po medsebojnem razlikovanju satelitov ne ohrani
- vsak od satelitskih signalov je obremenjen z različno zakasnitvijo signala in te zakasnitve ne morejo biti ocenjene v pogrešku satelitovih ur
- dejstvo, da je vsaka meritev pri dveh sprejemnikih z različnima pogreškoma ur izvedena v drugem trenutku, pomeni, da je zaradi različnih frekvenc prisoten še dodatni pogrešek sprejemnikovih ur
- širša valovna dolžina signala povzroča večji šum, ki ima negativni vpliv na resolucijo NŠCV.



Da se izognemo tem težavam, je potrebno izdelati standardni mehanizem dvojnega razlikovanja satelitskih frekvenc. Navedenih je več rešitev [FDMA/CDMA]:

- prva rešitev predlaga, kako oceniti pogrešek sprejemnikove ure iz psevdo razdalj in ga nadomestiti z enačbami dvojnega razlikovanja nosilca faze. Za doseg tega je potrebno zagotoviti psevdo razdalje visoke natančnosti vsaj štirih vidnih satelitov
- druga rešitev je določitev povprečne frekvence valovanja L1. Na ta način se lahko odstrani pogrešek ure sprejemnika, če so opazovanja nosilca faze nastavljena na povprečno frekvenco. Bistvo te rešitve je, da je NŠCV dobljenih dvojnih faznih razlik celo število – fiksna rešitev. Vendar je ta pristop neprimeren za večino tehnik za določitev NŠCV.
- tretja rešitev pa je, da se celotna frekvenca valovanja L1 določi kot splošna frekvenca. To zagotavlja celoštevilčno naravo NŠCV. Za to je potreben dvo-frekvenčni sprejemnik in natančna določitev psevdo razdalj.

Preglednica 2.2: Osnovna razlika med sistemoma GPS in GLONASS [Börjesson].

	<b>GLONASS</b>	<b>GPS</b>
Število satelitov	24	24
Nosilno plovilo	Proton K/DM-2	Delta 2-7925
Število nosilnih plovil	3 (občasno 2)	1
Vzletišče	Baikonur Cosmodrome, Kazahstan	Cape Canaveral, USA
Število orbitalnih ravnin	3	6
Inklinacija tirnice	64.8°	55°
Višina tirnice	19,130 km	20,180 km
Čas obhoda satelita	1h15m40s	1h58m00s
Efemeride predstavljajo	pozicijo, hitrost in pospešek v ECEF koordinatah	Keplerjevi parametri
Datum	PZ-90	WGS-84
Referenčni čas	UTC (RU)	UTC

**se nadaljuje...**

### ... nadaljevanje

Almanah	Dolžina	152 bit	120 bit	
	Trajanje	12m30s	2m30s	
	Vsebina		dan veljavnosti	teden veljavnosti
			številka kanala	S/C identifikator
			ekscentriciteta	ekscentriciteta
			inklinacija	inklinacija
			ekvatorski čas	čas almanaha
			veljavnost almanaha	zdravje sistema
			ekvatorjalna dolžina	rekstascenzija (RA)
			-	RA faktor spremembe
			perioda revolucije	kvadratni koren male polosi
			argument perigeja	argument perigeja
			-	srednja anomalija
			luno-solarni člen	-
		izravnava časa	izravnava časa	
	-	izravnava frekvence		
Signaliziranje		FDMA	CDMA	
Nosilna frekvenca	L1	1602.0 - 1614.94 MHz	1575.42 MHz	
	L2	7/9 L1	60/77 L1	
Tip PRN kode		ML	GOLD	
Število kodnih elementov	C/A	511	1023	
	P	5110000	$2.35 \cdot 10^{14}$	
Kodno razmerje	C/A	0.511 Mbit/s	1.023 Mbit/s	
	P	5.11 Mbit/s	10.23 Mbit/s	
Interferenca kroskorelacije		-48 dB	-21.6 dB	
Navigacijsko sporočilo	Razmerje	50 bit/s	50 bit/s	
	Modulacija	BPSK Manchester	BPSK NRZ	
	Skupna dolžina	2m30s	12m30s	
	Dolžina podokvirja	30s	6s	

## 2.5 Viri napak – vplivi na opazovanja

Natančnost določitve položaja je odvisna od geometrijske razporeditve opazovanih satelitov in od kvalitete opravljenih opazovanj. Vplive na opazovanja lahko glede na njihov izvor delimo na [Stopar in Pavlovčič, 2001]:

- vplive z izvorom v satelitih

- vplive z izvorom v sprejemniku
- vplive z izvorom v mediju, skozi katerega potuje signal.

## 2.5.1 Viri napak v sistemu GPS

### 2.5.1.1 Omejen dostop do sistema - SA

Najpomembnejši faktor za netočnost GPS sistema SA (angl. Selective Availability) danes ni več problem, saj je bil maja leta 2000 le ta izključen. Omejeni dostop predstavlja namerno spreminjanje časa na L1 valovanju, ki neposredno vpliva na izmerjeno razdaljo med satelitom in sprejemnikom. Poleg tega pa so tudi efemeride posameznih satelitov namerno prenesene z manjšo točnostjo, kar pomeni, da preneseni položaji satelitov ne sovpadajo z dejanskimi položaji. Napačen podatek o urnem stanju satelita ter netočen položaj satelita prizadeneta predvsem določitev absolutnega položaja sprejemnika [GPS].

### 2.5.1.2 Geometrija satelitov

Drugi faktor, ki vpliva na točnost določitve položaja, je geometrija satelitov oziroma njihova medsebojna razporeditev glede na sprejemnik. Če se sateliti nahajajo na isti strani neba, je določitev položaja zelo netočna, v kolikor pa so sateliti enakomerno razporejeni po obzorju, je določitev položaja veliko bolj točna. Napaka v določitvi položaja glede na geometrijo satelitov je odvisna tudi od zemljepisne širine, kjer se nahaja sprejemnik. Geometrija satelitov je tudi pomembna v primerih, ko se sprejemnik uporablja v vozilih ali blizu visokih stavb. Če je signal katerega od satelitov blokiran, preostali sateliti zagotavljajo slabšo natančnost določitve položaja, če je določitev položaja sploh možna.

Večina GPS sprejemnikov prikaže število sprejemajočih satelitov, prikažejo pa tudi položaj, kje se posamezni satelit nahaja. To uporabniku omogoča, da presodi, ali je geometrija satelitov primerna za določitev položaja, ali pa bi bilo bolje, da spremeni položaj sprejemnika oziroma počaka, da se sateliti prerazporedijo.

Za določitev kvalitete geometrije satelitov se uporabljajo DOP (angl. Dilution Of Precision) vrednosti oziroma tako imenovane vrednosti redčenja natančnosti. Glede na to, katere faktorje uporabimo za izračun DOP vrednosti, poznamo [GPS]:

- GDOP (angl. Geometric Dilution Of Precision) – geometrično redčenje natančnosti, celotna točnost; 3D koordinate in čas
- PDOP (angl. Positional Dilution Of Precision) – položajno redčenje natančnosti, položajna točnost; 3D koordinate
- HDOP (angl. Horizontal Dilution Of Precision) – horizontalno redčenje natančnosti, horizontalna točnost; 2D koordinate
- VDOP (angl. Vertical Dilution Of Precision) – višinsko redčenje natančnosti, višinska točnost; višina
- TDOP (angl. Time Dilution Of Precision) – časovno redčenje natančnosti, časovna točnost; čas.

DOP vrednosti pod 4 so dobre, nad 8 pa slabe. HDOP vrednosti se poslabšajo, če se sateliti nahajajo visoko na nebu, medtem ko se VDOP vrednosti poslabšajo, če se sateliti približujejo horizontu. PDOP vrednosti pa so najboljše, če je en satelit visoko na nebu, trije pa se nahajajo v bližini horizonta. Za določitev točnega položaja sprejemnika mora biti vrednost GDOP manjša od 5 [GPS]. PDOP faktor izraža razmerje med napako položaja sprejemnika in napako položajev satelitov. Geometrijsko je to vrednost, ki je obratno sorazmerna volumnu štiristrane piramide, ki jo tvorijo sprejemnik in štirje sateliti, ki so v času meritev nad obzorjem razporejeni najugodnejše [SIGNAL].

#### 2.5.1.3 Tirnice satelitov

Čeprav sateliti krožijo v zelo natančno znanih tirnicah, so zaradi gravitacijskih sil možna rahla odstopanja. Podatki o tirnicah so kontrolirani in se redno popravljajo ter so poslani sprejemniku kot del efemerid [GPS].

#### 2.5.1.4 Efekt večpotja

Efekt večpotja (angl. Multipath effect) povzročajo od raznih objektov odbiti satelitski signali,

kar se pojavlja v območjih z visokimi objekti, signal pa se odbija tudi od tal ter vodnih površin. Vpliv večpotja je odvisen od jakosti signala, višinskega kota, lastnosti in strukture antene ter tudi od samega sprejemnika in od načina obdelave podatkov [Stopar in Pavlovčič, 2001]. Odbiti signal potrebuje več časa (glede na direktni signal), da doseže sprejemnik, zato lahko napaka določitve signala doseže vrednost tudi do več metrov [GPS].

#### 2.5.1.5 Atmosferski vplivi

Naslednji vir netočnosti so vplivi na širjenje valovanja v Zemljini atmosferi. Neodvisno od frekvence valovanja je elektromagnetno valovanje vedno podvrženo vplivom medija, skozi katerega potuje. Hitrost razširjanja valovanja v atmosferi se tako razlikuje od hitrosti širjenja valovanja v vakuumu. V primeru GPS opazovanj se vpliv atmosfere na širjenje valovanja izraža z naslednjimi vplivi [Stopar in Pavlovčič, 2001]:

- valovanje potuje od satelita do sprejemnika po krivulji (ne po premici), kar pomeni, da valovanje opravi daljšo pot kot v vakuumu; vpliv troposfere
- modulirano valovanje se razširja z zmanjšano hitrostjo glede na širjenje valovanja v vakuumu; vpliv ionosfere
- nosilno valovanje je obremenjeno s tako imenovanim prehitevanjem faze valovanja; vpliv ionosfere.

Troposfera je prvi del atmosfere nad zemeljskim površjem, v kateri se nahaja okrog 75% celotne mase atmosfere in skoraj vsa vodna para. V njej se tvori vreme, značilno zanjo pa je tudi hitro nižanje temperature z višino. Vpliv troposfere na širjenje valovanja imenujemo troposferska refrakcija. Razlog za troposfersko refrakcijo so različne vsebnosti vodne pare v troposferi, ki jih povzročajo vremenske razmere. Troposferska refrakcija se aproksimira z različnimi modeli, med katerimi so najbolj znani Hopfieldov, modificirani Hopfieldov, Goad-Goodmanov in Saastamoinenov. Troposfersko refrakcijo razdelimo na suho in mokro komponento, kjer okrog 90% refrakcije izhaja iz suhe, približno 10% pa iz mokre komponente. Troposfersko refrakcijo delimo tudi na zenitno in tako imenovano projekcijsko komponento. Projekcijska komponenta je odvisna od zenitne razdalje in azimuta radij vektorja satelit-sprejemnik. Zenitno troposfersko refrakcijo razstavimo na suho in mokro

komponento. Vrednost suhe komponente znaša okrog 2.2 m – 2.3 m in jo lahko modeliramo do centimetrskosti vrednosti, pri čemer uporabimo na Zemljini površini izmerjene vrednosti zračnega tlaka in temperature. Mokra komponenta je velikosti 10 cm – 30 cm. Zaradi velikega časovnega in prostorskega spreminjanja vodne pare pa je težavna za modeliranje [Stopar in Pavlovčič, 2001]. Popravke opazovanih razdalj med satelitom in sprejemnikom zaradi troposferske refrakcije pridobimo v dolžinskih enotah in jih moramo odšteti od opazovane razdalje.

Ionosfera predstavlja zunanji del atmosfere. V njej zaradi vpliva Sončevega ultravijoličnega sevanja poteka ionizacija. To sevanje zbija elektrone iz atomov in molekul atmosferskih plinov. Vpliv ionosfere na valovanje je odvisen od prisotnosti prostih elektronov. Razširjanje valovanja v ionosferi je odvisno od frekvence valovanja, kar pomeni, da lahko ionosfero prehajajo le valovanja s frekvenco višjo od 30 MHz. Valovanja višjih frekvenc so tudi manj občutljiva na vpliv ionosfere. Vpliv ionosfere je podan z ionosferskim refrakcijskim koeficientom, ki ima na hitrost razširjanja faze in kode nosilnega valovanja različen vpliv. Izraža se s prehitevanjem faze in z zakasnitvijo kode. Vpliv ionosfere je sorazmeren z gostoto prostih elektronov na poti razširjanja valovanja. Število prostih elektronov na površini 1 m<sup>2</sup> je definirano s tako imenovano količino TEC (angl. Total Electron Content) in predstavlja skupno število prostih elektronov vzdolž poti med satelitom in sprejemnikom v valju (prizmi) s površino osnovne ploskve 1 m<sup>2</sup> [Stopar in Pavlovčič, 2001]. Količina TEC je odvisna od Sončeve aktivnosti, letnih in dnevnih sprememb, azimuta in višine satelita ter od položaja opazovališča. Najugodnejši čas za opazovanja, ko je vpliv ionosferske refrakcije najmanjši, je od polnoči do 4<sup>h</sup> zjutraj.

#### 2.5.1.6 Relativistični vplivi

Eno od dejstev relativnostne teorije je, da med premiki z zelo veliko hitrostjo čas teče počasneje. Za gibanje satelitov s hitrostjo 3847 m/s, ure tečejo počasneje, kot če bi jih spremljali z Zemljine površine. Relativistično širjenje časa vodi do netočnosti časa za približno 7.2 μs na dan. Relativnostna teorija pravi tudi, da čas teče počasneje, čimbolj je podvržen gravitacijskemu polju. Za opazovalca na Zemljinem površju ura na krovu satelita teče hitreje (satelit je podvržen manjšemu gravitacijskemu polju Zemlje). Ta efekt je šestkrat

močnejši od relativističnega širjenja časa, ki je opisan zgoraj. Glede na ti dejstvi se zdi, da ure na krovih satelitov tečejo nekoliko hitreje. Razlika časa za opazovalca na Zemljinem površju znaša približno 38 ms dnevno, kar vodi do napake okrog 10 km na dan. V izogib tej napaki so ure satelitov nastavljene na frekvenco 10.229999995453 MHz namesto na frekvenco 10.23 MHz [GPS].

Omeniti je potrebno še drug relativistični efekt, ki pa za določitev položaja opazovalca ni tako pomemben. Povzroča ga premikanje opazovalca (sprejemnika) skupaj z Zemljo (rotacija Zemlje). Vpliv tega efekta je zelo majhen in je težaven za izračun, saj je odvisen od smeri gibanja. Upošteva se ga samo v posebnih primerih.

### 2.5.2 Viri napak v sistemu GLONASS

Tudi sistem GLONASS je odvisen od okolja, v katerem deluje. Pestijo ga podobne težave kot sistem GPS, z nekaj razlikami. Tako kot pri sistemu GPS tudi rusko obrambno ministrstvo ne dopušča uporabnikom prostega dostopa do sistema. Sistem GLONASS je prav tako podvržen lastnostim troposfere in ionosfere, relativističnim vplivom ter geometriji tirnic satelitov. Na določitev položaja sprejemnika prav tako vplivajo šumi sprejemnika in okolice, kjer se le ta nahaja. So pa tu še drugi viri napak, ki izvirajo predvsem iz dejstva, da ima vsak satelit sistema GLONASS svojo frekvenco nosilnega valovanja.

#### 2.5.2.1 Zakasnitve signalov

Glede na različne frekvence nosilnega valovanja posameznega satelita sistema GLONASS, bodo signali različnih satelitov šli skozi radio frekvenčni del sprejemnika po različnih poteh. Različne poti signalov vodijo do različnih zakasnitev, ki jih je potrebno upoštevati pri določitvi položaja sprejemnika. Zakasnitev je odvisna od vsakega posameznega satelita in je označena z  $L_k^p$ . Zakasnitev signala ima dve komponenti. Njena enačba se glasi:

$$L_k^p = L_{k,GLO} + \delta t_k^p . \quad (2.8)$$

Prva komponenta je splošna zakasnitev signala in je odvisna od sistema GLONASS samega, druga pa je odvisna od satelita, ki oddaja signal. Splošna zakasnitev signala prispeva k pogrešku ure sprejemnika.

Proizvajalci sprejemnikov so veliko truda namenili temu, da bi se izognili ali vsaj kalibrirali ta vpliv. Vendar ga še vedno ne morejo v celoti kalibrirati, saj nanj vpliva že temperatura sprejemnika. Pojavlja se tudi v primerih, ko se en satelit spremlja na več kanalih sprejemnika. Ta del vpliva je odstranjen tako, da različni kanali sprejemnika sledijo različnim satelitom.

Vpliv, ki pri kodnih opazovanjih  $\pm 1.25$  m in pri faznih opazovanjih ne preseže vrednosti  $\pm 0.032$  dela valovne dolžine nosilnega valovanja, je manjši od vpliva večpotja in šuma sprejemnika [Roßbach, 2000].

Signali z GPS satelitov tudi zamujajo v radio frekvenčnem delu sprejemnika. Ker so frekvence vseh satelitov enake, so tudi zakasnitve enake za vse satelite in se upoštevajo kot del šuma sprejemnika.

Zakasnitev, ki jo povzroča GPS je drugačna od zakasnitve sistema GLONASS, kar privede do različne realizacije časa posameznega sistema v sprejemniku. Tako imajo nekateri sprejemniki tudi različne ure za sprejemanje satelitskih signalov obeh sistemov. Ti razliki časovnih sistemov je potrebno pri naknadni obdelavi strogo upoštevati.

#### 2.5.2.2 Izguba celoštevilčne narave neznanega števila celih valov (NŠCV)

Različne frekvence nosilnih valovanj posameznih satelitov sistema GLONASS povzročajo pri opazovanjih faze tudi izgubo celoštevilčne narave popravka sprejemnikove ure in je ni možno odstraniti z uporabo dvojnih faznih razlik. Poznanih je več metod za rešitev tega problema, med njimi so tudi [Roßbach, 2000]:

- leteča (angl. float) rešitev NŠCV, kjer v kombiniranih opazovanjih GPS/GLONASS leteče vrednosti NŠCV sistema GLONASS služijo za podporo fiksni rešitvi NŠCV sistema GPS. Pri analizi podatkov je takšna rešitev veliko hitrejša, kot če bi imeli



samo GPS opazovanja. Zanesljivost fiksne rešitve (glede na razmerje kvadratov prve in druge najboljše rešitve) je na ta način izboljšana za faktor 3, če so v določitev položaja vključeni sateliti sistema GLONASS. Kombinacija GLONASS-ovih in GPS satelitov dovoljuje tudi zelo precizne rešitve določitve položaja brez fiksne rešitve NŠCV.

- dosledna kalibracija GLONASS-ovih sprejemnikov z namenom določitve vrednosti zakasnitev signalov. Kalibracijo je potrebno opraviti pri različnih temperaturah sprejemnikov, saj so zakasnitve odvisne tudi od temperature sprejemnika. Pri kombinaciji opazovanj GPS/GLONASS je dobro najprej zagotoviti fiksno rešitev NŠCV samih GPS opazovanj, le to pa potem uporabiti za kalibracijo zakasnitev signalov sistema GLONASS. Dokler se opazuje vsaj štiri GPS satelite, se lahko spremljajo kalibracijski parametri GLONASS-ovih sprejemnikov. Če pa se opazuje manj kot štiri GPS satelite, se upoštevajo najbolj pogosto pojavljajoči se kalibracijski parametri (po možnosti tudi model njihovega obnašanja v času). Na ta način so mogoča tudi kombinirana opazovanja GPS/GLONASS. Ta tehnika je uporabna na območjih z veliko ovirami.
- določitev splošne frekvence, kjer gre za preračun opazovanj sistema GLONASS na splošno frekvenco. Splošna frekvenca je izbrana kot povprečna vrednost frekvenc, ki jih oddajajo sateliti za valovanje L1 in L2. Razmerje splošne frekvence in frekvence posameznega satelita pade v območje:

$$0.9959 < \bar{f}_i / f^k < 1.0041. \quad (2.9)$$

Na ta način se z enojnimi faznimi razlikami odstranijo zakasnitve signalov in pogrešek sprejemnikove ure. Določitev NŠCV iz dvojnih faznih razlik pa ni mogoča brez izgube celoštevilčnosti.

- iterativna rešitev NŠCV na osnovi enojnih faznih razlik, ki temelji na naslednjem postopku:
  - i. Sestavi se normalni sistem enačb enojnih faznih razlik. Za  $n$  satelitov se sestavi  $n$  enačb enojnih faznih razlik – predpostavijo se opazovanja ene frekvence.
  - ii. Te enačbe so pomnožene z a-priori vrednostjo variance  $\hat{\sigma}_0^2$ , da se izognemo singularnosti sistema.

- iii. Reši se sistem enačb enojnih faznih razlik. Na ta način pridobimo realne vrednosti NŠCV.
- iv. Izračunajo se vse možne kombinacije dvojnih faznih razlik. Vrednosti pogreškov NŠCV dvojnih faznih razlik so privzete iz kovariančne matrike enojnih faznih razlik. Ti pogreški se pomnožijo z a-posteriori variančnim faktorjem  $\sigma_0^2$ . Pogreški so močno korelirani z razlikami valovnih dolžin satelitov, ki nastopajo pri izračunu dvojnih faznih razlik, manjša kot je razlika valovnih dolžin dveh satelitov, manjši je pogrešek.
- v. Dvojne fazne razlike v kombinaciji z najmanjšimi pogreški se določijo kot fiksne cele vrednosti.
- vi. S fiksno rešitvijo dvojne fazne razlike je možno iz sistema normalnih enačb odstraniti eno od enojnih faznih razlik (ki tvorita to dvojno fazno razliko). Sistem enačb enojnih faznih razlik je sedaj regularen. Iterativni postopek pridobitve NŠCV se nato ponavlja v tretjem koraku. Na ta način se iz enačb opazovanj odstrani n-1 vrednosti NŠCV iz enojnih faznih razlik.
- vii. Ostane le še ena NŠCV na osnovi enojnih faznih razlik, ki se ji lahko pripiše fiksno celo vrednost na nivoju enojnih faznih razlik.

Ta metoda je uporabna za kratke in dolge vektorje. Uporablja se lahko samo pri naknadni obdelavi podatkov opazovanj. Ni pa primerna za aplikacije, ki zahtevajo določitev vrednosti NŠCV v času izvajanja meritev in tudi ne za potrebe navigacije.

Problem izgube celoštevilčnosti NŠCV pa se ne pojavlja samo pri sistemu GLONASS, ampak tudi pri sistemu GPS. Poleg zgoraj naštetih metod za določitev NŠCV so znane še nekatere druge metode, ki temeljijo na osnovi dvojnih faznih razlik. Na tak način se pridobi leteče vrednosti rešitve (angl. float) NŠCV, ki so v primeru kratkih vektorjev in dolgotrajnih opazovanj dokaj blizu naravnim vrednostim (angl. fix). Če se čas trajanja opazovanj skrajšuje, s tem slabi tudi realna rešitev NŠCV in postane celoštevilčna vrednost rešitve vse pomembnejša, pri kratkih opazovanjih pa celo nujna.

V primeru premikajočega se sprejemnika je najbolj znana metoda za določitev NŠCV tako imenovana »On – The - Fly« oziroma OTF. V tem primeru se relativni položaj dveh

sprejemnikov določi na osnovi kodnih razdalj in pridobljene standardne deviacije položajev, ki jih uporabimo za določitev velikosti prostora iskanja celoštevilčne vrednosti NŠCV. Seveda se ob kvalitetnejšem sprejemniku ta prostor iskanja manjša. Tehnik OTF je več in se razlikujejo v postopkih izbire optimalnih kandidatov za NŠCV. Najbolj znane so [Stopar, 2004]:

- funkcija NŠCV, ki izhaja iz enojnih faznih razlik. Je neobčutljiva za tako imenovane »cycle slip-e«. Njena slabost je, da pri iskanju optimalnih rešitev za NŠCV obstaja veliko lokalnih ekstremov, ki predstavljajo možne kandidate za rešitev in jih je vse potrebno preveriti.
- tehnika iskanja NŠCV po metodi najmanjših kvadratov (MNK), ki zahteva določitev približnega položaja na osnovi kodnih opazovanj. Za to tehniko je značilna delitev satelitov na primarne (4 sateliti z najugodnejšim PDOP faktorjem) in sekundarne. Tako je za primarne satelite določena množica rešitev za NŠCV, sekundarni sateliti pa se uporabijo za odstranitev neustreznih rešitev.
- tehnika FARA (angl. Fast Ambiguity Resolution Approach), ki temelji na statističnih informacijah in testih ter vključuje samo opazovane faze opazovanj. Razdelimo jo na štiri korake:
  - i. Izračun leteče rešitve.
  - ii. Izbira množic NŠCV za statistično testiranje, kjer kakovost realne rešitve na začetku vpliva na območja iskanja vrednosti NŠCV kot naravnih števil.
  - iii. Izračun fiksne rešitve za vsako množico NŠCV. Izvede se izravnava opazovanj z naravnimi števili za NŠCV.
  - iv. Statistično testiranje referenčnih varianc fiksne rešitve z najmanjšo vrednostjo leteče rešitve. Če je njuno razmerje manjše od mejne vrednosti, se sprejme fiksna rešitev.
- tehnika LAMBDA (angl. Least Squares Ambiguity Decorelation Adjustment Method), ki je trenutno najboljša metoda določitve NŠCV in je vključena v večino programske opreme za nadzor omrežij permanentnih GPS postaj. Postopek pridobitve rešitve je podoben izravnavi po MNK, vendar v tem primeru s transformacijo dekoreliramo NŠCV (skušamo pridobiti matriko kofaktorjev naravnih števil za NŠCV, ki bo diagonalna matrika). Postopek je razdeljen na naslednje korake:

- i. Uporaba izravnave po MNK, s katero pridobimo vrednosti koordinatnih neznank in NŠCV kot realna števila.
- ii. Uporaba transformacije, s katero prostor iskanja NŠCV dekoreliramo v območju realnih vrednosti NŠCV.
- iii. Uporaba zaporedne izravnave funkcijsko odvisnih neznank po MNK v kombinaciji s postopki iskanja optimalnih kandidatov za NŠCV kot naravnih števil. Z inverzno transformacijo ponovno transformiramo NŠCV v realni prostor z NŠCV kot naravnimi vrednostmi. Pri ponovni transformaciji se ohrani celoštevilčnost NŠCV.
- iv. Celoštevilske vrednosti NŠCV se privzamejo kot dane količine, s katerimi se izvede končna izravnava opazovanj.

## 2.6 Tipi opazovanj in določitev položaja

V obeh sistemih je osnova za določitev položaja sprejemnika razdalja med oddajnikom satelita in anteno sprejemnika. Določitev razdalje temelji na določitvi časovnega zamika med trenutkom oddaje in trenutkom sprejema signala. Časovni zamik oziroma interval se lahko določi na osnovi modulirane kode na nosilnem valovanju ali pa s pomočjo samih nosilnih valovanj. V primeru, ko določamo časovni zamik na podlagi kode, imenujemo opazovanja kodna opazovanja, ko pa opazujemo nosilno valovanje samo, jih imenujemo fazna opazovanja [Stopar in Pavlovčič, 2001].

### 2.6.1 Kodna opazovanja

Čas potovanja signala se določi na podlagi avtokorelacije dveh kod, ki sta nanešeni na dve valovanji. Prvo valovanje je valovanje, ki ga oddaja satelit, drugo valovanje pa generira sprejemnik. Valovanji sta identični in sta v idealnem primeru zamaknjeni le za čas potovanja signala. Tako določen časovni zamik pomnožen s svetlobno hitrostjo predstavlja geometrijsko razdaljo med satelitom in sprejemnikom.

Za takšno določitev razdalje bi morali biti uri satelita in sprejemnika popolnoma usklajeni, kar je fizično nemogoče. Izmerjeni časovni zamik torej vključuje napake satelitove in sprejemnikove ure, kar se neposredno izraža v geometrijski razdalji. Zato se na ta način pridobljena razdalja imenuje psevdo razdalja. Medij in druge fizikalne omejitve tudi vplivajo na pot signala. Tako je splošni izraz za opazovano psevdo razdaljo med satelitom  $p$  in sprejemnikom  $k$  na valovanju  $i$  enak:

$$P_{k,i}^p \approx \rho_k^p + (t^p - dt_k) \cdot c + I_k^p + T_k^p + \varepsilon_k, \quad (2.10)$$

kjer so:

$\rho_k^p$  ... geometrijska razdalja med satelitom in sprejemnikom v trenutku  $t$

$dt^p, dt_k$  ... pogreška satelitove in sprejemnikove ure v trenutku  $t$

$c$  ... hitrost svetlobe v vakuumu ( $c = 299792458$  m/s)

$I_k^p, T_k^p$  ... vpliv ionosfere in troposfere

$\varepsilon_k$  ... vpliv večpotja in šum sprejemnika

Sprejemnik lahko določi časovni zamik kode z resolucijo do 1% intervala kode. Za interval C/A kode, ki je 293 m, znaša časovni zamik kode približno 3 m v dolžinskem smislu. Podobno za interval P kode, ki znaša 29.3 m, predstavlja izmera časovnega zamika resolucijo približno 30 cm v dolžinskem smislu. Takšna resolucija vodi do različnih natančnosti določitve absolutnega položaja na osnovi C/A in P kode. Za določitev relativnega položaja dveh sprejemnikov lahko dobimo natančnost merjenega vektorja med 2 m in 3 m, kar pa je za potrebe geodezije premalo. Ta način se lahko uporablja v navigaciji, za potrebe različnih GIS-ov, v kartografiji malih meril, ... [Stopar in Pavlovčič, 2001].

Glede na to, da ima vsak satelit sistema GLONASS svojo frekvenco nosilnega valovanja, gredo signali različnih satelitov skozi radio frekvenčni del sprejemnika po različnih poteh. Različne poti signalov vodijo do različnih zakasnitev signalov, zato vsebuje izraz za psevdo razdaljo dodatno neznanko, ki modelira te različne zakasnitve in je označena z  $L_k^p$ :

$$P_{k,i}^p \approx \rho_k^p + (t^p - dt_k) \cdot c + I_k^p + T_k^p + c \cdot L_k^p + \varepsilon_k. \quad (2.11)$$

Geometrijska razdalja med satelitom in sprejemnikom v trenutku  $t$  se glasi:

$$\rho_k^p = \sqrt{(x_k - x^p)^2 + (y_k - y^p)^2 + (z_k - z^p)^2}, \quad (2.12)$$

kjer so:

$(x_k, y_k, z_k)$  ... koordinate sprejemnika v trenutku  $t$

$(x^p, y^p, z^p)$  ... koordinate satelita v trenutku  $t$ .

V primeru gornjih dveh enačb so neznanke koordinate sprejemnika. Koordinate satelita v trenutku  $t$  ter pogrešek satelitove ure pridobimo iz podatkov efemerid. Vpliv troposfere se modulira z različnimi modeli (klasični Hopfield-ov, Goad in Goodman-ov, Davis-ov, ...) ob opravljenih meritvah temperature, tlaka ter relativne vlažnosti v bližini sprejemnika. Prav tako se z različnimi modeli modulira vpliv ionosfere. Najpogosteje se uporablja Klobučarjev model, ki je prirejen za nosilni frekvenci sistema GLONASS. V primeru meritev v dejanskem času je edini način za izvedbo integrirane meritve obeh sistemov, kjer so parametri Klobučarjevega modela določeni iz podatkov almanaha sistema GPS [Roßbach, 2000].

### 2.6.2 Fazna opazovanja

Z vidika natančnosti so fazna opazovanja tista, ki so primerna za potrebe geodezije. Temeljijo na naslednjih dejstvih:

- valovanje je bilo oddano nekaj trenutkov pred sprejemom signala
- razdalja med satelitom in sprejemnikom se spreminja.

Opazovanja se izvajajo na nosilnih valovanjih obeh frekvenc, kjer je merjena sprememba razlike faz dveh valovanj. Prvo valovanje je valovanje, ki ga oddaja satelit, drugo pa generira sprejemnik sam (oscilator). Ker sta valovanja v osnovi identični, lahko spremembo faze zaznamo in izmerimo zaradi spremembe razdalje med satelitom in sprejemnikom. Vrednosti števila celih valov med satelitom in sprejemnikom v začetnem trenutku opazovanj sprejemnik ne more zaznati. Ob predpostavki, da med izvajanjem meritev ni prišlo do prekinitve, je vrednost števila celih valov nespremenjena in se jo lahko določi naknadno pri obdelavi podatkov opazovanj.

Razdalja med satelitom in sprejemnikom se lahko izračuna, če je v danem trenutku poznana valovna dolžina valovanja  $\lambda$ , število celih valov v začetnem trenutku opazovanj  $N$ , faza

sprejetega valovanja  $\varphi^p$  in faza valovanja generiranega v sprejemniku  $\varphi_k$ . Enačba razdalje med satelitom p in sprejemnikom k se glasi:

$$\Phi_k^p = \varphi_k - \varphi^p + N_k^p. \quad (2.13)$$

Seveda so tudi fazna opazovanja obremenjena s pogreški satelitove  $dt^p$  in sprejemnikove  $dt_k$  ure ter z vplivi ionosfere  $I_k^p$ , troposfere  $T_k^p$  in okolice sprejemnika  $\varepsilon_k$ . Končna oblika enačbe faznih opazovanj je:

$$\Phi_{k,i}^p = \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_k^p + f \cdot (t^p - dt_k) + N_k^p + I_k^p + \frac{1}{\lambda} \cdot T_k^p + \varepsilon_k. \quad (2.14)$$

Sprejemnik lahko izmeri fazo z resolucijo do 1% valovne dolžine, kar je v dolžinskem smislu približno 2 mm. Opazovanje faze je torej kar za faktor 1000 natančnejše kot opazovanje C/A kode, oziroma 100-krat natančnejše od opazovanj P kode [Stopar in Pavlovčič, 2001].

Za določitev razdalje med satelitom in sprejemnikom z natančnostjo do 3 mm je potrebno izmeriti čas potovanja signala z natančnostjo 0.01 ns. Uri satelita in sprejemnika se na osnovi psevdo razdalj uskladita do 0.1  $\mu$ s, preostalo neskladje pa se eliminira s pomočjo faznih razlik.

V primeru sistema GLONASS je enačba faznih opazovanj podobna le, da je:

- za vsak satelit podana svoja valovna dolžina oziroma frekvenca nosilnega valovanja
- za vsak satelit je potrebno upoštevati različno zakasnitev signala  $L_k^p$

$$\Phi_{k,i}^p = \frac{1}{\lambda^p} \cdot \rho_k^p + f^p \cdot (t^p - dt_k) + N_k^p + I_k^p + \frac{1}{\lambda^p} \cdot T_k^p + f^p \cdot L_k^p + \varepsilon_k^p. \quad (2.15)$$

### 2.6.2.1 Fazne razlike

Fazne razlike so osnova pri določitvi koordinat točk z geodetsko natančnostjo. Temeljijo na opazovanjih z dvema ali več sprejemniki, ki istočasno sprejemajo signal s štirih ali več satelitov.

Osnovna enačba opazovane faze (brez vplivov ionosfere, troposfere in okolice sprejemnika) se glasi:

$$\Phi_{k,i}^p \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_k^p \stackrel{\sim}{=} f \cdot (t^p - dt_k) \stackrel{\sim}{=} N_k^p \stackrel{\sim}{=} \quad (2.16)$$

Imamo dve stojišči,  $A$  in  $B$ , na katerih izvajamo v trenutku  $t$  opazovanja signala, oddanega s satelita  $j$ . Na ta način pridobimo enojno fazno razliko kot razliko merjenih faz na obeh sprejemnikih. Za sprejemnika  $A$  in  $B$  velja:

$$\Phi_A^j \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_A^j \stackrel{\sim}{=} f \cdot (t^j - dt_A) \stackrel{\sim}{=} N_A^j \stackrel{\sim}{=} \quad (2.17)$$

$$\Phi_B^j \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_B^j \stackrel{\sim}{=} f \cdot (t^j - dt_B) \stackrel{\sim}{=} N_B^j \stackrel{\sim}{=} \quad (2.18)$$

Enojna fazna razlika:

$$\Phi_B^j \stackrel{\sim}{=} \Phi_A^j \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot (\rho_B^j \stackrel{\sim}{=} \rho_A^j \stackrel{\sim}{=} f \cdot (t_B - dt_A) \stackrel{\sim}{=} N_B^j \stackrel{\sim}{=} N_A^j \stackrel{\sim}{=} \quad (2.19)$$

oziroma:

$$\Phi_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} f \cdot dt_{AB} + N_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} \quad (2.20)$$

Iz enačbe (2.19) je razvidno, da iz enačbe enojnih faznih razlik odpade pogrešek satelitovih ur.

Dvojna fazna razlika je razlika dveh enojnih faznih razlik valovanj oddanih z dveh satelitov  $j$  in  $k$ :

$$\Phi_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} f \cdot dt_{AB} + N_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} \quad (2.21)$$

$$\Phi_{AB}^k \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_{AB}^k \stackrel{\sim}{=} f \cdot dt_{AB} + N_{AB}^k \stackrel{\sim}{=} \quad (2.22)$$

Dvojna fazna razlika:

$$\Phi_{AB}^k \stackrel{\sim}{=} \Phi_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot (\rho_{AB}^k \stackrel{\sim}{=} \rho_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} N_{AB}^k \stackrel{\sim}{=} N_{AB}^j \stackrel{\sim}{=} \quad (2.23)$$

oziroma krajše:

$$\Phi_{AB}^{jk} \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_{AB}^{jk} \stackrel{\sim}{=} N_{AB}^{jk} \stackrel{\sim}{=} \quad (2.24)$$

Iz enačbe dvojne fazne razlike (2.23) odpade pogrešek sprejemnikove ure. Dvojne fazne razlike so osnova za določevanje relativnega položaja z visoko natančnostjo.



Trojna fazna razlika je razlika dveh dvojnih faznih razlik za trenutka  $t_1$  in  $t_2$ . Zapiše se kot:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_2) - \Phi_{AB}^{jk}(t_1) = \frac{1}{\lambda} \cdot \left[ \rho_{AB}^{jk}(t_2) - \rho_{AB}^{jk}(t_1) \right], \quad (2.25)$$

kar je enako:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_2) = \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_{AB}^{jk}(t_2). \quad (2.26)$$

Iz izraza (2.25) odpade člen za neznano število celih valov, seveda pa morajo biti opazovanja neprekinjena. Trojne fazne razlike se poleg tega, da odstranijo neznano število celih valov, uporabljajo za pridobitev prvega približka komponent baznega vektorja med točkama  $A$  in  $B$ , če je položaj ene od teh dveh točk znan.

#### 2.6.2.2 Linearne kombinacije faznih opazovanj

Nekatere vplive na opazovanja lahko zmanjšamo ali celo odstranimo s kombinacijami istega tipa opazovanj. Enega večjih vplivov na opazovanja predstavlja vpliv ionosfere, ki pa se ga na ta način ne da odstraniti. Ta vpliv se lahko odstrani le z linearno kombinacijo faznih opazovanj.

Linearna kombinacija dveh faznih opazovanj se zapiše kot:

$$\varphi = n_1 \cdot \varphi_1 + n_2 \cdot \varphi_2. \quad (2.27)$$

V primeru, ko sta  $n_1 = n_2 = 1$ , dobimo tako imenovani ozki pas (angl. narrow lane), ki se označi z  $L4$  in ima obliko:

$$\varphi_{L4} = \varphi_{L1} + \varphi_{L2}. \quad (2.28)$$

Če pa imamo  $n_1 = 1$  in  $n_2 = -1$ , dobimo tako imenovani široki pas (angl. wide lane), ki se označi z  $L5$  in ima obliko:

$$\varphi_{L5} = \varphi_{L1} - \varphi_{L2}. \quad (2.29)$$

Široki pas se uporablja za določitev neznanega števila celih valov za srednje dolge vektorje. To valovanje je neodvisno od natančnosti absolutnih koordinat točk in od kvalitete tirnic satelitov, zato se uporablja tudi za ocenjevanje stanja atmosfere (angl. geometry free).

Ko pa sta  $n_1 = 1$  in  $n_2 = -\frac{f_1}{f_2}$ , imamo linearno kombinacijo L3. Le ta ima obliko:

$$\varphi_{L3} = \varphi_{L1} - \frac{f_1}{f_2} \cdot \varphi_{L2}. \quad (2.30)$$

Na ta način dobimo valovanje, ki je praktično neobčutljivo na vpliv ionosfere in se uporablja za določitev vektorjev krajših dolžin (do 50 km).

Zelo uporabna je kombinacija faznih in kodnih opazovanj. Njen namen je izboljšati natančnost psevdo razdalj v kombinaciji z opazovanji faze. Ta kombinacija opazovanj je uporabna pri metodi RTK (angl. Real Time Kinematic) izmere, kjer se opazovanja opravljajo v realnem času.

### 2.6.3 Kombinirana opazovanja GPS/GLONASS

Pri kombinaciji opazovanj GPS/GLONASS (znana točka, nova točka, satelit sistema GPS in satelit sistema GLONASS) lahko analogno tvorimo fazne razlike, glede na gornji opis. Poleg pogreška satelitovih ur in ionosferske refrakcije se iz vektorja neznanek odstrani tudi pogrešek časovne razlike med GPS in GLONASS časom, še vedno pa kot peta neznanica ostane notranji pogrešek sprejemnika.

Potrebno je ločiti med dvema scenarijema, odvisno kateri od sistemov, GPS ali GLONASS, se privzame kot referenčni. Če tvorimo npr. GLONASS/GLONASS dvojne fazne razlike, se iz opazovanj odstrani notranji pogrešek sprejemnika. Pogrešek pa se prikaže pri tvorjenju dvojnih faznih razlik pri kombinaciji opazovanj GPS/GLONASS, vendar z nasprotnim predznakom, odvisno od tega, kateri je referenčni sistem. Za določitev tega pogreška je dovolj že, če opazujemo en satelit drugega sistema (nereferenčnega).

Kombinirani GPS/GLONASS sprejemniki uporabljajo različne metode procesiranja signalov GPS in GLONASS satelitov in tudi med GLONASS-ovimi sateliti samimi (glede na različne frekvence oddanega valovanja). V nekaterih primerih so uporabljene tudi različne ure za posamezen sistem. To posledično vodi do različnih zakasnitev signalov [Roßbach, 2000].

## 2.6.4 Določitev položaja

Položaj sprejemnika se lahko določi na osnovi kodnih ali na osnovi faznih opazovanj. Določitev položaja sprejemnika je lahko absolutna ali relativna, v obeh primerih pa je osnova geometrijska razdalja satelit – sprejemnik. Absolutni položaj je določen na osnovi danih položajev satelitov in opazovanih razdalj med satelitom in sprejemnikom. Relativni položaj pa je določen glede na znani položaj ene ali več točk ob danih položajih satelitov in opazovanih razdaljah med satelitom in sprejemnikom.

Kot že rečeno, je osnova za določitev položaja sprejemnika merjena geometrijska razdalja satelit – sprejemnik. V linearizirani obliki jo zapišemo:

$$\rho_k^p \approx \rho_{k0}^p - \frac{X^p \cdot x_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta x_k - \frac{Y^p \cdot y_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta y_k - \frac{Z^p \cdot z_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta z_k, \quad (2.31)$$

kjer so:

- $\rho_{k0}^p$  ... približna vrednost geometrijske razdalje satelit – sprejemnik
- $X^p, Y^p, Z^p$  ... položaj satelita v izbranem koordinatnem sistemu
- $x_{k0}, y_{k0}, z_{k0}$  ... položaj sprejemnika
- $\delta x_k, \delta y_k, \delta z_k$  ... popravek približnega položaja sprejemnika.

### 2.6.4.1 Določitev absolutnega položaja na podlagi kodnih opazovanj

Osnova kodnim opazovanjem so merjene psevdo razdalje:

$$P_{k,i}^p \approx \rho_k^p + dt_k \cdot c + I_k^p + T_k^p + \varepsilon_k. \quad (2.32)$$

Zaradi poenostavitve se lahko predvideva, da je vpliv urinega stanja satelita znan za vsak trenutek, atmosferski vpliv lahko modeliramo oziroma odstranimo z metodo meritev, vpliv sprejemnika in odboja signala iz okolice pa zanemarimo. Na ta način se gornja enačba reducira na:

$$P_{k,i}^p \approx \rho_k^p + dt_k \cdot c. \quad (2.33)$$

Če enačbo (2.33) lineariziramo, dobimo:

$$P_k^p \hat{=} \rho_{k0}^p \hat{=} \frac{X^p \hat{=} x_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta x_k - \frac{Y^p \hat{=} y_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta y_k - \frac{Z^p \hat{=} z_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta z_k - dt_k \cdot c. \quad (2.34)$$

Iz enačbe (2.34) je razvidno, da vsebuje štiri neznanke. To sta popravek približnega položaja sprejemnika  $\delta x_k, \delta y_k, \delta z_k$  in popravek sprejemnikove ure  $dt_k$ . Za določitev teh popravkov potrebujemo opazovane psevdo razdalje vsaj štirih satelitov, poznati pa je potrebno tudi približni položaj sprejemnika. Če so opazovane točno štiri psevdo razdalje, imamo tako imenovani določen sistem z eno samo rešitvijo, v primerih, ko so opazovane več kot štiri psevdo razdalje, pa pridobimo rešitev z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Zaradi linearizacije gornje enačbe (psevdo razdalje) je potrebno za pridobitev enolične rešitve uporabiti iterativni postopek reševanja. Postopek se ponavlja tako dolgo, da so izpolnjeni kriteriji za zaustavitev iteracijskega postopka.

