

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 študij geodezije,  
Geodezija

Kandidat:  
**Peter Čadež**

# **Analiza metod Geodetske GNSS izmere**

**Diplomska naloga št.: 826**

**Mentor:**  
izr. prof. dr. Bojan Stopar

**Somentor:**  
asist. mag. Oskar Sterle

Ljubljana, 2010

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **PETER ČADEŽ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**Analiza metod geodetske GNSS izmere**«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, \_\_\_\_\_ 2010

Peter Čadež

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali profesorji geodetske smeri:

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

**UDK:** 528.28(043.2)  
**Avtor:** Peter Čadež  
**Mentor:** izr.prof.dr. Bojan Stopar  
**Somentor:** asist.mag. Oskar Sterle  
**Naslov:** Analiza metod geodetske GNSS izmere  
**Obseg in oprema:** 119 str., 22 pregl., 37 sl., 19 en.  
**Ključne besede:** geodezija, GNSS, statična metoda, RTK, VRS, Precise Point Positioning

### **Izvleček**

V diplomski nalogi smo analizirali kakovost določitve koordinat točk z geodetskimi metodami izmere GNSS. V prvem delu smo analizirali relativni metodi izmere GNSS, statično metodo in metodo RTK. Pri tem smo ugotavljali kakovost koordinat, pridobljenih na podlagi podatkov terenskih meritev, izvedenih v različnih razmerah, skoraj idealnih in zelo slabih. Analizirali smo tudi kakovost določitve koordinat točk, glede na permanentno postajo GNSS v Ljubljani (GSR1), na osnovi samo opazovanj GPS ter opazovanj GPS in GLONASS ter uporabo koncepta VRS (angl. Virtual Reference Station), ki je v praksi najbolj uporabljena. V drugem delu smo analizirali metodo Precise Point Positioning (PPP). Predstavili smo princip metode, vplive in pogoške, ki imajo največji vpliv na kakovost koordinat ter uporabnost metode v geodetski praksi. Analizirali smo kakovost koordinat v odvisnosti od dolžine trajanja opazovanj, intervala registracije opazovanj ter števila in razporeditve satelitov v času opazovanj. Predstavili smo štiri ponudnike spletnih storitev metode PPP: CSRS-PPP, GAPS, APPS in MagicGNSS in analizirali ugotovljene razlike pridobljenih koordinat ter koordinate, pridobljene z vsemi tremi metodami PPP, statično in RTK. Na koncu smo ocenili prednosti in slabosti metode PPP, njeno današnjo praktično uporabnost ter skušali ovrednotiti uporabnost metode PPP v prihodnosti.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 528.28(043.2)  
**Author:** Peter Čadež  
**Supervisor:** asoc.prof.dr. Bojan Stopar  
**Cosupervisor:** asist.mag. Oskar Sterle  
**Title:** Analysis of Geodetic GNSS Survey Measurements  
**Notes:** 119 p., 22 tab., 37 fig., 19 eq.  
**Key words:** Geodesy, GNSS, static method, RTK, VRS, Precise Point Positioning

### **Abstract**

This graduation thesis analyzes the quality of coordinates determined with geodetic GNSS surveying methods. In the first part, the relative methods, RTK and static method are analyzed. The quality of coordinates obtained from terrestrial measurements under different conditions (almost ideal and very poor), is established. Furthermore, the quality of determined coordinates with regard to GNSS permanent station in Ljubljana (GSR1) is analyzed, based on GPS observations only, GPS + GLONASS observations and VRS concept (Virtual Reference Station), which is most used in practice. In the second part, graduation thesis analyses Precise Point Positioning method. It presents the principle of the method, biases and errors that have the greatest impact on the quality of coordinates, and its use in surveying practice. The quality of coordinates depending on the length of time observations, the interval of observations and the registration number and distribution of satellites at the time of observation is analyzed. Than four web providers of PPP method are presented: CSRS-PPP, GAPS, APPS, and MagicGNSS and the differences of derived coordinates and the coordinates obtained with all three methods PPP, static and RTK are analyzed. Finally, the advantages and disadvantages of PPP method, its practical application in present and usefulness of the method in the future are evaluated.

## **ZAHVALA**

Najprej se zahvaljujem izr. prof. dr. Bojanu Stoparju za mentorstvo in uporabne napotke, ki so mi pomagali pri izdelavi te diplomske naloge. Obenem se zahvaljujem tudi somentorju asist. mag. Oskarju Sterletu za pomoč pri nekaterih nalogah v okviru moje raziskave.

Posebna zahvala gre podjetju Geoservis d.o.o. iz Ljubljane, ki mi je velikodušno posodilo dva Leicina sprejemnika, brez katerih tako obsežne izmere ne bi mogel izvesti. Še posebej se zahvaljujem g. Gregorju Bilbanu, ki mi je s svojim znanjem in izkušnjami veliko pomagal pri sami izvedbi izmere predvsem pa pri naknadni obdelavi opazovanj.

Hvala tudi ženi in otrokoma, ki so potrpežljivo sprejemali mojo odsotnost zaradi pisanja diplomske naloge.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEORETIČNE OSNOVE</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>GNSS – globalni navigacijski satelitski sistemi</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1</b>	<b>GPS (angl. Global Positioning System)</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2</b>	<b>GLONASS (rus. GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Kombiniranje GPS/GLONASS</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Metode GNSS izmere</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Statična metoda izmere</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Metoda RTK izmere</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Metoda Precise Point Positioning</b>	<b>7</b>
<b>2.3</b>	<b>Obdelava opazovanj in tipi opazovanj GNSS izmere</b>	<b>8</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Obdelava opazovanj</b>	<b>8</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Tipi opazovanj in določitev položaja</b>	<b>8</b>
<b>2.3.2.1</b>	<b>Kodna opazovanja</b>	<b>8</b>
<b>2.3.2.2</b>	<b>Fazna opazovanja</b>	<b>10</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Fazne razlike in linearne kombinacije faznih opazovanj</b>	<b>11</b>
<b>2.4</b>	<b>Precise Point Positioning</b>	<b>12</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Viri napak pri PPP</b>	<b>12</b>
<b>2.4.1.1</b>	<b>Geofizikalni modeli</b>	<b>13</b>
<b>2.4.1.2</b>	<b>Atmosfera</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1.3</b>	<b>Pogrešek prehitevanja faze in zaostajanja kode (angl. Group Delay)</b>	<b>18</b>
<b>2.4.1.4</b>	<b>Precizne efemeride</b>	<b>18</b>
<b>2.4.1.5</b>	<b>Pogrešek konca faze (angl. Phase wind-up)</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1.6</b>	<b>Pogrešek faznega centra antene sprejemnika</b>	<b>20</b>
<b>2.4.1.7</b>	<b>Pogrešek faznega centra antene satelita in orientacija satelita</b>	<b>21</b>
<b>2.4.1.8</b>	<b>Pogrešek satelitovih ur</b>	<b>22</b>
<b>2.4.1.9</b>	<b>Vpliv večpotja in šum sprejemnika</b>	<b>22</b>