#### 2.6.4.2 Določitev absolutnega položaja na podlagi faznih opazovanj

V tem primeru predstavlja izhodišče za določitev absolutnega položaja merjena faza v sprejemniku. Osnovna enačba faznih opazovanj je dana z:

$$\Phi_{k,i}^p \hat{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_k^p \hat{=} f \cdot (dt^p - dt_k) \hat{=} N_k^p \hat{=} I_k^p + \frac{1}{\lambda} \cdot T_k^p + \varepsilon_k. \quad (2.35)$$

Tudi v tem primeru se lahko predpostavi, da je za vsak trenutek znan vpliv urinega stanja satelita ter zanemari atmosferski vpliv, vpliv sprejemnika in vpliv odboja signala iz okolice. Tako ostanejo le še členi:

$$\Phi_{k,i}^p \hat{=} \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_k^p \hat{=} f \cdot dt_k \hat{=} N_k^p. \quad (2.36)$$

Če enačbo (2.36) pomnožimo z  $\lambda$  in upoštevamo enakost  $c = \lambda \cdot f$ , jo lahko zapišemo:

$$\lambda \cdot \Phi_{k,i}^p \hat{=} \rho_k^p \hat{=} \lambda \cdot N_k^p \hat{=} c \cdot dt_k, \quad (2.37)$$

oziroma:

$$\lambda \cdot \Phi_k^p \hat{=} \rho_{k0}^p \hat{=} - \frac{X^p \hat{=} x_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta x_k - \frac{Y^p \hat{=} y_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta y_k - \frac{Z^p \hat{=} z_{k0}}{\rho_{k0}^p} \cdot \delta z_k + \lambda \cdot N_k^p \hat{=} c \cdot dt_k. \quad (2.38)$$

Enačba (2.38) vsebuje, poleg popravka približnega položaja sprejemnika in popravka sprejemnikove ure, za vsak opazovan satelit še dodatno neznanke, to je neznan vrednost NŠCV. Za fazna opazovanja štirih satelitov, ki so opravljena v istem trenutku, je sistem

poddoločen, kar pomeni, da problem ni rešljiv (4 enačbe popravkov, 8 neznank). Prav tako problem ni rešljiv, če imamo opazovane štiri faze v dveh trenutkih (8 enačb popravkov, 9 neznank). Za primer treh trenutkov opazovanj (12 enačb popravkov, 10 neznank) pa je sistem predoločen in ga lahko rešimo z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Če so signali s satelitov neprekinjeni, je NŠCV konstantno skozi ves čas meritev in ga po izvedeni inicializaciji lahko obravnavamo kot konstanto v enačbah popravkov.

#### 2.6.4.3 Določitev relativnega položaja na podlagi faznih opazovanj

Relativni položaj se v geodeziji določa s pomočjo položaja vsaj ene znane točke in opazovanj dvojnih faznih razlik. Kot rezultat izravnave pridobimo vrednosti baznih vektorjev med danimi in novimi točkami. Določitev relativnega položaja je mogoča tako na osnovi kodnih kot faznih opazovanj. Na ta način se položaj določa s tako imenovanimi nediferenciranimi opazovanji, ki z vidika natančnosti niso primerne za potrebe geodezije. Za visoko natančnost opazovanj je treba istočasno opazovati fazo nosilnega valovanja na dani in na novi točki. Na osnovi takšnih opazovanj se potem tvorijo dvojne fazne razlike, ki so izhodišče za določitev relativnega položaja:

$$\Phi_{AB}^{jk} \approx \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_{AB}^{jk} + N_{AB}^{jk}. \quad (2.39)$$

Ker je izraz za geometrijsko razdaljo nelinearen, ga je potrebno linearizirati. Za pridobitev relativnega položaja moramo opazovati faze vsaj do štirih satelitov v dveh trenutkih opazovanj, saj samo na ta način lahko zagotovimo rešljivost sistema. Sistem se nadalje reši z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Pri določanju relativnega položaja imamo vedno eno točko z znanimi koordinatami, s čimer se zmanjša število neznank v sistemu. Ostanjejo le še popravek približnega položaja sprejemnika in vrednost NŠCV. Tudi v tem primeru, če je sprejemanje signala neprekinjeno, izvedena inicializacija zagotavlja NŠCV kot konstanto v času meritev.

## 2.7 Transformacija med sistemoma WGS-84 in P-Z 90

V kartezijskem koordinatnem sistemu  $(u,v,w)$  imamo podane koordinate neke točke. Koordinate te točke v drugačnem koordinatnem sistemu  $(x,y,z)$  se izračunajo s pomočjo izraza:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_P = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} + \left( \begin{matrix} \delta s \\ \delta \omega \\ \delta \psi \\ \delta \varepsilon \end{matrix} \right) \begin{pmatrix} 1 & \delta \omega & -\delta \psi \\ -\delta \omega & 1 & \delta \varepsilon \\ \delta \psi & -\delta \varepsilon & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}_P, \quad (2.40)$$

kjer so:

$\Delta x, \Delta y, \Delta z \dots$  koordinate izhodišča sistema  $(u,v,w)$  v sistemu  $(x,y,z)$

$\delta \varepsilon, \delta \psi, \delta \omega \dots$  rotacijski koeficienti okrog osi sistema  $(u,v,w)$ , da se zagotovi vzporednost s sistemom  $(x,y,z)$

$\delta s \dots$  sprememba merila med sistemoma.

Ta transformacija je znana kot Helmertova 7 parametrična transformacija. Če velja, da je koordinatni sistem PZ-90 enak sistemu  $(u,v,w)$  in koordinatni sistem WGS-84 enak sistemu  $(x,y,z)$ , lahko koordinate satelita sistema GLONASS transformiramo v WGS-84 koordinate, če so seveda znani parametri transformacije.

### 2.7.1 Transformacijski parametri

Koordinatni sistem PZ-90 in njegovi transformacijski parametri v koordinatni sistem WGS-84 so dolgo časa uporabnikom sistema GLONASS veljali za neznanko, saj rusko obrambno ministrstvo ni izdajalo nikakršnih publikacij o koordinatnem sistemu. Kljub temu so zainteresirane neodvisne skupine znanstvenikov dognale vrednosti transformacijskih parametrov, ki pa se med sabo razlikujejo, odvisno od uporabljene metode za pridobitev teh parametrov.

Možnih je več različnih metod za določitev transformacijskih parametrov iz sistema PZ-90 v sistem WGS-84. Skupno vsem tem metodam je, da so potrebne meritve istih točk v obeh koordinatnih sistemih.

Za določitev transformacijskih parametrov je potrebno poznati koordinate vsaj treh točk v obeh koordinatnih sestavih, da se lahko zagotovi sedem enačb za rešitev sedmih neznank. Boljše rezultate pa seveda pridobimo z opazovanji na čim več točkah, ki naj bi bile enakomerno porazdeljene po območju, za katerega bomo računali transformacijske parametre. Dobljeni parametri so uporabni le znotraj območja, kjer so bile določene znane točke.

Metode za določitev transformacijskih parametrov delimo glede na lokacijo točk, ki smo jih opazovali v obeh koordinatnih sistemih na [Roßbach, 2000]:

- tehnike, ki temeljijo na točkah, ki se nahajajo na površju Zemlje: identične točke so znane v obeh koordinatnih sestavih
- tehnike, ki temeljijo na točkah v vesolju: koordinate položaja satelitov v določeni epohi so znane v obeh koordinatnih sestavih. Običajno so koordinate satelitov sistema GLONASS pridobljene z efemeridami in s sledenjem kontrolnih postaj, ki delujejo v sistemu WGS-84.

Velik problem pri tehnikah, ki temeljijo na točkah nahajajočih se na površju Zemlje, je dolgo predstavljalo dejstvo, da nikjer izven ozemlja bivše Sovjetske zveze ni bilo znanih točk s koordinatami podanimi v PZ-90 koordinatnem sistemu. Skoraj nemogoče je bilo opazovati točke znotraj bivše Sovjetske zveze s sprejemniki sistema GPS. Dolgo je tudi veljalo, da sprejemniki, ki bi lahko spremljali signale satelitov sistema GLONASS, niso omogočali potrebne natančnosti, da bi z njimi lahko opazovali na točkah z znanimi koordinatami v WGS-84 koordinatnem sestavu. V današnjem času se s kvalitetnimi GLONASS sprejemniki že vzpostavlja mreža točk, ki bodo služile za določitev transformacijskih parametrov na globalni ravni. Te točke imajo seveda že znane koordinate v WGS-84 koordinatnem sestavu.

Tehnike, ki pa temeljijo na točkah v vesolju, imajo to veliko prednost, da lahko z nekaj sprejemniki sistema GLONASS razporejenimi po vsej zemeljski obli pridobimo efemeride vseh satelitov. Vendar je lahko pridobivanje podatkov satelitovih tirnic sistema GLONASS v koordinatnem sestavu WGS-84 zelo drago. Ti podatki se pridobivajo z radarskim in/ali SLR sledenjem satelitov, za kar je potrebna obsežna infrastruktura (za doseg globalne pokritosti). Ena od institucij, ki se lahko ponaša s takšno infrastrukturo, je NASA. Druga možnost za zagotovitev tirnic satelitov sistema GLONASS v koordinatnem sestavu WGS-84 je sledenje

satelitom z uporabo mreže sprejemnikov, ki so sposobni slediti satelitom sistema GLONASS v sestavu WGS-84 in nato preračun tirnic iz podatkov meritev. Na tak način služba IGS pridobiva efemeride sistema GLONASS.

Znanstveniki so se dolgo trudili pridobiti vrednosti globalnih transformacijskih parametrov. Nekaj postopkov in vrednosti dobljenih parametrov je opisanih v nadaljevanju. Še vedno pa velja, da je za neko območje najbolje uporabiti lokalno pridobljene transformacijske parametre.

#### 2.7.1.1 Ruske ocene transformacijskih parametrov

Eno od prvih ocen transformacijskih parametrov med koordinatnima sistemoma GPS in GLONASS so izvedli ruski znanstveniki leta 1993. Transformacijski parametri za transformacijo iz sistema PZ-90 v WGS-84 so podani v preglednici 2.3.

Preglednica 2.3: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili ruski znanstveniki leta 1993 [Roßbach, 2000, str. 43].

Parameter	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta \varepsilon$	$\delta \psi$	$\delta \omega$	$\delta s$
Vrednost	0 m	0 m	1.5 m	0''	0''	-0.076''	0

Leta 1998 je druga skupina ruskih znanstvenikov predstavila drugačno oceno transformacijskih parametrov. Oceno parametrov so izpeljali s primerjavo tirnic satelitov, ki so jih pridobili iz kontrolnih centrov, s tirnicami pridobljenimi z laserskim merjenjem dolžin (SLR) v koordinatnem sistemu WGS-84. Upoštevali so podatke dveh satelitov, ki so ju opazovali dvajset mesecev. Njihovi transformacijski parametri iz sistema PZ-90 v sistem WGS-84 so podani v preglednici 2.4.

Preglednica 2.4: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili ruski znanstveniki leta 1998 [Roßbach, 2000, str. 43].



Parameter	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta\varepsilon$	$\delta\psi$	$\delta\omega$	$\delta s$
Vrednost	-0.47 m	-0.51 m	-2.00 m	-0.002''	-0.001''	-0.356''	$22 \cdot 10^{-9}$

Najbolj podobne vrednosti transformacijskih parametrov so z alternativnim načinom določitve pridobili v Nemčiji. Določitev parametrov je bila neodvisna od določitve položaja v obeh koordinatnih sistemih, saj so izvajali meritve direktno do satelitov sistema GLONASS na položajih, kjer so znane WGS-84 koordinate.

Preglednica 2.5: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili nemški znanstveniki [Roßbach, 2000, str. 45].

Parameter	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta\varepsilon$	$\delta\psi$	$\delta\omega$	$\delta s$
Vrednost	0.404 m	0.357 m	-0.476 m	0.024''	-0.012''	-0.343''	$-2.6 \cdot 10^{-9}$

Naslednja cenitev je bila predstavljena s strani znanstvenikov 29. raziskovalnega inštituta topografske službe ruskega ministrstva za obrambo. Transformacijske parametre so zasnovali na približno enoletnem opazovanju na osmih območjih v Rusiji. Ta opazovanja so bila opravljena tako v PZ-90 kot tudi v WGS-84 koordinatnem sistemu s kombiniranimi sprejemniki GPS/GLONASS. Dva od opazovališč (Irkutsk in Krasnoye Selo) redno pripravljata podatke za službo IGS.

Preglednica 2.6: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili znanstveniki 29. raziskovalnega inštituta topografske službe ruskega ministrstva za obrambo [Roßbach, 2000, str. 44].

Parameter	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta\varepsilon$	$\delta\psi$	$\delta\omega$	$\delta s$
Vrednost	-1.10 m	-0.30 m	-0.90 m	0''	0''	-0.169''	$-12 \cdot 10^{-8}$

Ti transformacijski parametri so uporabljeni tudi za transformacijo med PZ90 in WGS84 koordinatnima sistemoma v programskem paketu Trimble Total Control, ki smo ga uporabili pri praktičnem delu diplomske naloge.

### 2.7.1.2 Ameriške ocene

Obširno delo pri določitvi transformacijskih parametrov med geodetskima referenčnima sistemoma PZ-90 (predhodno tudi SGS-85) in WGS-84 se je izvajalo na inštitutu za tehnologijo v ameriški zvezni državi Massachusetts. Parametre so ocenjevali s primerjavo koordinat satelitov sistema GLONASS v PZ-90 in WGS-84. Položaje satelitov v sistemu PZ-90 so pridobili s satelita oddanih efemerid, koordinate v WGS-84 pa so pridobili z laserskim sledenjem satelitov in radarskimi meritvami. Leta 1994 so objavili transformacijske parametre iz koordinatnega sistema SGS-85 v WGS-84.

Preglednica 2.7: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma SGS-85 in WGS-84 kot so jih določili ameriški znanstveniki leta 1994 [Roßbach, 2000, str. 44].

Parameter	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta \varepsilon$	$\delta \psi$	$\delta \omega$	$\delta s$
Vrednost	0 m	0 m	4 m	0''	0''	-0.6''	0

Ko so uporabili transformacijo za izračun koordinat, so se te od dejanskih koordinat razlikovale za vrednost standardne deviacije od 30 m do 40 m.

Dve leti pozneje pa so določili transformacijske parametre iz koordinatnega sistema PZ-90 v koordinatni sistem WGS-84.

Preglednica 2.8: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili ameriški znanstveniki leta 1996 [Roßbach, 2000, str. 44].

Parameter	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta \varepsilon$	$\delta \psi$	$\delta \omega$	$\delta s$
Vrednost	0 m	2.5 m	0 m	0''	0''	-0.4''	0

Tudi koordinate izračunane iz teh transformacijskih parametrov so imele standardno deviacijo, vendar v velikosti od 12 m do 14 m.

Za naslednjo cenitev so uporabili dolgotrajna opazovanja satelitov sistema GLONASS na zahodni obali Združenih držav. S primerjavo pridobljenih koordinat s koordinatami v sistemu WGS-84 so pridobili naslednje transformacijske parametre.

Preglednica 2.9: Vrednosti transformacijskih parametrov med sistemoma PZ-90 in WGS-84 kot so jih določili ameriški znanstveniki z opazovanji na zahodni obali ZDA [Roßbach, 2000, str. 44].

Parameter	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\delta \varepsilon$	$\delta \psi$	$\delta \omega$	$\delta s$
Vrednost	0 m	0 m	0 m	0''	0''	-0.33''	0

Ker so transformacijski parametri pridobljeni iz samo enega opazovališča, je vprašljiva njihova veljavnost. So pa ti transformacijski parametri enaki parametrom, ki so jih pridobili z meritvami v Nemčiji.

### 2.7.2 Uporaba globalnih transformacijskih parametrov

Izmed mnogih zgoraj naštetih transformacijskih parametrov med referenčnima sistemoma PZ-90 in WGS-84 sta le dva, ki ju lahko štejemo za zanesljiva. To so transformacijski parametri iz preglednic 2.8 in 2.9, saj se pri rotaciji okrog z osi razlikujeta le za 0.007'' ter za 2.5 m v koordinatnem izhodišču. Največja razlika pri uporabi teh transformacijskih parametrov pri izračunu koordinat točke na ekvatorju v WGS-84 koordinatnem sistemu znaša 4.6 m. Glede na koordinate točke, določene v sistemu GLONASS, je največja razlika med tema transformacijama okrog 11 m. Zgoraj navedena primera transformacijskih parametrov sta praktično uporabna pri kombinaciji opazovanj GPS/GLONASS, kjer se lahko zadovoljimo z metrsko natančnostjo določitve položaja [Roßbach, 2000].

Izkušnje nemških znanstvenikov, ki so se ukvarjali z izračunom transformacijskih parametrov kažejo, da uporabljeni transformacijski parametri iz preglednice 2.8 dosežejo vrednost standardne deviacije velikosti od 30 cm do 40 cm. Ugotovili so tudi, da z uporabo

Kalmanovega filtra<sup>2</sup> lahko dosežejo še bolj prilagodljive vrednosti transformacijskih parametrov [Roßbach, 2000].

### 2.7.3 Transformacija časovnih sistemov

Za določitev razlike med časovnima sistemoma je možnih več postopkov. Med njimi so važni štirje [Roßbach, 2000]:

- pogrešek ure drugega sprejemnika

Upoštevati je potrebno različna popravka glede na referenčni čas sistema GPS oziroma GLONASS. Popravka sprejemnikovih ur sta določena istočasno skupaj s tremi koordinatnimi neznankami ob izvajanju meritev. Psevdo razdalja med satelitom  $S$  in sprejemnikom  $R$  v poljubnem sistemu se glasi:

$$PR_R^S = \rho_R^S + c \cdot \delta t_R - c \cdot \delta t^S, \quad (2.41)$$

kjer je:  $\rho_R^S$  ... geometrijska razdalja med satelitom  $S$  in sprejemnikom  $R$ .

Popravek sprejemnikove ure:

$$\delta t_R = t_R - t_{Sistema} \quad (2.42)$$

je funkcija referenčnega časa sistema, oziroma upoštevati je potrebno popravek sprejemnikove ure glede na GPS čas in popravek sprejemnikove ure glede na čas GLONASS. Na ta način se pridobita dve različni enačbi za GPS satelit  $i$  in satelit  $j$  sistema GLONASS:

$$\begin{aligned} PR_R^{GPSi} = & \rho_0^{GPSi} + \frac{x_0 - x^{GPSi}}{\rho_0^{GPSi}} \cdot \left[ \begin{matrix} x_R - x_0 \\ y_R - y_0 \end{matrix} \right] + \frac{y_0 - y^{GPSi}}{\rho_0^{GPSi}} \cdot \left[ \begin{matrix} x_R - x_0 \\ y_R - y_0 \end{matrix} \right] \\ & + \frac{z_0 - z^{GPSi}}{\rho_0^{GPSi}} \cdot \left[ \begin{matrix} x_R - x_0 \\ y_R - y_0 \end{matrix} \right] + c \cdot \delta t_{RGPS} - c \cdot \delta t^{GPSi}, \end{aligned} \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned} PR_R^{GLNj} = & \rho_0^{GLNj} + \frac{x_0 - x^{GLNj}}{\rho_0^{GLNj}} \cdot \left[ \begin{matrix} x_R - x_0 \\ y_R - y_0 \end{matrix} \right] + \frac{y_0 - y^{GLNj}}{\rho_0^{GLNj}} \cdot \left[ \begin{matrix} x_R - x_0 \\ y_R - y_0 \end{matrix} \right] \\ & + \frac{z_0 - z^{GLNj}}{\rho_0^{GLNj}} \cdot \left[ \begin{matrix} x_R - x_0 \\ y_R - y_0 \end{matrix} \right] + c \cdot \delta t_{RGLN} - c \cdot \delta t^{GLNj}. \end{aligned} \quad (2.44)$$

<sup>2</sup> Leta 1960 je R.E. Kalman objavil študijo, ki opisuje rekurzivno rešitev problema filtriranja diskretnih podatkov. Kalmanov filter je niz matematičnih enačb, s katerimi se določi učinkovita ocena stanja procesa tako, da minimizira srednji kvadratni odklon.

Glede na število neznank je za rešitev problema potrebno dodatno (peto) opazovanje. Kombinirana raba obeh sistemov podvoji število opazovanj in tako nimamo več problema z dodatno neznanko. V splošnem, če sta na voljo dva dodatna satelita drugega sistema in sta dodana opazovanjem prvega sistema, lahko brez težav rešimo problem. Če je na voljo en satelit drugega sistema, lahko pridobimo samo popravek ure satelita drugega sistema, ne bo pa vplival na izračunan položaj sprejemnika.

- razlika med časovnima skalama obeh sistemov

Z uporabo gornje enačbe za popravek sprejemnikove ure lahko zapišemo popravek sprejemnikove ure za GLONASS-ov časovni sistem:

$$\delta t_{RiGLONASS} = t_R - t_{GLONASS} = t_R - t_{GPS} + t_{GPS} - t_{GLONASS} \cdot \quad (2.45)$$

To enačbo vstavimo v enačbo psevdo razdalje za satelit  $j$  sistema GLONASS. Na ta način pridobimo bolj elegantno metodo za rešitev problema, saj je razlika med časovnima skalama (dodatna neznanka) neodvisna od sprejemnika in se eliminira, če tvorimo enojne razlike med dvema sprejemnikoma (angl. receiver-receiver single differences). Tudi ta metoda je izvedljiva, če opazujemo satelite obeh sistemov. Če opazujemo satelite enega samega sistema, je potrebno zagotoviti pogrešek sprejemnikove ure. Če so vsi sateliti, razen enega satelita, iz istega sistema, to dodatno opazovanje prispeva samo razliko med časovnima sistemoma.

- uporaba a-priori znanega popravka časa

Pri tej metodi velja, da je razlika med časovnima sistemoma (tudi razlika med UTC in UTC(RU)) sistemov GPS in GLONASS a-priori znana. Ta metoda je zelo učinkovita v smislu, da je ena od neznank odstranjena. Je pa res, da ta neznanka ni znana v realnem času in je zato ta metoda primerna le za naknadno obdelavo podatkov meritev.

- razlika časovnih sistemov kot del navigacijskega sporočila

Rusko obrambno ministrstvo je v navigacijsko sporočilo vključilo razliko med časovnima skalama obeh sistemov. V osnovi je to enako uporabi a-priori znanega popravka časa, odpravi pa potrebo po določitvi tega popravka med obdelavo opazovanj.

Katero od zgoraj navedenih metod izbrati, je odvisno od tega ali je med opazovanimi sateliti tudi satelit GLONASS-M generacije. Če ga ni med opazovanimi sateliti, je najbolje izbrati drugo metodo. Ker med obdelavo opazovanj ni mogoče pridobiti časovne razlike med sistemoma, mora biti ta razlika določena kot dodatna neznanka med obdelavo podatkov opazovanj. Boljša možnost je, da se oceni razlika med časovnima sistemoma in se uporabi kot a-priori popravek, z iteracijo pa se pridobi tudi prava vrednost te časovne razlike. V primeru, ko imamo vsaj enega od GLONASS-M satelitov, je razlika med časovnima sistemoma posredovana skupaj s navigacijskim sporočilom in se smatra kot znana [Roßbach, 2000].

## 2.8 Služba IGS

### 2.8.1 Splošno o službi IGS

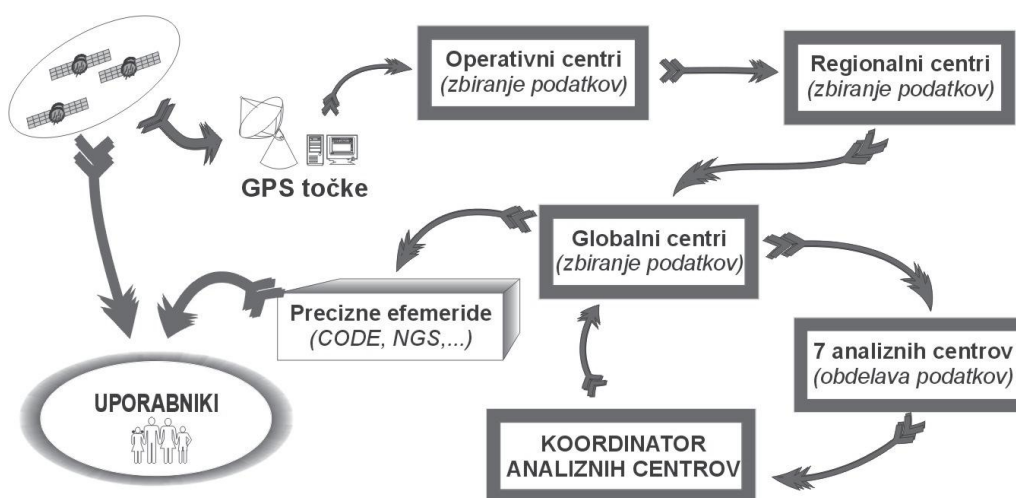
IGS (angl. International GNSS Service) je globalni sistem postaj, ki sledijo navigacijske satelite iz podatkovnih ter analiznih centrov, ki pripravljajo visoko kvalitetne podatke skoraj v dejanskem času (angl. real time) za zadovoljitev širokega kroga znanstvenih in inženirskih uporabnikov. Služba IGS zbira, arhivira in distribuira podatke satelitskih opazovanj zadostne natančnosti, da zadovoljijo potrebe uporabnikov. Podatki so uporabnikom na voljo preko interneta tudi v roku enega dne. Točnost produktov službe IGS je zadostna, da se ti lahko uporabijo za [IGS1]:

- izboljšavo in razširitev mednarodnega terestičnega referenčnega sestava ITRF
- nadzor nad deformacijami trdne Zemljine mase
- nadzor nad rotacijo Zemlje in njenimi variacijami tekoče mase (nivo morske gladine, ledene ploskve,...)
- znanstvene določitve satelitovih tirnic
- nadzor ionosfere
- meritve izhlapevanja vode.

Prvotno poslanstvo službe IGS je: »IGS je zavezana, da zagotavlja podatke in produkte visoke kvalitete kot standard za globalni navigacijski satelitski sistem GNSS v podporo raziskavam

Zemlje, več disciplinarnim aplikacijam in izobraževanju. Namen teh aktivnosti je pospešiti znanstveno razumevanje komponent Zemljinega sistema in njihovo medsebojno vplivanje kot tudi olajšati druge aplikacije, ki koristijo družbi.« [IGS1].

Za dosego poslanstva je IGS sestavljena iz mednarodnega omrežja več kot 350 dvo-frekvenčnih GNSS postaj, več kot ducata regionalnih in operativnih podatkovnih centrov, treh globalnih podatkovnih centrov, sedmih analiznih centrov in mnogih pridruženih analiznih centrov.



Slika 2.6: Struktura službe IGS [Pavlovčič Prešeren in Stopar, 2005, str. 180].

Služba IGS je priznana s strani mednarodne zveze za geodezijo IAG in je tudi član federacije astronomske in geofizikalne analizne službe FAGS (angl. Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services), tesno pa sodeluje tudi z mednarodno službo IERS.

Z rutinskim delom je služba IGS začela 1.1.1994. Zagotavlja je tirnice GPS satelitov, podatke sledenj in druge podatke za v podporo geodetskim in geofizikalnim raziskavam. Od takrat naprej ima služba IGS svojim uporabnikom dostopne uradne tirnice, ki slonijo na sodelovanju med sedmimi IGS analiznimi centri. Služba IGS podpira tudi številne vladne in komercialne aktivnosti ter razvija mednarodne GNSS podatkovne standarde in specifikacije.

Globalna mreža permanentnih sledilnih postaj službe IGS proizvaja surove podatke o tirnicah satelitov. Operativni podatkovni centri zbirajo te surove podatke in jih pretvarjajo v neodvisni standard s tako imenovanim RINEX formatom (angl. Receiver Independent Exchange). Pretvorjeni podatki so nato posredovani regionalnim in nadalje globalnim podatkovnim centrom. Podatki, ki niso uporabni za analize v globalnih podatkovnih centrih, se arhivirajo in so na voljo v regionalnih podatkovnih centrih. Globalni podatkovni centri arhivirajo in zagotavljajo dostop do podatkov preko svetovnega spleta.

Podatki službe IGS se uporabljajo za izračun [IGS1]:

- efemerid satelitov sistema GPS
- efemerid satelitov sistema GLONASS
- parametrov rotacije Zemlje
- koordinat in hitrosti IGS sledilnih postaj
- informacij o stanju ur GNSS satelitov in IGS sledilnih postaj
- ocene zenitne komponente troposferske refrakcije
- globalnih ionosferskih kart.

Služba IGS posveča veliko pozornosti zgostitvi vrednosti koordinatnega sestava ITRF na regionalnem nivoju. Zgostitev je možna skozi kombinacije rešitev regionalnih oziroma lokalnih postaj, ki uporabljajo od rešitve neodvisni format SINEX (angl. Solution Independent Exchange).

Zaradi razširitve področja delovanja službe IGS na področja, kot so integracija podatkov sistema GLONASS in razvoj sistema Galileo, se je marca 2005 služba preimenovala v mednarodno globalno službo za navigacijske satelitske sisteme GNSS. Služba GNSS je obdržala kratico IGS [IGS2].

## 2.8.2 Analizni centri in pridruženi analizni centri

Proizvodi službe IGS se tvorijo kot kombinacija rezultatov, ki jih predložijo analizni centri. Posamezni analizni center podatke obdela neodvisno. Ustrezno pretehtane kombinacije



rezultatov posameznih analiznih centrov pa pripomorejo k temu, da produkti službe IGS prednjačijo v preciznosti, natančnosti, stabilnosti in zanesljivosti glede na rezultate posameznih analiznih centrov.

Temeljni produkti službe IGS so [IGS3]:

- tedenski končni produkti:
  - efemeride satelitov GPS in vrednosti satelitovih ur, ki so tabelirani v določenih intervalih za vsak dan posebej (standardni format RINEX)
  - parametri orientacije Zemlje kot so gibanje polov, dolžina dneva, določenih v dnevnih intervalih (SINEX format)
  - koordinate GPS postaj in vrednosti hitrosti za globalno mrežo sledilnih postaj, ki se tvorijo za vsak GPS teden (format SINEX)
- dnevni podatki (Rapid in Ultra-rapid produkti):
  - efemeride satelitov GPS in vrednosti satelitovih ur, ki so tabelirani v določenih intervalih za vsak dan posebej, vključujejo pa tudi napoved bodočega gibanja satelitov (standardni format RINEX)
  - parametri orientacije Zemlje kot so gibanje polov in dolžina dneva v določenih intervalih.

Služba IGS zagotavlja poleg omenjenih tudi druge podatke oziroma rezultate analiz kot so troposferska zenitna zamuda, rezultati ionosfere in tudi tirnice ter vrednosti satelitovih ur sistema GLONASS.

### 2.8.3 Precizne efemeride

Z naknadno obdelavo faznih opazovanj služba IGS določi efemeride za satelite obeh sistemov (za nazaj). Natančnost efemerid razvrščamo glede na način in hitrost pridobitve le teh kot tudi glede na oblike podatkov. Efemeride so podane tabelarično v ASCII zapisu. Tako so najnatančnejše oziroma končne efemeride (angl. Final Ephemerides) na voljo v roku 14 – 15 dni. Hitre efemeride (angl. Rapid Ephemerides) so na voljo že po dveh dneh. Najhitrejše efemeride (angl. Ultra Rapid Ephemerides) so na voljo za dva dneva nazaj ter za dan vnaprej.

Določene so s predvidevanjem, zato niso najbolj točne. Kasneje jih nadomestijo hitre efemeride. Oddane efemeride (angl. broadcast) pa so s satelita oddane efemeride in jih ne uvrščamo med precizne efemeride, saj so pripravljene vnaprej na osnovi predpostavk o gibanju satelitov. Pridobimo jih v času izvajanja opazovanj in so sestavni del navigacijskega sporočila.

Efemeride ločimo tudi glede na oblike podatkov, ki jih vsebujejo. Tako precizne efemeride vsebujejo podatke o diskretnih položajih satelitov v terestičnem koordinatnem sistemu, oddane efemeride pa vsebujejo podatke o Keplerjevih elementih tirnice s pripadajočimi popravki [Pavlovčič Prešeren in Stopar, 2004].

Precizne efemeride tirnic satelitov obeh sistemov posreduje zelo veliko služb. Poleg podatkov preciznih efemerid mnoge ponujajo tudi podatke ionosfere, IONEX (angl. IONosphere Map Exchange) podatke ter podatke o troposferski refrakciji. Naj omenimo le nekaj naslovov:

- MCC (angl. Mission Control Center), ki deluje v okviru ruske zvezne vesoljske agencije (ROSCOSMOS), <ftp://glonass-ianc.rsa.ru/MCC>
- IAC (angl. Information-Analytical Center), tudi ta služba deluje v okviru ROSCOSMOS-a, [www.glonass-ianc.rsa.ru](http://www.glonass-ianc.rsa.ru)
- IGS, ki združuje več različnih služb, ki pripravljajo podatke preciznih efemerid, med njimi CDDIS (angl. Crustal Dynamics Data Information System, NASA), SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center), IGS CB, IGN (Institut Geographique National, FR) ali CODE, izbira se lahko med različnimi tipi efemerid (prenesenimi, ultra hitrimi, hitrimi in preciznimi)  
[igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html](http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html)  
CDDIS: [cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/](http://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/)
- NGS (National Geodetic Survey), [www.ngs.noaa.gov/orbits/](http://www.ngs.noaa.gov/orbits/)
- Univerza v Bernu oziroma njen astronomski inštitut, <ftp://unibe.ch/aiub/CODE/>.

### 3 MERITVE

Integracija obeh sistemov naj bi pripomogla k izboljšanju razmer na terenu v primerih, ko bi lahko ovire onemogočale praktično satelitsko izmero. Pri terenskem delu se mnogokrat zgodi, da je potrebno meritve izvajati v območjih, ki jih zastirajo stavbe, drevesa, relief in podobno. Ovire motijo nemoten sprejem signala predvsem v primerih, ko imamo samo en sprejemnik in se navezujemo na referenčno postajo. Ta problem bi sicer rešila bazna postaja na točki z znanimi koordinatami v bližini območja meritev, vendar je nakup dveh sprejemnikov (pre)velika investicija, predvsem za majhna geodetska podjetja. Ena od dobrih in pomembnih rešitev je omrežje SIGNAL (Slovenija Geodezija NAVigacija Lokacija), ki s svojimi referenčnimi postajami pokriva območje vse Slovenije. Toda v območjih z ovirami je pogosto onemogočen nemoten sprejem signala oziroma se lahko zgodi, da ni mogoče izvesti inicializacije. V tem primeru je ena od rešitev uporaba satelitov dveh, v prihodnosti tudi treh, satelitskih sistemov. Vendar je treba upoštevati dejstvo, da trenutno poleg sistema GPS deluje samo šestnajst satelitov sistema GLONASS. Pri praktični izmeri je nujno izmero planirati in se prilagajati vidnosti satelitom sistema GLONASS. Trenutno sta potrebna dva sprejemnika (referenčni in premični), ki omogočata sprejem signala obeh sistemov, saj omrežje SIGNAL ne posreduje podatkov o tirnicah GLONASS-ovih satelitov. Mogoča je sicer navezava na omrežje permanentnih postaj na Hrvaškem ali v Avstriji, vendar to pride v poštev le na območjih ob meji s tema dvema državama. Čeprav zaradi navedenih pomanjkljivosti integracija sistemov danes še ni smotrna, želimo z diplomskim delom pokazati, da bo v prihodnosti to uporaben način, kako pridobiti geodetske merske podatke.

Za določitev položaja sprejemnika se v geodeziji uporabljajo predvsem relativne metode izmere. V osnovi se relativna metoda izmere deli glede na to, katere vrste efemerid se uporabljajo pri določitvi položaja sprejemnika. Tako lahko delimo relativno izmero na izmero v dejanskem času in izmero s postprocesiranjem. Za metodo z naknadno obdelavo opazovanj so značilne statična, kinematična ter hitra statična metoda izmere. Za pridobivanje rezultatov meritev v dejanskem času izmere pa sta primerni RTK in tako imenovana Stop-and-Go metoda izmere. Metode izmere se med seboj razlikujejo tudi po tem ali se sprejemnik med samo izmero premika (od tu izvira tudi delitev na statično in kinematično metodo izmere). Od

metode izmere je odvisno tudi trajanje izmere ter dosežena relativna točnost meritev oziroma koordinat točk.

Posamezne metode izmere ob različnem obsegu terenskega dela in ob različni obdelavi merjenih podatkov zagotavljajo tudi različne rezultate merjenih točk v smislu ustrezne natančnosti oziroma zanesljivosti. Od kakovosti dobljenih rezultatov zavisi tudi izbira med metodami.

Preglednica 3.1: Metode satelitske izmere in njihove lastnosti [Stopar in Pavlovčič, 2001, str. 73].

Metoda izmere	Relativna točnost	Trajanje opazovanj	Prednosti	Slabosti
STATIČNA	0.1 ppm – 10 ppm	1 ura - 4 ure	visoka točnost	počasna
HITRA STATIČNA	1 ppm – 10 ppm	5 min. – 20 min.	hitra visoka točnost	potrebuje prefinjeno strojno in programsko opremo
KINEMATIČNA	1.5 ppm – 10 ppm	1 min. - 2 min.	hitra visoka točnost	neprekinjen sprejem signala vsaj štirih satelitov
RTK, Stop & Go	1 ppm – 10 ppm	dejanski čas	hitra visoka točnost	neprekinjen sprejem signala vsaj štirih satelitov ali ponovna inicializacija

V okviru diplomske naloge smo s kombiniranimi sprejemniki GPS/GLONASS preizkusili tri metode izmere, ki so predstavljene v nadaljevanju.

### 3.1 Statična metoda izmere

Statična metoda izmere je osnovna metoda za določanje relativnega položaja. Temelji na spremembi geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj. Ta metoda se ponavadi uporablja, ko določamo bazne vektorje z visoko relativno natančnostjo. Zahteva istočasno opazovanje signalov vsaj štirih satelitov z večjim številom sprejemnikov. Dalj časa trajajoča opazovanja, matematični modeli za določitev atmosfarske refrakcije ter natančne tirnice satelitov omogočajo pri tej metodi pridobitev položaja točk z visoko relativno natančnostjo do 1mm/10km.

Dolžina trajanja posamezne serije opazovanj je odvisna od več dejavnikov. Najpomembnejša dejavnika sta dolžina vektorjev med točkami in geometrijska razporeditev satelitov v času opazovanj. Geometrijska razporeditev satelitov se meri s PDOP faktorjem. Nizek PDOP faktor pomeni ugodno razporeditev satelitov za določitev položaja točke. Za vektorje dolžine okrog 10 km (ob upoštevanju števila opazovanih satelitov in predvidene natančnosti določitve položaja) lahko opazovanja trajajo tudi več kot dve uri. Daljši vektor posledično podaljša čas opazovanj tudi do 5 ur. Tako se lahko za določitev trajanja serije opazovanj ob petih opazovanih satelitih uporabi izraza [Stopar in Pavlovčič, 2001]:

- za določitev baznega vektorja z relativno natančnostjo 3-5 ppm naj bi se meritve izvajale 20 minut + 5 minut/km dolžine vektorja
- za določitev baznega vektorja z relativno natančnostjo 1-2 ppm pa naj bi se meritve izvajale 30 minut + 10 minut/km dolžine vektorja.

Daljši čas opazovanj je priporočljiv zato, da se pridobi dovolj opazovanj za zanesljivo določitev NŠCV.

Pri statični metodi izmere je pomemben tudi interval registracije signala, ki naj bi znašal 10-30 sekund. Daljši interval registracije se lahko uporabi, ko se planira daljši čas opazovanj in se pri opazovanjih pričakuje nemoten signal. Krajši interval pa omogoča lažje obravnavanje nekaterih vplivov na opazovanja (primer tako imenovanih »cycle slip-ov«, ki nastopajo ob prekinitvah signala) in s tem olajša obdelavo opazovanj.

Na opazovanja vpliva tudi višinski kot signala, ki prispe do antene sprejemnika. Zato naj ne bi registrirali signalov, ki do antene prispejo pod višinskim kotom manjšim od  $15^\circ$ . Signal, ki prispe pod manjšim višinskim kotom, je opravil daljšo pot skozi atmosfero, kar oteži njegovo obravnavo. Z izbiro primerne minimalnega višinskega kota torej zmanjšamo vpliv atmosfere na vrednosti opazovanj.

Za statično metodo izmere je pomembna tudi izbira sprejemnikov. Ti naj bi bili istega tipa, v kolikor tega pogoja ni mogoče izpolniti, pa naj bi imeli vsaj enako število kanalov za obdelavo signalov in enak način obdelave signalov. Zagotoviti je treba tudi antene enakega tipa.

Statično metodo izmere se najpogosteje uporablja za vzpostavljanje in zgoščevanje državnega koordinatnega sistema, geodetskih mrež za potrebe inženirske geodezije, za določanje oslonilnih točk v fotogrametriji,...[Stopar in Pavlovčič, 2001].

### **3.2 Kinematična metoda izmere**

Kinematična metoda izmere temelji na zanesljivem algoritmu za določitev NŠCV ob sprejemanju neprekinjenega signala vsaj štirih satelitov v času meritev. Pri tej metodi je pomembna inicializacija, to je določitev neznanih začetnih vrednosti za število celih valov med posameznimi sateliti in sprejemnikoma. Na ta način pridobimo bazni vektor med sprejemnikoma (točkama). Inicializacija lahko poteka na dani točki, kar je najhitrejši in najzanesljivejši način, saj se vektor izračuna iz danih koordinat, ali na novi točki. Tudi pri tej metodi je potrebna naknadna obdelava podatkov s pomočjo preciznih efemerid.

Slabost kinematične metode je v tem, da ne moremo zanesljivo vedeti ali je bila inicializacija uspešna, prav tako pa ob poteku meritev nimamo vpogleda ali je prišlo med izmero do kakršnihkoli težav.

Ta metoda se uporablja predvsem za kontinuirano snemanje. V geodeziji se redkeje uporablja.

### 3.3 RTK (Real Time Kinematic) metoda izmere

RTK metoda je v osnovi kinematična metoda izmere, saj temelji na določitvi relativnih položajev med referenčno in premično enoto. Med referenčno in premično enoto mora biti vzpostavljena radijska povezava, potrebna pa je tudi ustrezna programska oprema za obdelavo opazovanj med sprejemnikoma v času izmere. Dolžina trajanja izmere na posamezni točki traja le kratek čas, pri tem pa se doseže le nekoliko nižja natančnost določitve položaja (glede na statično metodo izmere).

Prednost metode je, da, za razliko od ostalih metod, že med izmero samo pridobimo informacije o količini in kvaliteti opravljenega dela. Poleg prednosti ima metoda tudi slabost, saj zahteva radijsko povezavo ali GSM povezavo med sprejemnikoma. Pri večjih oddaljenostih med referenčnim in premičnim sprejemnikom in neugodni konfiguraciji terena lahko prihaja do motenj pri komunikaciji, z oddaljenostjo od referenčne postaje pa se večajo tudi sistematični vplivi na opazovanja.

Najpomembnejša pri izmeri s to metodo je določitev NŠCV med sprejemnikoma in sateliti na začetku izmere oziroma tako imenovana inicializacija. Med samo izmero pa je potrebno zagotoviti neprekinjen signal vsaj štirih satelitov, drugače je potrebna ponovna inicializacija. Algoritem OTF omogoča določitev NŠCV že za zelo kratka opazovanja (manj kot minuta) in je danes najpogostejši način določitve NŠCV pri dvofrekvenčnih sprejemnikih. Ta algoritem se uporablja za določitev NŠCV tudi pri kombiniranih opazovanjih GPS/GLONASS.

RTK metoda izmere je uporabna pri najrazličnejših geodetskih nalogah, uporablja se lahko tako pri detajlni izmeri kot za potrebe inženirske geodezije. Zaradi njene praktičnosti in enostavnosti uporabe je najpogosteje uporabljena metoda izmere. V primeru navezave na permanentno referenčno postajo se lahko RTK metoda izvaja že s samo enim (mobilnim) sprejemnikom.

### 3.4 Instrumentarij

Vse tri metode izmere so bile izvedene z instrumenti japonskega podjetja Topcon, ki je eden od proizvajalcev precizne merske opreme za uporabo v geodeziji. Za meritve so bili uporabljeni trije sprejemniki serije HiPer Pro. Ti sprejemniki so dvofrekvenčni in lahko sprejemajo signale satelitov obeh sistemov, GPS in GLONASS. Sprejemniki lahko sprejemajo in obdelujejo signale na L1 in L2 valovanjih.

Ob vključitvi sprejemnika se opravi notranji test le tega, nato pa začne 20 kanalov sprejemnika slediti »vidnim« satelitom obeh sistemov. Vsak kanal vključuje sledenje C/A kodi na L1 valovanju in P kodi na L1 in L2 valovanjih. Široko-pasovni signal satelitov je preko antene posredovan do radio-frekvenčnega dela sprejemnika, kjer se preoblikuje, filtrira, digitalizira in pripiše različnim kanalom, odvisno od satelita. Sprejemnikov procesor pri tem ves čas nadzira proces sledenja signalom. Ko je signal »zaklenjen« v svojem kanalu, se demodulira, izmerijo pa se tudi parametri signala. Ločijo se tudi preneseni podatki navigacijskega sporočila. Ko so na ta način pridobljeni signali vsaj štirih satelitov, se lahko pridobi absolutni položaj sprejemnika, izračuna pa se tudi razlika med časom sprejemnikove ure in GPS oziroma GLONASS časom. Te informacije se skupaj s podatki meritev shranijo na spominski kartici sprejemnika in se lahko pozneje tudi obdelajo z različnimi programskimi paketi [Topcon, 2006].

Zmožnosti sprejemnika so naslednje (odvisno od nastavitve):

- sledenje Co-Op<sup>3</sup>
- redukcija večpotja
- sistem za povečanje natančnosti določitve položaja na osnovi satelitov (WAAS, EGNOS, MSAS)
- dvo-frekvenčna statična, kinematična, RTK in diferenčna metoda izmere
- avtomatsko shranjevanje podatkov

---

<sup>3</sup> Co-Op sledenje je proces, ki ga je razvilo podjetje Topcon in omogoča, da sprejemnik lahko lovi in uporablja tudi satelite s slabim signalom in s tem zmanjša vplive okolice na meritve, virtualno odstrani »cycle slip-e«, omogoča hitrejšo inicializacijo... Princip tega procesa je, da so za določitev dinamike sprejemnika in ur uporabljeni vsi vidni sateliti.



- nastavljanje različnih mask in parametrov meritev
- statične in dinamične metode izmere.

### 3.4.1 Delovanje sprejemnika HiPer Pro

Oba sprejemnika, bazni in premični sprejemnik, morata biti pripravljena za želeno metodo izmere. Kateri sprejemnik določimo kot bazo in katerega kot premičnega ni pomembno, saj sta oba sprejemnika enaka. V primeru RTK izmere bazni sprejemnik zagotavlja korekcijske informacije, ki so potrebne za pravilno izmero lokacije roverja. Bazni sprejemnik je tako lociran nad točko z znanim položajem in zbira podatke s satelitov. Ko zbere vse potrebne podatke, izmeri fazo ter izračuna in potrdi svojo pozicijo. Baza nato preko radio veze posreduje to informacijo premičnemu sprejemniku, ki uporabi te informacije za izračun svojega položaja, tako da primerja informacije baznega sprejemnika z informacijami sprejetimi s satelitov ter uporabi korekcijske algoritme za pravilno določitev položaja nove točke. V primerih, ko je potrebno postprocesiranje, sprejemnika istočasno a ločeno zbirata kodna in fazna opazovanja posameznih satelitov. Zbrani podatki se nato obdelujejo s posebno programsko opremo ter z uporabo preciznih efemerid.

Bazni in premični sprejemnik komunicirata preko Satel radio modema, pri čemer se lahko uporabi uporabniško določen kanal ali pa sprejemnika sama določita kanal, ki jima omogoča najboljše komuniciranje. Druga metoda se imenuje metoda iskanja prostega kanala FCS (angl. Free Chanell Scan). V primeru RTK metode izmere lahko sprejemnika med seboj komunicirata do razdalje 4 km.

Preglednica 3.2: Specifikacije sprejemnika HiPer Pro [Topcon, 2006].

<b>Fizične lastnosti</b>	
Dimenzije	159 x 172 x 88 mm
Teža	1.74 kg

se nadaljuje ...

### ... nadaljevanje

Antena	interna
Baterija	2 notranji
Upravljaliec (kontroler)	zunanj
LED diode	STAT (status), REC (record), BATT (status baterije), RX (status modema)
Gumbi	Power, Function, Reset
<b>Okolje delovanja</b>	
Delovna temperatura	-30°C do + 60°C skupaj z baterijami
Temperatura skladiščenja	-40°C do + 75°C skupaj z baterijami
Vlažnost	95%
<b>Napajanje</b>	
Notranji bateriji	Li-ion, 4000 mAh, 7.4 V, nista odstranljivi
Velikost baterije	132 x 35 x 18 mm
Teža baterije	165 g
Čas delovanja	6 do 16 ur
Zunanje napajanje	1 priključek
<b>Prenos podatkov</b>	
Vmesniki	antenski modem, PWR, USB
Komunikacijski vmesniki	RS232 serijski vmesnik, USB vmesnik, Bluetooth
<b>Značilnosti podatkov</b>	
	do 20 Hz razmerje posodobitve za določitev položaja v dejanskem času in surove podatke
	določitev preciznosti za kodna opazovanja do 10 cm ter za fazna opazovanja do 0.1 mm
	modeli za določitev geoida in magnetnih variacij
	podpora različnim geodetskim datumom
Prenosni formati	TPS, NMEA, RTCM, BINEX

se nadaljuje ...

### ... nadaljevanje

<b>Tehnologije</b>	
	Co-Op sledenje
	sledenje slabih signalov
	blaženje vpliva večpotja
<b>NMEA</b>	
Verzija NMEA	Ver. 2.1, 2.2, 2.3, 3.0
Sporočila	GGA, GLL, GNS, GRS, GSA, GST, GSV, HDT, RCM, VGT, ZDA, ROT, GMP
Izhodni interval	standardno 1 Hz, možno do 20 Hz
<b>RTK</b>	
Korekcijski format	CMR2/CMR+, RTCM SC104 Ver. 2.1, 2.2, 2.3, 3.0
Tip RTCM sporočil	3, 18, 19, 20, 21, 22, uporabniško nastavljivi
Določitev NŠCV	algoritem OTF (L1, L1/L2)
Dolžina baznega vektorja	do 50 km zjutraj in zvečer, do 32 km opoldne
Čas inicializacije	Od 5 sekund do 10 minut, odvisno od dolžine baznega vektorja in vpliva večpotja
Izhodni interval za CMR/RTCM	standardno 1 Hz, možno do 20 Hz
Višinski kot	od 0° do 90°
Rezultati	RTK koordinate, HRMS, VRMS, kovariančna matrika
Nivo fiksne rešitve NŠCV	slaba: 95%, srednja 99.5%, visoka: 99.9%
<b>Načini meritev</b>	
Baza ali rover	statična, kinematična (Stop & Go), RTK, DGPS, WASS/EGNOS DGPS
<b>Natančnost meritev</b>	
Statična, hitra statična	za L1+L2: Hz: 3 mm + 0.5 ppm x dolžina baznega vektorja V: 5 mm + 0.5 ppm x dolžina baznega vektorja

se nadaljuje ...

### ... nadaljevanje

Kinematična, RTK	za L1+L2: Hz: 10 mm + 1.0 ppm x dolžina baznega vektorja V: 15 mm + 1.5 ppm x dolžina baznega vektorja
DGPS	< 1 m
<b>Specifikacije sledenja</b>	
Standardni kanali	20 kanalov (GPS L1, GPS L1/L2, GPS/GLONASS L1, GPS/GLONASS L1/L2)
Sledenje signalov	GPS/GLONASS, L1/L2 C/A in P koda ter nosilna valovanja, WASS/EGNOS
<b>Funkcije sledenja</b>	
Redukcija večpotja	kodna opazovanja ter nosilno valovanje
Nastavitve Co-Op sledenja	On/Off, statični način
WASS/EGNOS	opcijaska
<b>Spominska kartica</b>	
Notranji spomin	spominska kartica
Kapaciteta	do 1 GB
Čas snemanja podatkov	do 53 ur (8 MB, 15 sekund, L1/L2, 7 satelitov)
Interval snemanja podatkov	0.05 do 86400 sekund, odvisno od nastavitvev

### 3.5 Izvedba meritev

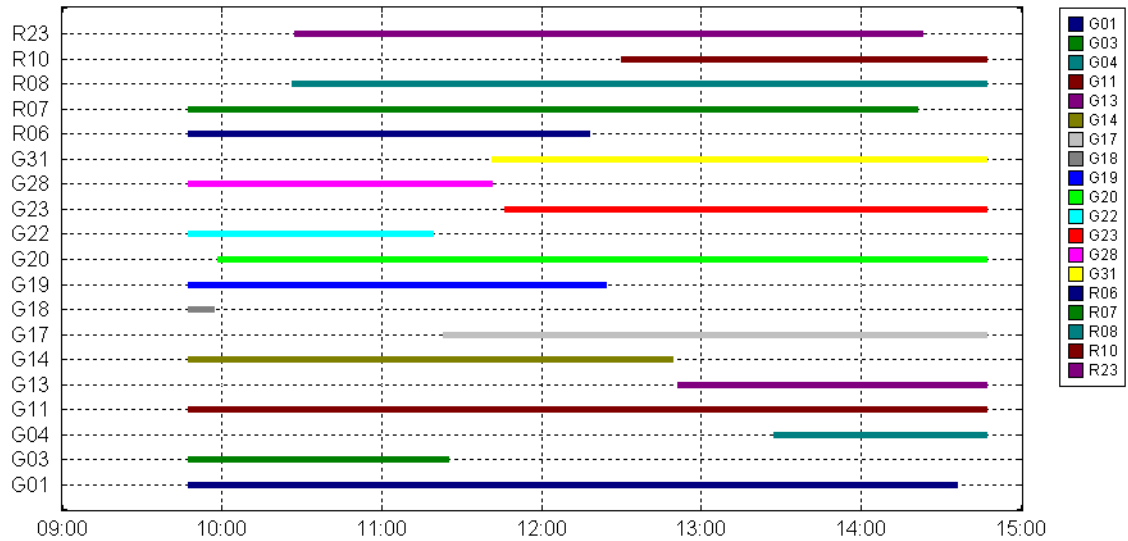
Kot prva je bila izvedena statična metoda GPS/GLONASS izmere z namenom ugotavljanja razlik med komponentami baznih vektorjev velikosti do 20 km glede na različno število satelitov sistemov GPS in GLONASS. Statično izmero smo izvedli 25. aprila 2007. Uporabili smo točke, ki so bile uporabljene pri meritvah za določitev lege nove mareografske postaje v Kopru v ITRF2005 koordinatnem sistemu in to na starem pomolu v Kopru (SMKP), na Maliji (MALJ) in na Socerbu (SOCE). Lokacije točk prikazuje spodnja slika.



Slika 3.1: Lokacije točk, ki so bile uporabljene za statično izmero [Stopar et al., 2006, str. 616].

Točke so dobro stabilizirane z medeninastimi valjastimi drogovi, ki segajo do nivoja okolice. Nanje se privijejo nastavki za GPS antene ali t.i. »bolcne« [Savšek–Safič et al., 2007]. Tri vektorsko povezane točke tvorijo zaprto figuro, s katero nadziramo grobe pogoške in s tem kvaliteto izmere. Za meritve smo uporabili tri inštrumente proizvajalca Topcon, saj kanali registrirajo tako satelite sistema GPS kot sistema GLONASS. Dva takšna instrumenta sta na razpolago na fakulteti, enega pa smo si sposodili v podjetju Geoizmera Dean Kordež s.p., ki je tudi uradni zastopnik Topcon-ovih instrumentov za Slovenijo.

Na spodnji sliki je prikazana vidnost satelitov obeh sistemov za dan 25.4.2007 od 9.00 do 15.00 ure. Podatki se nanašajo na točko na Socerbu. S črko R so označeni sateliti sistema GLONASS, s črko G pa sateliti sistema GPS.



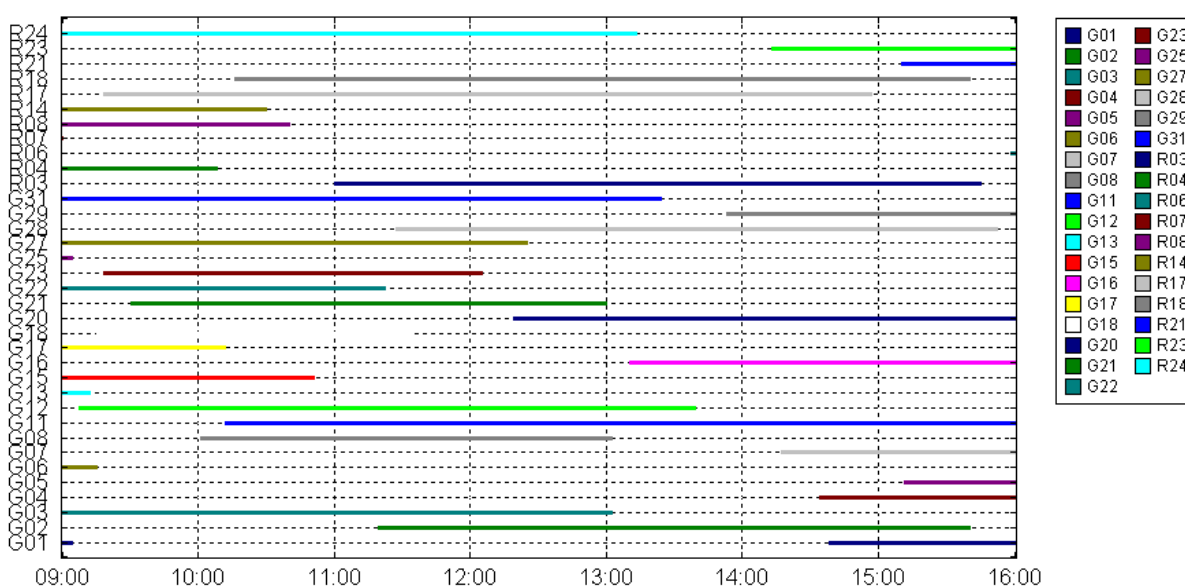
Slika 3.2: Vidnost satelitov GPS in GLONASS dne 25.4.2007 [Trimble Total Control – Planning].

Čas opazovanj se šteje od trenutka, ko je zadnji sprejemnik začel beležiti podatke s satelitov, kar se je zgodilo ob 10<sup>25</sup>, opazovanja pa smo zaključili ob 14<sup>30</sup>. Iz tega sledi, da smo opazovanja izvajali 4 ure in to v času, ko smo za tisti dan spremljali največ satelitov sistema GLONASS.



Slika 3.3: Stabilizacija točke SMKP na starem pomolu v Kopru.

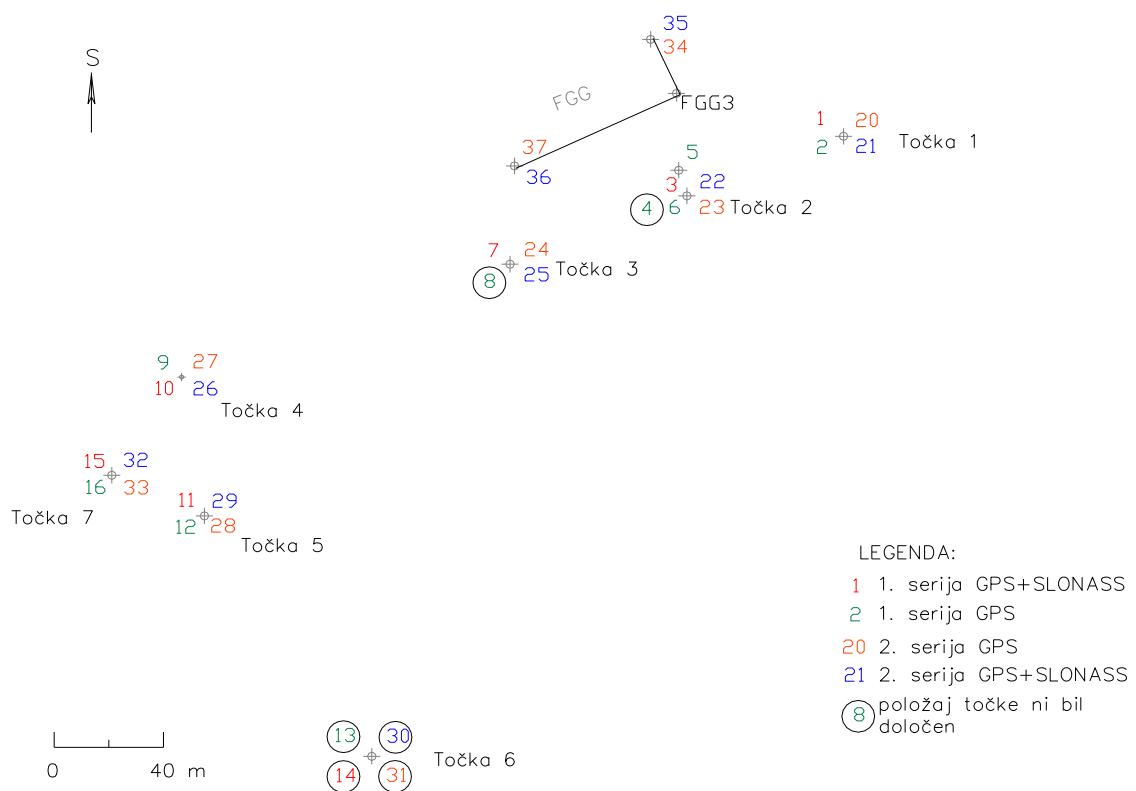
V drugem delu je sledila RTK metoda izmere, ki je bila izvedena v Ljubljani. Tukaj smo hoteli preveriti ali integracija opazovanj GPS/GLONASS pripomore k optimizaciji dela v območjih, kjer nam delo otežujejo raznovrstne ovire (visoke stavbe, drevesa). Kot prvo je bilo potrebno izbrati ugoden dan za izvajanje opazovanj, se pravi dan, ko bo na razpolago zadostno število satelitov sistema GLONASS. Spodnja slika prikazuje vidnost GPS in GLONASS satelitov nad Ljubljano za dan 26.6.2007 med 9.00 in 16.00 uro. Prav tako so s črko G označeni sateliti sistema GPS, s črko R pa sateliti sistema GLONASS.



Slika 3.4: Vidnost satelitov GPS in GLONASS dne 26.6.2007 [Trimble Total Control – Planning].

Z RTK metodo izmere smo izvedli dve ponovitvi opazovanj, kjer smo opazovali večje število točk v bližini Jamove ceste v Ljubljani. Ena serija opazovanj je bila sestavljena iz opazovanj na točki kot integrirana GPS/GLONASS in kot samostojna GPS meritev. Možnosti, da bi v realnem času opazovali samo satelite sistema GLONASS, instrumentarij ne dopušča. Druga serija opazovanj je bila enaka kot prva, razlika je bila le v času in s tem v drugačni razporeditvi satelitov obeh sistemov.

Na strehi fakultete smo na steber z oznako FGG3, ki ima znane koordinate, postavili referenčni sprejemnik. Premični sprejemnik smo preko radio modema povezali z referenčnim. S premičnim sprejemnikom smo nato izmerili vseh 7 točk, tako kot prikazuje spodnja slika. Točke so bile poljubno izbrane. Na vsaki od točk so se opazovanja izvajala 5 epoh (trenutkov), seveda v primerih, ko je bila inicializacija uspešna. Če na kateri od točk inicializacija ni bila uspešna, smo poskusili inicializacijo opraviti v bližini točke in nato povezavo prenesti na točko.



Slika 3.5: Lokacije točk, katerih koordinate so bile določene z RTK metodo izmere.





Slika 3.6: Približne lokacije točk, katerim smo z RTK metodo izmere določali koordinate, podlaga rastrska slika [www.geopedia.si].

Pri izbiri posameznih merskih točk je bilo pomembno, da so bile na območjih, kjer bi lahko bil sprejem satelitskih signalov oviran. Ovire na posamezni točki prikazuje spodnja preglednica. Klasificirane so glede na lego in velikost ovire ter oddaljenost ovire od točke.

Preglednica 3.3: Tabelarni prikaz ovir na posamezni točki detajlne RTK izmere.

Točka	Ovira	Lega	Velikost [m]	Oddaljenost [m]	Opombe
1	drevo	J	11	3	veje zelo nizko nad sprejemnikom
	stavba	J, JZ	8	5	
	semafor	V	3,5	2	
	stavba	S	8	25	
	stavba	SZ	9	20	
2	FGG	SZ	26	39	
	drevesa	SZ	13	18	
	drevo	SV	10	5	
	drevo	JZ	10	7	
	stavba	JV	10	5	
3	drevesa	J, JZ	15	3, 10	visoki iglavci

se nadaljuje ...

**... nadaljevanje**

	semafor	Z	3	4	
	drevo	SV	15	17	
	stavba	SV, V	10	25	
	FGG	S	26	41	
4	semafor	JV	3,5	2	krošnja se dotika sprejemnika  visoki listavci  v parku
	semafor	Z	3	2,5	
	drevo	S	2	3	
	drevo	S	10	4	
	stavba	S	9	5	
	drevesa	Z	10	25, 30	
	stavba	Z	8	18	
	stavba	JV	7	12	
	drevesa	JZ	15	60	
5	nadstrešek	J	3	2	v parku  ulica s stanovanjskimi hišami
	stavba	J	6	6	
	drevesa	Z	15, 17	40, 60	
	drevo	SZ	7	25	
	stavbe	S, SV, V	8	22 - 50	
6	drevo	SV	11	2	
	stavbe	S, SV, V	8	5 - 50m	
	drevo	SZ	10	5	
	stavba	JZ	8	10	
7	drevo	SV	7	20	krošnja se skoraj dotika sprejemnika
	drevo	JZ	10	15	
	drevo	Z	17	35	
	stavba	SZ, Z	10	45	

Spodnje slike prikazujejo posamezne poglede na situacijo pri RTK metodi izmere. Slike so posnete tako, da je vidnih čim več ovir na posamezni točki.



Slika 3.7: Pogled na Jamovo cesto v križišču z Groharjevo ulico (točki: 1, 2).



Slika 3.8: Pogled na Jamovo cesto v križišču z ulico Lepi pot.



Slika 3.9: Pogled po Jamovi cesti v smeri Viča (točka 4).



Slika 3.10: Pogled po ulici Lepi pot z Jamove ceste (točka 6).



Slika 3.11: Pogled na park (točka 7).



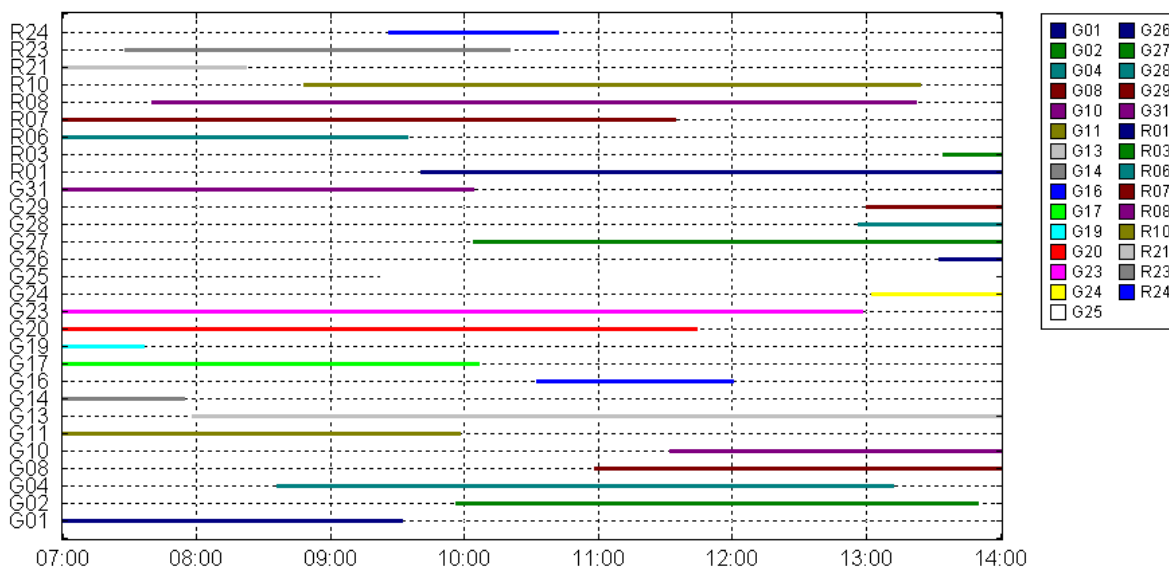
Slika 3.12: Pogled po Jamovi cesti v smeri proti Centru (točka 3).



Slika 3.13: Pogled po Langusovi ulici v smeri proti Rožniku (točka 4).

Poleg tega smo v eni seriji izvedli opazovanja za določitev koordinat točk FGG2 in FGG4 – stebra na strehi fakultete. Opazovanja smo izvajali 20 epoh, prvič kot integrirana GPS/GLONASS, drugič samo kot GPS. Pri izmeri teh dveh točk je bilo pomembno, da je bila v njuni bližini samo ena ovira, ki bi lahko ovirala sprejem signala. To je bil nadstrešek na strehi fakultete, ki je ob meritvah na FGG2 zakrival satelite nižje nad obzorjem z južne strani, na točki FGG4 pa satelite s severne strani.

Tretja metoda izmere je bila kinematična metoda. Opazovanja smo izvedli dne 5.7.2007 na strehi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Namen meritev je bil ugotoviti razpršenost koordinate točke FGG2 v času opazovanj glede na uporabljene satelite obeh sistemov. Na dveh stebrih, FGG2 in FGG3, smo stabilizirali dva sprejemnika. Na stebru FGG3 je bil referenčni sprejemnik, na stebru FGG2 pa pomični sprejemnik. Steber FGG3 je bil podan kot točka z znanimi koordinatami, medtem ko smo želeli ugotoviti koordinate točke (stebra) FGG2. Opazovanja so trajale od 7.33 ure do 13.05 ure.



Slika 3.14: Vidnost satelitov GPS in GLONASS dne 5.7.2007 [Trimble Total Control – Planning].

## 3.6 Obdelava opazovanj

Podatke opazovanj smo obdelali z dvema programskima paketoma, in sicer s Topcon Tools podjetja Topcon ter Trimble Total Control podjetja Trimble. Programska paketa sta posebej narejena za obdelavo GPS opazovanj, primerna pa sta tudi za obdelavo podatkov sistema GLONASS.

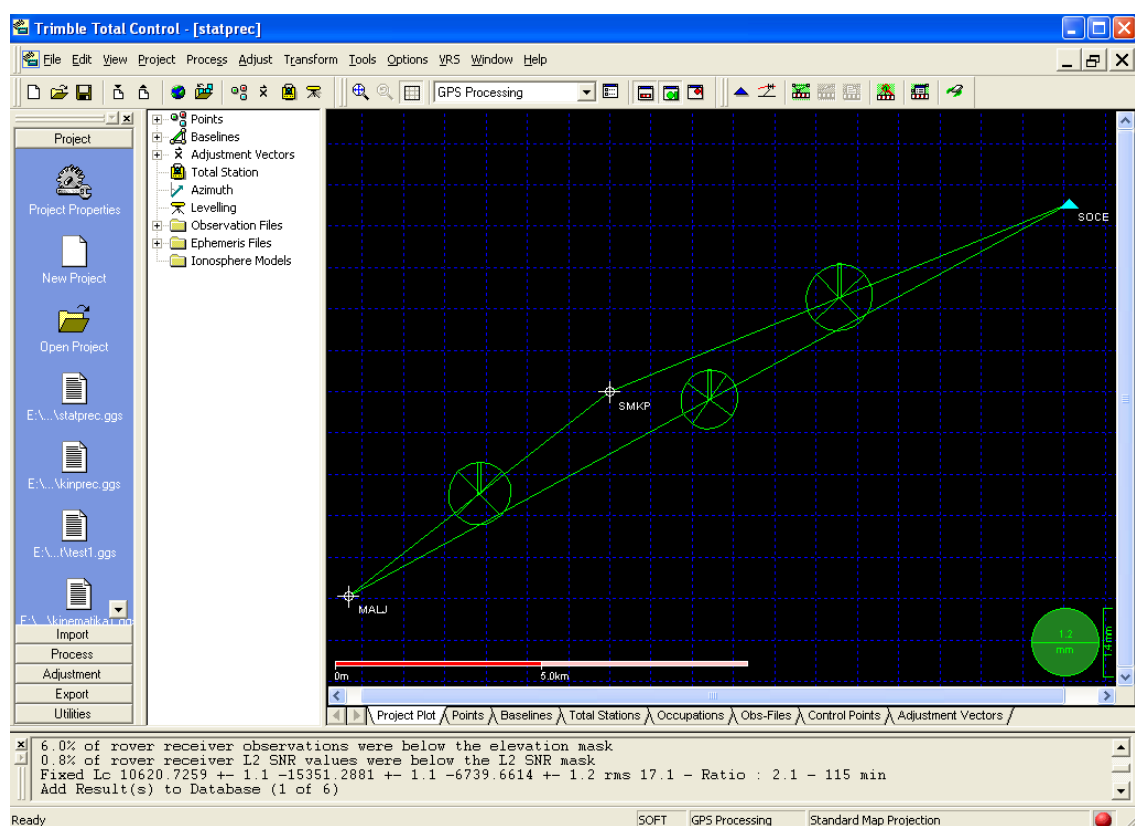
### 3.6.1 Opis programskih paketov

#### 3.6.1.1 Trimble Total Control

Programski paket Trimble Total Control zagotavlja možnost geodetske kontrole podatkov opazovanj in obdelave velike količine podatkov opazovanj v zelo kratkem času. Ponudi tudi obsežno analizo izračunov s preglednimi poročili v html obliki. Posebej je primeren za obdelavo obsežnih GPS (tudi GPS/GLONASS) mrež in dolgih vektorjev. V obdelavo je mogoče vključiti tudi podatke klasične tahimetrične izmere. Programski paket brez težav

obdelava tudi podatke pridobljene z instrumenti drugih proizvajalcev. Uporabljajo pa se lahko različni tipi anten, saj ima program dodane kalibracijske parametre za vse večje svetovne proizvajalce GPS merske opreme. Podpira večino GPS formatov podatkov in neodvisni RINEX format.

Med procesiranjem je mogoča kontrola obdelave podatkov, saj so na razpolago različna orodja za analiziranje rezultatov obdelav. Tehnike za analize satelitskih podatkov omogočajo polni dostop do surovih podatkov, ki so lahko prikazani tako numerično kot grafično. Poseben modul omogoča tudi direktni prenos podatkov s spleta, kot so precizne efemeride službe IGS, podatke ionosfere, ki jih pripravlja univerza v Bernu (IONEX), podatke virtualnih referenčnih postaj in tudi kontrolne koordinate. Nastavijo se lahko tudi drugi parametri, kot so troposferski modeli, načini obdelave podatkov, tip rešitve, tip efemerid, in drugo. Program ima vgrajenih tudi mnogo državnih koordinatnih sistemov, med katerimi pa žal ni slovenskega, ga pa je možno naknadno definirati.



Slika 3.15: Osnovno delovno okno programskega paketa Trimble Total Control.

Po obdelavi podatkov ob nadštevilnih meritvah je možna tudi izravnava po metodi najmanjših kvadratov tako proste kot vklopljene mreže, mogoče pa je tudi ločiti med horizontalno in višinsko izravnavo. Možna je izravnava v državnem koordinatnem sistemu. Programski paket lahko koordinate transformira v kateri koli globalni ali lokalni koordinatni sistem s pomočjo določene transformacije.

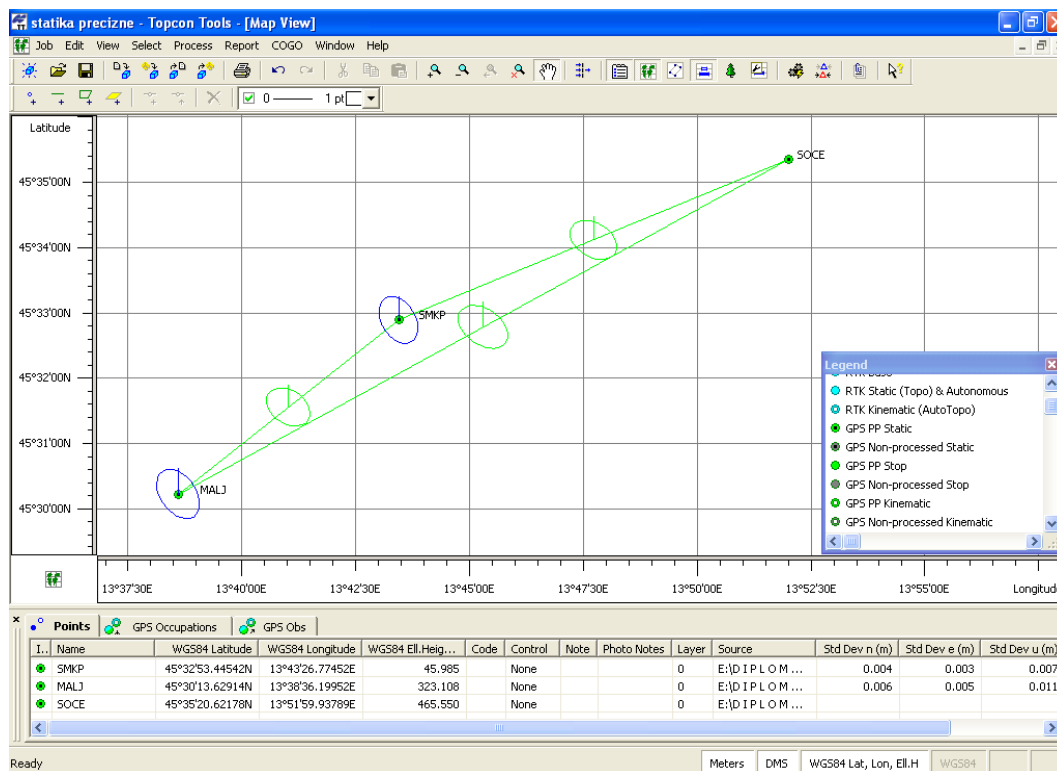
### 3.6.1.2 Topcon Tools

Programski paket Topcon Tools je lahek in zmogljiv programski paket za postprocesiranje podatkov meritev opravljenih s Topconovimi instrumenti. Zagotavlja okolje za obdelavo podatkov opazovanj in njihovo izravnavo. Tako je programski paket uporaben za postprocesiranje GPS in GPS/GLONASS opazovanj, procesiranje podatkov pridobljenih s tahimetri in njihovo kombinacijo z opazovanji satelitskih sistemov, izravnave mrež, prenos podatkov z in na računalnik oziroma instrument.

Podatki so lahko predstavljeni grafično in tabelarično. Tako lahko v tabelaričnem pogledu najdemo informacije o točkah, vektorjih in opazovanjih. Grafično se lahko prikaže oblika posnete mreže, točke in posamezni vektorji. Programski paket vsebuje CAD modul, ki je uporaben za izris načrtov iz posnetih točk in za pripravo podatkov za delo na terenu (zakoličbe,...). Ta programski paket vsebuje dodatne module, ki se v geodeziji pogosto uporabljajo. Na primer Design modul omogoča obdelavo in kreiranje digitalnih modelov površin. Dodan je tudi modul, ki omogoča obdelavo podatkov bližje slikovne fotogrametrije in laserskega skeniranja.

V okviru diplomske naloge nas je zanimala predvsem obdelava podatkov opazovanj statične in kinematične metode izmere. Za razliko od programskega paketa podjetja Trimble, je programski paket Topcon Tools zasnovan tako, da nastavitve obdelave opazovanj ni mogoče preveč spreminjati. Tako se je lahko spreminjal samo višinski kot satelita, tip in višina antene, vplivali pa smo lahko tudi na to, kateri sateliti bodo uporabljeni pri izračunih ter časovni intervali. Možno je nastavljanje želene natančnosti dobljenih rezultatov obdelave podatkov in izravnave. Kar se tiče ionsferskih in troposferskih modelov, so v programskem paketu

prednastavljeni in jih ni mogoče spreminjati. Prav tako ni mogoče vplivati na to, katero nosilno valovanje naj pri obdelavi podatkov opazovanj programski paket uporabi.



Slika 3.16: Osnovno delovno okno programskega paketa Topcon Tools.

### 3.6.2 Obdelava podatkov statične metode izmere

Obdelava podatkov opazovanj je v obeh programskih paketih potekala približno enako in je opisana v nadaljevanju.

Osnova za delo so pridobljeni surovi podatki meritev. Ob uvozu v aplikacijo se ti podatki razdelijo v podatke o opazovanjih, oddanih efemeridah in navigacijsko sporočilo. Ob vnosu podatkov se tudi nastavijo parametri o tipu anten in sprejemnikov, lahko se tudi popravljajo višine anten in označbe točk. Te nastavitve se lahko preverijo in po potrebi spremenijo tudi pred samo obdelavo opazovanj. Nato je potrebno zagotoviti precizne efemeride in v primeru dolgih vektorjev (nad 50 km) tudi model ionosfere. Ti podatki se lahko pridobijo na spletu na



uradnih internetnih straneh služb, ki zagotavljajo potrebne podatke (IGS, CODE, Univerza v Bernu, ...), v programskem paketu Trimble Total Control pa jih lahko preko vgrajenega modula samodejno snamemo s spleta. Precizne efemeride smo pridobili na spletu in sicer na uradni strani sistema GLONASS, v njihovem arhivu. Datoteka s preciznimi efemeridami je že vsebovala združene efemeride obeh sistemov. Format pridobljenih efemerid je potrebno za oba programska paketa tudi malo preurediti (s posebnim programom pretvoriti v starejši format), da jih program lahko uspešno prebere – to se je izkazalo kot ena od slabosti obeh programskih paketov.

Za referenčno točko smo izbrali točko na Socerbu, saj so opazovanja na njej trajala najdlje. Njene koordinate znašajo (UTM – 33N):

N: 5049015.697 m

E: 411594.759 m

h: 465.550 m

Za obdelavo vektorjev je najprej potrebno nastaviti parametre obdelave. Med obdelavo se lahko posamezni sateliti tudi odstranijo iz obdelave.

Po obdelavi vektorjev se vektorji obarvajo glede na kakovost obdelave, in sicer rdeče, če število neznank NŠCV ni določeno, rumeno v primerih fiksne rešitve NŠCV, ko so odstopanja dobljenih rezultatov večja kot v nastavitvah in zeleno, ko je določeno fiksno število NŠCV in pri obdelavi ni bilo napak. V zadnjem primeru se izrišejo tudi standardne elipse pogreškov posameznih vektorjev v vseh treh komponentah.

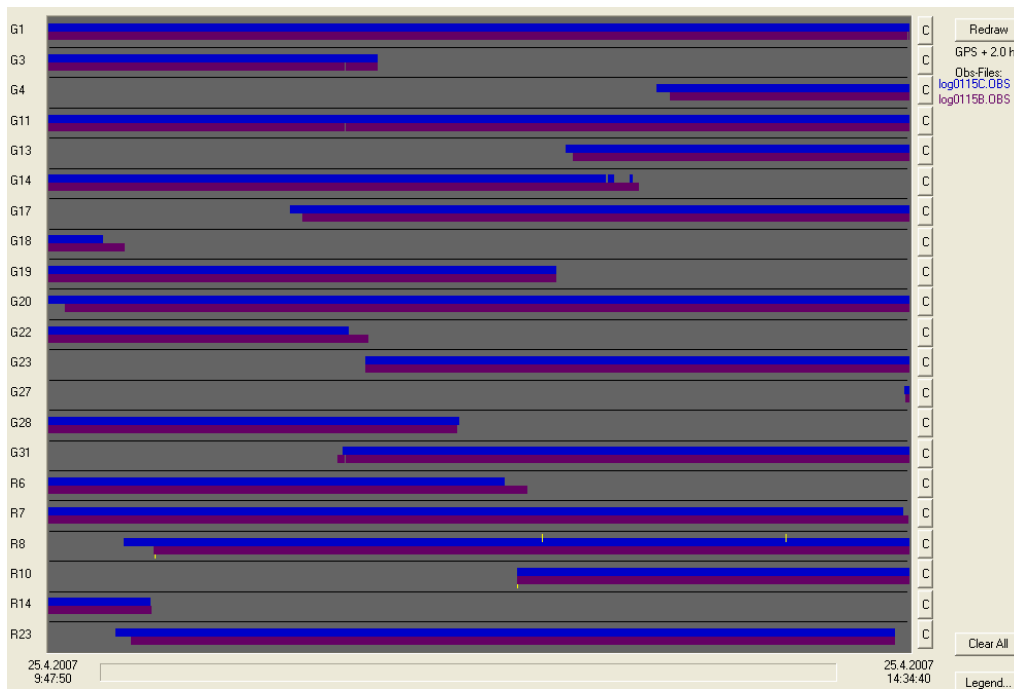
Rezultati obdelave vektorjev so: podatki o komponentah vektorjev, pripadajoči standardni odkloni, tip rešitve vektorja, razmerje med rešitvami, PDOP, RMS (angl. Root Mean Square), število satelitov pri obdelavi, ... Rezultati obdelave so prikazani tabelarično, lahko pa si ogledamo tudi lastnosti posameznega vektorja in tam pridobimo zelene rezultate. Programa lahko izdelata tudi standardna poročila in jih predstavita v obliki, ki jo programski paket podpira (.html, .txt, .doc, ...). Rezultati statične metode izmere so predstavljeni posebej v nadaljevanju.

Slabost programskega paketa Trimble Total Control, ki nam je onemogočila pridobivanje rezultatov opazovanj ob uporabi preciznih efemerid, je ta, da v programskem paketu nismo mogli uporabiti podatkov preciznih efemerid sistema GLONASS. Na ta način nam je bilo onemogočeno pridobivanje rezultatov statične kombinirane GPS/GLONASS izmere s pomočjo preciznih efemerid. Tako smo rezultate pridobili s pomočjo oddanih efemerid, za primerjavo pa smo imeli samo rezultate statične GPS izmere s preciznimi efemeridami in dane koordinate merjenih točk. Za rešitev problema smo zaprosili tudi podporni center podjetja Trimble, kjer pa nam žal niso znali pomagati.

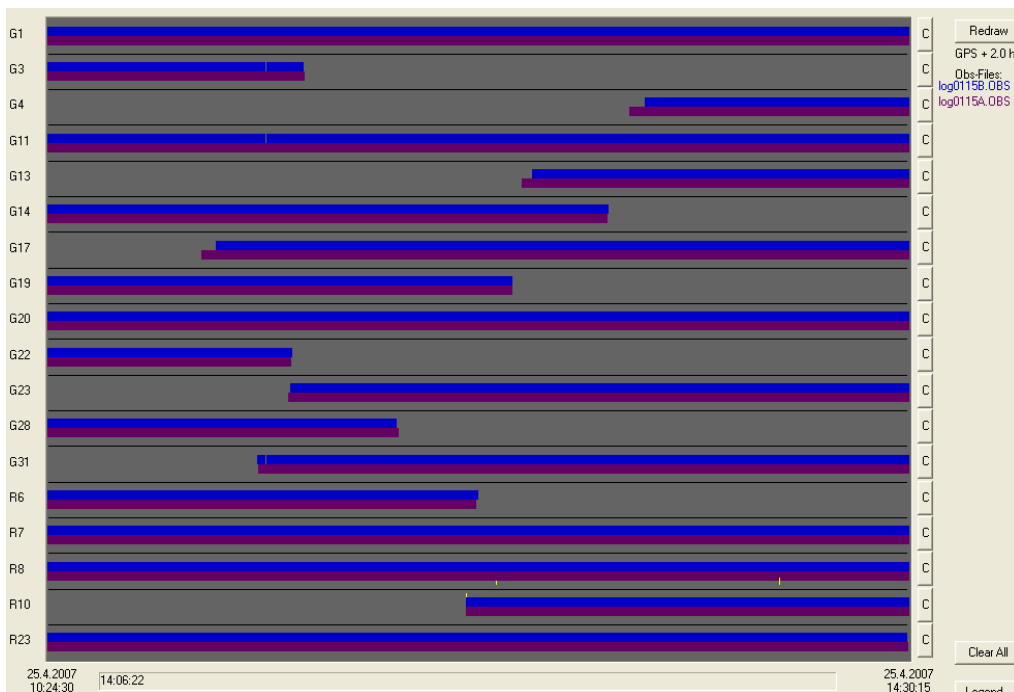
Zaradi tega problema smo podatke obdelali še s programskim paketom Topcon Tools, pri katerem pa smo naleteli na težavo, da ni bilo možno vplivati na model troposfere in ionosfere, saj sta ta dva modela prednastavljena. Obenem nas je motilo nepraktično izbiranje časovnih intervalov opazovanj ter vključevanje in izključevanje satelitov iz obdelave, saj je bilo potrebno ta dva parametra nastavljati za vsak satelit in za vsako stojišče posebej.

V obeh primerih je bila za vektorje uporabljena »iono-free« kombinacija opazovanj, le da je bila v programskem paketu Topcon Tools prednastavljena in uporabljena za vektorje daljše od 10 km. V programskem paketu Trimble Total Control pa smo lahko nastavili vrednost dolžine baznega vektorja, kjer se naj uporabi »iono-free« kombinacija opazovanj.

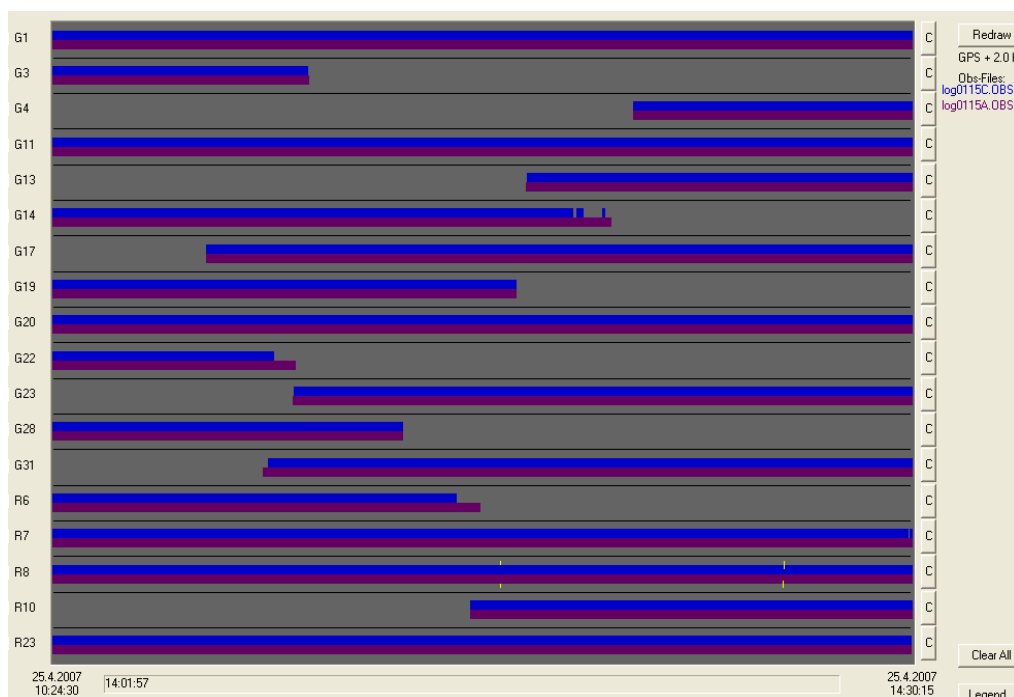
Spodaj je prikazana vidnost posameznih satelitov glede na posamezen vektor, ki ga tvorijo točke ( SOCE, MALJ ali SMKP). Podatki so prikazani za višinski kot  $10^\circ$ . Tako spodnja slika prikazuje sprejem signalov satelitov sistemov GPS in GLONASS v času izvajanja izmere, in sicer z vijolično barvo na točki SOCE in z modro barvo na točki SMKP. Sateliti sistema GPS imajo pred številko posameznega satelita oznako G, sateliti sistema GLONASS pa črko R.



Slika 3.17: Sprejem signalov satelitov na točkah SMKP (modra) in SOCE (vijolična) [Trimble Total Control].



Slika 3.18: Sprejem signalov satelitov na točkah MALJ (vijolična) in SOCE (modra) [Trimble Total Control].



Slika 3.19: Sprejem signalov satelitov na točkah MALJ (vijolična) in SMKP (modra)  
[Trimble Total Control].

Iz gornjih slik je razvidno, da sta ugodna časovna intervala, glede na vidnost satelitov sistema GLONASS, dva, in sicer od  $10^{25}$  do  $12^{00}$  ter od  $12^{30}$  do  $14^{30}$ . V tem času so na razpolago štiri sateliti sistema GLONASS. Za pridobivanje rezultatov izmere smo si zato izbrali tri različne primere, ki so:

- dva časovna intervala:  $10^{25} - 12^{00}$  in  $12^{30} - 14^{00}$
- dva višinska kota:  $10^\circ$  in  $15^\circ$
- tri variacije uporabljenih satelitov:
  - vsi sateliti sistema GPS
  - vsi razpoložljivi sateliti obeh sistemov
  - vsi sateliti sistema GLONASS in po potrebi en satelit sistema GPS.