<b>2.4.1.10</b>	<b>Relativnost</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Določitev položaja z metodo PPP</b>	<b>23</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Prednosti metode PPP in uporabnost</b>	<b>25</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Ponudniki spletnih storitev PPP</b>	<b>26</b>
<b>2.4.4.1</b>	<b>CSRS-PPP</b>	<b>26</b>
<b>2.4.4.2</b>	<b>GAPS</b>	<b>29</b>
<b>2.4.4.3</b>	<b>APPS</b>	<b>30</b>
<b>2.4.4.4</b>	<b>MagicGNSS</b>	<b>32</b>
<b>2.5</b>	<b>Koordinatni sistemi in transformacije med koordinatnimi sistemi</b>	<b>33</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Koordinatni sistemi</b>	<b>33</b>
<b>2.5.1.1</b>	<b>ITRS in ITRF</b>	<b>33</b>
<b>2.5.1.2</b>	<b>WGS84</b>	<b>34</b>
<b>2.5.1.3</b>	<b>Državni koordinatni sistem ETRS89/TM</b>	<b>34</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Transformacije med koordinatnimi sistemi</b>	<b>35</b>
<b>2.5.2.1</b>	<b>Splošno</b>	<b>35</b>
<b>2.5.2.2</b>	<b>Problematika transformacije koordinat pri uporabi metode PPP</b>	<b>36</b>
<b>2.6</b>	<b>Omrežje SIGNAL in VRS</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>RAZISKAVA</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>GNSS izmera na dveh novih točkah</b>	<b>40</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Statična izmera</b>	<b>44</b>
<b>3.1.2</b>	<b>RTK izmera</b>	<b>46</b>
<b>3.2</b>	<b>Naknadna obdelava statičnih opazovanj</b>	<b>51</b>
<b>3.3</b>	<b>Primerjava rezultatov statične in RTK metode izmere.</b>	<b>55</b>
<b>3.4</b>	<b>Precise Point Positioning</b>	<b>57</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Pridobitev opazovanj s permanentne postaje GSR1</b>	<b>58</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Obdelava opazovanj s permanentne postaje GSR1</b>	<b>60</b>
<b>3.4.2.1</b>	<b>Spreminjanje dolžine trajanja opazovanj in intervala registracije</b>	<b>61</b>
<b>3.4.2.2</b>	<b>Uporaba različnih efemerid in spletnih aplikacij PPP</b>	<b>62</b>
<b>3.4.2.3</b>	<b>Različna razporeditev satelitov</b>	<b>65</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Obdelava opazovanj s točk 1000 in 2000</b>	<b>65</b>
<b>3.5</b>	<b>Primerjava rezultatov statične in RTK izmere z rezultati metode</b>	<b>66</b>



	<b>PPP</b>	
<b>3.5.1</b>	<b>Transformacija med ITRF05 in ETRS89</b>	<b>66</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Primerjava rezultatov</b>	<b>68</b>
<b>4</b>	<b>ANALIZA REZULTATOV</b>	<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b>Analiza rezultatov izmere na točkah 1000 in 2000</b>	<b>69</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Statična metoda izmere in naknadna obdelava opazovanj</b>	<b>69</b>
<b>4.1.2</b>	<b>RTK metoda izmere</b>	<b>72</b>
<b>4.2</b>	<b>Primerjava RTK metode izmere znotraj serij in znotraj različne navezave na omrežje SIGNAL</b>	<b>74</b>
<b>4.3</b>	<b>Primerjava statične in RTK metode izmere</b>	<b>83</b>
<b>4.4</b>	<b>Analiza metode Precise Point Positioning</b>	<b>88</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Spreminjanje dolžine trajanja opazovanj</b>	<b>88</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Spreminjanje intervala registracije</b>	<b>91</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Uporaba različnih spletnih aplikacij PPP</b>	<b>94</b>
<b>4.4.3.1</b>	<b>Primerjava koordinat z dano vrednostjo.</b>	<b>95</b>
<b>4.4.3.2</b>	<b>Medsebojna primerjava koordinat, dobljenih z različnimi aplikacijami</b>	<b>98</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Uporaba različnih tipov efemerid</b>	<b>101</b>
<b>4.4.5</b>	<b>Različna razporeditve satelitov</b>	<b>105</b>
<b>4.5</b>	<b>Analiza rezultatov obdelave opazovanj s točk 1000 in 2000</b>	<b>108</b>
<b>4.6</b>	<b>Primerjava rezultatov PPP s statično in RTK izmero</b>	<b>113</b>
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>115</b>
<b>VIRI</b>		<b>117</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