### 3.6.3 Obdelava podatkov kinematične metode izmere

Obdelava podatkov kinematične metode izmere je bila zelo podobna obdelavi podatkov statične metode izmere, ki smo jo prav tako izvedli v obeh programskih paketih. V tem

primeru smo seveda opazovali samo en vektor, kjer je bila točka FGG3 znana, iskali pa smo koordinate točke FGG2. Po uvozu podatkov opazovanj v program je bilo najprej treba nastaviti parametre obdelave podatkov opazovanj, kot so višinski kot, interval registracije in tako naprej. Sledil je uvoz preciznih efemerid iz interneta. Ko je bilo vse pripravljeno, smo zagnali program. Kot rezultat obdelave podatkov smo pridobili množico koordinat točke FGG2, PDOP faktor, število satelitov med obdelavo podatkov in standardne odklone meritev, v programskem paketu Topcon Tools pa še rezultate o položajni in višinski natančnosti dobljenih rezultatov. Rezultati so tabelarično urejeni in prikazani v nadaljevanju.

Tudi v tem primeru programski paket Trimble Total Control ni zaznal podatkov preciznih efemerid sistema GLONASS. Tako smo se morali zadovoljiti z rezultati dobljenimi z oddanimi efemeridami, seveda pa smo za primerjavo lahko izračunali rezultate kinematične GPS izmere s preciznimi efemeridami.

## 4 REZULTATI MERITEV IN NJIHOVA INTERPRETACIJA

### 4.1 Rezultati statične metode izmere

Pri statični metodi izmere smo želeli predvsem odgovoriti na vprašanje, koliko vpliva na vrednosti komponent točk različno število satelitov sistema GPS in sistema GLONASS. Poleg tega nas je zanimalo, kako različna časovna intervala in različna višinska kota vplivajo na vrednosti komponent točk ter tudi razlike v pridobljenih koordinatah točk glede na uporabljen programski paket. Namenoma smo izpustili celotni drugi del izračuna koordinat točk, to je izravnavo GPS oziroma GPS/GLONASS trikotnika, saj za odgovore na zgornja vprašanja le ta ni bila potrebna. Rezultati so prikazani za vsako točko posebej, najprej za točko SMKP, ki je od točke SOCE v povprečju oddaljena 12027.27 m, nato pa še za točko MALJ, ki je od točke SOCE v povprečju oddaljena 19846.54 m. Ti razdalji sta večji od 10 km in so zato odpravljeni vplivi ionosfere z »iono-free« kombinacijo opazovanj.

Zaradi pomanjkljivosti programske opreme smo rezultate statične metode izmere pridobili tudi s pomočjo oddanih (angl. broadcast) efemerid. Tako smo za dva intervala opazovanj in dva višinska kota ter tri različne variante izbora satelitov pridobili dvanajst različnih rešitev za posamezen programski paket. Kjer je bilo mogoče, smo naredili tudi primerjavo rezultatov oddanih efemerid s preciznimi efemeridami v obeh programskih paketih.

V nadaljevanju so prikazani rezultati dobljeni s programskim paketom Topcon Tools ter primerjava le teh z rezultati Trimble Total Control. Rezultati so predstavljeni v UTM - 33N (angl. Universal Transverse Mercator) kartografski projekciji na WGS-84 elipsoidu. Rezultati so predstavljeni v Prilogi A, izvlečki pa so podani v nadaljevanju.

V splošnem bi se za potrebe centimetske točnosti statične metode izmere lahko uporabili podatki oddanih efemerid, vendar je potrebno pri tem poskrbeti tudi za kontrolo rezultatov. To kontrolo smo izvedli s pomočjo preciznih efemerid za primer rezultatov opazovanj satelitov sistema GPS ob višinskem kotu 15°.

Preglednica 4.1: Razlike v koordinatnih komponentah točke SMKP glede na uporabljene efemeride sistema GPS v obeh časovnih intervalih opazovanj.

Koordinate točke SMKP		Trimble Total Control		Topcon Tools	
		10 <sup>25</sup> - 12 <sup>00</sup>	12 <sup>30</sup> - 14 <sup>00</sup>	10 <sup>25</sup> - 12 <sup>00</sup>	12 <sup>30</sup> - 14 <sup>00</sup>
Oddane efemeride	N [m]	5044640.764	5044640.757	5044640.766	5044640.773
	E [m]	400403.529	400403.490	400403.529	400403.526
	h [m]	45.983	45.981	45.983	45.967
Precizne efemeride	N [m]	5044640.763	5044640.788	5044640.766	5044640.773
	E [m]	400403.530	400403.542	400403.529	400403.525
	h [m]	45.987	45.971	45.983	45.967
Razlike koordinat (oddane: precizne)	N [m]	0.001	-0.031	0.000	0.000
	E [m]	-0.001	-0.052	0.000	0.001
	h [m]	-0.004	0.010	0.000	0.000

V gornji preglednici so lepo vidne razlike pri uporabi oddanih in preciznih efemerid sistema GPS. Če primerjamo efemeride v programskem paketu podjetja Trimble, so v časovnem intervalu 10<sup>25</sup> - 12<sup>00</sup> razlike med obema vrstama efemerid minimalne do velikosti 0.4 cm po višinski komponenti. V časovnem intervalu 12<sup>30</sup> - 14<sup>00</sup> so razlike v komponenti N 3.1 cm, komponenti E 5.2 cm in v višinski komponenti 1.0 cm. Te razlike so zelo velike, tudi če jih primerjamo z rezultati programskega paketa Topcon Tools. Sami rezultati pridobljeni s tem programskim paketom se glede na uporabljene efemeride skoraj ne razlikujejo. Rezultati, pridobljeni na osnovi oddanih efemerid, se pri primerjavi obeh programskih paketov med seboj razlikujejo (časovni interval 10<sup>25</sup> - 12<sup>00</sup>) največ za 0.2 cm, rezultati preciznih efemerid pa za 0.4 cm, kar je malo.

#### 4.1.1 Vpliv časa izvajanja meritev

Najprej nas je zanimalo, koliko na rezultate vpliva čas izvajanja opazovanj oziroma dva različna časovna intervala opazovanj. Izbrali smo dva intervala, ki sta trajala približno uro in pol, prvi interval je trajal od 10<sup>25</sup> do 12<sup>00</sup>, drugi pa od 12<sup>30</sup> do 14<sup>00</sup>. Višinski kot satelitov je v

obeh primerih znašal  $15^\circ$ . Pri tem so se opazovanja, kot je bilo pričakovano, razlikovala že pri številu satelitov ter njihovo razporejenostjo in posledično tudi drugačnim PDOP faktorjem, razmerjem med prvo in drugo najboljšo rešitvijo, kvadratnim odklonom, ... Posledično so bile pričakovane tudi razlike v komponentah opazovanih točk. Rezultati obeh točk so prikazani v spodnjih preglednicah.

Preglednica 4.2: Primerjava koordinatnih komponent točke SMKP glede na čas izvajanja opazovanj.

Koordinate točke SMKP		Trimble Total Control		Topcon Tools	
		$10^{25} - 12^{00}$	$12^{30} - 14^{00}$	$10^{25} - 12^{00}$	$12^{30} - 14^{00}$
GPS	N [m]	5044640.764	5044640.757	5044640.766	5044640.773
	E [m]	400403.529	400403.490	400403.529	400403.526
	h [m]	45.983	45.981	45.983	45.967
GPS/GLONASS	N [m]	5044640.767	5044640.778	5044640.770	5044640.779
	E [m]	400403.530	400403.520	400403.531	400403.524
	h [m]	45.987	45.971	45.983	45.979
GLONASS	N [m]	5044640.777	5044640.778	5044640.794	5044640.783
	E [m]	400403.506	400403.529	400403.521	400403.526
	h [m]	46.001	46.017	45.981	45.996

Poudariti je potrebno, da v primeru oddanih efemerid programski paket podjetja Trimble ni izračunal rezultatov opazovanj sistema GLONASS brez uporabe vsaj enega satelita sistema GPS.

Izvajanje opazovanj v dveh časovnih intervalih spremeni rezultate opazovanj. Nanje predvsem vplivata različno število satelitov ter njihova geometrijska razporejenost na nebu, določen vpliv pa ima tudi algoritem programskega paketa, ki se uporabi pri pridobivanju rezultatov opazovanj. Najprej je prikazan vpliv algoritma posameznega programskega paketa. Tako so razlike koordinatnih komponent med rezultati pridobljenimi v enem in drugem programskem paketu za časovni interval  $10^{25} - 12^{00}$  ter za opazovanja GPS (10 satelitov)



največ 0.2 cm, za integrirana opazovanja GPS/GLONASS (15 satelitov) največ 0.4 cm ter v primeru satelitov sistema GLONASS (4 (+1) sateliti) celo do 2.0 cm. Ta velika razlika je predvsem posledica manjšega števila satelitov nad obzorjem. Malo drugačna slika se kaže v časovnem intervalu  $12^{30} - 14^{00}$ , kjer so razlike za sistem GPS (9 satelitov) večje in znašajo do 3.6 cm, v primeru GLONASS (4 sateliti) opazovanj pa je razlika v horizontalni komponenti manjša, do 0.5 cm, višinska komponenta pa je praktično nespremenjena. Večja odstopanja pri sistemu GPS so posledica neugodne razporeditve satelitov sistema GPS v časovnem intervalu  $12^{30} - 14^{00}$ . Iz tega lahko na kratko povzamemo, da so rezultati opazovanj neodvisni od programskega paketa, ki ga uporabimo za pridobivanje rezultatov opazovanj.

Vpliv časovnega intervala opazovanj na rezultate opazovanj je bolj izrazit v primeru programskega paketa podjetja Trimble, saj so v povprečju odstopanja koordinatnih komponent večja kot v programskem paketu Topcon Tools. Največje odstopanje v primeru časovnih intervalov programskega paketa Trimble Total Control je v primeru E komponente GPS opazovanj, in sicer 3.9 cm. Večje odstopanje se je pojavilo tudi v primeru GLONASS opazovanj, in sicer 2.3 cm v E komponenti. Ostala odstopanja niso presegla vrednosti 1.6 cm, polovica razlik je bila velikosti centimetra in manj. Na splošno so rezultati pridobljeni s programskim paketom Topcon Tools manj razpršeni. Iz rezultatov je razvidno, da so koordinatne komponente v časovnem intervalu  $10^{25} - 12^{00}$  bolj homogene od tistih v drugem časovnem intervalu  $12^{30} - 14^{00}$ , in sicer predvsem zaradi slabše geometrijske razporeditve in manjšega števila satelitov.

Tudi v primeru točke MALJ sta časovna intervala enaka. Višinski kot satelitov je v obeh primerih zopet znašal  $15^\circ$ , rezultati pa so pridobljeni s pomočjo oddanih efemerid. Rezultati obeh programskih paketov so prikazani v spodnji preglednici.

Preglednica 4.3: Primerjava koordinatnih komponent točke MALJ glede na čas izvajanja opazovanj.

Koordinate točke MALJ		Trimble Total Control		Topcon Tools	
		$10^{25} - 12^{00}$	$12^{30} - 14^{00}$	$10^{25} - 12^{00}$	$12^{30} - 14^{00}$
GPS	N [m]	5039812.136	5039812.138	5039812.142	5039812.139
	E [m]	394019.565	394019.558	394019.569	394019.565
	h [m]	323.093	323.093	323.108	323.088
GPS/GLONASS	N [m]	5039812.134	5039812.138	5039812.144	5039812.147
	E [m]	394019.563	394019.557	394019.571	394019.563
	h [m]	323.088	323.094	323.099	323.106
GLONASS	N [m]	5039812.129	5039812.138	5039812.152	5039812.164
	E [m]	394019.568	394019.557	394019.566	394019.556
	h [m]	323.076	323.094	323.085	323.073

Ob primerjavi rezultatov programskega paketa podjetja Trimble so v primeru GPS opazovanj (10, 11 satelitov) v horizontalni komponenti razlike velike do 0.7 cm, v višinski komponenti pa razlike v bistvu sploh ni. Če primerjamo rezultate istega programskega paketa v primeru integriranih opazovanj GPS/GLONASS (14, 15 satelitov) je v položajni komponenti ta razlika nekoliko manjša, in sicer 0.6 cm, ista razlika pa se pojavi tudi v višinski komponenti. Ob primerjavi rezultatov GLONASS (4 (+1) sateliti) opazovanj pa so razlike na splošno večje, in znašajo do 0.9 cm v horizontalni komponenti ter kar 1.8 cm v višinski komponenti. Prevladujoč razlog za večje razlike je v manjšem številu satelitov. Iz istega razloga tudi rezultati opazovanj sistema GLONASS (4 sateliti) izračunani v programskem paketu Topcon Tools pokažejo, da razlike znašajo okrog 1.2 cm v vseh treh komponentah. Razlike koordinatnih komponent integriranih opazovanj znašajo do 0.8 cm in so podobne razlikam dobljenim v programskem paketu Trimble Total Control. Pri razlikah rezultatov opazovanj sistema GPS pa pride v programskem paketu podjetja Topcon v višinski komponenti do precej velike razlike, ki znaša 2.0 cm, pri čemer najbolj odstopa višina dobljena v časovnem intervalu  $10^{25} - 12^{00}$ . Razlike v položajni komponenti pa so majhne, saj ne presegajo 0.4 cm.

#### 4.1.2 Vpliv višinskega kota

Pri analizi nas je zanimala tudi razlika koordinatnih komponent glede na višinski kot spremljanih satelitov, in sicer kolikšne so razlike, če uporabimo višinski kot  $10^\circ$  ali višinski kot  $15^\circ$ . Izračuni se nanašajo na interval izmere od  $10^{25}$  do  $12^{00}$  in oddane efemeride. Na splošno naj bi bili rezultati boljši ob višinskem kotu  $15^\circ$ , saj je v izračunih zmanjšan vpliv večpotja.

Tudi tukaj moramo poudariti, da je bilo potrebno v primeru opazovanj sistema GLONASS v programskem paketu Trimble Total Control uporabiti en satelit sistema GPS, da je bil izračun sploh mogoč.

Preglednica 4.4: Primerjava koordinatnih komponent točke SMKP ob različnem številu satelitov glede na višinski kot spremljanih satelitov.

Koordinate točke SMKP		Trimble Total Control		Topcon Tools	
		$10^\circ$	$15^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$
GPS	N [m]	5044640.761	5044640.764	5044640.764	5044640.766
	E [m]	400403.528	400403.529	400403.527	400403.529
	h [m]	45.992	45.983	46.010	45.983
GPS/GLONASS	N [m]	5044640.765	5044640.767	5044640.767	5044640.770
	E [m]	400403.530	400403.530	400403.531	400403.531
	h [m]	45.994	45.987	45.999	45.983
GLONASS	N [m]	5044640.772	5044640.777	5044640.788	5044640.794
	E [m]	400403.527	400403.506	400403.524	400403.521
	h [m]	45.996	46.001	45.982	45.981

Primerjava koordinatnih komponent posameznega programskega paketa pokaže, da so razlike rezultatov glede na uporabljen višinski kot v primeru GPS in integriranih GPS/GLONASS opazovanj pri horizontalni komponenti zelo majhne, in sicer do 0.3 cm. Pri višinski komponenti so te razlike večje, in znašajo do 2.7 cm. V primeru GLONASS opazovanj so tudi

razlike v horizontalni komponenti podobne ostalim, in znašajo do 0.6 cm, razen v programskem paketu podjetja Trimble, ko v primeru višinskega kota  $15^\circ$  v komponenti E ta razlika zelo odstopa od ostalih vrednosti, in sicer za približno 2 cm. Primerjava rezultatov obeh programskih paketov pokaže, da so razlike v višini zelo majhne, le do 0.5 cm, večje pa so razlike koordinatnih komponent v primeru GLONASS opazovanj. Razlog je najverjetneje v dejstvu, da smo pri obdelavi opazovanj v programskem paketu Trimble Total Control za sam izračun uporabili tudi en satelit sistema GPS. Prav tako se v primeru GLONASS opazovanj koordinatne komponente glede na ostala dva tipa opazovanj nekoliko razlikujejo, na splošno za več kot 1 centimeter. Razlog je v precej manjšem številu uporabljenih satelitov, in sicer 4 (+1 GPS), medtem ko je v primeru GPS opazovanj uporabljenih 11 satelitov, pri integriranih opazovanjih pa 15 satelitov.

V primeru točke MALJ se rezultati, prikazani v spodnji preglednici, nanašajo na interval izmere od  $10^{25}$  do  $12^{00}$  in oddane efemeride. Rezultati so prikazani za oba programska paketa.

Preglednica 4.5: Primerjava koordinatnih komponent točke MALJ ob različnem številu satelitov glede na višinski kot spremljanih satelitov.

Koordinate točke MALJ		Trimble Total Control		Topcon Tools	
		$10^\circ$	$15^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$
GPS	N [m]	5039812.134	5039812.136	5039812.141	5039812.142
	E [m]	394019.568	394019.565	394019.569	394019.569
	h [m]	323.093	323.093	323.126	323.108
GPS/GLONASS	N [m]	5039812.131	5039812.134	5039812.137	5039812.144
	E [m]	394019.566	394019.563	394019.572	394019.571
	h [m]	323.085	323.088	323.106	323.099
GLONASS	N [m]	5039812.125	5039812.129	5039812.149	5039812.152
	E [m]	394019.571	394019.568	394019.568	394019.566
	h [m]	323.067	323.076	323.080	323.085

Vpliv višinskega kota na opazovanja in posledično na izračunane koordinate točke MALJ je prikazan v gornji preglednici. Iz nje je razvidno, da v primeru programskega paketa Trimble Total Control in večjega števila satelitov skoraj ni razlik v izračunih koordinatnih komponent, saj razlike znašajo največ 0.3 cm. Do večjih razlik pride v primeru opazovanj sistema GLONASS, kjer je razlika v horizontalni komponenti do 0.4 cm, po višini pa 0.9 cm. V primeru programskega paketa Topcon Tools so rezultati nekoliko drugačni. Na splošno so razlike zelo majhne, do 0.7 cm, v primeru višinske komponente sistema GPS pa razlika znaša 1.8 cm, kar je posledica vpliva višinskega kota opazovanj  $10^\circ$ , ki omogoča večji vpliv odboja signala satelitov iz okolice.

#### 4.1.3 Primerjava z danimi koordinatami točk

Glede na to, da so bile točke SOCE, MALJ in SMKP uporabljene pri vzpostavitvi nove mareografske postaje v Kopru, obstajajo tudi »znane« koordinate točk MALJ in SMKP. Koordinate točke SOCE smo uporabili v izračunih kot koordinate dane točke. Spodnja preglednica tako vsebuje koordinate točk MALJ in SMKP kot referenčne in nadalje kot izračunane s pomočjo obeh programskih paketov v dveh trenutkih opazovanj ob različnem višinskem kotu ter z uporabljenimi oddanimi in preciznimi efemeridami. Rezultati so prikazani za vsako točko posebej v spodnjih preglednicah. Z oznakama T1 je zapisan časovni interval  $10^{25} - 12^{00}$ , s T2 pa interval  $12^{30} - 14^{00}$ . Označena so tudi opazovanja, in sicer sistema GPS, integrirane meritve GPS/GLONASS z G+G in sistema GLONASS z GLN.

Preglednica 4.6: Primerjava koordinatnih komponent točke SMKP izračunane v programskem paketu Trimble Total Control glede na dane koordinate.

Koordinate		N [m]	E [m]	h [m]
točke SMKP	<b>SMKP (dana)</b>	<b>5044640.775</b>	<b>400403.534</b>	<b>45.978</b>
	GPS, T1, $10^\circ$	5044640.761	400403.528	45.992

se nadaljuje ...

**... nadaljevanje**

Trimble Total Control	G+G, T1, 10°	5044640.765	400403.530	45.994
	GLN, T1, 10°	5044640.772	400403.527	45.996
	GPS, T1, 15°	5044640.764	400403.529	45.983
Oddane efemeride	G+G, T1, 15°	5044640.767	400403.530	45.987
	GLN, T1, 15°	5044640.777	400403.506	46.001
	GPS, T2, 10°	5044640.768	400403.524	45.967
	G+G, T2, 10°	5044640.777	400403.520	45.974
	GLN, T2, 10°	5044640.778	400403.529	46.017
	GPS, T2, 15°	5044640.757	400403.490	45.981
	G+G, T2, 15°	5044640.778	400403.520	45.971
Trimble Total Control Precizne efemeride	GLN, T2, 15°	5044640.778	400403.529	46.017
	GPS, T1, 10°	5044640.761	400403.530	45.994
	GPS, T1, 15°	5044640.763	400403.530	45.987
	GPS, T2, 10°	5044640.787	400403.542	45.975
	GPS, T2, 15°	5044640.788	400403.542	45.971

Razlike pri primerjavi dobljenih koordinat točke SMKP z danimi koordinatami so v primeru preciznih efemerid precej manjše kot v primeru oddanih efemerid, vendar je pri tem potrebno upoštevati, da so rezultati preciznih efemerid podani samo za opazovanja satelitov sistema GPS. Tako se komponenta N v primeru preciznih efemerid razlikuje od iste komponente dane točke za 1.4 cm, v primeru oddanih efemerid pa za 1.8 cm. V tem primeru razlike v komponenti N niso tako velike. V primeru komponente E točke SMKP je razlika v primeru oddanih efemerid kar 4.4 cm in se pojavi v primeru opazovanj satelitov sistema GPS v časovnem intervalu 12<sup>30</sup> - 14<sup>00</sup> ter pri višinskem kotu 15°. V primeru preciznih efemerid je največja razlika v komponenti E enaka 0.8 cm. Pri višinski komponenti je v primeru uporabljenih preciznih efemerid razlika največ 1.6 cm, v primeru oddanih efemerid pa je ta razlika zopet višja in znaša 3.9 cm. Razlog za večje razlike v komponentah N, E in h bi lahko bila neugodna razporeditev satelitov na nebu v intervalu opazovanj 12<sup>30</sup> - 14<sup>00</sup> in višinskem kotu 15°, saj se opisane razlike nanašajo ravno na ta interval. Seveda pa ni izključen pogrešek

tirnic satelitov, čeprav smo na začetku analize rezultatov dokazali, da so oddane efemeride satelitov prav tako uporabne za pridobivanje rezultatov izmere. V primeru integriranih opazovanj GPS/GLONASS se komponente točke SMKP v celoti še najbolj približajo danim vrednostim, saj se največja razlika, 1.6 cm, pojavi v višinski komponenti. V primeru opazovanj satelitov sistema GLONASS pa je najprej potrebno upoštevati, da je bil v izračunih dodan en satelit sistema GPS. Rezultati kažejo, da je odstopanje v komponenti N 0.3 cm, v komponenti E 2.8 cm in v višinski komponenti že prej omenjenih 3.9 cm, k čemer pripomore predvsem majhno število razpoložljivih satelitov (4 GLONASS, 1 GPS).

Preglednica 4.7: Primerjava koordinatnih komponent točke MALJ izračunane v programskem paketu Trimble Total Control glede na dane koordinate.

Koordinate točke MALJ		N [m]	E [m]	h [m]
	<b>MALJ (dana)</b>	<b>5039812.135</b>	<b>394019.565</b>	<b>323.120</b>
Trimble Total Control  Oddane efemeride	GPS, T1, 10°	5039812.134	394019.568	323.093
	G+G, T1, 10°	5039812.132	394019.566	323.085
	GLN, T1, 10°	5039812.125	394019.571	323.067
	GPS, T1, 15°	5039812.136	394019.565	323.093
	G+G, T1, 15°	5039812.134	394019.563	323.088
	GLN, T1, 15°	5039812.129	394019.568	323.076
	GPS, T2, 10°	5039812.137	394019.558	323.093
	G+G, T2, 10°	5039812.140	394019.560	323.093
	GLN, T2, 10°	5039812.140	394019.560	323.093
	GPS, T2, 15°	5039812.138	394019.558	323.093
	G+G, T2, 15°	5039812.138	394019.557	323.094
	GLN, T2, 15°	5039812.138	394019.557	323.094
Trimble Total Control  Precizne efemeride	GPS, T1, 10°	5039812.133	394019.568	323.110
	GPS, T1, 15°	5039812.135	394019.565	323.107
	GPS, T2, 10°	5039812.136	394019.558	323.107
	GPS, T2, 15°	5039812.137	394019.558	323.105

V primeru točke MALJ vrednosti koordinatnih komponent najbolj odstopajo v primeru rezultatov opazovanj sistema GLONASS v časovnem intervalu  $10^{25}$  -  $12^{00}$  in pri višinskem kotu  $10^\circ$ . Ta odstopanja znašajo v komponenti N do 1.0 cm, E do 0.8 cm in po višini do 5.3 cm. Seveda k tem razlikam veliko pripomore majhno število GLONASS satelitov (4), ki pa jim je dodan tudi en satelit sistema GPS. Odstopanja v ostalih primerih so v komponenti N do 0.6 cm, komponenti E do 0.8 cm ter po višini v primeru oddanih efemerid tudi do 4.4 cm. Vendar je potrebno poudariti, da so vrednosti višinske komponente v primeru oddanih efemerid zelo homogene in se v povprečju razlikujejo od dane vrednosti za 2.7 cm. V primeru preciznih efemerid pa višinska komponenta od dane vrednosti odstopa za okrog 1.3 cm, vrednosti pa so prav tako enakomerno razporejene. Tudi v primeru točke MALJ so s preciznimi efemeridami izračunane le koordinate, ki so bile pridobljene s sateliti sistema GPS. Pri koordinatnih komponent so odstopanja v smeri N do 0.2 cm in v smeri E do 0.7 cm. Večina rezultatov položajnih komponent je v okviru enega centimetra od danih vrednosti koordinat točke MALJ.

Preglednica 4.8: Primerjava koordinatnih komponent točke SMK P izračunane v programskem paketu Topcon Tools glede na dane koordinate.

Koordinate točke SMK P		N [m]	E [m]	h [m]
	<b>SMKP (dana)</b>	<b>5044640.775</b>	<b>400403.534</b>	<b>45.978</b>
Topcon Tools  Oddane efemeride	GPS, T1, $10^\circ$	5044640.764	400403.527	46.010
	G+G, T1, $10^\circ$	5044640.767	400403.531	45.999
	GLN, T1, $10^\circ$	5044640.788	400403.524	45.982
	GPS, T1, $15^\circ$	5044640.766	400403.529	45.983
	G+G, T1, $15^\circ$	5044640.770	400403.531	45.983
	GLN, T1, $15^\circ$	5044640.794	400403.521	45.981
	GPS, T2, $10^\circ$	5044640.772	400403.526	45.967
	G+G, T2, $10^\circ$	5044640.779	400403.524	45.985
	GLN, T2, $10^\circ$	5044640.791	400403.516	45.967

se nadaljuje ...



... nadaljevanje

	GPS, T2, 15°	5044640.773	400403.526	45.967
	G+G, T2, 15°	5044640.779	400403.524	45.979
	GLN, T2, 15°	5044640.783	400403.526	45.996
Topcon Tools	GPS, T1, 10°	5044640.764	400403.527	46.009
	G+G, T1, 10°	5044640.767	400403.530	46.005
	GLN, T1, 10°	5044640.777	400403.530	46.001
	GPS, T1, 15°	5044640.766	400403.529	45.983
	G+G, T1, 15°	5044640.770	400403.530	45.991
	GLN, T1, 15°	5044640.783	400403.526	46.000
Precizne efemeride	GPS, T2, 10°	5044640.772	400403.526	45.967
	G+G, T2, 10°	5044640.773	400403.527	45.982
	GLN, T2, 10°	5044640.545	400403.481	46.139
	GPS, T2, 15°	5044640.773	400403.525	45.967
	G+G, T2, 15°	5044640.773	400403.527	45.978
	GLN, T2, 15°	5044640.758	400403.537	46.032

Od vseh rezultatov najbolj odstopajo koordinatne komponente v primeru opazovanj satelitov sistema GLONASS s preciznimi efemeridami v časovnem intervalu 12<sup>30</sup> - 14<sup>00</sup> in pri višinskem kotu 10°. Odstopanja so zelo velika, največja v komponenti N, in sicer za 23 cm, v komponenti E za 5.3 cm in po višini za 16.1 cm. Te razlike so tako velike, da lahko to točko praktično izločimo iz rezultatov obdelave. Razloga za tako velika odstopanja sta najverjetneje majhno število satelitov in njihova neugodna razporejenost na nebu. V tem primeru smo za izračun rezultatov opazovanj sistema GLONASS morali uporabiti tudi en satelit sistema GPS za razliko od ostalih primerov, kjer so izračuni opravljeni le s štirimi sateliti sistema GLONASS. Drugače pa so razlike v koordinatnih komponentah točke SMK P z uporabljenimi oddanimi kot preciznimi efemeridami približno enake. Največji odklon v komponenti N znaša 1.9 cm, v komponenti E 1.8 cm, v višinski komponenti pa kar 5.4 cm in se pojavi v primeru rezultatov opazovanj sistema GLONASS v časovnem intervalu 12<sup>30</sup> - 14<sup>00</sup> pri višinskem kotu

15° in uporabljenih preciznih efemeridah. V tem primeru najbolj odstopa komponenta N. Komponenta E pa doseže ekstremno vrednost v primeru GLONASS opazovanj v istem časovnem intervalu in pri višinskem kotu 10° ter oddanih efemeridah. Koordinatne komponente so v primeru opazovanj sistema GLONASS nekoliko slabše, razlog pa je že naveden zgoraj. Drugače so rezultati dokaj homogeni, saj jih je večina v okviru enega centimetra glede na dane koordinate. Na osnovi gornje preglednice lahko zaključimo, da so dobljeni rezultati dobri.

Preglednica 4.9: Primerjava koordinatnih komponent točke MALJ izračunane v programskem paketu Topcon Tools glede na dane koordinate.

Koordinate točke MALJ		N [m]	E [m]	h [m]	
	<b>MALJ (dana)</b>	<b>5039812.135</b>	<b>394019.565</b>	<b>323.120</b>	
Topcon Tools	GPS, T1, 10°	5039812.141	394019.569	323.126	
	G+G, T1, 10°	5039812.137	394019.572	323.106	
	GLN, T1, 10°	5039812.149	394019.568	323.080	
	Oddane efemeride	GPS, T1, 15°	5039812.142	394019.569	323.108
		G+G, T1, 15°	5039812.144	394019.571	323.099
		GLN, T1, 15°	5039812.152	394019.566	323.085
		GPS, T2, 10°	5039812.138	394019.567	323.083
		G+G, T2, 10°	5039812.145	394019.564	323.105
		GLN, T2, 10°	5039812.173	394019.545	323.066
	GPS, T2, 15°	5039812.139	394019.565	323.088	
	G+G, T2, 15°	5039812.147	394019.563	323.106	
	GLN, T2, 15°	5039812.164	394019.556	323.073	
Topcon Tools	GPS, T1, 10°	5039812.141	394019.569	323.126	
	G+G, T1, 10°	5039812.139	394019.573	323.117	
	GLN, T1, 10°	5039812.133	394019.580	323.112	
	GPS, T1, 15°	5039812.142	394019.569	323.106	

se nadaljuje ...

### ... nadaljevanje

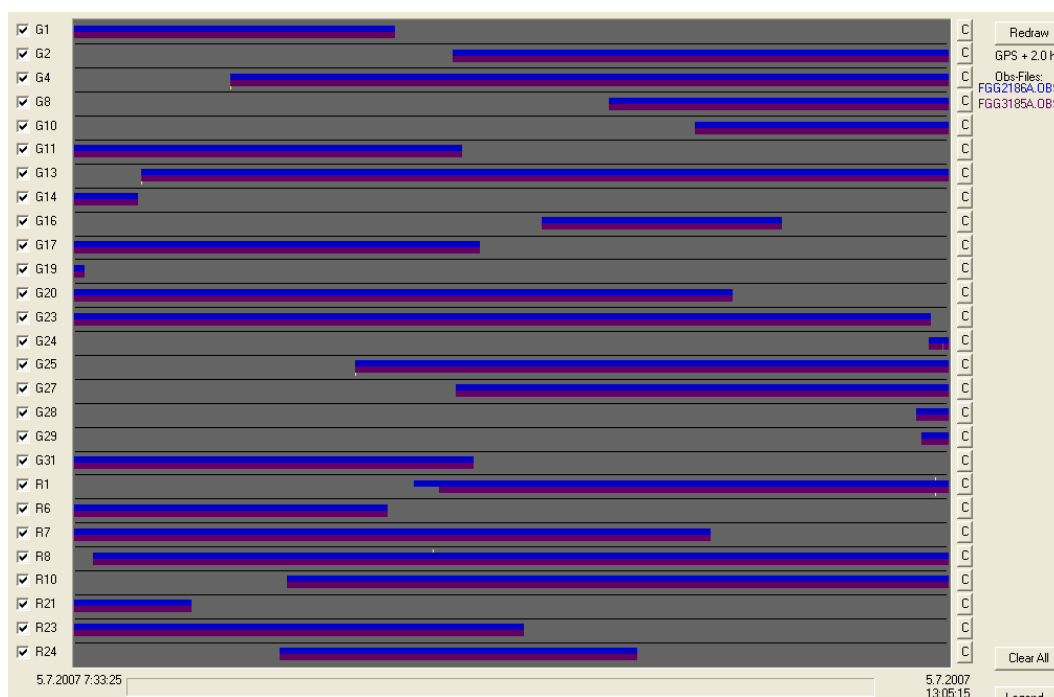
Precizne efemeride	G+G, T1, 15°	5039812.144	394019.571	323.112
	GLN, T1, 15°	5039812.136	394019.578	323.117
	GPS, T2, 10°	5039812.138	394019.566	323.083
	G+G, T2, 10°	5039812.138	394019.568	323.100
	GLN, T2, 10°	5039812.127	394019.570	323.125
	GPS, T2, 15°	5039812.139	394019.565	323.089
	G+G, T2, 15°	5039812.139	394019.568	323.099
	GLN, T2, 15°	5039812.121	394019.579	323.139

Tudi v tem primeru koordinatne komponente pridobljene iz opazovanj satelitov sistema GLONASS odstopajo od ostalih rezultatov. Razlog je omenjen že zgoraj, saj je situacija praktično enaka. V preglednici so lepo vidna odstopanja posameznih koordinatnih komponent od danih vrednosti. Tudi v tem primeru največje odstopanje v komponenti N znaša 3.8 cm, v komponenti E pa 2.0 cm in po višini 5.4 cm. Vsa odstopanja se nanašajo na rezultate opazovanj sistema GLONASS v časovnem intervalu 12<sup>30</sup> - 14<sup>00</sup>, pri višinskem kotu 10° in uporabljenih oddanih efemeridah. Če primerjamo rezultate v okviru centimetske točnosti glede na dane koordinatne komponente, so rezultati dobljeni iz preciznih efemerid znotraj tega centimetra, znotraj pa je tudi več kot polovica rezultatov opazovanj z uporabljenimi oddanimi efemeridami. Pri višinski komponenti so skoraj vse vrednosti zunaj centimetskega območja in je izračunana vrednost nekoliko nižja. Pri izračunu te točke v primeru programskega paketa podjetja Trimble je prikaz enak.

## 4.2 Rezultati kinematične metode izmere

Tako kot pri statični metodi izmere smo tudi pri kinematični metodi najprej naredili izračune z oddanimi efemeridami. Tudi tukaj smo izračunali položaje točke FGG2 tako, da smo najprej izračune izvedli samo s podatki satelitov sistema GLONASS, nato samo s podatki sistema

GPS in na koncu še s kombiniranimi GPS/GLONASS opazovanji. Tudi v primeru kinematične metode izmere smo uporabili oba programska paketa, Trimble Total Control ter Topcon Tools. Slika 4.1 prikazuje sprejem signalov satelitov sistemov GPS in GLONASS v času izvajanja izmere, in sicer z modro barvo na točki FGG2 in z vijolično barvo na točki FGG3. Sateliti sistema GPS imajo pred številko posameznega satelita oznako G, sateliti sistema GLONASS pa črko R.



Slika 4.1: Sprejem signalov satelitov na točkah FGG2 (modra) in FGG3 (vijolična) [Trimble Total Control].

#### 4.2.1 Izmera s sateliti sistema GLONASS

Kot je razvidno iz gornje slike, je bilo v času trajanja opazovanj nad obzorjem vidnih 8 satelitov sistema GLONASS. Zaradi slabih merskih razmer (neugodna razporejenost satelitov nad obzorjem) je bilo veliko število opazovanj neuporabnih, zato smo lahko pridobili rezultate samo v času med  $8^{55}$  in  $10^{20}$  uro. Tako smo iz približno eno in pol ure trajajočih opazovanj pridobili podatke za 1021 točk (v posameznih primerih tudi za 867 oziroma 1005 točk).

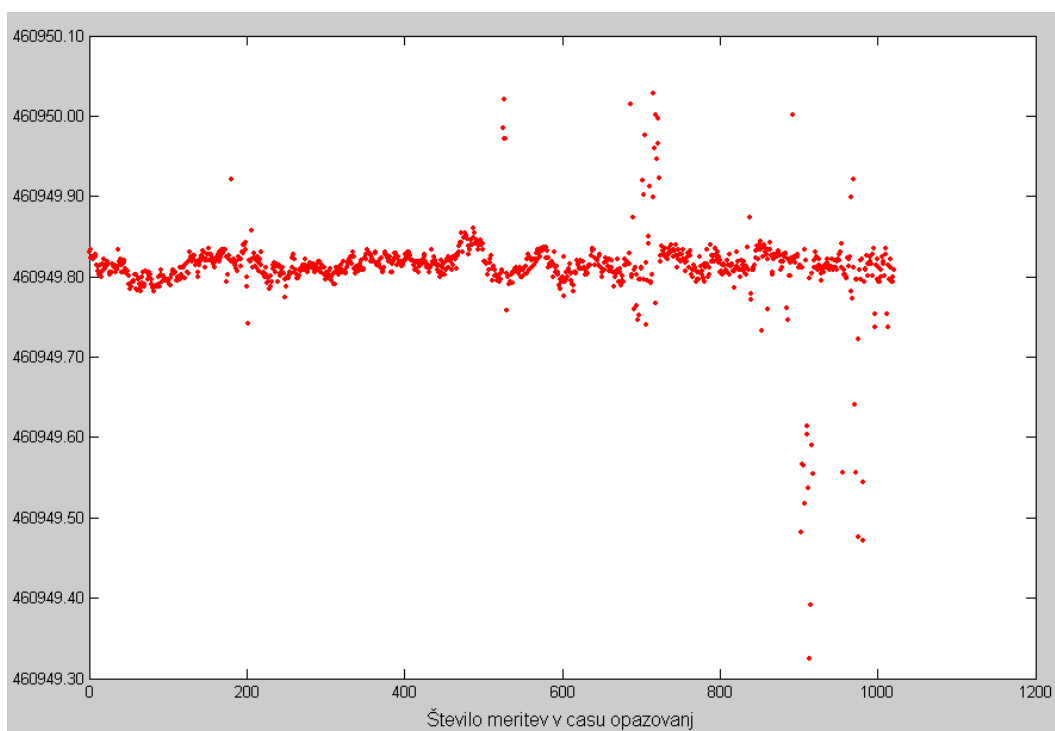
Rezultate smo zaradi lažje razumljivosti predstavili v UTM 33N kartografski projekciji na WGS – 84 elipsoidu. Točko FGG3 smo upoštevali kot fiksno z znanimi koordinatami:

N: 5099260.802 m

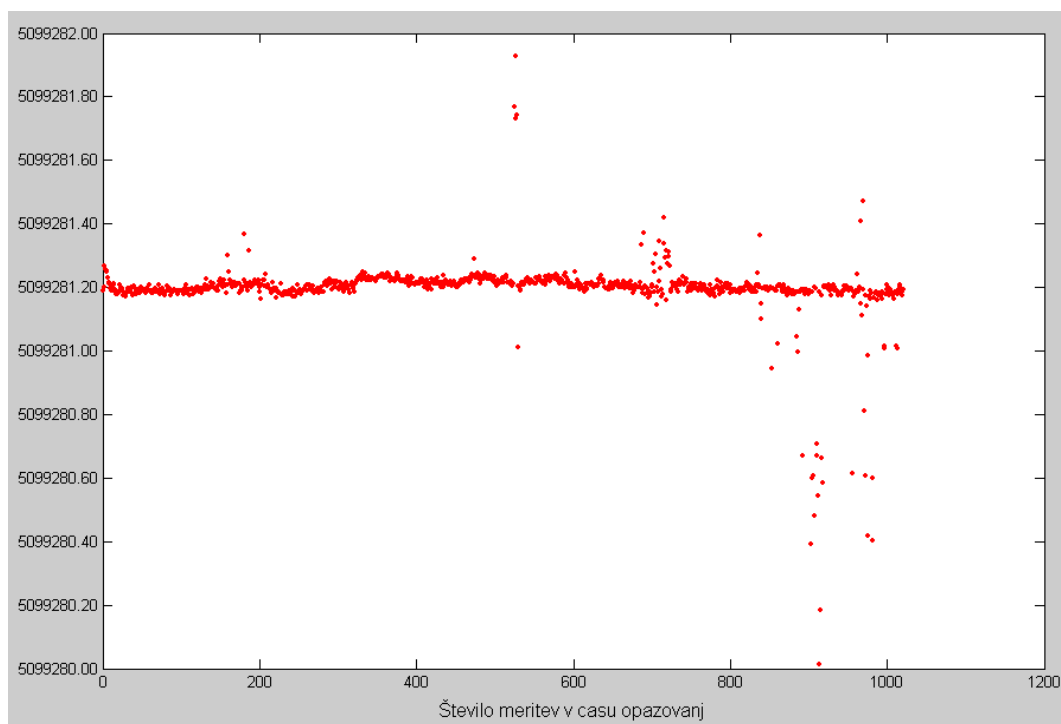
E: 460959.287 m

h: 367.524 m

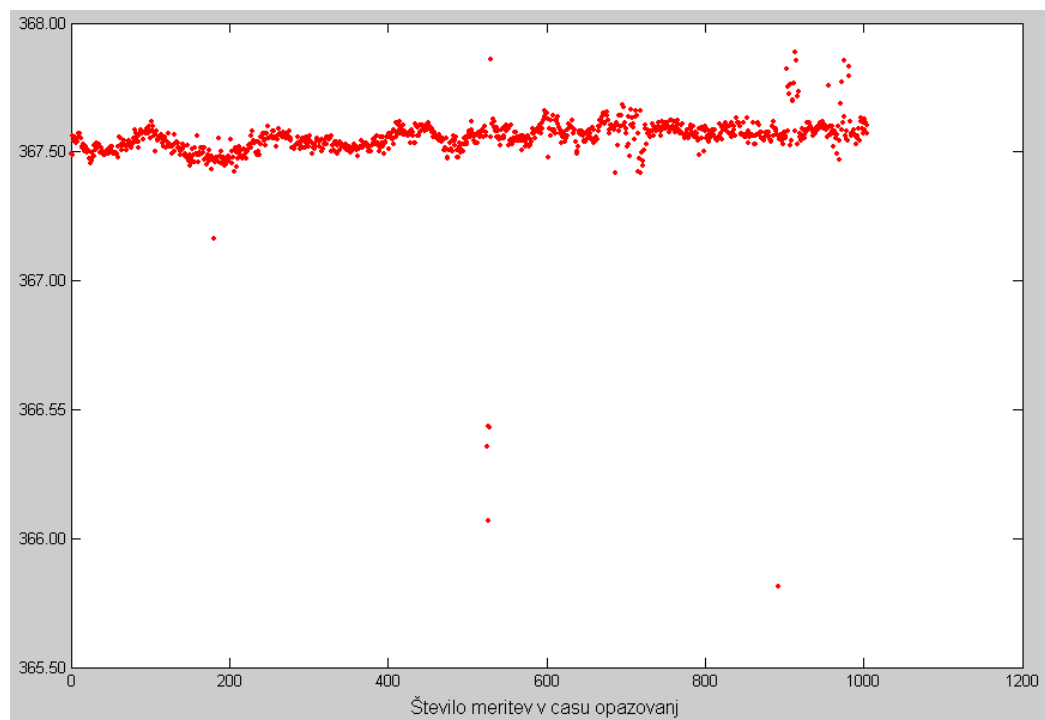
Glede na zmožnosti programskih paketov smo rezultate neodvisno pridobili za višinska kota  $10^\circ$  in  $15^\circ$ . Pri tem smo enkrat uporabili oddane, drugič pa precizne efemeride tirnic satelitov. Spodnje slike prikazujejo odstopanja meritev položaja točke FGG2 po koordinatnih oseh E, N in h pri uporabljenem višinskem kotu  $10^\circ$  ter preciznih efemeridah v programskem paketu Topcon Tools.



Slika 4.2a: Spreminjanje koordinate E v času GLONASS opazovanj na točki FGG2.



Slika 4.2b: Spreminjanje koordinate N v času GLONASS opazovanj na točki FGG2.



Slika 4.2c: Spreminjanje višine v času GLONASS opazovanj na točki FGG2.

Iz gornjih slik je lepo vidno spreminjanje rezultatov opazovanj v času izmere ter odstopanja posameznih vrednosti. Večja razpršenost se pojavlja v zadnji tretjini intervala opazovanj, kar bi lahko bila posledica slabe geometrijske razporeditve satelitov ali trenutne spremembe števila satelitov. Največja odstopanja dosežejo vrednost okrog 1.5 m, ki jih lahko opredelimo kot grobi pogrešek, odstranimo iz rezultatov opazovanj.

Ostali rezultati so v celoti prikazani v Prilogi B, na kratko pa so povzeti v spodnji preglednici. V njej so rezultati ločeni glede na višinski kot opazovanj, programski paket, ki je bil uporabljen pri obdelavi podatkov opazovanj ter vrsto efemerid. Prikazani so število dobljenih rezultatov in glede na to izračunane povprečne vrednosti posameznih komponent koordinat točke FGG2 ter odstopanja od njene povprečne vrednosti.

Preglednica 4.10: Prikaz rezultatov kinematične GLONASS izmere glede na uporabljen programski paket, efemeride in višinski kot.

Točka FGG2	Trimble Total Control		Topcon Tools	
Višinski kot 10°	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	-	867	1005
N [m]	5099281.203	-	5099281.221	5099281.195
E [m]	460949.814	-	460949.824	460949.811
h [m]	367.553	-	367.556	367.550
$\sigma_N$ [m]	0.005	-	0.047	0.106
$\sigma_E$ [m]	0.006	-	0.022	0.047
$\sigma_h$ [m]	0.015	-	0.032	0.110
Višinski kot 15°	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	-	867	1005

**se nadaljuje ...**

### ... nadaljevanje

N [m]	5099281.203	-	5099281.218	5099281.210
E [m]	460949.814	-	460949.823	460949.815
h [m]	367.553	-	367.557	367.552
$\sigma_N$ [m]	0.005	-	0.048	0.052
$\sigma_E$ [m]	0.006	-	0.024	0.028
$\sigma_h$ [m]	0.015	-	0.031	0.065

Kot je iz preglednice razvidno, manjkajo rezultati ob uporabi preciznih efemerid programskega paketa Trimble Total Control. Drugače pa je v danem časovnem intervalu bilo pridobljenih 1021 položajev točke FGG2. V primeru Topcon Tools s preciznimi efemeridami je rešitev manj, saj smo nekaj položajev točke FGG2 izločili kot grobe pogreške. Izločeni položaji točke FGG2 so od ostalih položajev vidno odstopali, in sicer do 7.5 m po N koordinati, 5.0 m po E koordinati in do 8.0 m po višini. Podobno vsebuje manj rezultatov tudi Topcon Tools z oddanimi efemeridami, in sicer samo 867 položajev točke FGG2. Razlog za tako malo rešitev je v prednastavljenih parametrih izračuna položaja točke, saj smo imeli nastavljene vrednosti natančnosti določitve položaja v horizontalni smeri na 0.03 m, po višini pa na 0.05 m v vseh primerih izračuna koordinat točke FGG2 s programskim paketom Topcon Tools. Iz rezultatov je razvidno, da so rezultati ob uporabi programskega paketa Trimble Total Control pri višinskem kotu 10° ali 15° enaki. Rezultate smo preverili in ugotovili, da sta izračunani povprečna vrednost koordinat in njihova standardna deviacija enaki, kljub različnim vrednostim dobljenih koordinat, vendar je enakost zgolj naključna. Dobljeni rezultati se ne razlikujejo toliko, da bi morali katere od rezultatov opazovanj izključiti. Največje razlike se pojavijo pri primerjavi rezultatov oddanih in preciznih efemerid ter višinskem kotu 10° ob uporabi programskega paketa Topcon Tools, in sicer v vrednosti 2.6 cm v komponenti N, 1.3 cm v komponenti E ter 0.6 cm po višini. Ob 15° višinskem kotu so te razlike veliko manjše, saj se povzpnejo do 0.8 cm. Naslednja večja razlika se je pojavila pri primerjavi obeh programskih paketov ob uporabljenih oddanih efemeridah in 10° višinskem kotu, kjer je za komponento N razlika znašala 1.8 cm. Razlike v ostalih dveh komponentah so bile manjše od enega centimetra. Razpršenost rezultatov je večja ob uporabi

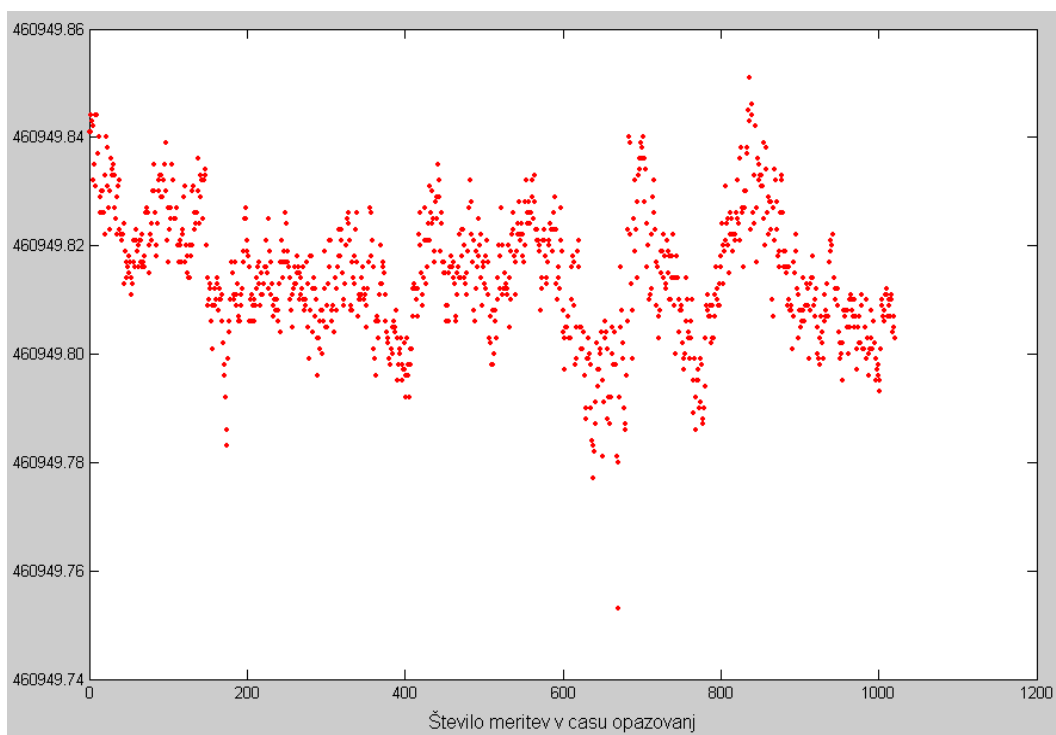


programskega paketa Topcon Tools in preciznih efemerid. Do tega pojava se ne moremo opredeliti, saj razpršenosti rezultatov opazovanj ne moremo primerjati s preciznimi efemeridami programskega paketa podjetja Trimble. Ob primerjavi z oddanimi efemeridami so razlike v koordinatnih komponentah do 4.3 cm, razpršenost pa je manjša pri uporabi programskega paketa Trimble Total Control.

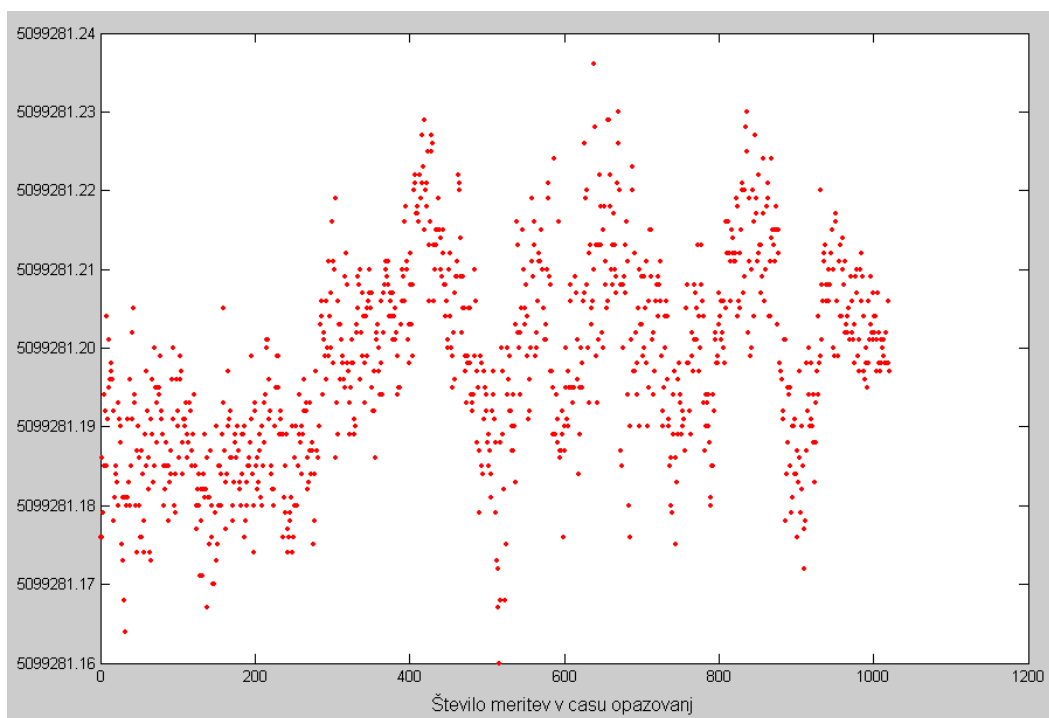
Na osnovi teh opazovanj lahko za pridobitev rezultatov ob uporabi sistema GLONASS zaključimo, da so rezultati neodvisni od vrste uporabljenega programskega paketa za pridobivanje rezultatov. Razlike so sorazmerne neodvisno uporabljene velikosti višinskega kota, le da so ob uporabljenem višinskem kotu  $15^\circ$  razlike v komponentah koordinat malo manjše, kar je razumljivo zaradi boljših pogojev ob izmeri. Zanimive so tudi razlike ob uporabi oddanih ter preciznih efemerid ob primerjavi med višinskima kotoma  $10^\circ$  in  $15^\circ$ , saj so razlike v komponentah koordinat oddanih efemerid manjše kot pri preciznih efemeridah.

#### 4.2.2 Izmera s sateliti sistema GPS

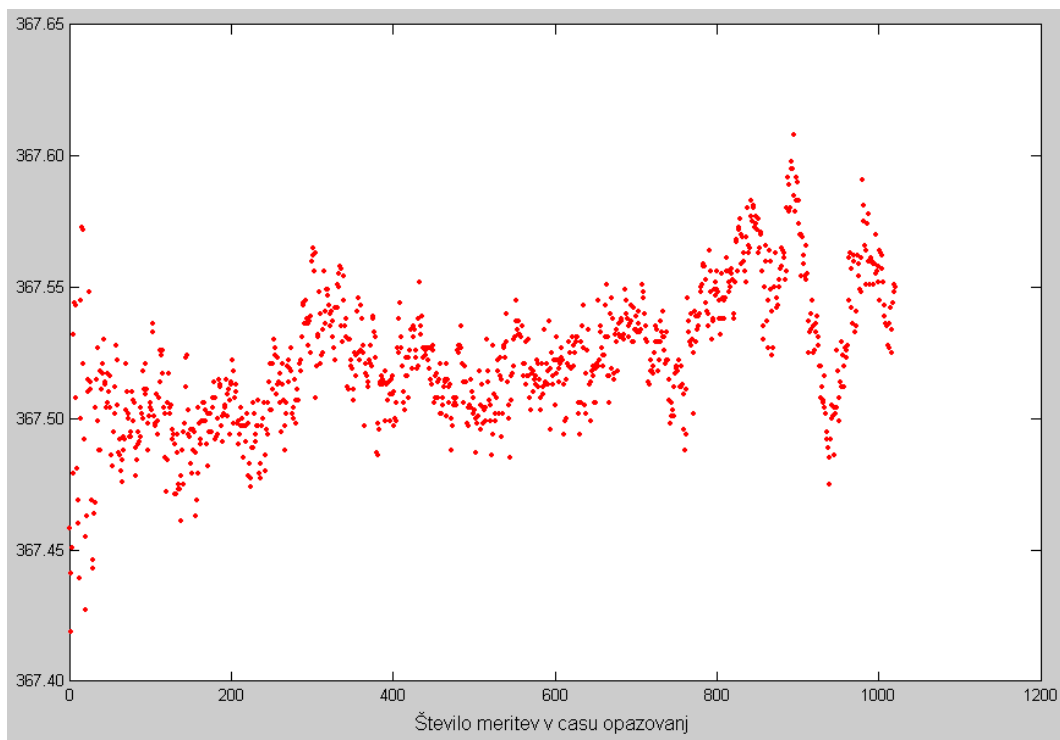
Pri kinematični izmeri točke FGG2 s podatki sistema GPS nismo imeli težav z neuporabnostjo podatkov opazovanj. Razlog je večje število satelitov v času izmere. Prav tako smo lahko koordinatne komponente točke FGG2 v programskem paketu Trimble Total Control pridobili na osnovi faznih opazovanj tako na L1 kot na L2 valovanju. Podrobneje pa je prikazan časovni interval med  $8^{55}$  in  $10^{20}$  uro, ker imamo za ta časovni interval tudi podatke GLONASS izmere. Najprej sta prikazani sliki razpršenosti položaja in višine točke FGG2 v primeru kinematične GPS izmere ob višinskem kotu  $10^\circ$  in preciznih efemeridah, uporabljenih v programskem paketu podjetja Topcon Tools.



Slika 4.3a: Spreminjanje koordinate E v času GPS opazovanj na točki FGG2.



Slika 4.3b: Spreminjanje koordinate N v času GPS opazovanj na točki FGG2.



Slika 4.3c: Spreminjanje višine GPS opazovanj na točki FGG2.

Ostali grafični rezultati GPS metode izmere so predstavljeni v Prilogi B. V tem delu pa sta na kratko prikazani dve preglednici, ki povzemata te rezultate. Prva prikazuje rezultate, ki so ločeni glede na višinski kot opazovanj, programski paket ter vrsto efemerid, uporabljena pa so opazovanja na L1 valovanju. Prikazani so število dobljenih rezultatov, na osnovi katerih so izračunane povprečne vrednosti posameznih koordinatnih komponent točke FGG2 ter odstopanja od njene povprečne vrednosti. V drugi preglednici pa so predstavljeni rezultati opazovanj v časovnem intervalu GLONASS izmere glede na celotni čas izmere ter ob uporabi oddanih in preciznih efemerid ob nastavljenem višinskem kotu  $10^\circ$ .

Preglednica 4.11: Prikaz rezultatov kinematične GPS izmere točke FGG2 glede na uporabljen programski paket, efemeride in višinski kot.

Točka FGG2	Trimble Total Control		Topcon Tools	
Višinski kot 10°	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	1021	1029	1021
N [m]	5099281.203	5099281.203	5099281.206	5099281.198
E [m]	460949.815	460949.815	460949.812	460949.814
h [m]	367.539	367.539	367.552	367.522
$\sigma_N$ [m]	0.005	0.005	0.011	0.013
$\sigma_E$ [m]	0.004	0.004	0.011	0.012
$\sigma_h$ [m]	0.008	0.008	0.030	0.026
Višinski kot 15°	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	1021	1029	1021
N [m]	5099281.203	5099281.203	5099281.205	5099281.199
E [m]	460949.816	460949.816	460949.807	460949.817
h [m]	367.538	367.538	367.539	367.508
$\sigma_N$ [m]	0.006	0.006	0.011	0.018
$\sigma_E$ [m]	0.004	0.004	0.012	0.011
$\sigma_h$ [m]	0.010	0.010	0.037	0.029

Iz zgornje preglednice je razvidno, da so rezultati opazovanj v programskem paketu Trimble Total Control v primeru oddanih in preciznih efemerid praktično identični. Razlike pri višinskem kotu 10° ali 15° pri uporabi programskega paketa Trimble Total Control niso velike, saj prihaja do razlike v položajni komponenti točke FGG2 v okviru milimetra. Ob uporabi programskega paketa Topcon Tools so te razlike večje, saj razlike ob uporabi oddanih efemerid znašajo do 0.5 cm po horizontalni komponenti ter nekaj več po višini, in sicer do 1.3 cm. V primeru uporabe preciznih efemerid so te razlike v horizontalni komponenti do 0.3 cm ter po višini do 1.4 cm. Same vrednosti posameznih komponent položaja točke FGG2 v komponenti N znašajo do 0.8 cm, v komponenti E do 0.3 cm ter po višini do 3.0 cm ob uporabljenem višinskem kotu 10°. V primeru višinskega kota 15° so razlike v komponenti N

do 0.6 cm, v komponenti E do 1.0 cm ter po višini do 3.1 cm. Najbolj odstopa višinska komponenta, razlike pa se pojavljajo v primeru uporabe oddanih in preciznih efemerid v programskem paketu Topcon Tools (tega v primeru rezultatov opazovanj sistema GLONASS ni zaznati). Razpršenost opazovanj glede na izračunane standardne deviacije komponent točke FGG2 kažejo večjo razpršenost rezultatov izračunanih v programskem paketu Topcon Tools in to v višinski komponenti. Vendar zaradi nezanesljivih rezultatov opazovanj izračunanih s programskim paketom Trimble Total Control ne moremo zaključiti, da bi bili rezultati izračunani s Topcon Tools slabi.

Preglednica 4.12: Prikaz rezultatov kinematične GPS izmere točke FGG2 glede na uporabljen programski paket in čas meritev.

Točka FGG2	Trimble Total Control		Topcon Tools	
Čas. interval $8^{55} - 10^{20}$	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	1021	1029	1021
N [m]	5099281.208	5099281.208	5099281.206	5099281.198
E [m]	460949.814	460949.814	460949.812	460949.814
h [m]	367.566	367.566	367.552	367.522
$\sigma_N$ [m]	0.004	0.004	0.011	0.013
$\sigma_E$ [m]	0.003	0.003	0.011	0.012
$\sigma_h$ [m]	0.005	0.005	0.030	0.025
Celotni čas izmere	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	3980	3980	3973	3973
N [m]	5099281.208	5099281.208	5099281.204	5099281.204
E [m]	460949.814	460949.814	460949.817	460949.817
h [m]	367.562	367.562	367.524	367.524

**se nadaljuje ...**

**... nadaljevanje**

$\sigma_N$ [m]	0.004	0.004	0.017	0.017
$\sigma_E$ [m]	0.003	0.003	0.015	0.015
$\sigma_h$ [m]	0.006	0.006	0.037	0.037

V primeru celotnega časa izmere so rezultati posameznega programskega paketa identični. To je posledica zaokrožitve rezultatov (na tri decimalke) in dejstva, da se rezultati v osnovi zelo malo razlikujejo. Vrednosti dobljenih koordinat se v horizontalni komponenti z večjim številom opazovanj praktično izenačijo, razlikujejo se do 0.4 cm. Po višini so razlike večje, in znašajo do 3.8 cm. Glede na interval  $8^{55} - 10^{20}$  se razpršenost opazovanj ne zmanjša, ampak se celo malo poveča, kar je posledica večjega števila rezultatov opazovanj. Če primerjamo interval s celotnim časom opazovanj v primeru uporabe programskega paketa podjetja Trimble, ni razlik v horizontalni komponenti določitve položaja točke FGG2, po višini pa se razlikujeta za 0.4 cm. V primeru Topcon Tools so razlike v horizontalni komponenti do 0.5 cm, po višini pa v primeru oddanih efemerid 2.8 cm, v primeru preciznih efemerid pa 0.2 cm. Ob daljšem časovnem intervalu opazovanj se praktično izenači horizontalni položaj točke FGG2, v višini pa ostanejo razlike okrog 3.8 cm.

Iz tega lahko zaključimo, da daljši časovni interval opazovanj nima večjega vpliva na rezultate opazovanj, saj so rezultati praktično enaki. Tako lahko zaključimo, da so rezultati dobljeni v časovnem intervalu  $8^{55} - 10^{20}$  dobri.

Programski paket Trimble Total Control ima še to lastnost, da lahko rezultate opazovanj pridobimo ločeno na opazovanjih L1 in L2. Zato nas je zanimalo, koliko se razlikujejo rezultati ob uporabi opazovanj ločeno na obeh valovanjih ob višinskem kotu  $10^\circ$  in  $15^\circ$  ter ob uporabi oddanih ali preciznih efemerid. Rezultati so prikazani v spodnji preglednici.

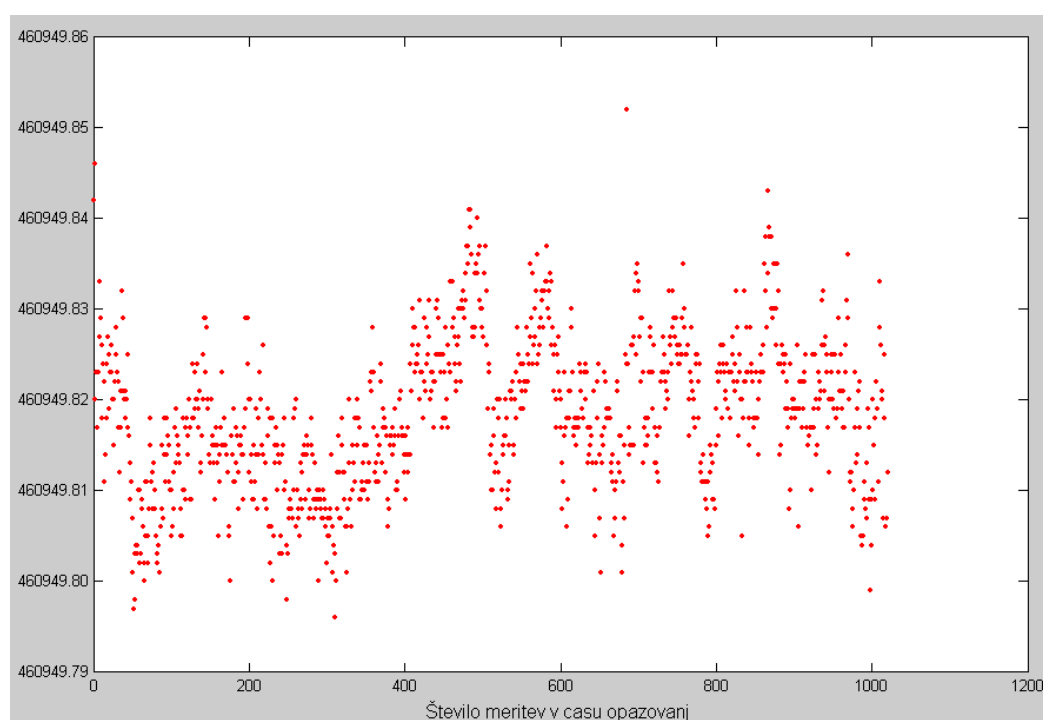
Preglednica 4.13: Prikaz rezultatov kinematične GPS izmere točke FGG2 glede na uporabljeno nosilno valovanje, višinski kot in efemeride.

Točka FGG2	Nosilno valovanje L1		Nosilno valovanje L2	
Višinski kot 10°	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	1021	1021	1021
N [m]	5099281.203	5099281.203	5099281.209	5099281.209
E [m]	460949.815	460949.815	460949.814	460949.814
h [m]	367.539	367.539	367.566	367.566
$\sigma_N$ [m]	0.005	0.005	0.004	0.004
$\sigma_E$ [m]	0.004	0.004	0.003	0.003
$\sigma_h$ [m]	0.008	0.008	0.005	0.005
Višinski kot 15°	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	1021	1021	1021
N [m]	5099281.203	5099281.203	5099281.208	5099281.208
E [m]	460949.816	460949.816	460949.813	460949.813
h [m]	367.537	367.537	367.569	367.569
$\sigma_N$ [m]	0.005	0.005	0.005	0.005
$\sigma_E$ [m]	0.004	0.004	0.003	0.003
$\sigma_h$ [m]	0.010	0.010	0.007	0.007

Iz preglednice 4.13 je razvidno, da praktično ni razlike katere efemeride uporabimo. Rezultati se minimalno razlikujejo, kar pa se zaradi zaokrožitve decimalk ne vidi. Prav tako ni razlike v višinskem kotu opazovanj, saj se rezultati razlikujejo največ za 0.3 cm po višini. Je pa manjša razlika v horizontalnem položaju, ki je odvisna od tega, katero valovanje privzamemo kot nosilno. Ta razlika znaša največ 0.6 cm. Razlika pa je večja v višinski komponenti položaja točke FGG2 in znaša 3.2 cm. Če primerjamo višinski komponenti valovanj L1 in L2 z višinskimi komponentami pridobljenimi s programskim paketom podjetja Topcon, jim je bližje nosilno valovanje L1. Tudi izbira različnega nosilnega valovanja pri izvajanju opazovanj ne vpliva bistveno na razpršenost komponent položaja točke FGG2. Pri tem velja omeniti, da bil mogoč izračun iz podatkov satelitov sistema GLONASS na L2 valovanju.

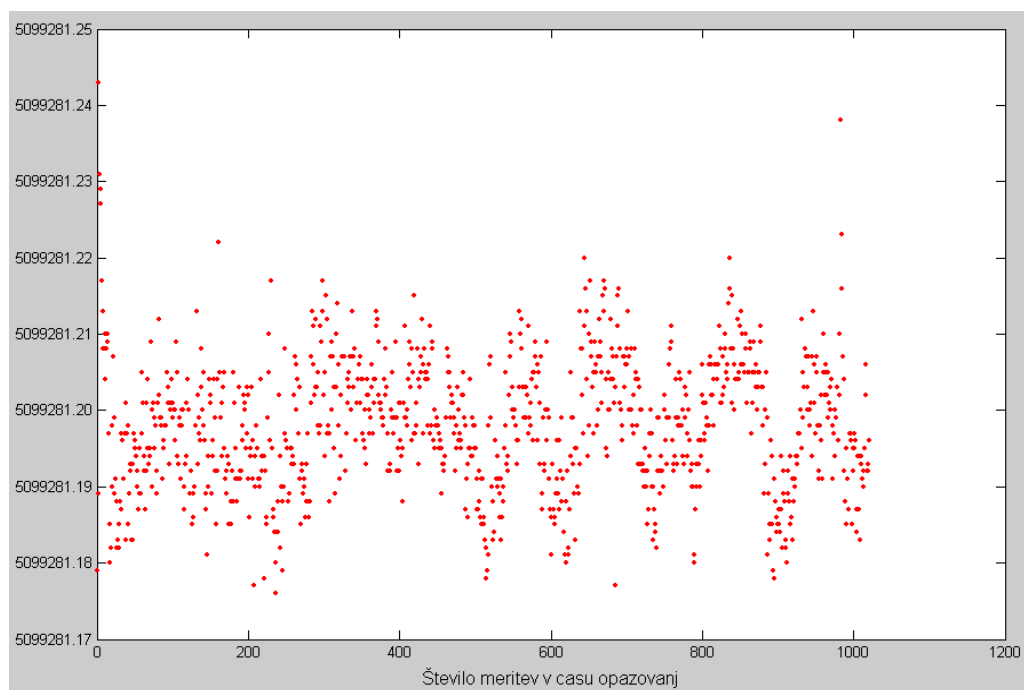
### 4.2.3 Integracija meritev GPS/GLONASS

Pri integraciji meritev GPS/GLONASS za časovni interval opazovanj  $8^{55}-10^{20}$  bomo predstavili rezultate za dva različna višinska kota,  $10^\circ$  in  $15^\circ$ , izračunanih v obeh programskih paketih. Rezultati so zaradi preglednosti predstavljeni tabelarično, v nadaljevanju pa so predstavljene slike razpršenosti položaja in višine točke FGG2 pridobljene s programskim paketom Topcon Tools s preciznimi efemeridami in  $10^\circ$  višinskim kotom. Ostali rezultati so prikazani v Prilogi B.

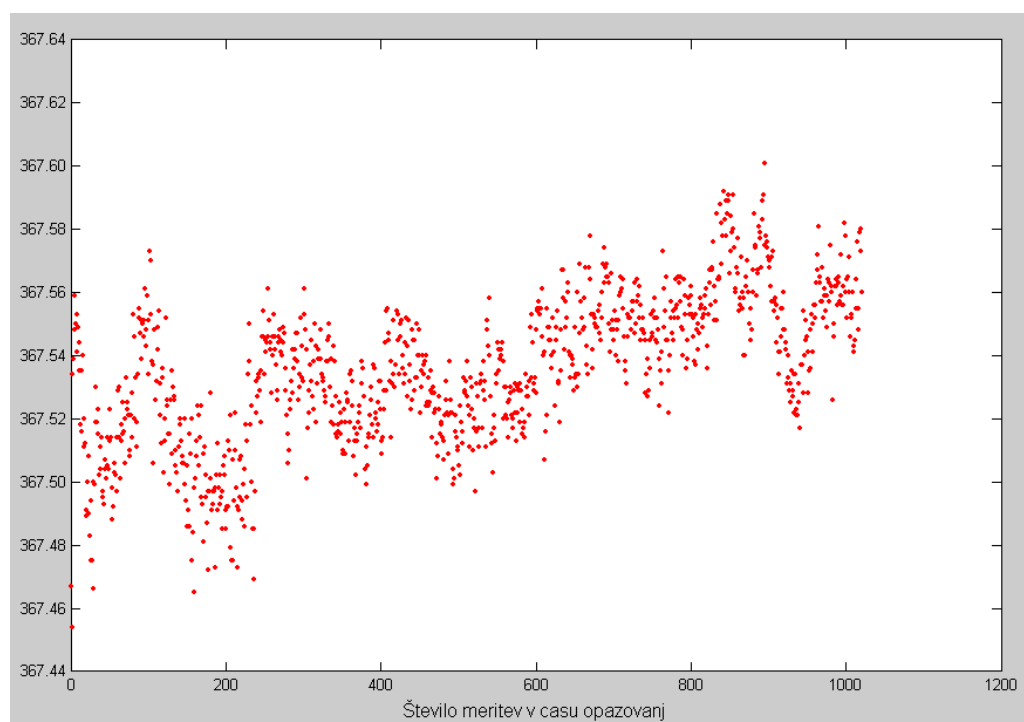


Slika 4.4a: Spreminjanje koordinate E v času integriranih GPS/GLONASS opazovanj na točki FGG2.





Slika 4.4b: Spreminjanje koordinate N v času integriranih GPS/GLONASS opazovanj na točki FGG2.



Slika 4.4c: Spreminjanje višine integriranih GPS/GLONASS opazovanj na točki FGG2.

Preglednica 4.14: Prikaz rezultatov integrirane GPS/GLONASS izmere glede na uporabljen programski paket, efemeride in višinski kot.

Točka FGG2	Trimble Total Control		Topcon Tools	
Višinski kot 10°	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	-	1029	1021
N [m]	5099281.205	-	5099281.205	5099281.198
E [m]	460949.815	-	460949.815	460949.818
h [m]	367.543	-	367.562	367.535
$\sigma_N$ [m]	0.004	-	0.010	0.008
$\sigma_E$ [m]	0.004	-	0.009	0.008
$\sigma_h$ [m]	0.008	-	0.018	0.023
Višinski kot 15°	Oddane efemeride	Precizne efemeride	Oddane efemeride	Precizne efemeride
Št. rezultatov	1021	-	1029	1021
N [m]	5099281.205	-	5099281.203	5099281.196
E [m]	460949.816	-	460949.810	460949.819
h [m]	367.542	-	367.556	367.534
$\sigma_N$ [m]	0.004	-	0.013	0.009
$\sigma_E$ [m]	0.004	-	0.012	0.009
$\sigma_h$ [m]	0.009	-	0.023	0.027

Rezultati horizontalne komponente v primeru oddanih efemerid so v obeh programskih paketih skoraj enaki ne glede na višinski kot opazovanj. Po višini se razlikujejo največ za 2.0 cm. V primeru preciznih efemerid programa Topcon Tools so odstopanja glede na oddane efemeride v horizontalni komponenti manjša od 1.0 cm, po višini pa znašajo do 2.7 cm, odvisno od višinskega kota. Glede na višinski kot opazovanj se opazovanja skoraj ne razlikujejo, saj največja znaša 0.6 cm. V primeru integriranih opazovanj tudi razpršenost posameznih komponent točke FGG2 ni velika, največja je po višini, in sicer do 2.7 cm.

Preglednica 4.15: Prikaz značilnih parametrov v opazovani točki FGG2 glede na opazovanja satelitov sistemov GPS in GLONASS ob višinskem kotu 15° izračunanih v programskem paketu Trimble Total Control ob uporabljenih oddanih efemeridah.

Točka FGG2	Opazovanja GLONASS	Opazovanja GPS	Integrirana opazovanja GPS/GLONASS
N [m]	5099281.203	5099281.203	5099281.205
E [m]	460949.814	460949.816	460949.816
h [m]	367.553	367.537	367.542
$\sigma_N$ [m]	0.005	0.005	0.005
$\sigma_E$ [m]	0.006	0.004	0.006
$\sigma_h$ [m]	0.015	0.001	0.014
Št. satelitov	4 - 6	7 - 9	11 - 15

Preglednica 4.16: Prikaz značilnih parametrov razlik v opazovani točki FGG2 glede na opazovanja satelitov sistemov GPS in GLONASS ob višinskem kotu 15° izračunanih v programskem paketu Topcon Tools ob uporabljenih oddanih efemeridah.

Točka FGG2	Opazovanja GLONASS	Opazovanja GPS	Integrirana opazovanja GPS/GLONASS
N [m]	5099281.218	5099281.205	5099281.203
E [m]	460949.823	460949.807	460949.810
h [m]	367.557	367.539	367.556
$\sigma_N$ [m]	0.048	0.011	0.013
$\sigma_E$ [m]	0.024	0.012	0.012
$\sigma_h$ [m]	0.031	0.037	0.023
Št. satelitov	4 - 6	7 - 9	11 - 15

Če primerjamo rezultate obeh programskih paketov, se rezultati opazovanj sistema GLONASS razlikujejo v komponenti N za 1.5 cm, v komponenti E za 0.9 cm ter po višini za 0.4 cm. Razpršenost rezultatov je manjša pri programskem paketu podjetja Trimble. V bistvu je manjša razpršenost rezultatov, pridobljenih s programskim paketom Trimble Total Control, v vseh primerjavah med programskima paketoma. Razlike med programskima paketoma v primeru rezultatov opazovanj sistema GPS so v komponenti N 0.2 cm, v komponenti E 0.9 cm in po višini 0.2 cm, zato lahko zaključimo, da so razlike zelo majhne, saj so manjše od enega centimetra. V primeru integriranih GPS/GLONASS opazovanj primerjava obeh programskih paketov pokaže, da so razlike v komponenti N 0.2 cm, v komponenti E 0.6 cm in po višini 1.4 cm. Iz tega lahko povzamemo, da sta oba programska paketa zadovoljiva za pridobivanje rezultatov iz opazovanj satelitov obeh sistemov, le v primeru preciznih efemerid programski paket podjetja Trimble ne izračuna rezultatov opazovanj za sistem GLONASS.

Iz gornjih preglednic so razvidne predvsem razlike pri izmeri koordinat točke FGG2 glede na tip opazovanj. V preglednici 4.15 so rezultati opazovanj v horizontalni komponenti skoraj identični za vse tri tipe opazovanj, v vertikalni komponenti pa je razlika med rezultati sistema GLONASS in sistema GPS 1.6 cm. Rezultati integrirane izmere GPS/GLONASS pa so bližje rezultatom sistema GPS, kar je posledica večjega števila GPS satelitov. Razpršenost opazovanj je glede na komponente točke FGG2 zelo homogena. Tega ni zaznati v preglednici 4.16, saj se razpršenosti glede na tip opazovanj in posamezno komponento točke FGG2 zelo razlikujejo. V horizontalni komponenti so integrirana opazovanja GPS/GLONASS bližje opazovanjem sistema GPS, kar pa ne velja za višinsko komponento, ki je bližja opazovanjem sistema GLONASS. Razlike med tipi opazovanj se v N komponenti razlikujejo največ za 1.5 cm, v komponenti E za 1.3 cm ter po višini za 1.8 cm. Te razlike so v splošnem večje od razlik izračunanih koordinat s programskim paketom Trimble Total Control.

Rezultati, koordinate točke FGG2, se ob uporabi obeh programskih paketov in različnih tipov opazovanj malo razlikujejo. Iz rezultatov ni razbrati posebnih vzorcev obnašanja, iz katerih bi lahko sklepali, da je posamezen tip opazovanj boljši ali slabši. Zato lahko zaključimo, da je točka FGG2 dobro določena ne glede na tip opazovanj in ne glede na to, kateri programski paket smo pri obdelavi opazovanj uporabili.

### 4.3 Rezultati RTK metode izmere

V primeru RTK metode izmere ni potrebna naknadna obdelava podatkov, saj je namen te metode pridobiti zanesljive rezultate v dejanskem času izvajanja opazovanj. Rezultati so predstavljeni v državnem koordinatnem sistemu G-K/D48.

Pri RTK metodi izmere so nas najprej zanimale predvsem razlike med izmero na točki v primeru GPS in integriranih GPS/GLONASS opazovanj. Zanimalo nas je tudi ali je ob neuspešni inicializaciji GPS RTK metode izmere, uspešna inicializacija v primeru integriranih opazovanj. Rezultati so zaradi boljše preglednosti prikazani tabelarično. Celotna preglednica rezultatov opazovanj pa je podana v Prilogi C.

Preglednica 4.17: Koordinatna odstopanja GPS in integrirane GPS/GLONASS izmere v obeh serijah RTK metode izmere.

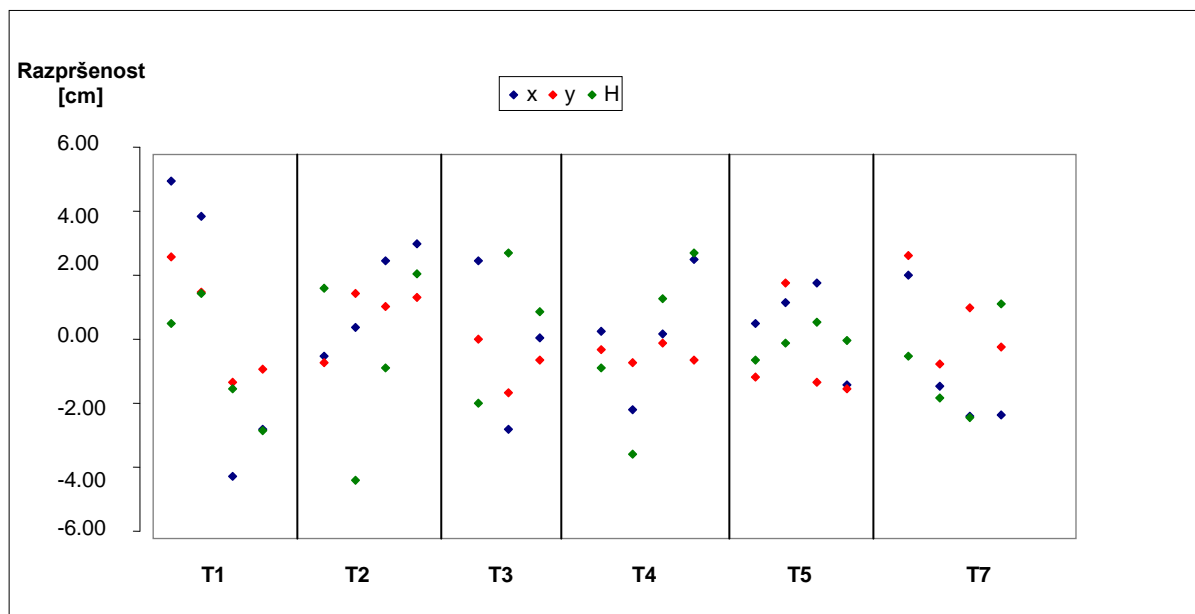
Točka	Serija 1			Serija 2		
	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\Delta H$ [m]	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\Delta H$ [m]
1	0.0110	0.0112	0.0092	0.0144	0.0041	0.0129
2	-	-	-	0.0050	0.0027	0.0295
3	-	-	-	0.0286	0.0102	0.0187
4	0.0244	0.0039	0.0273	0.0233	0.0055	0.0143
5	0.0063	0.0296	0.0053	0.0319	0.0023	0.0057
7	0.0346	0.0338	0.0132	0.0002	0.0121	0.0353

Iz preglednice 4.17 lahko sklepamo, da različna geometrijska razporeditev satelitov vpliva na določitev položaja točke. Razlike rezultatov opazovanj med prvo in drugo serijo znašajo do 3.4 cm. Razlike med GPS in integrirano GPS/GLONASS izmero se v posamezni seriji povzpnejo do vrednosti nekaj centimetrov, in sicer do 3.5 cm. K odstopanjem so poleg različne razporeditve satelitov nekaj prispevale ovire, ki so slabšale sprejem signalov s satelitov, določen vpliv pa je imela tudi prosta postavitev premičnega sprejemnika na posamezno točko, saj smo hoteli opazovanja čim bolj prilagoditi praktičnemu delu na terenu.

Prazna polja v zgornji preglednici prikazujejo točke, kjer zaradi ovir ni bila možna inicializacija v primeru GPS metode izmere. Iz tega lahko sklepamo, da integracija meritev GPS/GLONASS lahko veliko pripomore k izboljšanju učinkovitosti terenskega dela.

Natančnosti dobljenih koordinat (Priloga C) so se po komponenti x gibale med 1.1 cm in 2.8 cm, po komponenti y med 0.6 cm in 1.5 cm ter po višinski komponenti med 1.2 cm in 3.8 cm. Ne moremo pa trditi, da bi integrirana GPS/GLONASS opazovanja pripomogla k izboljšanju natančnosti opazovanj. Razumljivo je tudi, da je v primerih integriranih GPS/GLONASS opazovanj večina vrednosti HDOP in VDOP nižja kot pri GPS izmeri, saj večje število satelitov pripomore k takšnim rezultatom. Je pa res, da je lahko zaradi slabše razporeditve satelitov na nebu vrednost HDOP ali GDOP integriranih opazovanj tudi večja, kar se je v nekaj primerih tudi zgodilo (Priloga C).

Zanimiva je tudi razpršenost opazovanj GPS in integrirane GPS/GLONASS izmere v obeh serijah opazovanj, ki jo prikazuje spodnja slika.



Slika 4.5: Razpršenost RTK opazovanj na posamezni točki.

Iz slike je lepo vidna razpršenost pridobljenih koordinat opazovanj na posamezni točki. Pri točki 1 je ta razpršenost največja, najmanjša pa je pri točki 5. Ostale točke zavzemajo vmesne vrednosti. Točki 5 in 7 sta brez večjih ovir na južni strani, zaradi česar so tudi rezultati boljši. Seveda pa je tudi razpršenost opazovanj odvisna od geometrijske razporeditve satelitov in ovir okoli posamezne točke. Razpršenost niha skoraj do 10 cm, kar je z vidika geodetske točnosti že veliko. Med rezultati ni točke 6, saj zaradi njene lege (pod drevesom) v nobenem primeru ni bila možna izvedba inicializacije.

Poleg opazovanj na terenu smo z RTK metodo izmere določili koordinate točk FGG2 in FGG4, ki imata tudi drugače znane koordinate. Pri teh dveh točkah so tudi opazovanja trajala dlje časa, 20 epoh. Z daljšim časom opazovanj smo pridobili manjša koordinatna odstopanja med GPS in integrirano GPS/GLONASS izmero. Manjša je bila tudi standardna deviacija opazovanj. Rezultati so predstavljeni v Prilogi D, na kratko pa so povzeti v nadaljevanju.

Preglednica 4.18: Koordinatna odstopanja med 1. in 2. serijo GPS in integrirane GPS/GLONASS izmere v točkah FGG2 in FGG4.

Točka	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\Delta H$ [m]
FGG2	0.001	0.003	0.003
FGG4	0.001	0.002	0.002

Razlike koordinatnih komponent med 1. in 2. serijo so minimalne, do 0.3 cm in dokazujejo, da so dobljeni rezultati dobri. Eden od razlogov za tako nizke vrednosti koordinatnih odstopanj med serijama je, da je na strehi Fakultete praktično samo ena ovira, ki lahko vpliva na samo izmero (nadstrešek).

Ker imata točki znane koordinate, lahko te koordinate primerjamo z danimi vrednostmi. Kot dane vrednosti jih lahko uporabimo zato, ker so bile točke večkrat neodvisno izmerjene (sicer z metodo GPS, vendar z drugim proizvajalcem merske opreme).

Preglednica 4.19: Koordinate točk FGG2 in FGG4 kot predhodno znane, izmerjene z GPS in integrirano GPS/GLONASS izmero v državnem koordinatnem sistemu.

		x [m]	y [m]	H [m]
FGG2	DANA	<b>5100811.610</b>	<b>5460938.098</b>	<b>367.547</b>
	GPS	5100811.606	5460938.091	367.549
	GPS/GLONASS	5100811.607	5460938.094	367.553
FGG 4	DANA	<b>5100763.769</b>	<b>5460888.296</b>	<b>367.541</b>
	GPS	5100763.776	5460888.296	367.545
	GPS/GLONASS	5100763.773	5460888.297	367.544

Iz preglednice 4.19 je razvidno, da se koordinate med seboj zelo malo razlikujejo. Največ, 7 mm, je razlike med x komponento dane in GPS izmerjene točke FGG4 ter y komponento dane in GPS izmerjene točke FGG2. Razlike v koordinatah GPS in integriranih GPS/GLONASS opazovanj pa odstopajo do največ 4 mm, in sicer v višinski komponenti točke FGG2. V splošnem ni razlik med samimi GPS in integriranimi GPS/GLONASS opazovanji. Na podlagi danih koordinat obeh točk in dobljenih rezultatov lahko zaključimo, da so integrirana GPS/GLONASS opazovanja zadovoljiva za tovrstno določitev točk.



## 5 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil analizirati kakovost rezultatov geodetske izmere v okviru satelitskega sistema GLONASS. Uporaba sistema GLONASS je primerna za vse metode izmere, predvsem pa za RTK metode izmere, saj vpeljava satelitov sistema GLONASS (poleg satelitov sistema GPS) pripomore k izboljšanju terenskega dela. Sistem GLONASS pripomore tudi k izboljšanju rezultatov integrirane GPS/GLONASS izmere v primeru stacionarnih in kinematičnih meritev. Zaenkrat sistem GLONASS sam ni uporaben za praktično delo, saj je delujočih premalo satelitov, izmere pa v praksi ni mogoče planirati za vsak dan posebej. Izkazalo se je tudi, da planiranje ni zmeraj enako dejanskim razmeram na terenu (od enega do drugega dne se lahko spremeni število GLONASS satelitov, saj lahko katerega tudi nenapovedano izklopijo). So pa dobljeni rezultati dobra iztočnica za prihodnost, ko bodo na nebu delovali vsi sateliti sistema GLONASS.

Rezultati stacionarne, kinematične in RTK metode izmere so v okviru pričakovanih vrednosti, kar potrjuje, da uporaba satelitov sistema GLONASS ne poslabša rezultatov izmere ter da jih instrumentarij upošteva enakovredno s sateliti sistema GPS. Nasprotno, zaradi večjega števila satelitov, so rezultati celo boljši. Pri integraciji sistemov GPS/GLONASS pa se v primeru RTK metode izmere izboljšajo tudi same razmere pri terenskem delu, saj je zaradi večjega števila satelitov manjša verjetnost, da bi ovire pripomogle k prekinitvi inicializacije.