- Preglednica 1: Primer popravkov faznega centra antene satelitov
- Preglednica 2: Specifikacije sprejemnikov Leica GPS900CS in Leica GPS1200
- Preglednica 3: Osnovni podatki o statični izmeri na točkah 1000 in 2000
- Preglednica 4: Pregled zabeleženih parametrov v času RTK izmere na točki 1000
- Preglednica 5: Pregled zabeleženih parametrov v času RTK izmere na točki 2000
- Preglednica 6: Osnovni podatki o RTK izmeri na točkah 1000 in 2000
- Preglednica 7: Dane koordinate točke GSR1
- Preglednica 8: Rezultati izravnave statičnih opazovanj na točkah 1000, 2000, FGG3 in GSR1 v WGS84 koordinatnem sistemu
- Preglednica 9: Rezultati naknadne obdelave statičnih opazovanj na točkah 1000, 2000, FGG3 in GSR1 v ravninskem koordinatnem sistemu ETRS89/TM.
- Preglednica 10: Pregled pridobljenih opazovanj s permanentne postaje GSR1
- Preglednica 11: Ravninske koordinate točke GSR1 preračunane na datum opazovanj v ITRF05
- Preglednica 12: Koordinate permanentnih postaj GSR1, RADO, NOVG in ILIR v ITRF05 in ETRS89 koordinatnem sistemu.
- Preglednica 13: Transformacijski parametri med ITRF05 in ETRS89
- Preglednica 14: Natančnost določitve položaja točk 1000 in 2000 z RTK v času opazovanj
- Preglednica 15: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat, dobljenih z različno navezavo na omrežje SIGNAL na točki 1000
- Preglednica 16: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat, dobljenih z različno navezavo na omrežje SIGNAL na točki 2000
- Preglednica 17: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat, dobljenih v posamezni seriji opazovanj na točki 1000
- Preglednica 18: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat dobljenih v posamezni seriji opazovanj na točki 2000
- Preglednica 19: Izravnane koordinate točk 1000 in 2000, ki smo jih uporabili za primerjavo
- Preglednica 20: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat pri primerjavi rezultatov statične in RTK metode na točki 1000

Preglednica 21: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat pri primerjavi rezultatov statične in RTK metode na točki 2000

Preglednica 22: Primer rezultatov obdelave s CSRS-PPP ob spreminjanju dolžine trajanja opazovanj (interval registracije 5 s)

## KAZALO SLIK

- Slika 1: Princip GNSS opazovanj pri relativnih metodah izmere
- Slika 2: Princip GNSS opazovanj pri absolutnih metodah izmere
- Slika 3: Glavne tektonske plošče na Zemljinem površju.
- Slika 4: Troposfera in drugi sloji atmosfere
- Slika 5: Omrežje permanentnih postaj SIGNAL
- Slika 6: Postavitev antene GNSS nad točko pri statični izmeri
- Slika 7: Sprejemnik na togem grezilu z dvonožnikom (Leica SmartRover)
- Slika 8: Pogled v delovno okno Leica Geo Office, v katerem je prikazan obravnavan četverokotnik.
- Slika 9: Prikaz koordinatnih razlik točke 1000 za statično izmero
- Slika 10: Prikaz koordinatnih razlik točke 2000 za statično izmero
- Slika 11: Prikaz koordinatnih razlik točke FGG3 za statično izmero
- Slika 12: Prikaz odstopanj med koordinatami točke 1000, dobljenimi z različnimi načini navezave na omrežje SIGNAL
- Slika 13: Prikaz odstopanj med koordinatami točke 2000, dobljenimi z različnimi načini navezave na omrežje SIGNAL
- Slika 14: Prikaz odstopanj med koordinatami točke 1000 dobljenimi v posameznih serijah opazovanj
- Slika 15: Prikaz odstopanj med koordinatami točke 2000 dobljenimi v posameznih serijah opazovanj
- Slika 16: Prikaz odstopanj med rezultati statične in RTK izmere na točki 1000
- Slika 17: Prikaz odstopanj med rezultati statične in RTK izmere na točki 2000
- Slika 18: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih iz različno dolgih opazovanjih, od dane vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu
- Slika 19: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih s različnimi intervali registracije opazovanj, od dane vrednosti v statičnem načinu izračuna
- Slika 20: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih s različnimi intervali registracije opazovanj, od dane vrednosti v kinematičnem načinu izračuna
- Slika 21: Prikaz odstopanja koordinat, dobljenih z APPS, od danih vrednosti obdelanih v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna

- Slika 22: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z GAPS, od danih vrednosti
- Slika 23: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z MagicGNSS, od danih vrednosti
- Slika 24: Prikaz odstopanja koordinat, dobljenih z CSRS-PPP, od danih vrednosti, obdelanih v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu
- Slika 25: Prikaz odstopanj med koordinatami, dobljenimi s posameznimi aplikacijami, v statičnem načinu
- Slika 26: Prikaz odstopanj med koordinatami, dobljenimi s posameznimi aplikacijami, v kinematičnem načinu
- Slika 27: Prikaz odstopanj med koordinatami, dobljenimi z upoštevanjem različnih efemerid v statičnem načinu
- Slika 28: Prikaz odstopanj med koordinatami, dobljenimi z upoštevanjem različnih efemerid v kinematičnem načinu
- Slika 29: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih s CSRS-PPP ob upoštevanju različne razporeditve satelitov, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna
- Slika 30: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih s GAPS ob upoštevanju različne razporeditve satelitov, od danih vrednosti
- Slika 31: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih s MagicGNSS ob upoštevanju različne razporeditve satelitov, od danih vrednosti
- Slika 32: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z APPS ob upoštevanju različne razporeditve satelitov, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna
- Slika 33: Prikaz odstopanj koordinat točke 1000, dobljenih s CSRS-PPP, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna
- Slika 34: Prikaz odstopanj koordinat točke 2000, dobljenih s CSRS-PPP, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna
- Slika 35: Prikaz odstopanj koordinat točke 1000, dobljenih s GAPS, od danih vrednosti
- Slika 36: Odstopanja koordinat točke 2000, dobljenih s GAPS, od danih vrednosti
- Slika 37: Prikaz odstopanj koordinat točke 2000, dobljenih z APPS, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna

## 1 UVOD

Globalni navigacijski satelitski sistemi (GNSS, angl. Global Navigation Satellite System) so danes v svetu že zelo dobro poznani. Spremljajo nas pri vsakem koraku, v vsakdanjem življenju si skoraj ne znamo več predstavljati življenja brez satelitske navigacije. Naprav, ki lahko sledijo signalom navigacijskih satelitov, je vse več, od najpreprostejših prenosnih telefonov do zapletenih sistemov za navigacijo zračnih in vodnih plovil.

Podobno se dogaja tudi v geodeziji. Uporaba naprav GNSS je vse bolj prisotna, tako pri višji kot pri inženirski geodeziji in geodetski izmeri. V vsakdanji geodetski praksi je sprejemnik GNSS praktično nepogrešljiv instrument, ki ne samo da precej olajša delo, temveč tudi pripomore k večji natančnosti geodetske izmere.

V geodetski praksi je sama natančnost položaja točke, pridobljenega s sprejemnikom GNSS, odvisna tako od velikosti vplivov na sam sprejeti signal, kot tudi od uporabljene metode izmere, načina obdelave opazovanj in seveda dolžina trajanja opazovanj. Konec koncev ima na končni rezultat vpliv tudi izbor programske opreme, s katero so bile meritve obdelane. To so dokazana dejstva, ki jih bo v nadaljevanju potrebno upoštevati.