Na splošno ni tehničnih ovir za uporabo sistema GLONASS v geodetski praksi. Na voljo je instrumentarij, ki podpira oba sistema in dostopni podatki o preciznih efemeridah obeh sistemov. Problem lahko nastane le v primeru obdelave opazovanj, saj nekateri programski paketi še niso prirejeni opazovanjem sistema GLONASS. Z vse pogostejšo uporabo tega sistema v geodetski praksi pa se bodo morali tudi proizvajalci programske opreme prilagoditi zahtevam na trgu. V primerih, ko ni potrebe po naknadni obdelavi podatkov, v osnovi ni ovir za delo. Težava je le v tem, da je za praktično delo potrebno imeti dva sprejemnika, ki sprejemata tudi satelite sistema GLONASS, od tega pa mora biti eden od sprejemnikov lociran na točki z znanimi koordinatami. Problem drugega sprejemnika bo rešen, ko bodo

sprejemniki omrežja SIGNAL nadgrajeni za sprejemanje signalov satelitov sistema GLONASS.

## 6 VIRI

Börjesson, J. 2000. GLONASS Contributions to Space Geodesy. Göteborg (Sweden), Department of Radio and Space Science, Chalmers University of Technology: 56 str.

[www.oso.chalmers.se/~geo/glonass.html](http://www.oso.chalmers.se/~geo/glonass.html), (25.11.2006)

HiPer Pro Operator's Manual. 2006. Livermore (California), Topcon Positioning Systems, Inc.: 114 str.

Keong, J. 1999. GPS/GLONASS Attitude Determination with a Common Clock using a Single Difference Approach. Calgary (Alberta Canada), Department of Geomatics Engineering, University of Calgary: 133 str.

[www.geomatics.ucalgary.ca/Papers/Thesis/GL/99.20134.JHKeong.pdf](http://www.geomatics.ucalgary.ca/Papers/Thesis/GL/99.20134.JHKeong.pdf), (22.11.2006)

Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. 2004. Izračun položaja GPS-satelita iz podatkov oddanih efemerid. Ljubljana, Geodetski vestnik, 48/2: 151-166

Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. 2005. Izračun položaja GPS-satelita iz podatkov preciznih efemerid. Ljubljana, Geodetski vestnik, 49/2: 177-190

Perminov, A., Koptev, Y. 2002. GLONASS Interface Control Document, version 5.0. Moscow, Coordination Scientific Information Center: 49 str.

[www.glonass-ianc.rsa.ru/i/glonass/ICD02\\_e.pdf](http://www.glonass-ianc.rsa.ru/i/glonass/ICD02_e.pdf), (1.11.2006)

Roßbach, U. 2000. Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS. Doktorska disertacija. München, Universität der Bundeswehr München: 159 str.

[ub.unibw-muenchen.de/dissertationen/ediss/rossbach-udo/inhalt.pdf](http://ub.unibw-muenchen.de/dissertationen/ediss/rossbach-udo/inhalt.pdf), (4.12.2006)

Savšek – Safič, S., Ambrožič, T., Kogoj, D. 2007. Terestična izmera mikromreže pri vzpostavitvi mareografske postaje Koper. Ljubljana, Geodetski vestnik, 51/1: 48 - 59

Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D. 2006. Geodetska dela na novi mareografski postaji Koper. Ljubljana, Geodetski vestnik, 50/4: 609 – 619

Stopar, B. 2003. Zapiski s predavanj pri predmetu Višja geodezija II. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 79 str.

Stopar, B. 2004. Zapiski s predavanj pri predmetu Višja geodezija III. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 135 str.

Stopar, B., Pavlovčič, P. 2001. GPS v geodetski praksi. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 115 str.

Trimble Total Control – User Guide. 2002. Dayton (Ohio), Trimble Navigation Ltd.: 108 str.

Wang, J., Rizos, C. 2000. GPS and GLONASS Integration: Modelling and Ambiguity Resolution Issues. Sydney, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales: 15 str.

[www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/wang\\_etal2000a.pdf](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/wang_etal2000a.pdf), (17.1.2007)

Welch, G., Bishop, G. 2006. An Introduction to the Kalman Filter, Department of Computer Science, University of North Carolina: 16 str.

[www.cs.unc.edu/~welch/kalman/kalmanIntro.html](http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/kalmanIntro.html), (26.2.2007)

#### **Pomožni viri:**

[Börjesson] Primerjava sistemov GPS in GLONASS - preglednica

[www.oso.chalmers.se/Staff/~Jorgen.html](http://www.oso.chalmers.se/Staff/~Jorgen.html), (15.12.2006)

[FDMA/CDMA] Razlike v strukturi signalov obeh satelitskih sistemov

[www.lkn.fe.uni-lj.si/publikacije/Doktorati/mitja-doktorat.pdf](http://www.lkn.fe.uni-lj.si/publikacije/Doktorati/mitja-doktorat.pdf), (22.2.2007)

[GLONASS] Spletna stran z informacijami o sistemu GLONASS:

[www.glonass-ianc.rsa.ru](http://www.glonass-ianc.rsa.ru), (17.3.2008)

[GLNSAT] Podatki o satelitih sistema GLONASS:

[space.skyrocket.de/index\\_frame.htm?http://www.skyrocket.de](http://space.skyrocket.de/index_frame.htm?http://www.skyrocket.de), (20.11.2006)

[GPS] Spletna stran z informacijami o sistemu GPS:

[www.kowoma.de/en/gps/index.htm](http://www.kowoma.de/en/gps/index.htm), (27.11.2006)

[IGS1] Podatki in organiziranost službe IGS

[igs.cb.jpl.nasa.gov/overview/viewindex.html](http://igs.cb.jpl.nasa.gov/overview/viewindex.html), (15.12.2006)

[IGS2]

[igs.cb.jpl.nasa.gov/organization/bylaws.html](http://igs.cb.jpl.nasa.gov/organization/bylaws.html), (15.12.2006)

[IGS3]

[igs.cb.jpl.nasa.gov/organization/acccharter.html](http://igs.cb.jpl.nasa.gov/organization/acccharter.html), (15.12.2006)

[SIGNAL] Omrežje SIGNAL

[www.gu-signal.si](http://www.gu-signal.si), (29.1.2007)

[www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG\\_04\\_Kozmus\\_Stopar.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Kozmus_Stopar.pdf), (20.3.2007)

[www.trimble.com/totalcontrol\\_tn.asp](http://www.trimble.com/totalcontrol_tn.asp), Trimble Total Control Tech Notes, (31.5.2007)

[www.geopedia.si](http://www.geopedia.si), (14.9.2007)

## Priloga A: Tabelarični prikaz rezultatov statične metode izmere

### Trimble Total Control statična izmera z oddanimi efemeridami

#### 1. DEL: 12.30 - 14.00, višinski kot 10°

##### a) GPS (9)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7684m	400403.5245m	45.9673m	0.7850m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1369m	394019.5580m	323.0928m	278.1243m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2792m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5395m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6321m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7149m +- 1.5mm	-15351.3012m +- 1.3mm	-6739.6660m +- 1.5mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2775m +- 1.3mm	5248.0409m +- 1.1mm	3259.0311m +- 1.2mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4595m +- 1.5mm	-10103.2730m +- 1.3mm	-3480.6444m +- 1.5mm

##### b) GPS (9) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7772m	400403.5200m	45.9742m	0.7920m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1405m	394019.5595m	323.0927m	278.1242m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2799m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5366m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6338m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7120m +- 1.6mm	-15351.3005m +- 1.4mm	-6739.6636m +- 1.6mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2783m +- 1.3mm	5248.0427m +- 1.1mm	3259.0309m +- 1.3mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4593m +- 1.5mm	-10103.2778m +- 1.2mm	-3480.6333m +- 1.3mm

##### c) GPS (1) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7781m	400403.5294m	46.0168m	0.8345m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1405m	394019.5595m	323.0927m	278.1242m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2694m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19844.7066m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8010.7831m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10617.1385m +- 1912.5mm	-15351.2662m +- 252.0mm	-6739.9834m +- 273.2mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5100.2316m +- 2451.0mm	5247.7255m +- 322.0mm	3259.0890m +- 349.5mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4853m +- 7.2mm	-10103.2619m +- 3.5mm	-3480.6022m +- 3.2mm

## 12.30 - 14.00, višinski kot 15°

a) GPS (9)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7571m	400403.4899m	45.9812m	0.7989m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1375m	394019.5581m	323.0929m	278.1244m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.3150m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5392m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6323m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7145m +- 1.5mm	-15351.3012m +- 1.3mm	-6739.6656m +- 1.5mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2790m +- 1.3mm	5248.0404m +- 1.1mm	3259.0300m +- 1.3mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4853m +- 1.5mm	-10103.3021m +- 1.3mm	-3480.6427m +- 1.5mm

b) GPS (9) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7780m	400403.5200m	45.9710m	0.7887m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1382m	394019.5567m	323.0942m	278.1257m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2798m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5401m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6338m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7153m +- 1.7mm	-15351.3025m +- 1.4mm	-6739.6641m +- 1.6mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2797m +- 1.4mm	5248.0423m +- 1.2mm	3259.0297m +- 1.4mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4565m +- 1.6mm	-10103.2786m +- 1.2mm	-3480.6351m +- 1.3mm

### c) GPS (1) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7781m	400403.5294m	46.0168m	0.8345m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1382m	394019.5567m	323.0942m	278.1257m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2694m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19844.7067m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8010.7756m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10617.1387m +- 1912.5mm	-15351.2663m +- 252.0mm	-6739.9834m +- 273.2mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5100.2211m +- 2450.9mm	5247.7238m +- 322.0mm	3259.0895m +- 349.5mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4853m +- 7.2mm	-10103.2619m +- 3.5mm	-3480.6022m +- 3.2mm

## 2. DEL: 10.25 - 12.00, višinski kot 10°

### a) GPS (11)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7612m	400403.5282m	45.9922m	0.8099m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1340m	394019.5677m	323.0928m	278.1243m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2775m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5322m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.5998m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7144m +- 1.2mm	-15351.2912m +- 1.1mm	-6739.6679m +- 1.2mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2456m +- 1.4mm	5248.0259m +- 1.2mm	3259.0258m +- 1.3mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4805m +- 1.4mm	-10103.2640m +- 1.2mm	-3480.6316m +- 1.4mm

### b) GPS (11) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7646m	400403.5299m	45.9945m	0.8123m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1315m	394019.5657m	323.0848m	278.1163m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2746m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5353m



[MALJ](#) [SMKP](#) 8011.6136m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7113m +- 1.2mm	-15351.2941m +- 0.9mm	-6739.6755m +- 1.1mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2542m +- 1.3mm	5248.0316m +- 1.0mm	3259.0371m +- 1.2mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4793m +- 1.3mm	-10103.2625m +- 1.0mm	-3480.6275m +- 1.2mm

c) GPS (1) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7725m	400403.5267m	45.9961m	0.8139m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1250m	394019.5711m	323.0668m	278.0983m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2747m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5336m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6132m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7022m +- 2.8mm	-15351.2906m +- 2.1mm	-6739.6927m +- 2.4mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2517m +- 1.7mm	5248.0334m +- 1.3mm	3259.0372m +- 1.4mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4758m +- 2.9mm	-10103.2668m +- 2.2mm	-3480.6209m +- 2.4mm

## 10.25 - 12.00, višinski kot 15°

a) GPS (11)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7635m	400403.5286m	45.9832m	0.8010m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1364m	394019.5648m	323.0929m	278.1244m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2766m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5338m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6017m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7137m +- 1.3mm	-15351.2945m +- 1.1mm	-6739.6663m +- 1.3mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2490m +- 1.3mm	5248.0273m +- 1.1mm	3259.0230m +- 1.2mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4728m +- 1.4mm	-10103.2655m +- 1.2mm	-3480.6364m +- 1.4mm

b) GPS (11) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7670m	400403.5304m	45.9869m	0.8047m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1336m	394019.5634m	323.0884m	278.1199m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2736m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5363m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6073m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7128m +/- 1.2mm	-15351.2960m +/- 0.9mm	-6739.6714m +/- 1.1mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2491m +/- 1.0mm	5248.0303m +/- 0.8mm	3259.0317m +/- 0.9mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4724m +/- 1.3mm	-10103.2638m +/- 1.0mm	-3480.6312m +/- 1.2mm

### c) GPS (1) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7771m	400403.5058m	46.0007m	0.8185m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1291m	394019.5676m	323.0761m	278.1076m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2923m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5348m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6150m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7066m +/- 2.8mm	-15351.2932m +/- 2.0mm	-6739.6833m +/- 2.3mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2608m +/- 1.6mm	5248.0280m +/- 1.2mm	3259.0359m +/- 1.3mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4809m +/- 2.8mm	-10103.2872m +/- 2.0mm	-3480.6146m +/- 2.3mm

## Topcon Tools statična izmera z oddanimi efemeridami

### 1. DEL: 12.30 - 14.00, višinski kot 10°

#### a) GPS (10)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.772	400403.526	45.967	0.004	0.003	0.008
MALJ	5039812.138	394019.567	323.083	0.005	0.005	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.925	11191.233	419.583	12027.277
MALJ	SOCE	9203.561	17575.201	142.451	19846.539

MALJ	SMKP	4828.633	6383.959	-277.116	8011.601
------	------	----------	----------	----------	----------

#### b) GPS (10) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.779	400403.524	45.985	0.004	0.003	0.008
MALJ	5039812.145	394019.564	323.105	0.005	0.004	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.918	11191.235	419.565	12027.275
MALJ	SOCE	9203.556	17575.199	142.444	19846.536
MALJ	SMKP	4828.634	6383.960	-277.120	8011.602

#### c) GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.791	400403.516	45.967	0.004	0.002	0.010
MALJ	5039812.173	394019.545	323.066	0.006	0.003	0.013

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.913	11191.234	419.547	12027.272
MALJ	SOCE	9203.524	17575.214	142.484	19846.534
MALJ	SMKP	4828.618	6383.971	-277.099	8011.600

### 12.30 - 14.00, višinski kot 15°

#### a) GPS (10)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.773	400403.526	45.967	0.003	0.003	0.008
MALJ	5039812.139	394019.565	323.088	0.005	0.004	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.924	11191.233	419.583	12027.276
MALJ	SOCE	9203.558	17575.200	142.453	19846.538
MALJ	SMKP	4828.634	6383.960	-277.121	8011.602

#### b) GPS (10) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.779	400403.524	45.979	0.003	0.003	0.008
MALJ	5039812.147	394019.563	323.106	0.005	0.004	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.918	11191.235	419.571	12027.275
MALJ	SOCE	9203.556	17575.200	142.447	19846.537

MALJ	SMKP	4828.633	6383.961	-277.127	8011.603
------	------	----------	----------	----------	----------

### c) GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.783	400403.526	45.996	0.004	0.002	0.009
MALJ	5039812.164	394019.556	323.073	0.006	0.003	0.013

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.914	11191.233	419.554	12027.271
MALJ	SOCE	9203.522	17575.213	142.513	19846.533
MALJ	SMKP	4828.618	6383.971	-277.077	8011.600

## 2. DEL: 10.25 - 12.00, višinski kot 10°

### a) GPS (11)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
MALJ	5039812.141	394019.569	323.126	0.005	0.005	0.012
SMKP	5044640.764	400403.527	46.010	0.003	0.003	0.008

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.933	11191.232	419.540	12027.277
MALJ	SOCE	9203.561	17575.191	142.435	19846.531
MALJ	SMKP	4828.623	6383.957	-277.117	8011.593

### b) GPS (11) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
MALJ	5039812.137	394019.572	323.106	0.006	0.005	0.012
SMKP	5044640.767	400403.531	45.999	0.004	0.003	0.008

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.930	11191.228	419.551	12027.273
MALJ	SOCE	9203.565	17575.190	142.454	19846.532
MALJ	SMKP	4828.629	6383.959	-277.107	8011.598

### c) GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
MALJ	5039812.149	394019.568	323.080	0.008	0.006	0.011
SMKP	5044640.788	400403.524	45.982	0.006	0.004	0.007

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.909	11191.235	419.568	12027.272
MALJ	SOCE	9203.569	17575.191	142.470	19846.535

MALJ	SMKP	4828.639	6383.956	-277.098	8011.601
------	------	----------	----------	----------	----------

## 10.25 - 12.00, višinski kot 15°

### a) GPS (11)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
MALJ	5039812.142	394019.569	323.108	0.005	0.004	0.012
SMKP	5044640.766	400403.529	45.983	0.003	0.003	0.008

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.931	11191.230	419.567	12027.276
MALJ	SOCE	9203.560	17575.192	142.447	19846.532
MALJ	SMKP	4828.624	6383.959	-277.124	8011.596

### b) GPS (11) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
MALJ	5039812.144	394019.571	323.099	0.006	0.004	0.012
SMKP	5044640.770	400403.531	45.983	0.003	0.003	0.007

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.927	11191.228	419.567	12027.272
MALJ	SOCE	9203.561	17575.192	142.456	19846.532
MALJ	SMKP	4828.627	6383.960	-277.116	8011.597

### c) GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
MALJ	5039812.152	394019.566	323.085	0.008	0.005	0.011
SMKP	5044640.794	400403.521	45.981	0.005	0.003	0.007

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.903	11191.238	419.569	12027.272
MALJ	SOCE	9203.560	17575.194	142.472	19846.533
MALJ	SMKP	4828.642	6383.955	-277.105	8011.602

## Trimble Total Control statična izmera s preciznimi efemeridami

### 1. DEL: 12.30 - 14.00, višinski kot 10°

#### a) GPS (9)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7870m	400403.5422m	45.9748m	0.7925m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1362m	394019.5576m	323.1069m	278.1384m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2812m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5402m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6322m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4232m +- 1.5mm	-10103.2832m +- 1.3mm	-3480.6794m +- 1.5mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7251m +- 1.4mm	-15351.2991m +- 1.3mm	-6739.6565m +- 1.4mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2777m +- 1.3mm	5248.0410m +- 1.1mm	3259.0307m +- 1.2mm

## 12.30 - 14.00, višinski kot 15°

b) GPS (8)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7881m	400403.5422m	45.9709m	0.7887m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1370m	394019.5577m	323.1049m	278.1364m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2800m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5397m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6323m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4228m +- 1.5mm	-10103.2825m +- 1.3mm	-3480.6779m +- 1.5mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7232m +- 1.5mm	-15351.2995m +- 1.3mm	-6739.6573m +- 1.5mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2792m +- 1.3mm	5248.0406m +- 1.1mm	3259.0296m +- 1.3mm

## 2. DEL: 10.25 - 12.00, višinski kot 10°

a) GPS (11)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7611m	400403.5303m	45.9936m	0.8113m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1330m	394019.5682m	323.1098m	278.1413m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2835m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5323m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6000m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4334m +/- 1.3mm	-10103.2808m +/- 1.2mm	-3480.6781m +/- 1.3mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7267m +/- 1.2mm	-15351.2878m +/- 1.1mm	-6739.6565m +/- 1.2mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2457m +/- 1.4mm	5248.0261m +/- 1.2mm	3259.0259m +/- 1.3mm

## 10.25 - 12.00, višinski kot 15°

a) GPS (11)

Koordinate iskanih točk:

Točka	N	E	h	H
<a href="#">SMKP</a>	5044640.7634m	400403.5296m	45.9870m	0.8047m
<a href="#">MALJ</a>	5039812.1352m	394019.5654m	323.1073m	278.1388m

Razdalja med točkama:

Od	Do	Razdalja
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	12027.2816m
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	19846.5337m
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	8011.6019m

Dolžine baznih vektorjev in njihov standardni odklon:

Od	Do	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">SMKP</a>	5519.4312m +/- 1.4mm	-10103.2799m +/- 1.2mm	-3480.6776m +/- 1.4mm
<a href="#">SOCE</a>	<a href="#">MALJ</a>	10620.7241m +/- 1.3mm	-15351.2913m +/- 1.1mm	-6739.6568m +/- 1.3mm
<a href="#">MALJ</a>	<a href="#">SMKP</a>	-5101.2490m +/- 1.3mm	5248.0274m +/- 1.1mm	3259.0231m +/- 1.2mm

## Topcon Tools statična izmera s preciznimi efemeridami

### 1. DEL: 12.30 - 14.00, višinski kot 10°

a) GPS (10)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma N$ (m)	$\sigma E$ (m)	$\sigma U$ (m)
SMKP	5044640.772	400403.526	45.967	0.004	0.003	0.008
MALJ	5039812.138	394019.566	323.083	0.005	0.005	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.925	11191.233	419.583	12027.277
MALJ	SOCE	9203.561	17575.201	142.451	19846.540
MALJ	SMKP	4828.633	6383.960	-277.116	8011.601

b) GPS (10) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma N$ (m)	$\sigma E$ (m)	$\sigma U$ (m)
SMKP	5044640.773	400403.527	45.982	0.004	0.003	0.008
MALJ	5039812.138	394019.568	323.100	0.005	0.004	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

<b>Od</b>	<b>Do</b>	<b>dN (m)</b>	<b>dE (m)</b>	<b>dHt (m)</b>	<b>Razdalja (m)</b>
SMKP	SOCE	4374.924	11191.232	419.568	12027.275
MALJ	SOCE	9203.557	17575.196	142.444	19846.533
MALJ	SMKP	4828.634	6383.959	-277.118	8011.601

### c) GPS (1) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

<b>Točka</b>	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b><math>\sigma</math>N (m)</b>	<b><math>\sigma</math>E (m)</b>	<b><math>\sigma</math>U (m)</b>
SMKP	5044640.545	400403.481	46.139	0.004	0.002	0.009
MALJ	5039812.127	394019.570	323.125	0.006	0.003	0.013

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

<b>Od</b>	<b>Do</b>	<b>dN (m)</b>	<b>dE (m)</b>	<b>dHt (m)</b>	<b>Razdalja (m)</b>
SMKP	SOCE	4374.939	11191.223	419.510	12027.270
MALJ	SOCE	9203.570	17575.189	142.425	19846.533
MALJ	SMKP	4828.418	6383.911	-276.986	8011.428

## 12.30- 14.00, višinski kot 15°

### a) GPS (10)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

<b>Točka</b>	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b><math>\sigma</math>N (m)</b>	<b><math>\sigma</math>E (m)</b>	<b><math>\sigma</math>U (m)</b>
SMKP	5044640.773	400403.525	45.967	0.003	0.003	0.008
MALJ	5039812.139	394019.565	323.089	0.005	0.004	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

<b>Od</b>	<b>Do</b>	<b>dN (m)</b>	<b>dE (m)</b>	<b>dHt (m)</b>	<b>Razdalja (m)</b>
SMKP	SOCE	4374.924	11191.234	419.583	12027.277
MALJ	SOCE	9203.558	17575.200	142.453	19846.538
MALJ	SMKP	4828.633	6383.960	-277.121	8011.602

### b) GPS (10) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

<b>Točka</b>	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b><math>\sigma</math>N (m)</b>	<b><math>\sigma</math>E (m)</b>	<b><math>\sigma</math>U (m)</b>
SMKP	5044640.773	400403.527	45.978	0.003	0.003	0.008
MALJ	5039812.139	394019.568	323.099	0.005	0.004	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

<b>Od</b>	<b>Do</b>	<b>dN (m)</b>	<b>dE (m)</b>	<b>dHt (m)</b>	<b>Razdalja (m)</b>
SMKP	SOCE	4374.924	11191.232	419.572	12027.275
MALJ	SOCE	9203.560	17575.194	142.446	19846.533
MALJ	SMKP	4828.635	6383.959	-277.120	8011.601

### c) GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

<b>Točka</b>	<b>N (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b><math>\sigma</math>N (m)</b>	<b><math>\sigma</math>E (m)</b>	<b><math>\sigma</math>U (m)</b>
SMKP	5044640.758	400403.537	46.032	0.004	0.002	0.009
MALJ	5039812.121	394019.579	323.139	0.006	0.003	0.013



Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.939	11191.222	419.518	12027.269
MALJ	SOCE	9203.567	17575.189	142.441	19846.532
MALJ	SMKP	4828.637	6383.958	-277.106	8011.602

## 2. DEL: 10.25 - 12.00, višinski kot 10°

### a) GPS (11)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.764	400403.527	46.009	0.003	0.003	0.008
MALJ	5039812.141	394019.569	323.126	0.005	0.005	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.933	11191.232	419.541	12027.278
MALJ	SOCE	9203.561	17575.191	142.436	19846.531
MALJ	SMKP	4828.623	6383.957	-277.117	8011.593

### b) GPS (11) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.767	400403.530	46.005	0.004	0.003	0.007
MALJ	5039812.139	394019.573	323.117	0.006	0.005	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.930	11191.229	419.545	12027.273
MALJ	SOCE	9203.565	17575.189	142.440	19846.531
MALJ	SMKP	4828.628	6383.957	-277.112	8011.596

### c) GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.777	400403.530	46.001	0.006	0.004	0.007
MALJ	5039812.133	394019.580	323.112	0.008	0.006	0.011

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.920	11191.229	419.549	12027.270
MALJ	SOCE	9203.585	17575.178	142.437	19846.530
MALJ	SMKP	4828.644	6383.950	-277.111	8011.600

## 10.25 - 12.00, višinski kot 15°

### a) GPS (11)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.766	400403.529	45.983	0.003	0.003	0.008
MALJ	5039812.142	394019.569	323.106	0.005	0.004	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.931	11191.230	419.567	12027.276
MALJ	SOCE	9203.560	17575.193	142.448	19846.532
MALJ	SMKP	4828.624	6383.960	-277.124	8011.596

#### b) GPS (11) + GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.770	400403.530	45.991	0.003	0.003	0.007
MALJ	5039812.144	394019.571	323.112	0.005	0.004	0.012

Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.927	11191.229	419.559	12027.272
MALJ	SOCE	9203.561	17575.192	142.448	19846.532
MALJ	SMKP	4828.626	6383.960	-277.121	8011.597

#### c) GLONASS (4)

Koordinate iskanih točk ter njihova standardna deviacija:

Točka	N (m)	E (m)	h (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_U$ (m)
SMKP	5044640.783	400403.526	46.000	0.005	0.003	0.007
MALJ	5039812.136	394019.578	323.117	0.008	0.005	0.011

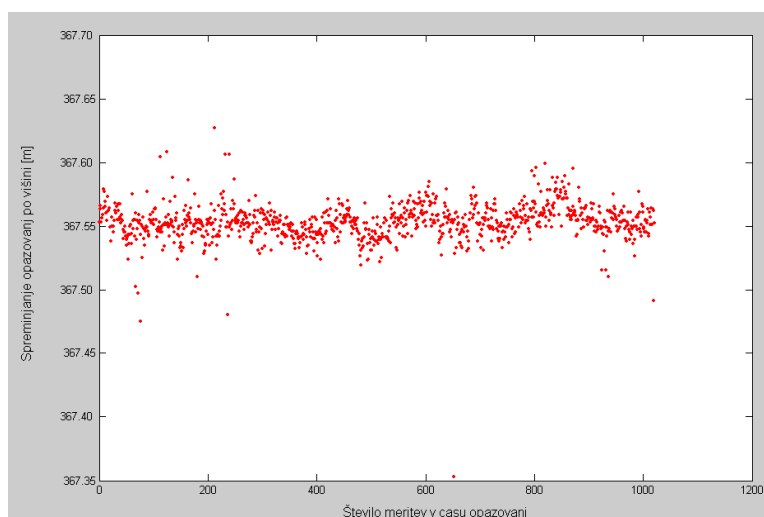
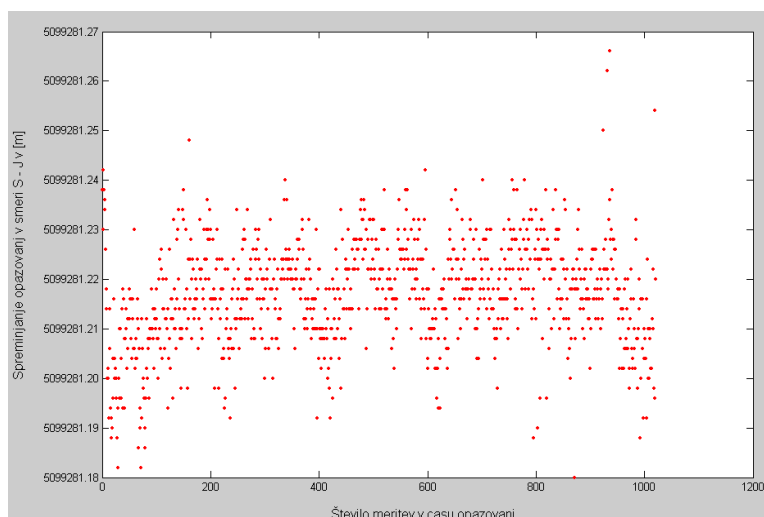
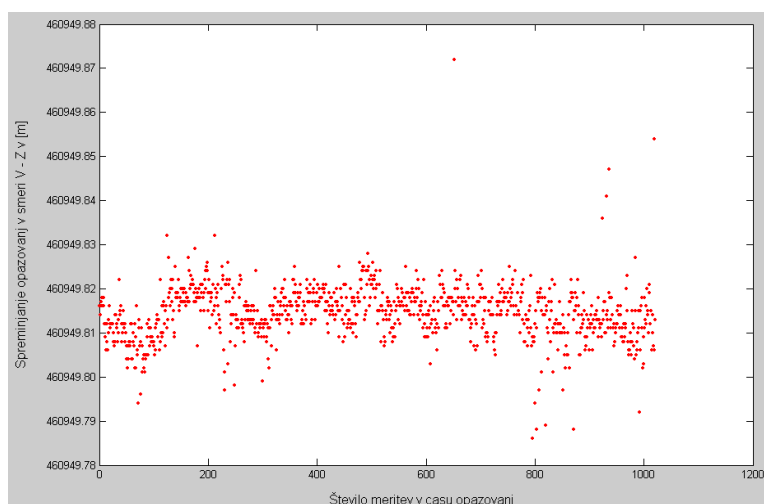
Dolžine baznih vektorjev in razdalja med točkami:

Od	Do	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Razdalja (m)
SMKP	SOCE	4374.914	11191.233	419.550	12027.271
MALJ	SOCE	9203.576	17575.182	142.441	19846.529
MALJ	SMKP	4828.647	6383.949	-277.117	8011.601

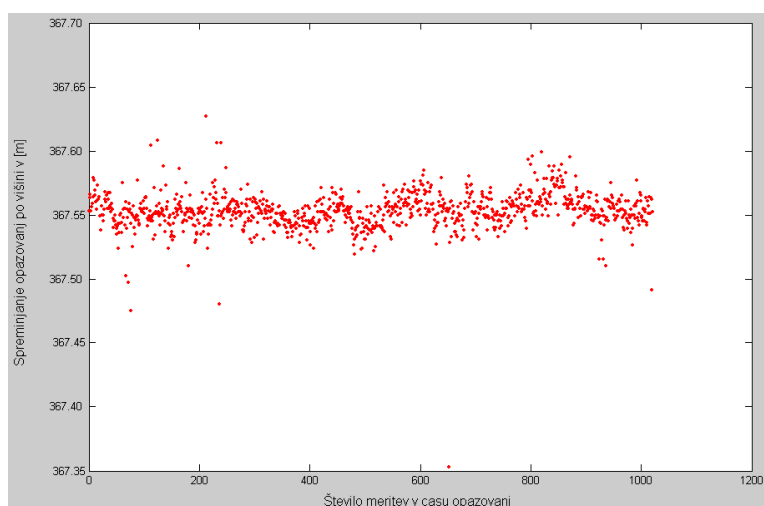
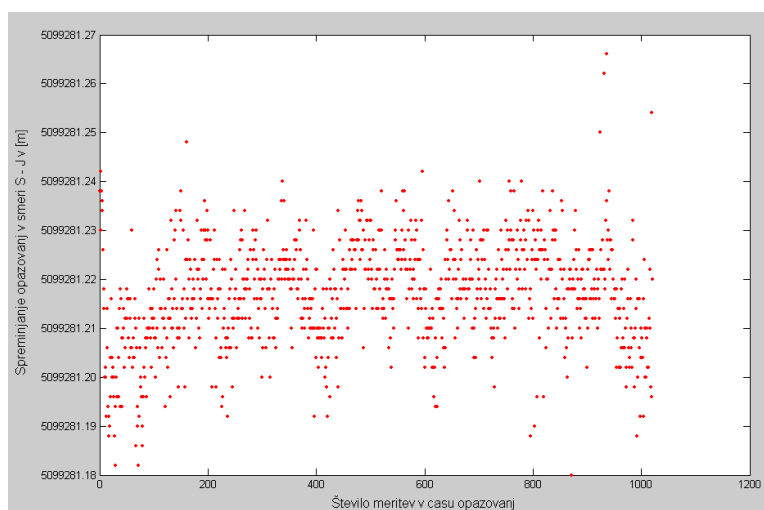
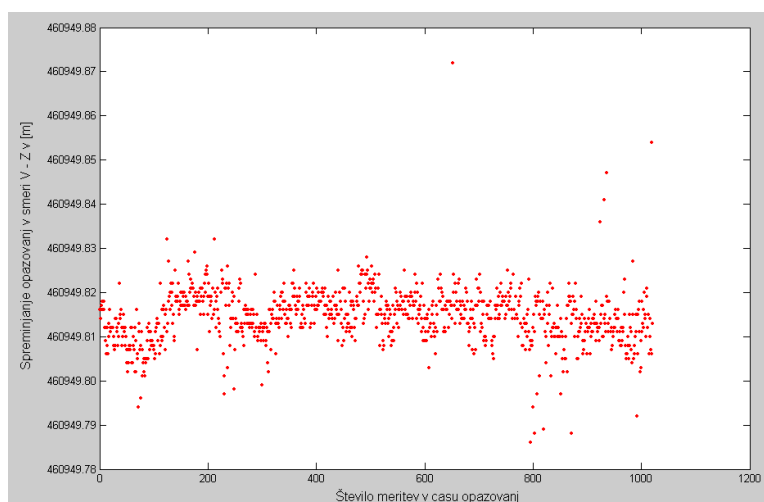
## Priloga B: Grafični prikaz rezultatov kinematične metode izmere

### Trimble Total Control kinematična izmera z oddanimi efemeridami

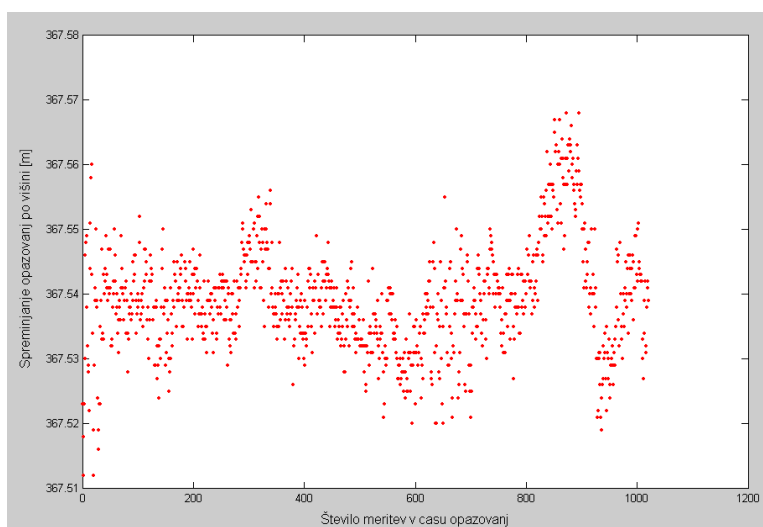
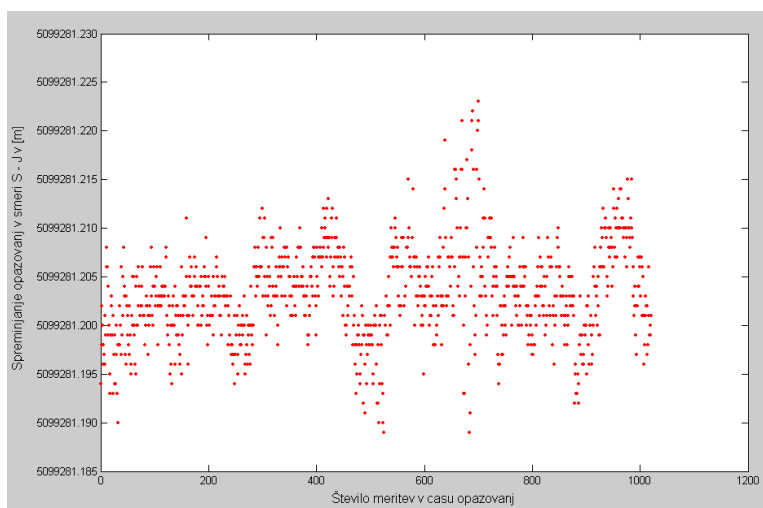
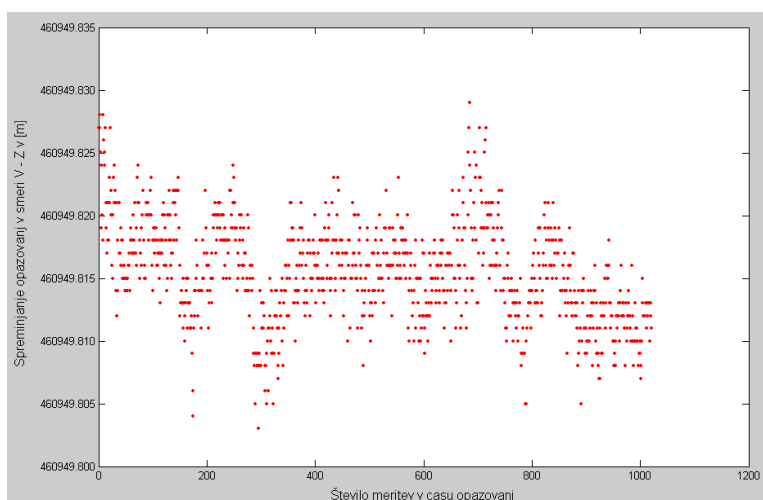
GLONASS1: L1, višinski kot  $10^\circ$ , časovni interval  $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev



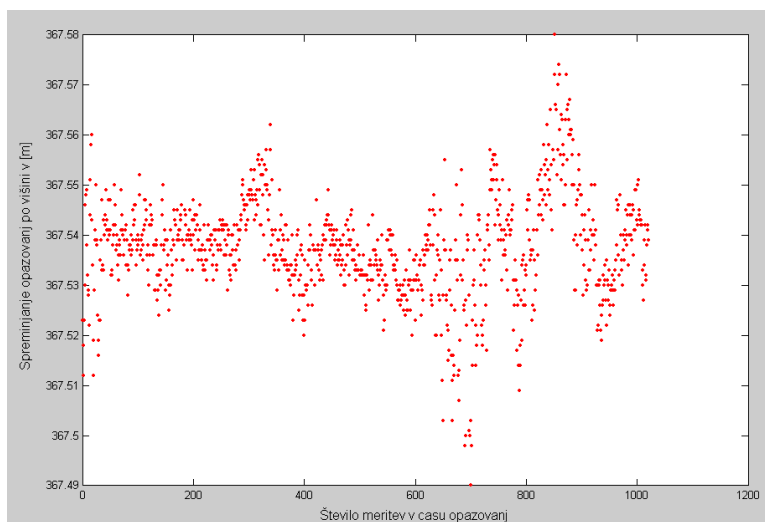
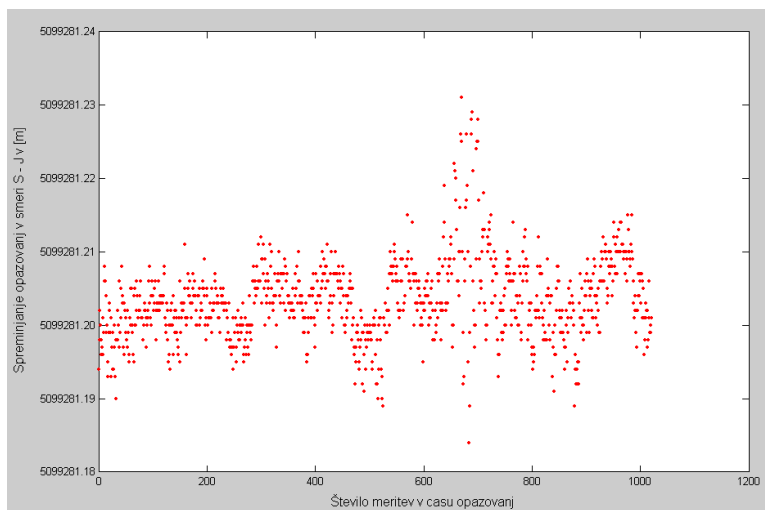
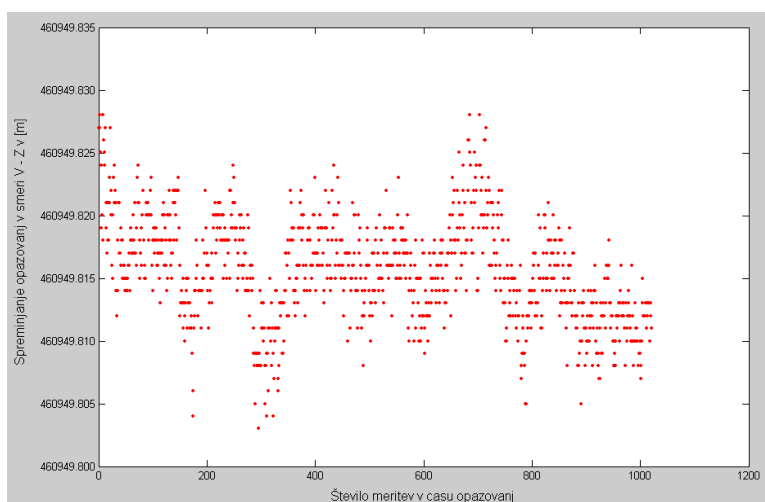
## GLONASS2: L1, višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev



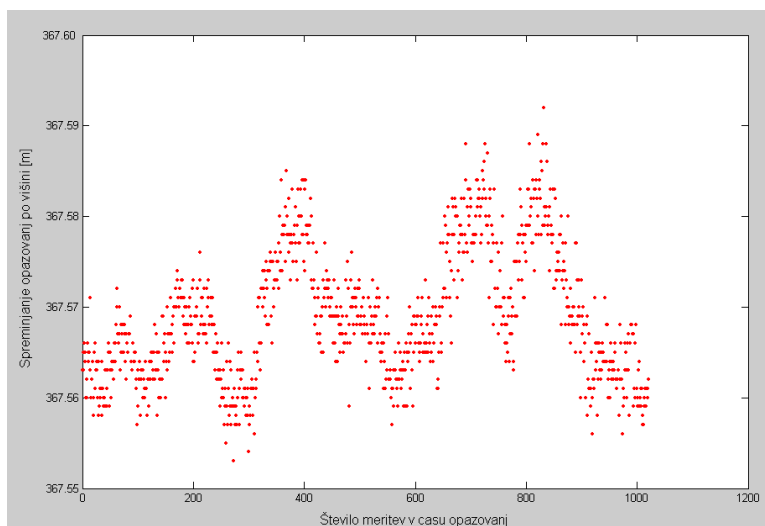
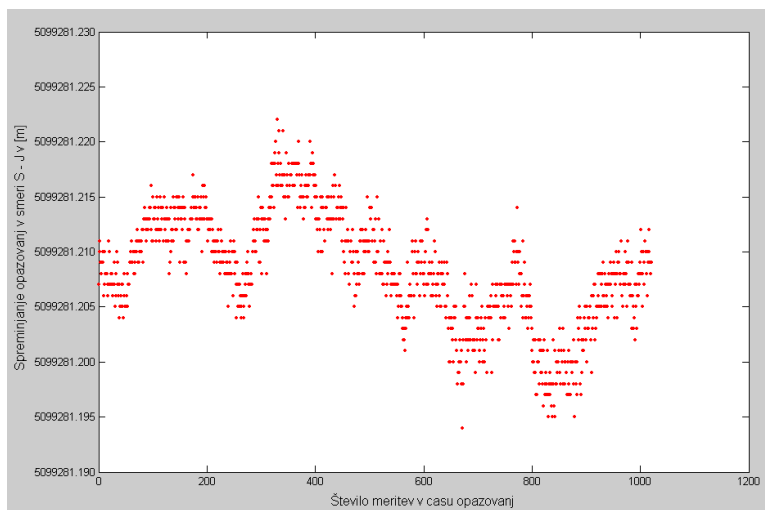
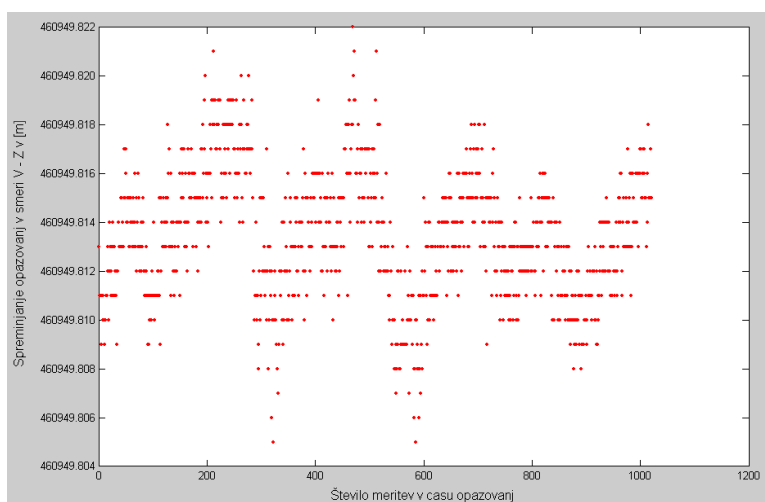
## GPS1: L1, višinski kot $10^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev



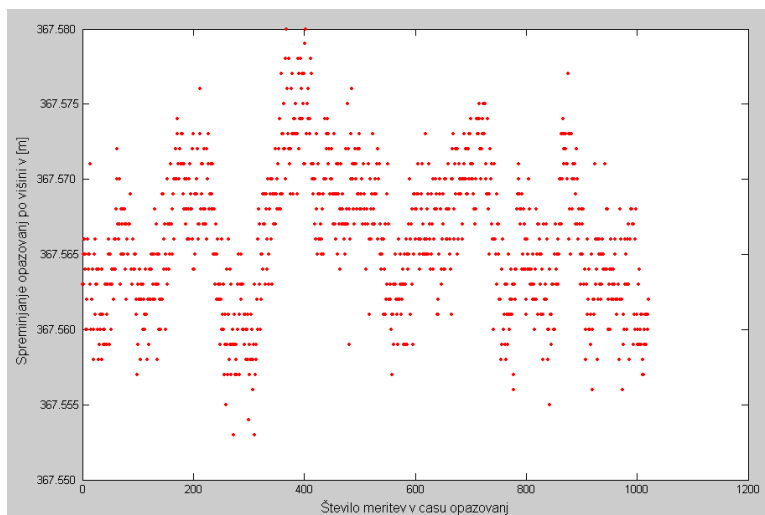
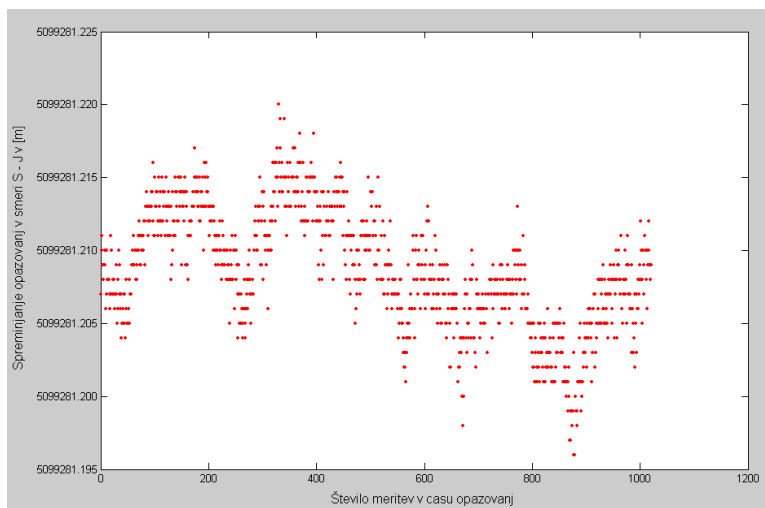
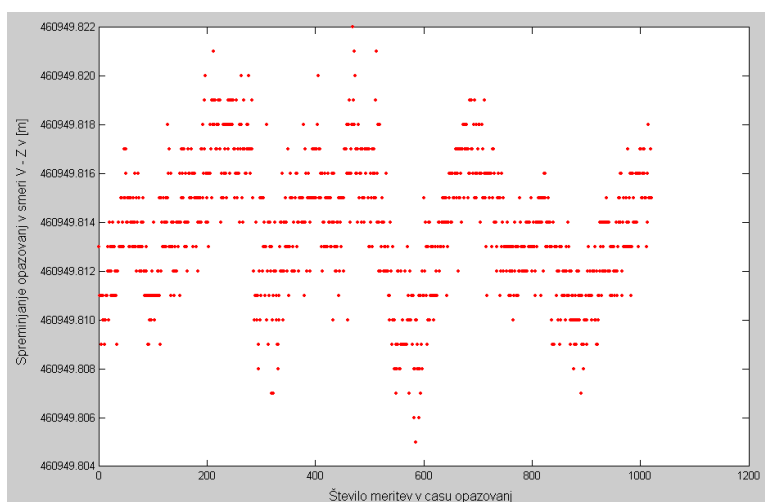
## GPS2: L1, višinski kot 15°, časovni interval 8<sup>55</sup> - 10<sup>20</sup>, 1021 rešitev



## GPS3: L2, višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev

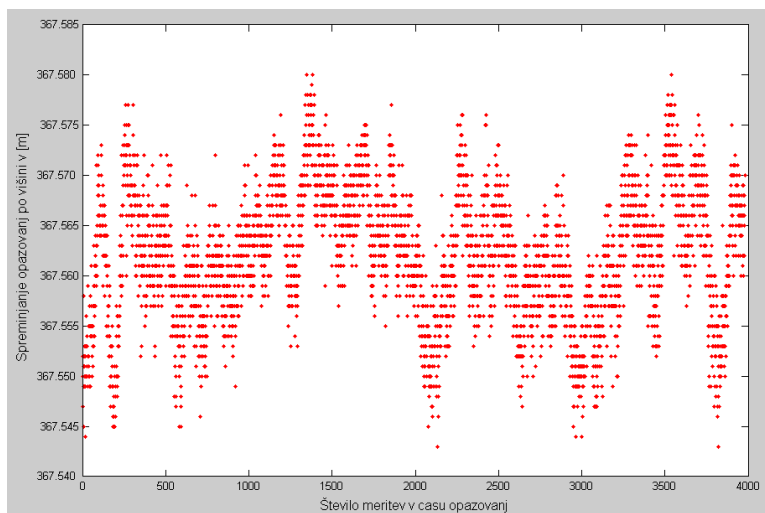
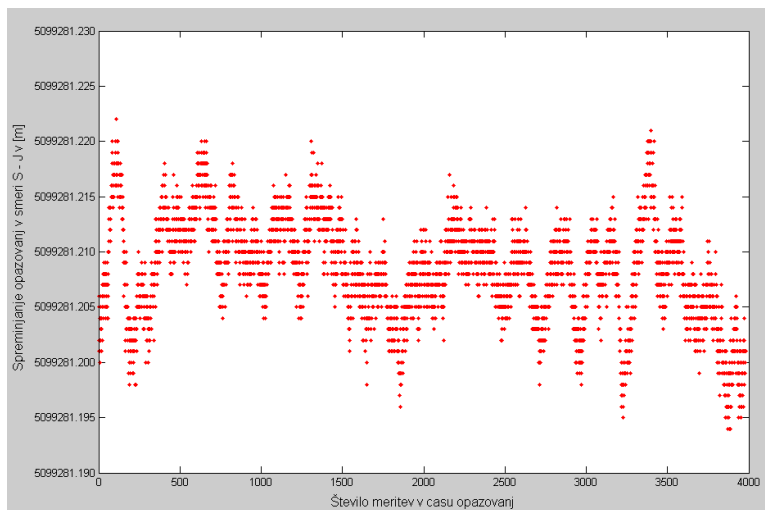
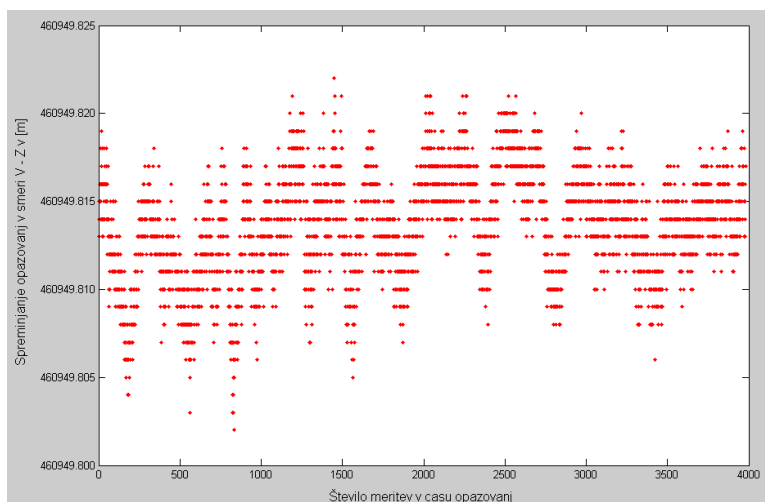


## GPS4: L2, višinski kot $10^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev

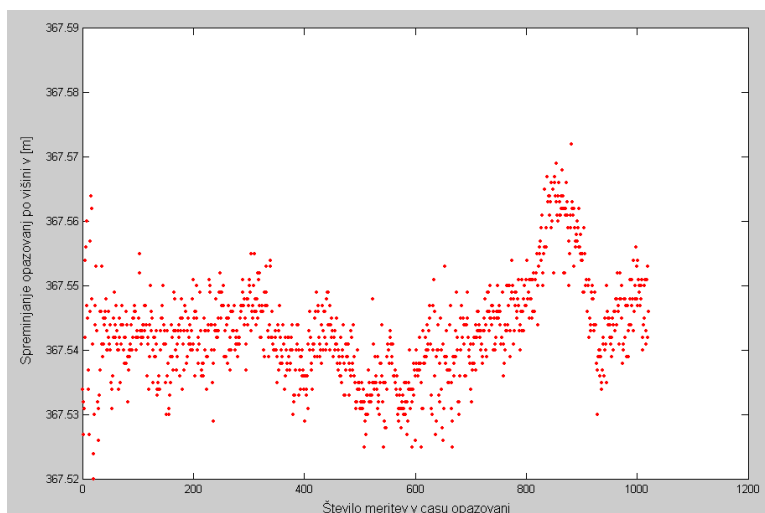
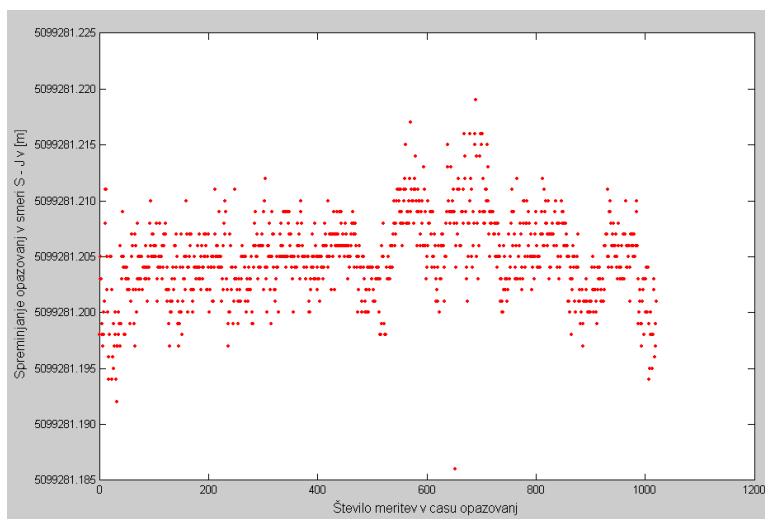
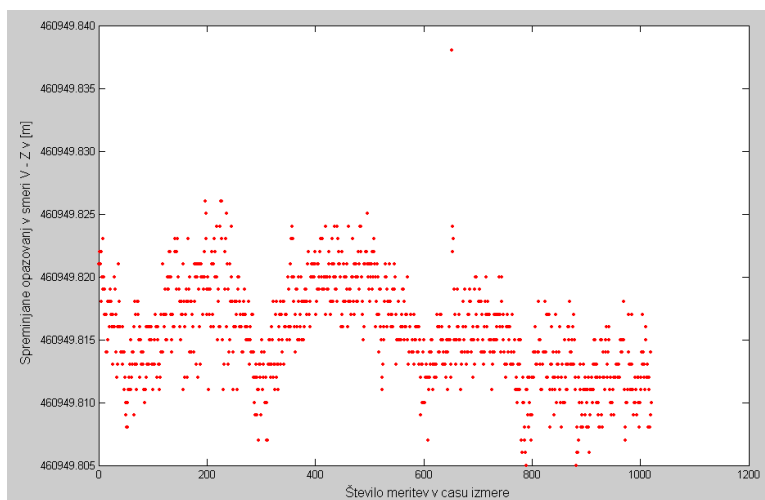




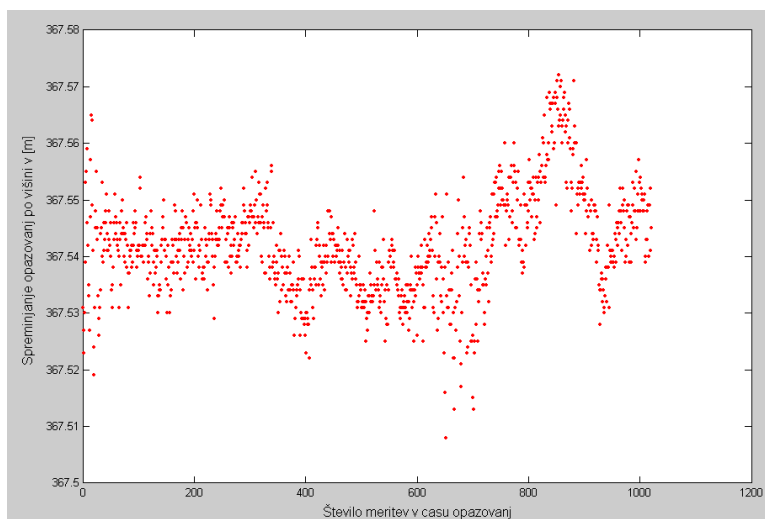
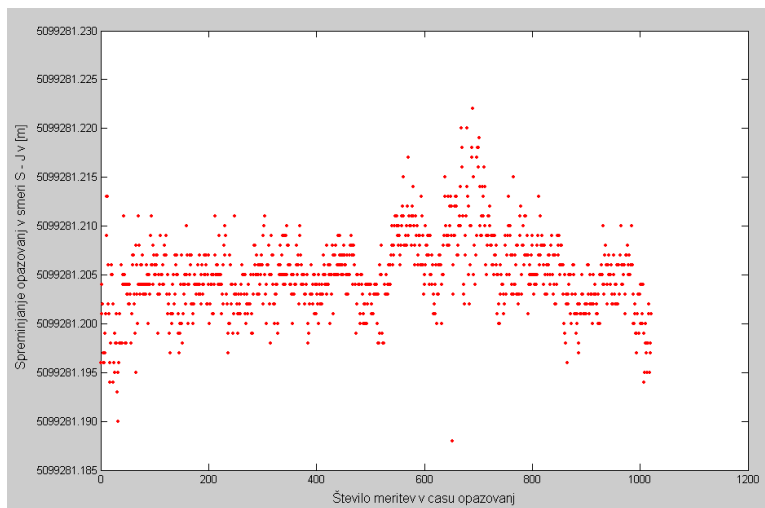
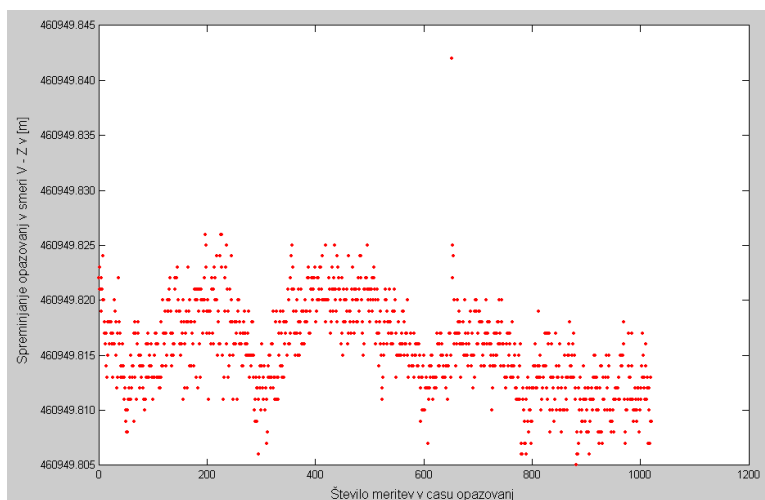
## GPS5: L2, višinski kot 10°, celotna izmera, 3980 rešitev



## GPS/GLONASS1: L1, višinski kot $10^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev

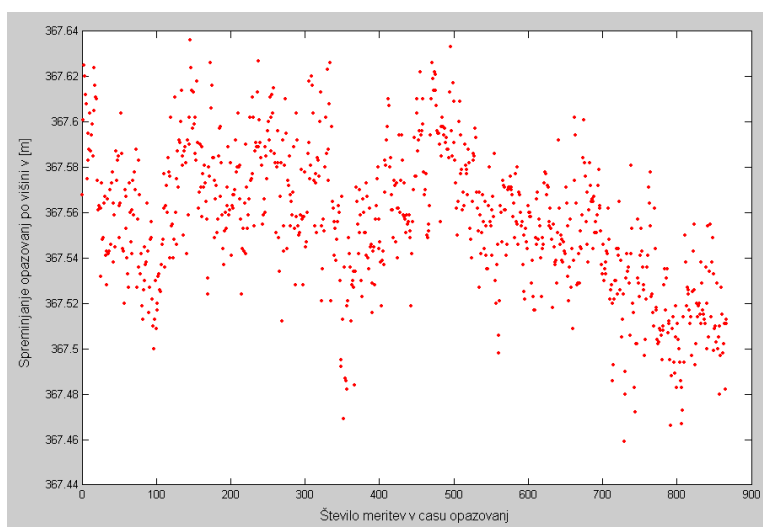
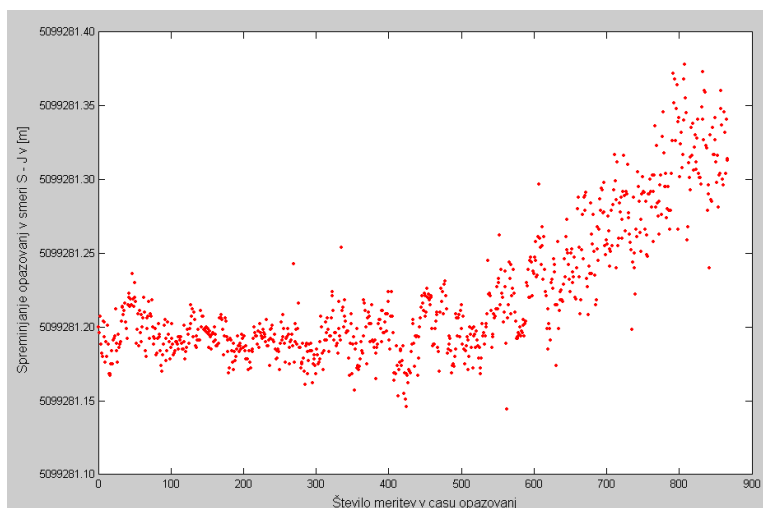
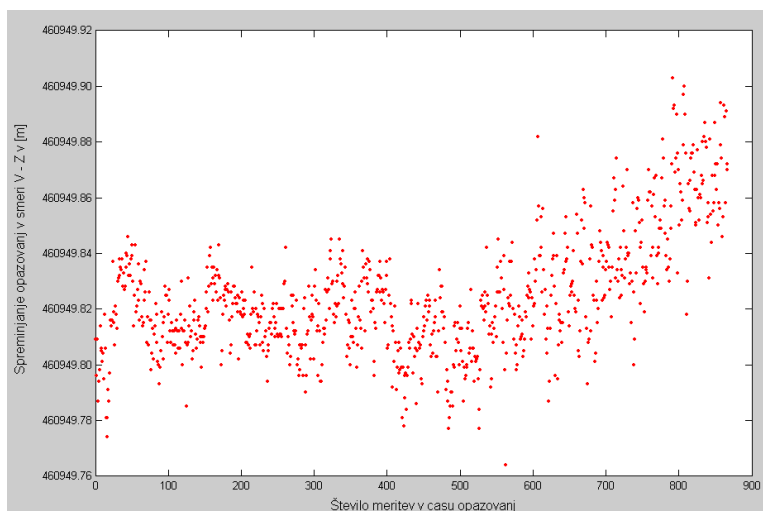


## GPS/GLONASS 2: L1, višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev

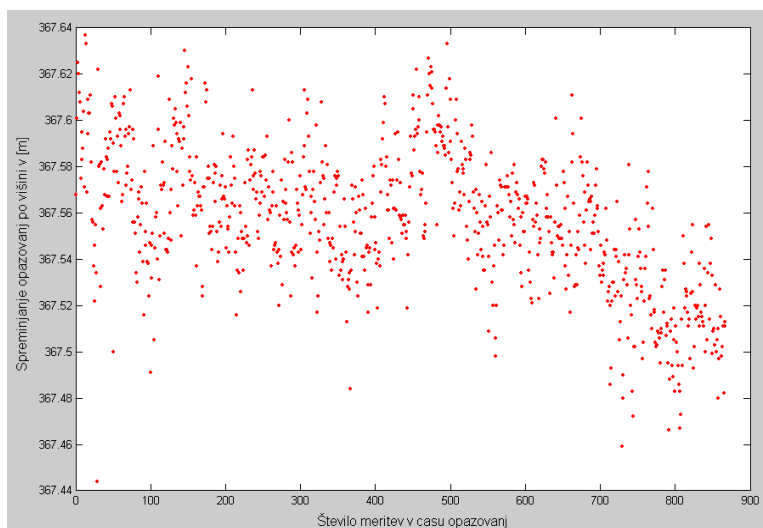
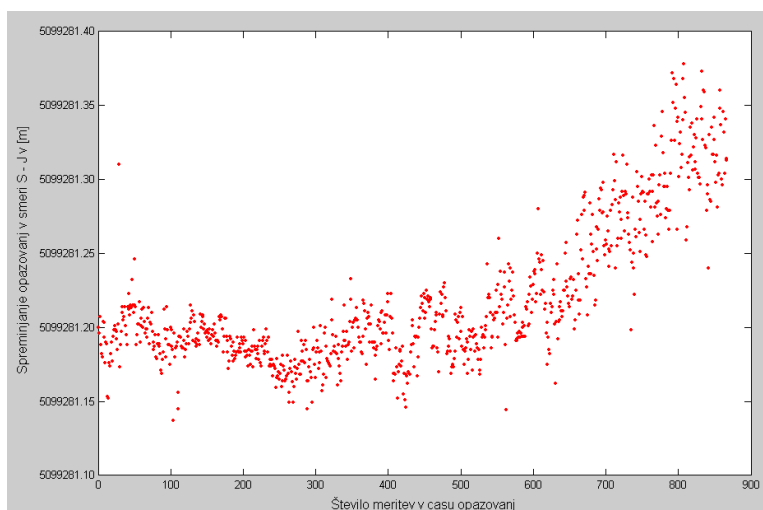
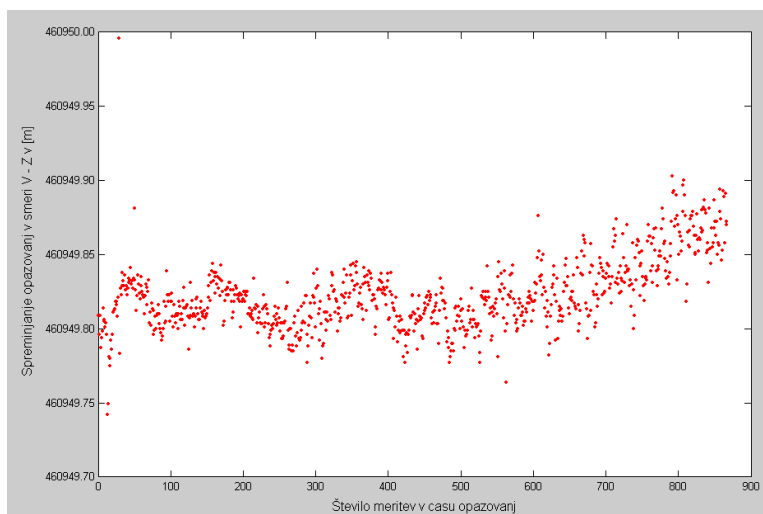


## Topcon Tools kinematična izmera z oddanimi efemeridami

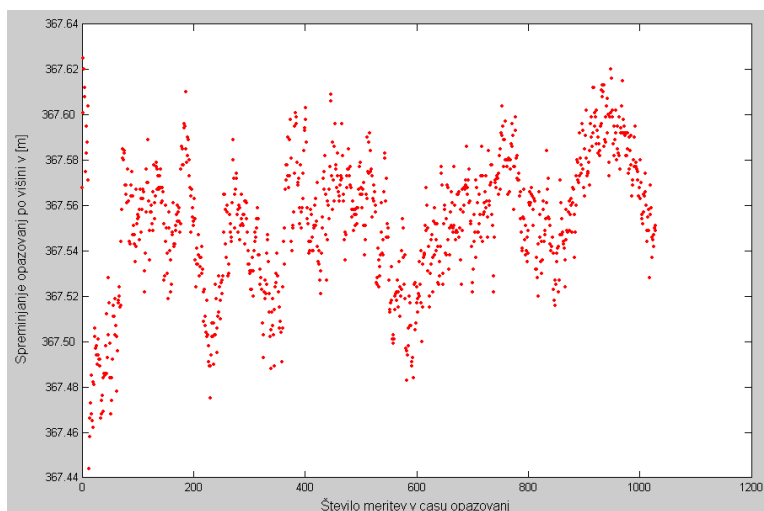
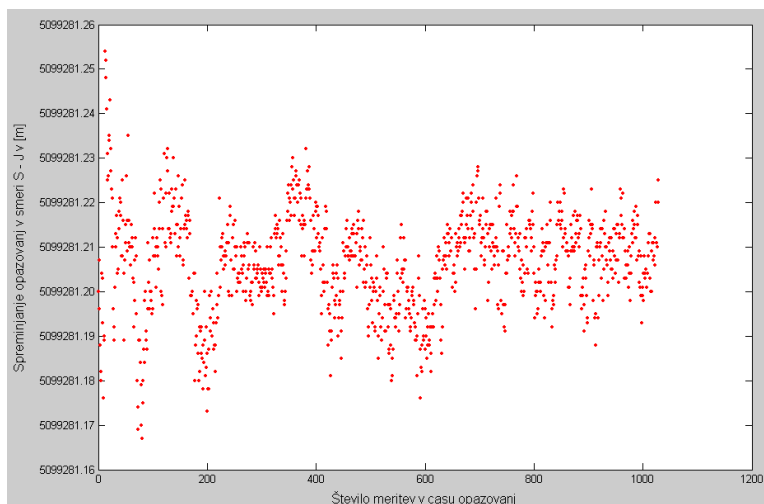
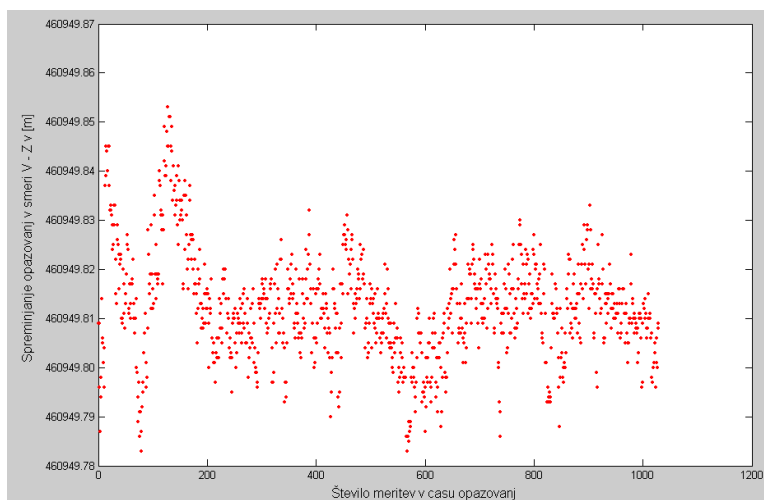
**GLONASS1: višinski kot  $10^\circ$ , časovni interval  $8^{55} - 10^{20}$ , 867 rešitev**



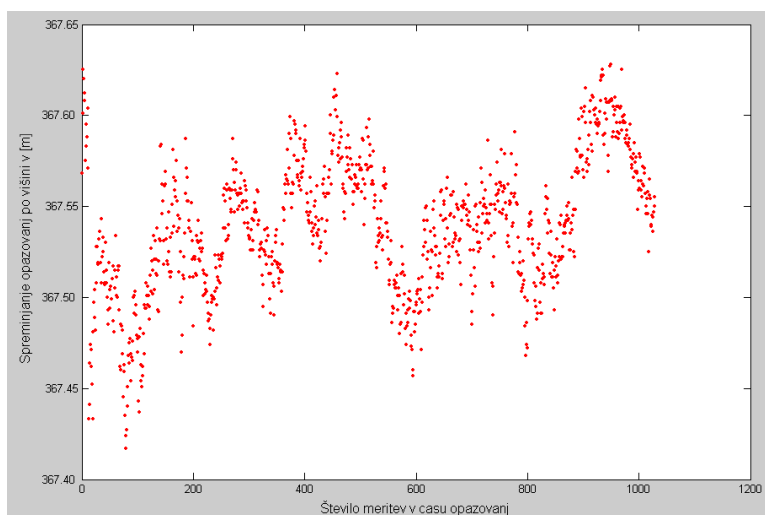
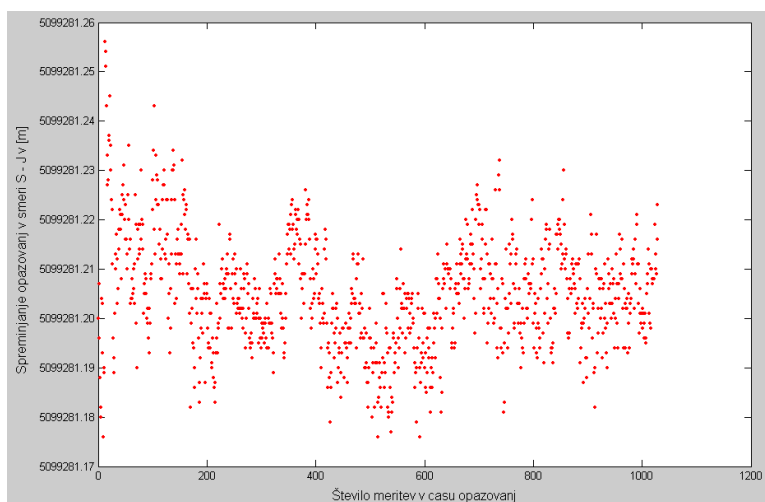
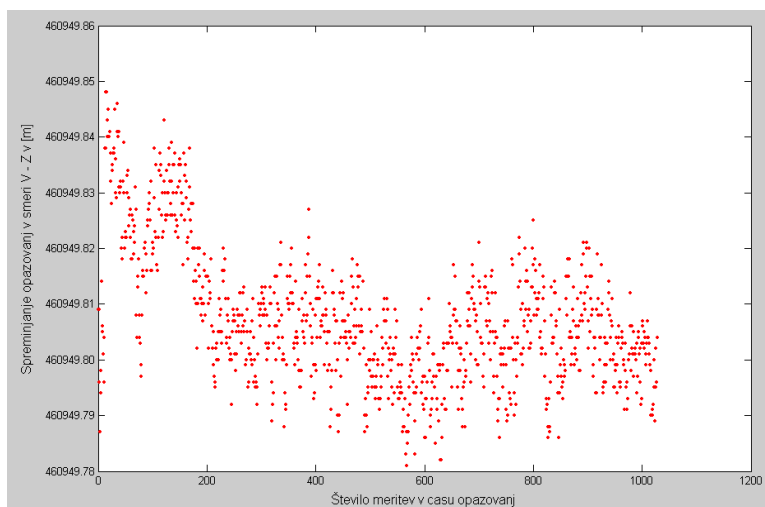
## GLONASS2: višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 867 rešitev



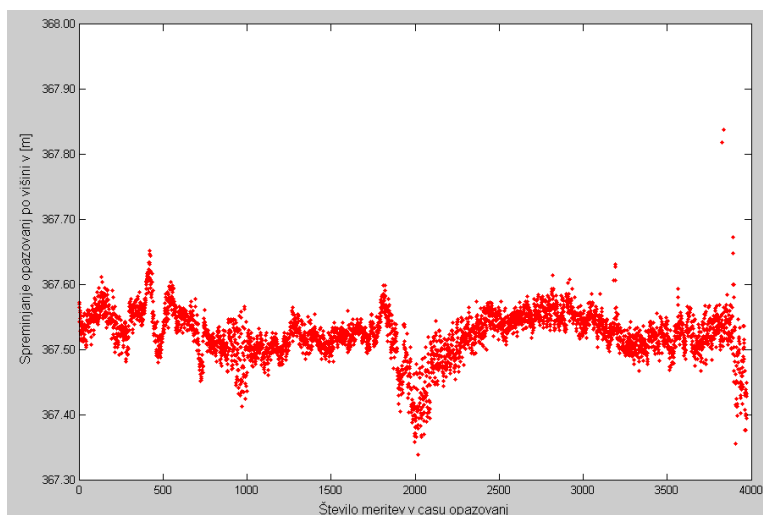
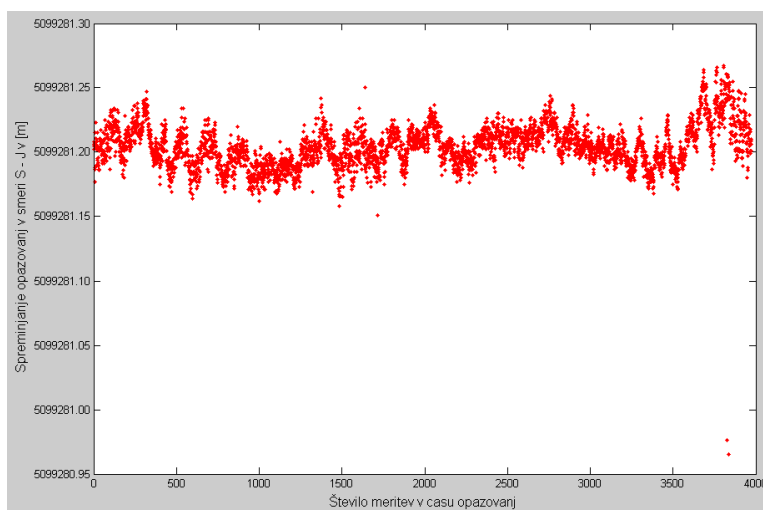
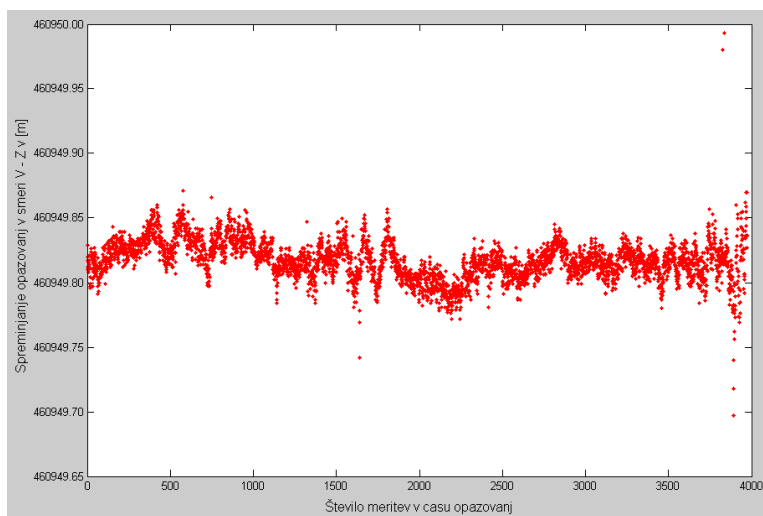
## GPS1: višinski kot $10^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1029 rešitev



## GPS2: višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1029 rešitev

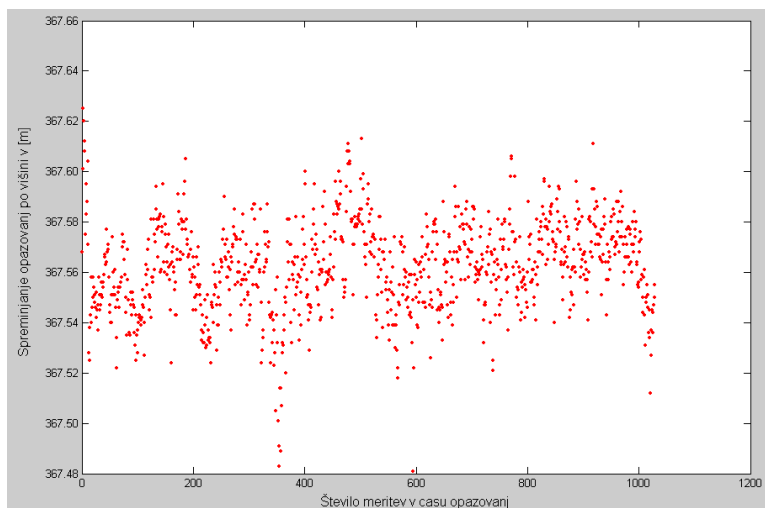
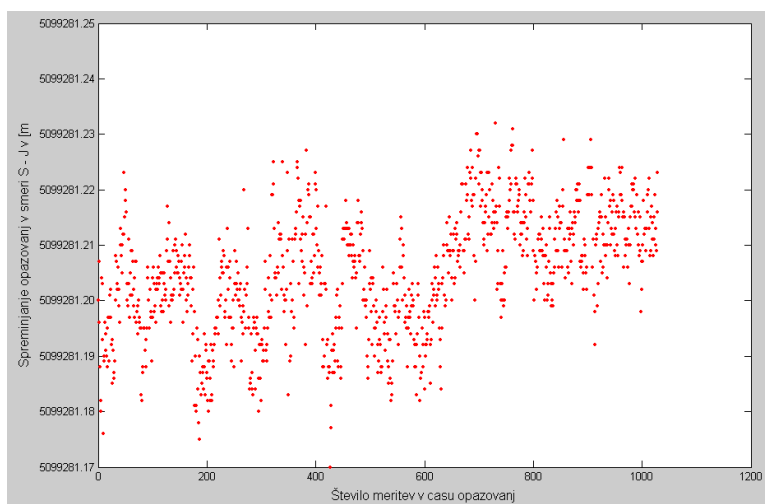
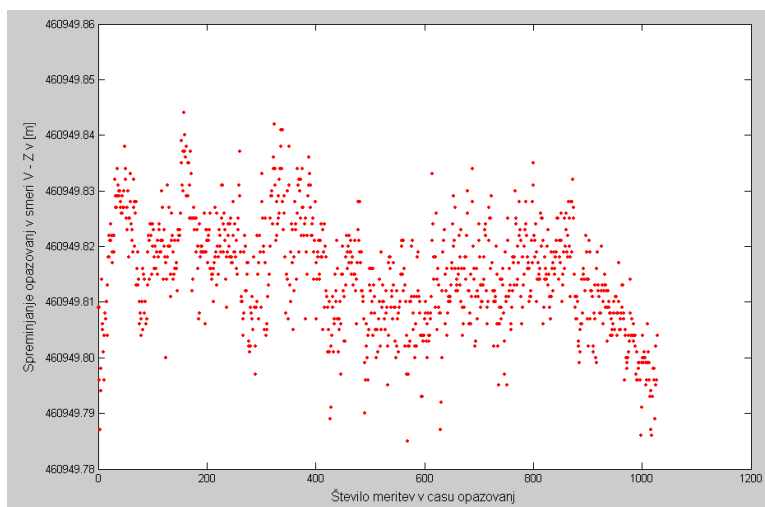


## GPS3: višinski kot $10^\circ$ , celotna izmera 3973 rešitev

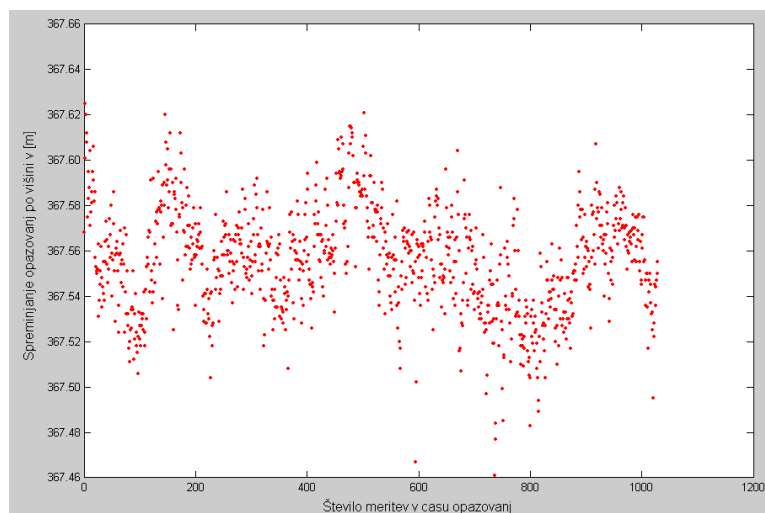
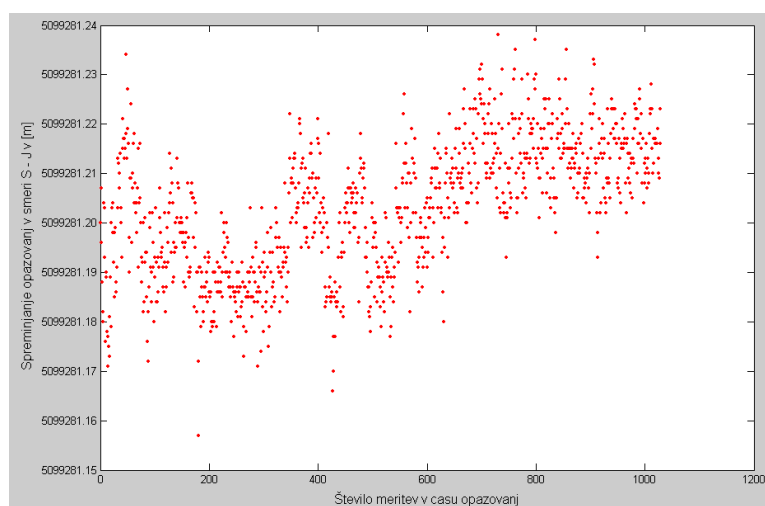
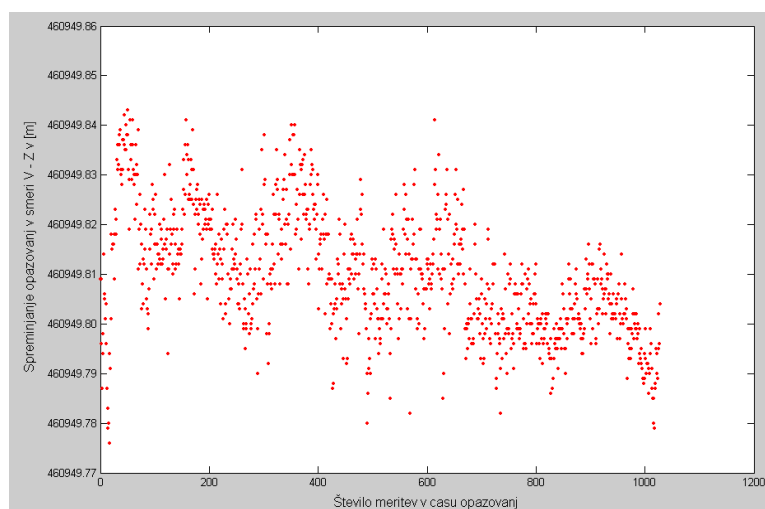




## GPS/GLONASS1: višinski kot $10^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1029 rešitev

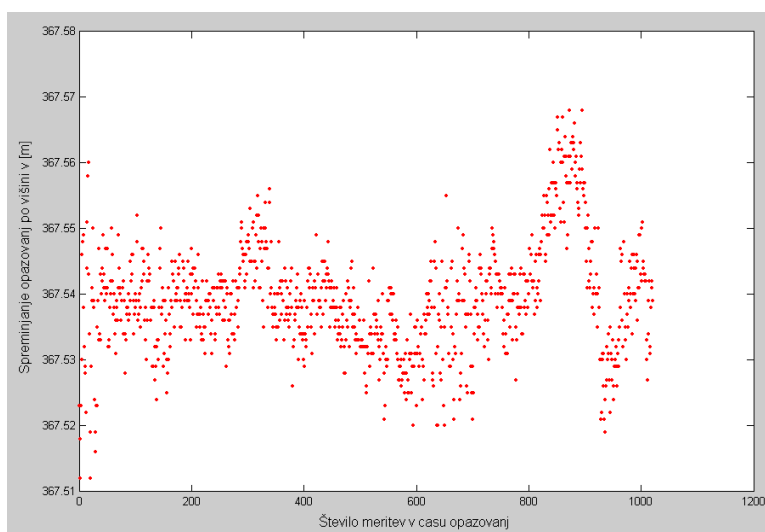
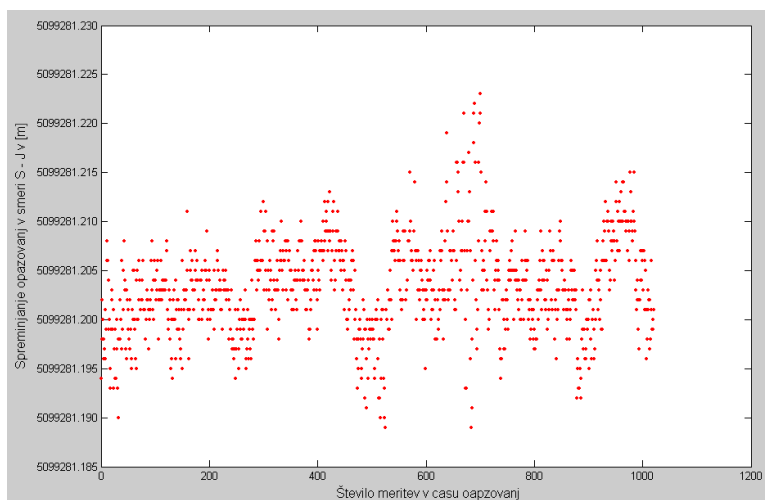
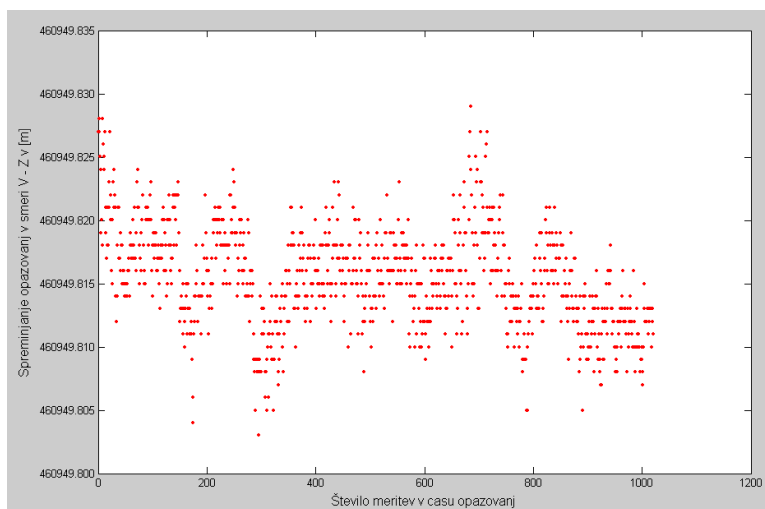