Od začetka uporabe globalnih navigacijskih sistemov ob koncu 70-ih let prejšnjega stoletja je na področju obdelave opazovanj GNSS prevladovalo določanje relativnega položaja<sup>1</sup>. Pravzaprav bi lahko rekli, da je relativno določanje položaja do nedavnega imelo monopol nad obdelavo opazovanj GNSS pri določanju položaja z visoko natančnostjo. Vse to se je spremenilo ob koncu 90-ih let prejšnjega stoletja, ko se je na trgu pojavila konkurenčna metoda z imenom Precise Point Positioning (PPP). Ta metoda deluje na principu absolutne izmere GNSS, pri kateri je za določitev položaja točke z visoko natančnostjo potreben samo en sprejemnik.

---

<sup>1</sup> Za relativno določanje položaja z GNSS je značilno, da sta za pridobitev položaja s centimetrsko natančnostjo potrebna najmanj dva sprejemnika, ki hkrati sprejemata signale istih satelitov.

V tej diplomski nalogi bomo opredelili glavne značilnosti obeh metod določanja položaja, njune prednosti in slabosti. Na praktičnem primeru si bomo ogledali, kakšne so možne razlike med položajem, določenim z relativnimi metodami, in položajem, pridobljenim z metodo PPP. Obravnavali bomo nekatere vplive na PPP ter njihovo obnašanje. Podrobneje si bomo ogledali, kako na določitev položaja z metodo PPP vplivajo:

- interval registracije opazovanj,
- čas trajanja opazovanj,
- razporeditev satelitov,
- uporaba različnih tipov efemerid.

Metoda Precise Point Positioning je še dokaj mlada metoda. Njen razvoj zagotovo še ni zaključen in bo trajal še kar nekaj časa. Verjetno nikoli ne bo popolnoma nadomestila relativnih metod, zagotovo pa bo uporabna v razmerah, kjer bo določitev relativnega položaja nemogoča.

## 2 TEORETIČNE OSNOVE

### 2.1 GNSS – globalni navigacijski satelitski sistemi

Pod pojmom GNSS razumemo vse satelitske navigacijske sisteme (iz angl. Global Navigation Satellite System), torej sisteme za določanje koordinat točk s pomočjo satelitov, in sicer kjer koli na Zemlji. Poznamo več takšnih sistemov, in sicer:

- ameriški **GPS** (angl. Global Positioning System)
- ruski **GLONASS** (rus. GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)
- evropski **Galileo** in
- kitajski **Compass**.

Kombinirana uporaba podatkov različnih navigacijskih sistemov (npr. GPS + GLONASS) pomeni prednost predvsem v primeru ovir na vidnem obzorju sprejemnika (urbana območja, lokacije blizu dreves, stavb ipd.). Skrajšanje časa inicializacije, možnost določitve NŠCV (neznanega števila celih valov) na terenu z omejeno vidnostjo, možnost doseganja višjih natančnosti zaradi večjega števila satelitov je samo nekaj prednosti kombiniranja različnih navigacijskih sistemov. Danes sta v praksi uporabna samo GPS in GLONASS, medtem ko sta Galileo in Compass še v razvojni fazi.

#### 2.1.1 GPS (angl. Global Positioning System)

GPS je satelitski navigacijski sistem, ki so ga v 70-ih letih prejšnjega stoletja razvile ameriške vojaške sile. Popolnoma delujoč sistem naj bi sestavljalo 24 satelitov (čeprav jih danes deluje kar 31), ki so na višini 20180 km enakomerno razporejeni po šestih orbitalnih ravninah z inklinacijo 55°. Poznamo več generacij satelitov GPS, od prve generacije, imenovane Block I, in naslednikov Block II, Block IIA, Block IIR, Block IIR-M, Block IIF do generacije prihodnosti Block IIIA. Po zadnjih podatkih naj bi okoli Zemlje krožilo 11 satelitov iz Block IIA, 12 satelitov iz Block IIR in 8 satelitov iz Block IIR-M (podatek z dne 31. 8. 2009).