## GPS/GLONASS2: višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1029 rešitev

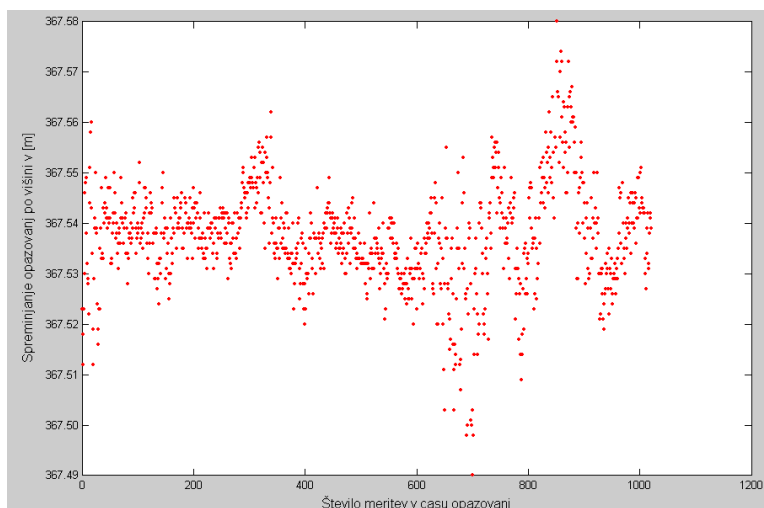
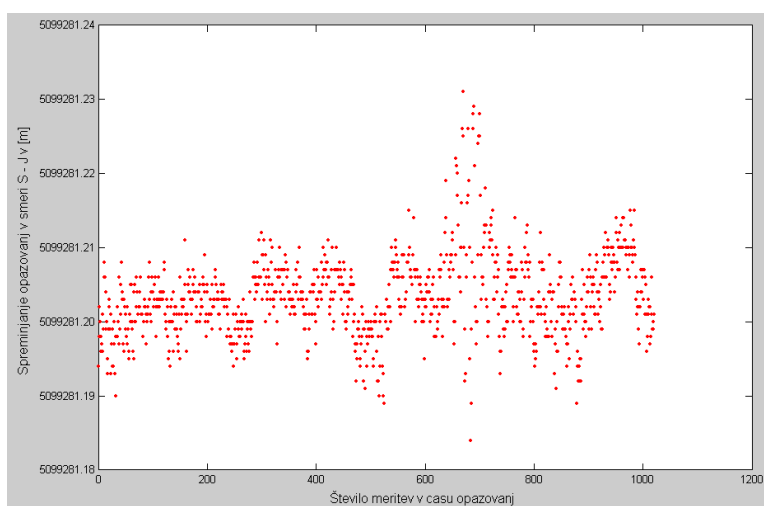
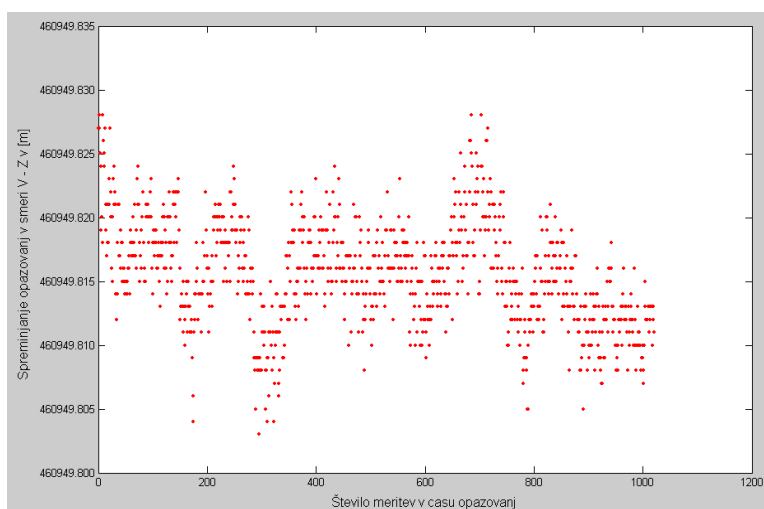


## Trimble Total Control kinematična izmera s preciznimi efemeridami

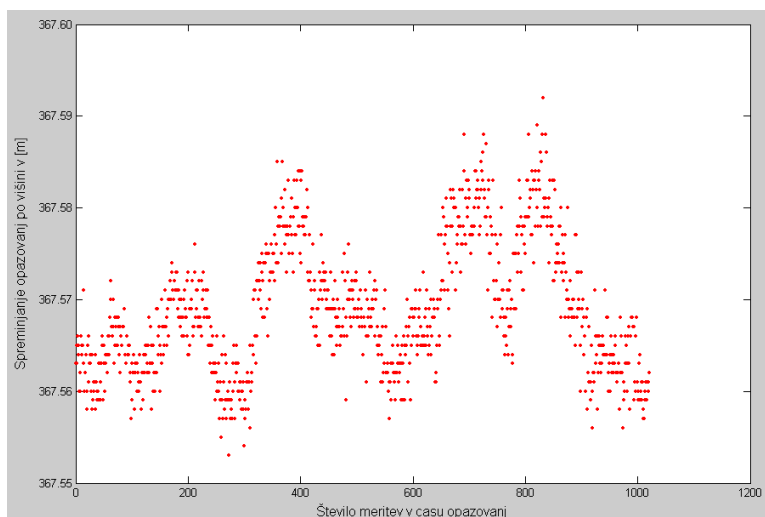
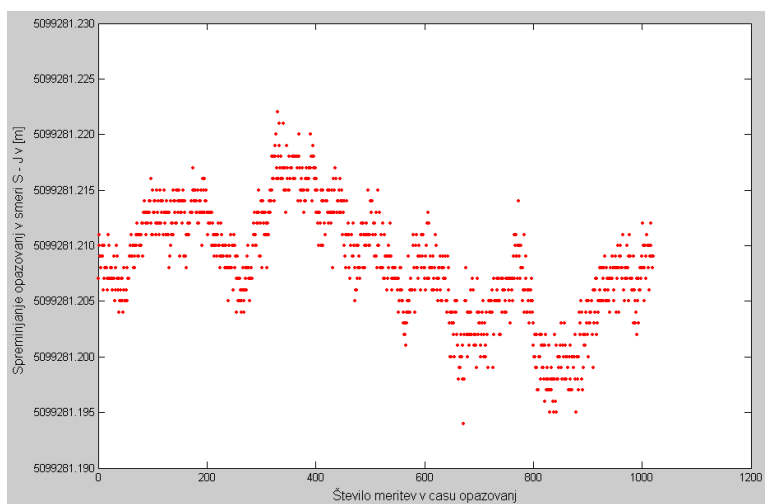
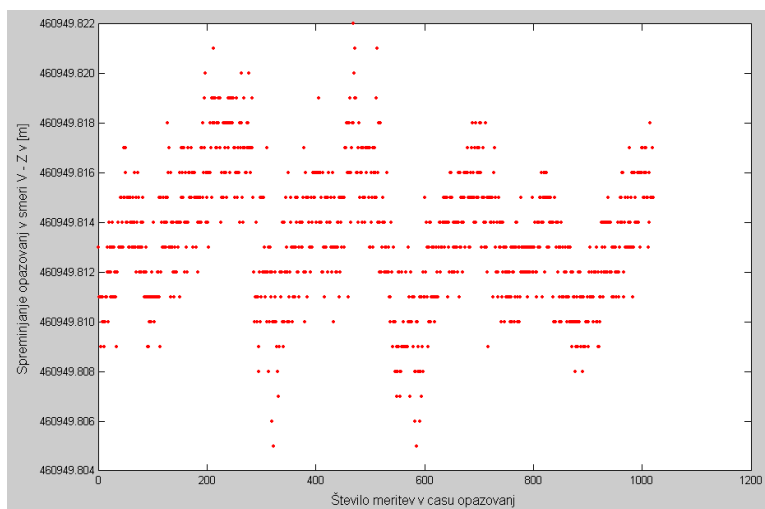
GPS6: L1, višinski kot  $10^\circ$ , časovni interval  $8^{55} - 10^{20}$ , 867 rešitev



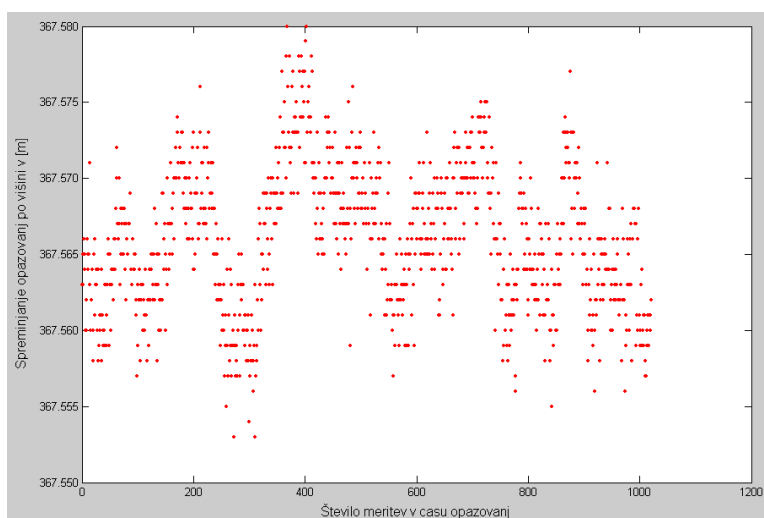
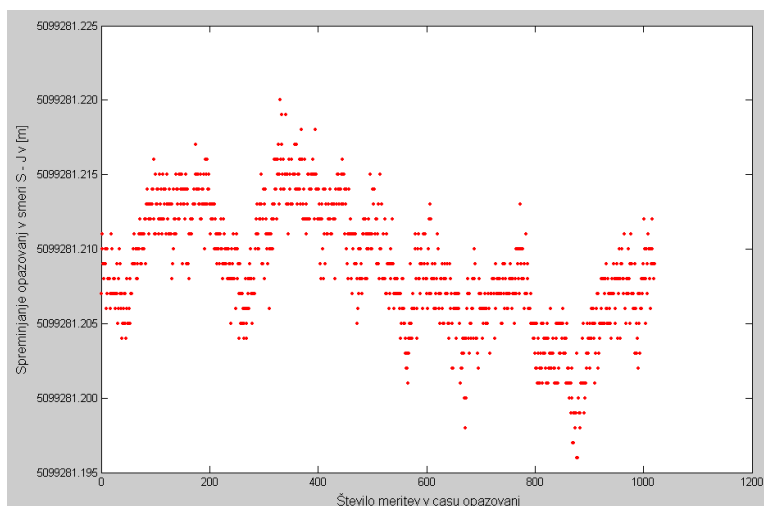
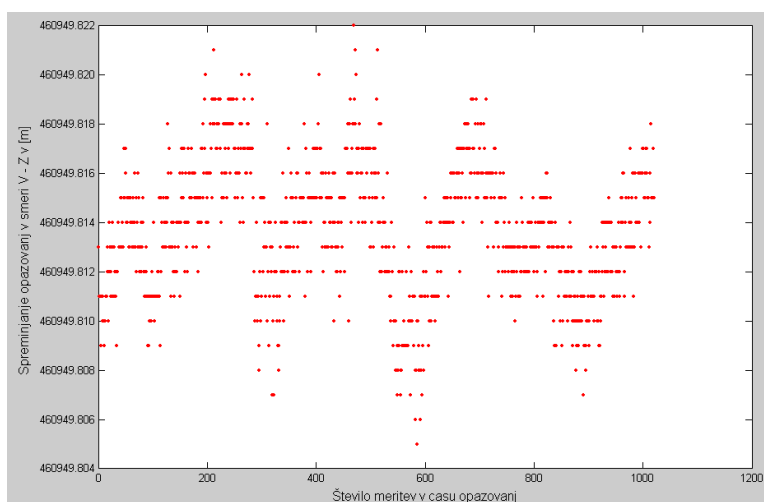
## GPS7: L1, višinski kot 15°, časovni interval 8<sup>55</sup> - 10<sup>20</sup>, 1021 rešitev



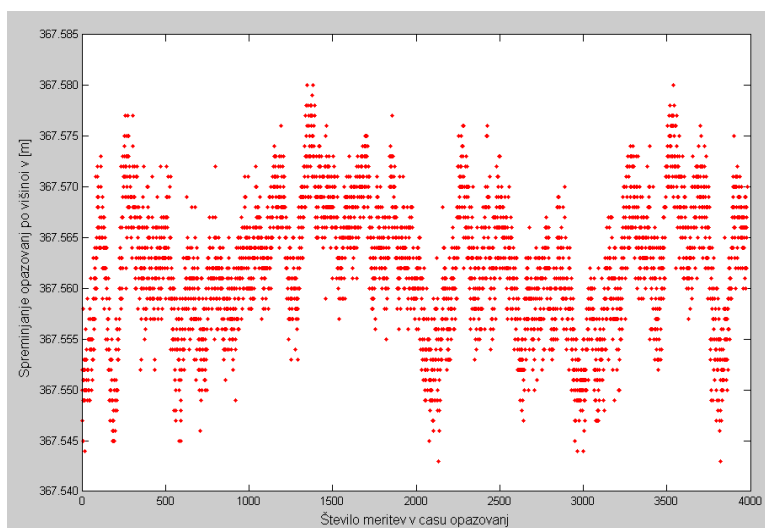
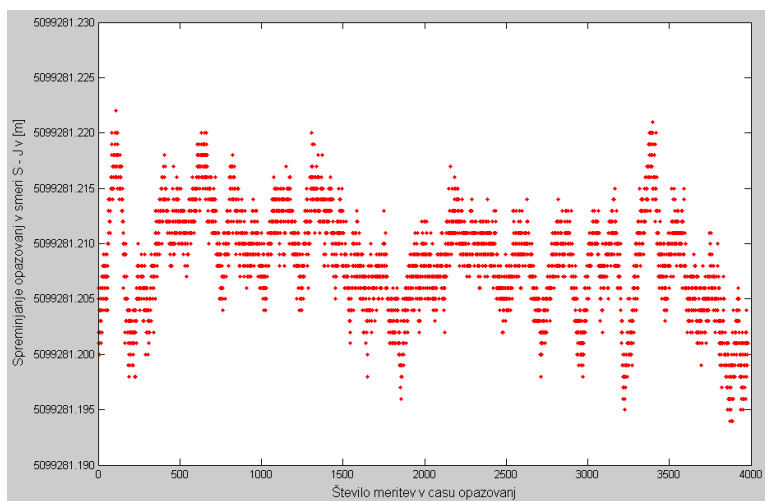
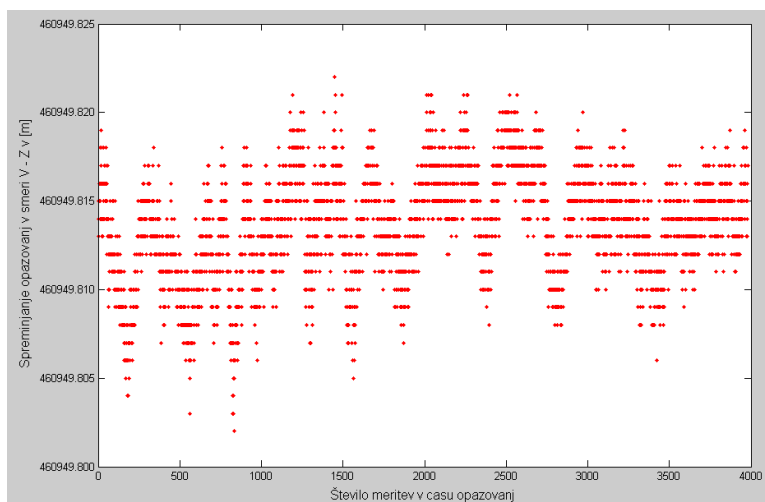
## GPS8: L2, višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev



## GPS9: L2, višinski kot $10^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev

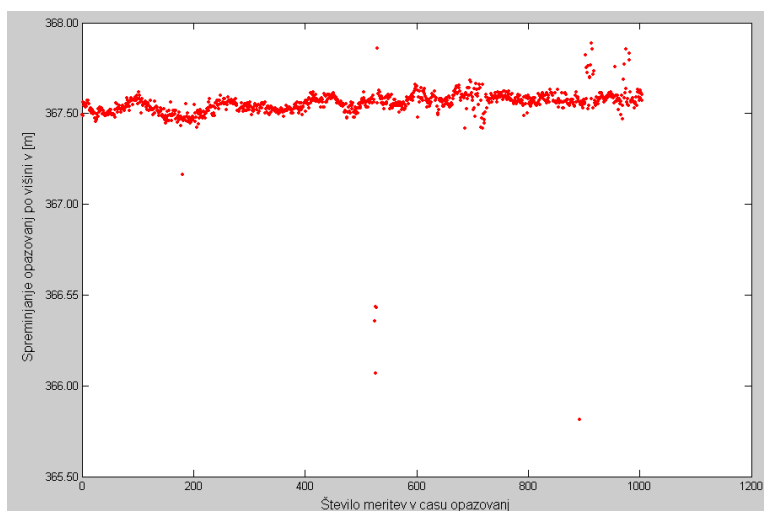
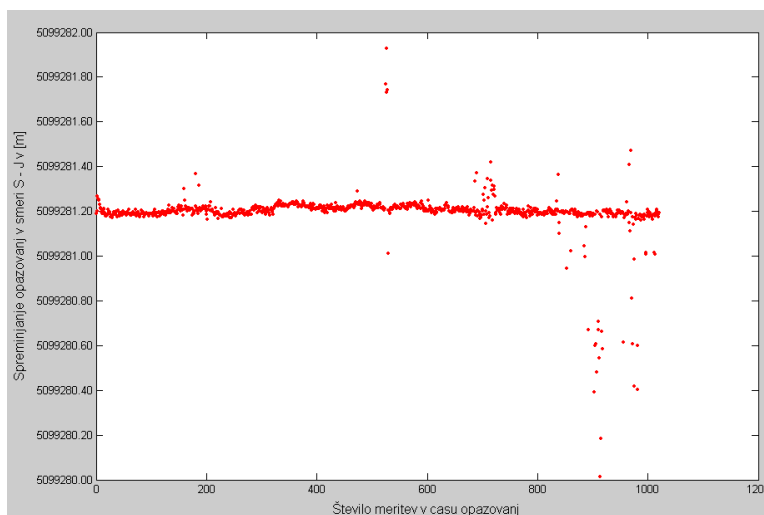
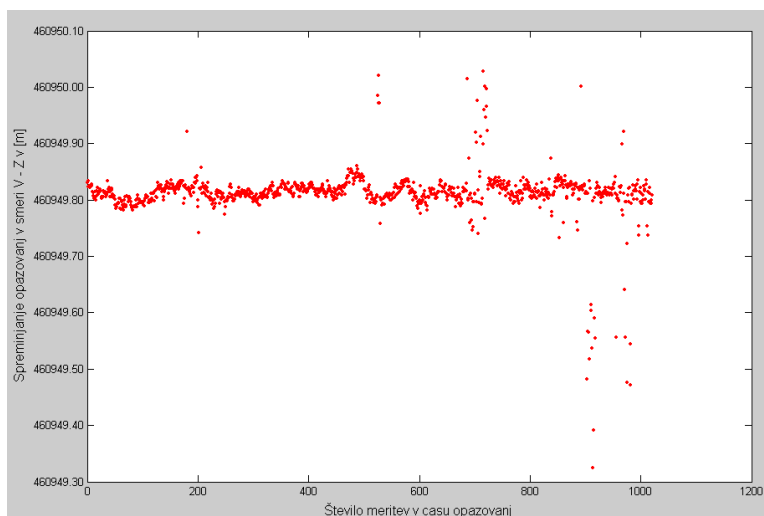


## GPS10: L2, višinski kot $10^\circ$ , celotna izmera, 3980 rešitev



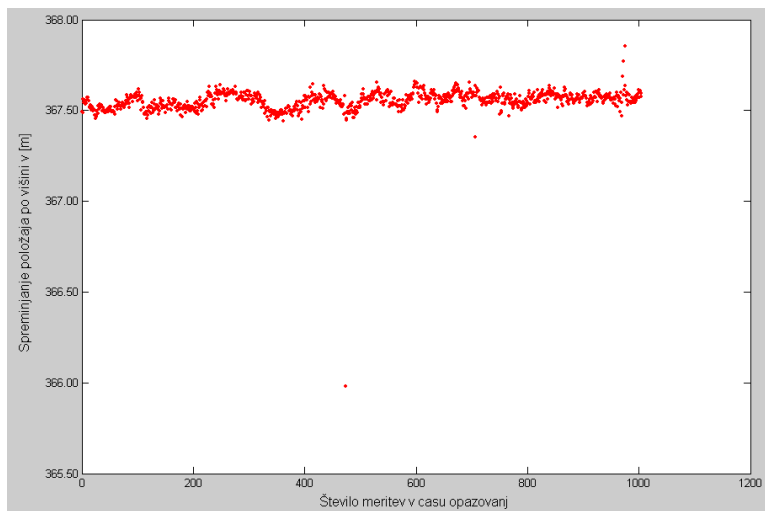
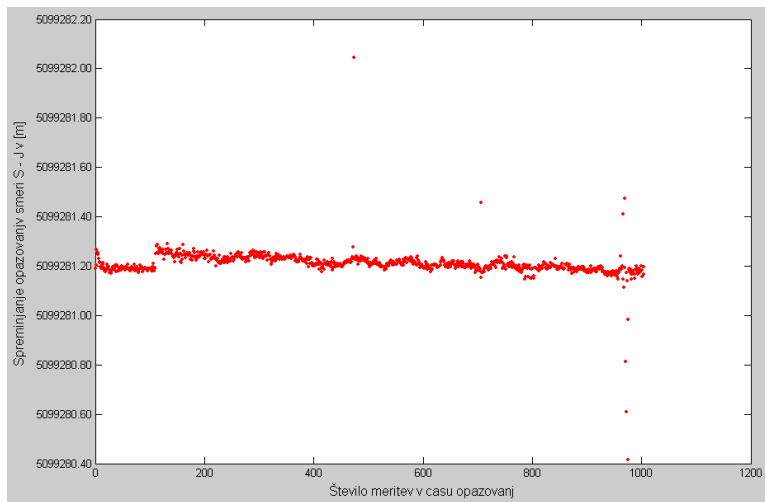
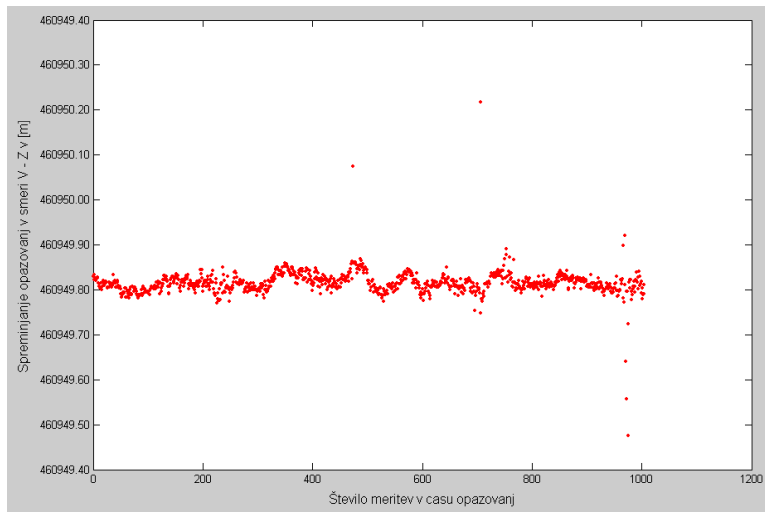
## Topcon Tools kinematična izmera s preciznimi efemeridami

**GLONASS3: višinski kot  $10^\circ$ , časovni interval  $8^{55} - 10^{20}$ , 1005 rešitev (od 1021)**

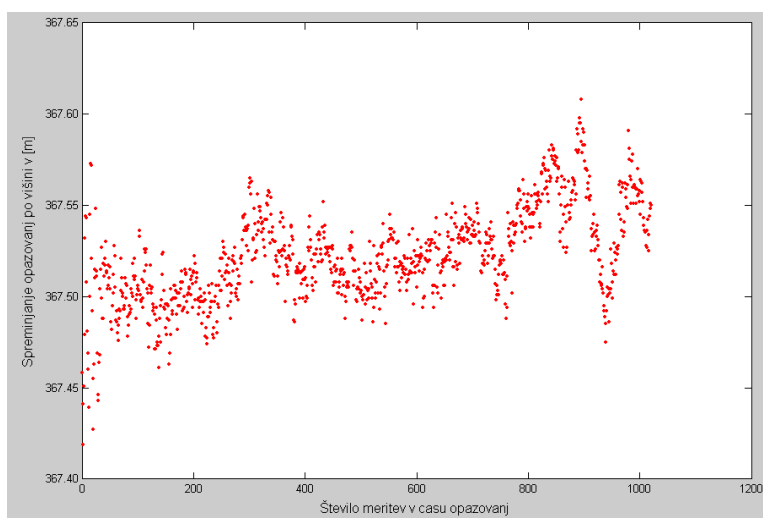
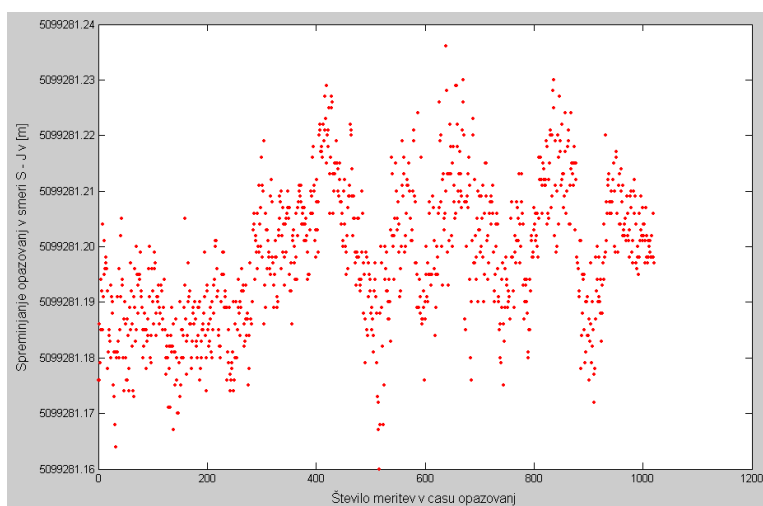
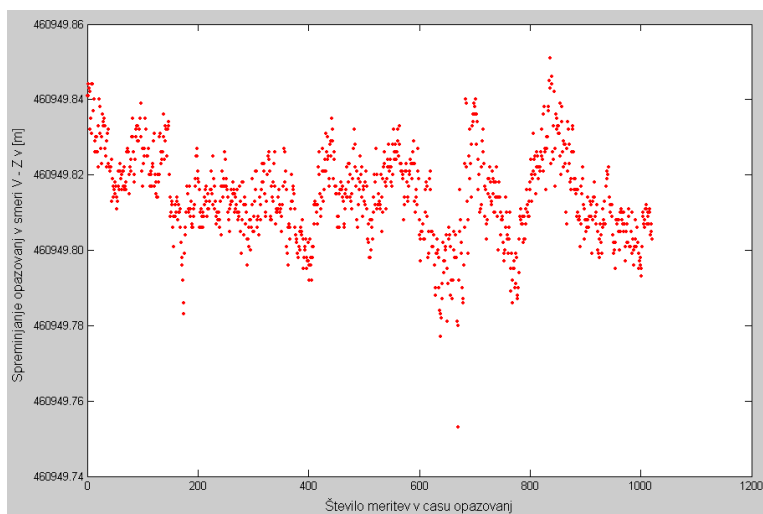




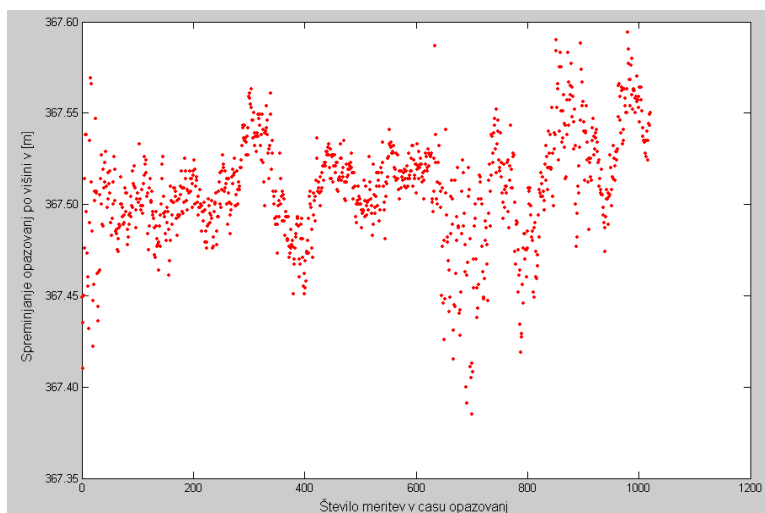
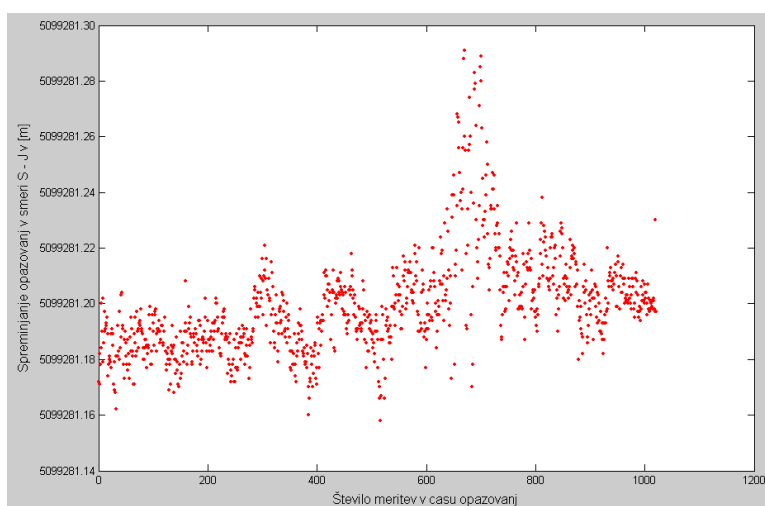
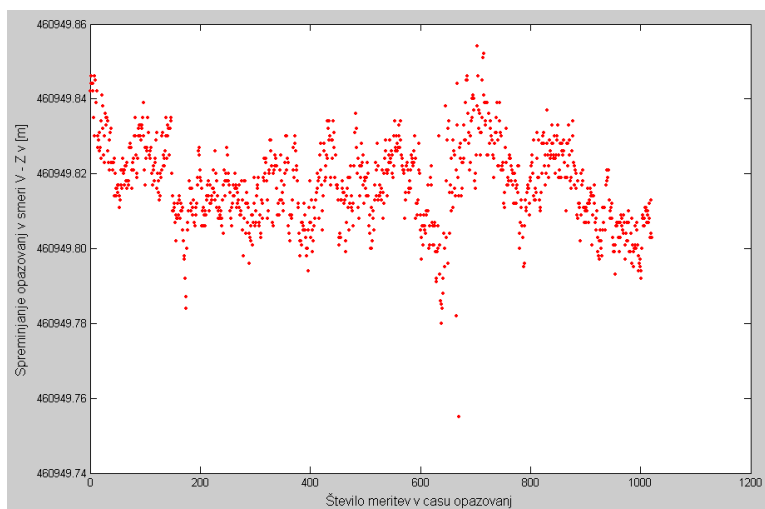
## GLONASS4: višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1005 rešitev (od 1021)



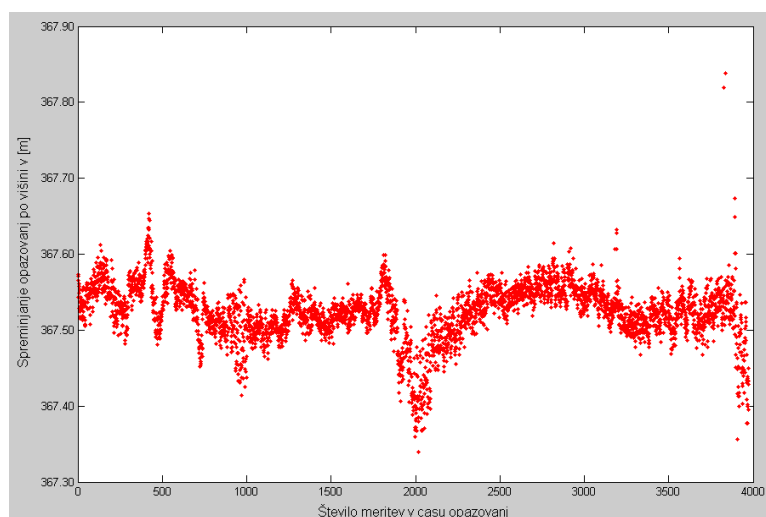
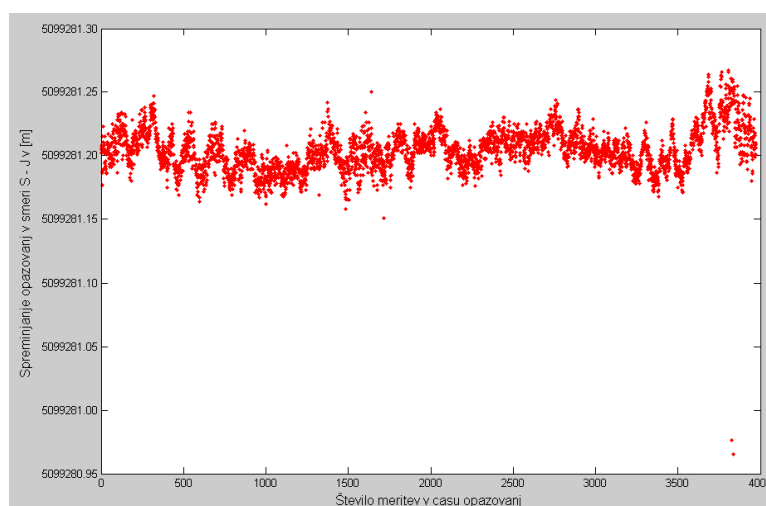
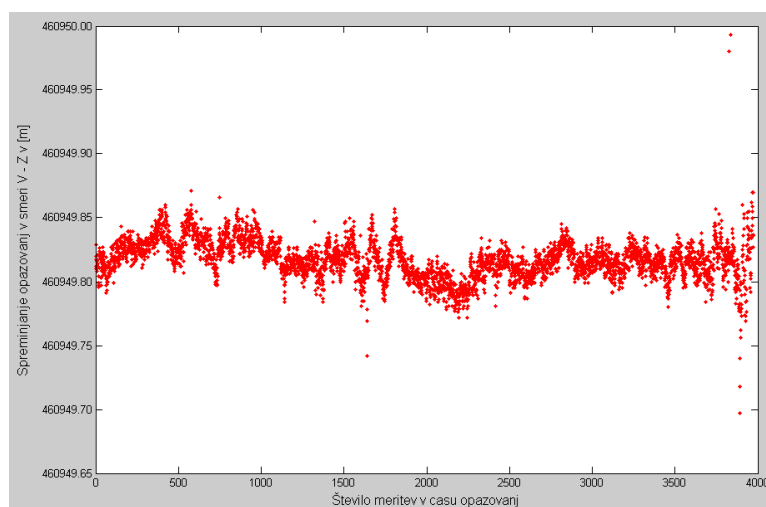
## GPS4: višinski kot $10^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev



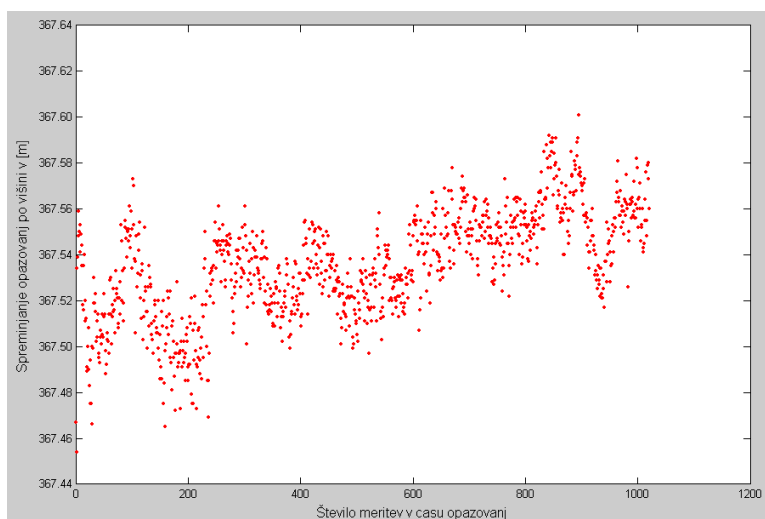
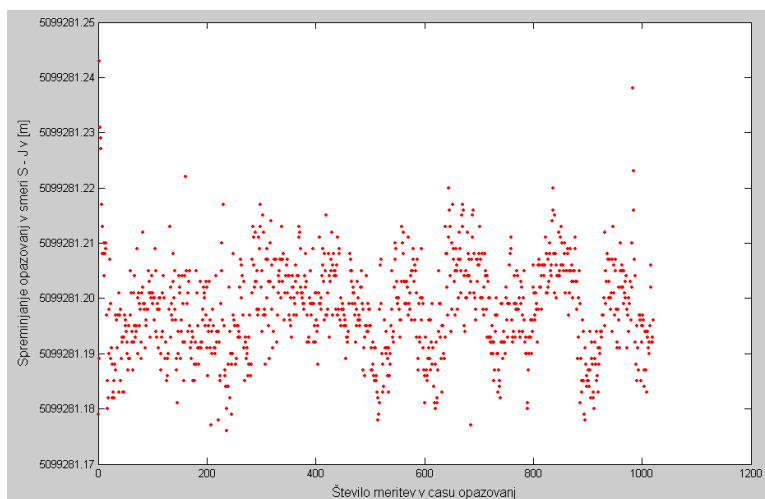
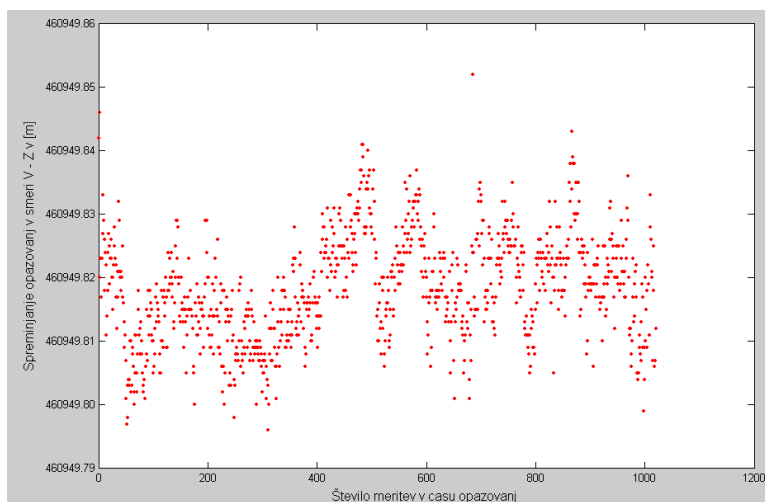
## GPS5: višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev



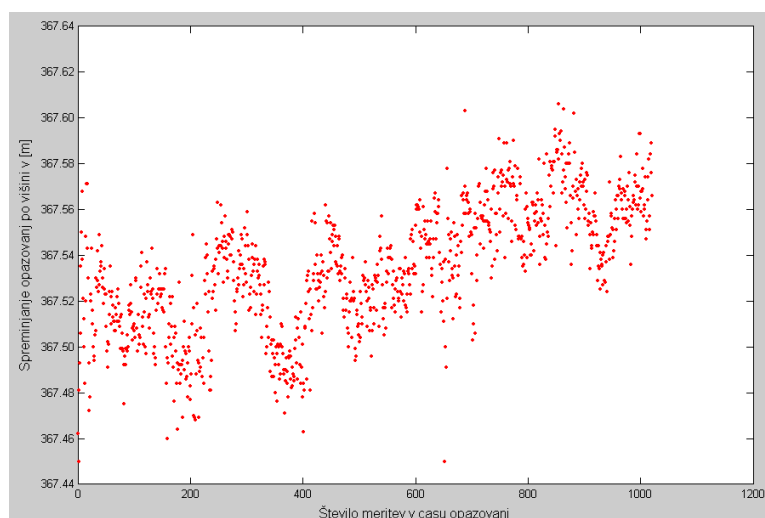
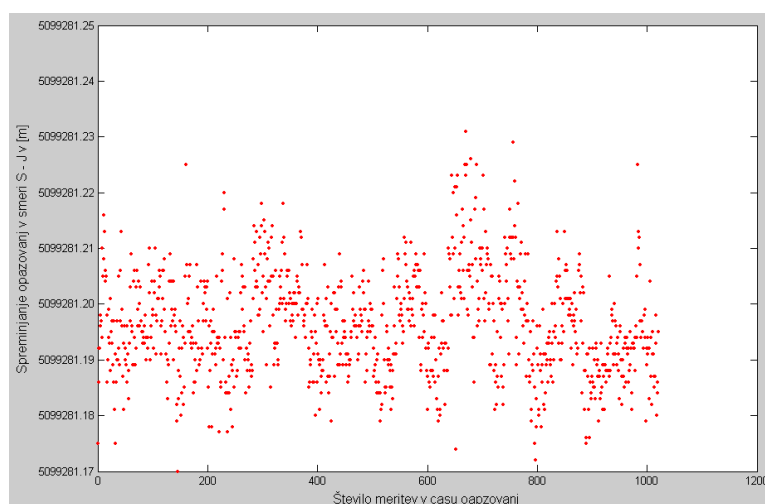
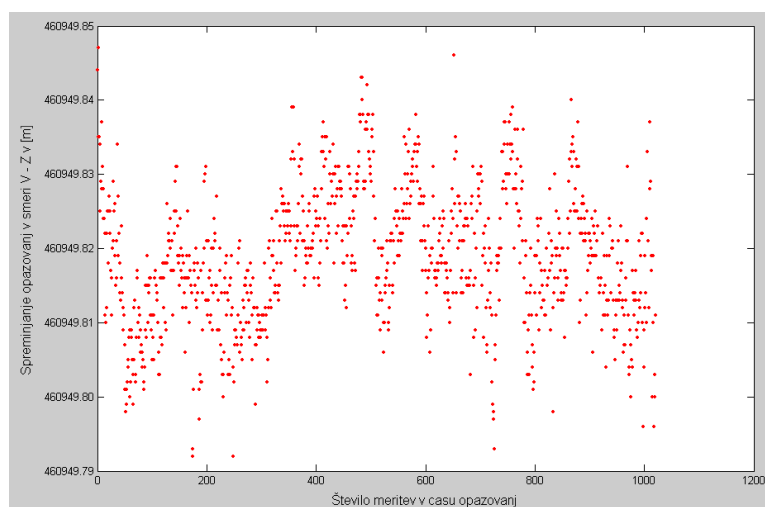
## GPS6: višinski kot 10°, celotna izmera, 3973 rešitev



## GPS/GLONASS3: višinski kot $10^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev



## GPS/GLONASS4: višinski kot $15^\circ$ , časovni interval $8^{55} - 10^{20}$ , 1021 rešitev



**Priloga C: Tabelarni prikaz rezultatov RTK metode izmere**

	Št. točke	dx [m]	dy [m]	dH [m]	$\sigma_x$ [m]	$\sigma_y$ [m]	$\sigma_H$ [m]	Hz prec. [m]	V prec. [m]	Št. GPS	Št. GLN	HDOP	VDOP
1. serija	1	-22.2908	57.4658	-30.2651	0.02177	0.01186	0.02596	0.026	0.024	7	4	1.398	1.468
	2	-22.3018	57.4546	-30.2559	0.02563	0.0090	0.03627	0.032	0.032	6	0	1.775	1.789
	3	7.8546	6.1725	-46.2339	0.01805	0.01515	0.03007	0.029	0.025	5	2	2.408	2.117
	5	1.8018	1.4891	-39.6817	0.03823	0.01563	0.02835	0.031	0.039	6	2	1.533	3.195
	6	7.8636	6.1944	-46.2942	0.01513	0.00824	0.01903	0.016	0.02	6	2	1.285	1.968
	7	41.9044	-51.6602	-64.9401	0.02001	0.00921	0.01539	0.02	0.018	5	3	1.751	1.565
	9	101.8124	-160.0133	-95.5588	0.02176	0.01509	0.01486	0.018	0.024	6	0	1.545	2.525
	10	101.7880	-160.0172	-95.5861	0.01612	0.00933	0.01347	0.014	0.019	7	4	1.081	1.809
	11	135.9851	-142.2319	-132.1264	0.02161	0.01289	0.01597	0.021	0.022	7	4	0.98	1.719
	12	135.9914	-142.2023	-132.1211	0.02502	0.01037	0.02483	0.025	0.027	7	0	1.065	1.883
	15	133.8098	-177.8738	-121.7652	0.01419	0.00977	0.01385	0.015	0.017	7	2	1.199	1.594
16	133.7752	-177.9076	-121.7784	0.01134	0.00841	0.01725	0.015	0.017	7	0	1.126	1.439	
2. serija	20	-22.3827	57.4265	-30.2856	0.01740	0.01048	0.03280	0.023	0.031	6	0	1.653	2.787
	21	-22.3683	57.4306	-30.2985	0.01909	0.00976	0.02321	0.018	0.026	5	3	1.422	2.595
	22	7.8846	6.1903	-46.2589	0.04230	0.00849	0.03855	0.036	0.045	7	3	1.321	2.835
	23	7.8896	6.1930	-46.2294	0.03651	0.00794	0.03763	0.035	0.04	6	0	1.47	2.581
	24	41.8519	-51.6766	-64.8929	0.02211	0.00891	0.08759	0.063	0.066	6	0	6.128	6.612
	25	41.8805	-51.6664	-64.9116	0.02762	0.00644	0.01799	0.023	0.025	6	3	1.224	1.901
	26	101.8118	-160.0112	-95.5373	0.02554	0.01159	0.01999	0.023	0.025	7	3	1.098	1.932
	27	101.8351	-160.0167	-95.5230	0.01547	0.01186	0.02252	0.02	0.022	7	0	1.558	1.995
	28	135.9976	-142.2333	-132.1147	0.01134	0.00680	0.01431	0.012	0.016	9	0	1.09	1.604
	29	135.9657	-142.2356	-132.1204	0.01092	0.00671	0.01244	0.011	0.014	9	4	0.924	1.416
	32	133.7660	-177.8902	-121.7844	0.01187	0.00612	0.01811	0.014	0.018	6	4	1.32	1.839
	33	133.7662	-177.9023	-121.7491	0.01236	0.00685	0.02450	0.018	0.022	7	0	1.74	2.274

**Priloga D: Tabelarični prikaz rezultatov RTK metode izmere za točki FGG2 in FGG4**

Št. točke	dx [m]	dy [m]	dz [m]	$\sigma_x$ [m]	$\sigma_y$ [m]	$\sigma_H$ [m]	Hz prec. [m]	V prec. [m]	Št. GPS	Št. GLN	HDOP	VDOP
FGG2	-13.1093	-13.3154	12.7073	0.01492	0.00862	0.02591	0.021	0.023	9	0	1.092	1.531
	-13.1087	-13.3121	12.7104	0.01621	0.00962	0.01545	0.017	0.017	9	4	0.884	1.303
FGG4	34.1826	-52.2129	-19.2797	0.01586	0.00524	0.02036	0.017	0.020	9	4	0.905	1.390
	34.1820	-52.2149	-19.2773	0.01938	0.00773	0.02190	0.020	0.022	8	0	1.110	1.609