Signal vsakega satelita GPS je sestavljen iz dveh nosilnih valovanj,  $L1 = 1575,42$  MHz (valovna dolžina  $\lambda_1 \approx 19,0$  cm) in  $L2 = 1227,9$  MHz (valovna dolžina  $\lambda_2 \approx 24,4$  cm). Nosilna valovanja pa so nato modulirana s tako imenovano P kodo ( $L1$  in  $L2$ ) in C/A kodo ( $L1$ ) ter navigacijskim sporočilom. Zaradi zaščite je P koda modulirana z metodo AS (angl. Anti Spoofing), zato jo imenujemo tudi Y koda. Pri novejših satelitih bo mogoče slediti C/A kodo tudi na  $L2$ , poleg tega pa bodo oddajali povsem nov (civilni) signal, imenovan  $L5$ , s frekvenco  $1176,45$  MHz. Poleg omenjenih kod je na obe nosilni valovanji naneseo tudi tako imenovano navigacijsko sporočilo, ki vsebuje podatke o stanju satelitovih ur, prenesene (angl. broadcast) efemeride, almanah, ipd.

### **2.1.2 GLONASS (rus. GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)**

GLONASS, ruski navigacijski sistem, je nastal in se razvijal približno vzporedno z ameriškim GPS. Prvi satelit je bil izstreljen v začetku 80-ih let prejšnjega stoletja. Podobno kot sateliti GPS so tudi sateliti GLONASS razdeljeni v generacije. Trenutno so aktualne tri generacije: Uragan, Uragan-M in najnovejša Uragan-K. Popolnoma delujoč sistem bo vseboval 24 satelitov, vendar pa jih danes deluje samo še 19. Število delujočih satelitov GLONASS sicer dnevno variira, kajti ruska kontrolna postaja vsake toliko časa izklopi katerega od satelitov.

GLONASS signal je prav tako sestavljen iz dveh nosilnih valovanj  $L1$  in  $L2$ , na katera sta nanešeni P ( $L1$  in  $L2$ ) in C/A koda ( $L1$ ) ter tudi navigacijsko sporočilo. V nasprotju z GPS pa ima vsak satelit GLONASS svojo frekvenco nosilnega valovanja, ki se med seboj razlikujejo za faktor, imenovan frekvenčno število (od 0 do 24). To so Rusi vpeljali zaradi razlikovanja signalov posameznih satelitov.

### **2.1.3 Kombiniranje GPS/GLONASS**

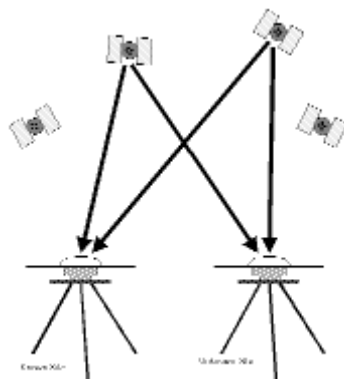
Kombiniranje GPS in GLONASS opazovanj je s sabo prineslo kar nekaj težav. Prva težava se je pojavila že zaradi osnovnih razlik med signaloma. Medtem ko signal GPS za prepoznavanje uporablja kodni pristop (CDMA, angl. Code Division Multiple Access),

GLONASS sloni na frekvenčnem pristopu prepoznavanja signala (FDMA, angl. Frequency Division Multiple Access). Druga težava je bila nepoznavanje transformacijskih parametrov med referenčnima sistemoma PZ-90 (rus. Parametri Zemli) in WGS-84 (angl. World Geodetic System) in časovne razlike med sistemoma GPS in GLONASS. Zaradi slabega poznavanja samega sistema GLONASS in njegovega referenčnega sistema je bilo parametre tudi težko določiti. Danes poznamo več različnih transformacijskih parametrov med PZ-90 in WGS-84, ki so jih določili različni znanstveniki z različnimi metodami. (Konečnik, 2008)

Kljub vsem naštetim težavam pa je kombiniranje opazovanj GPS/GLONASS vseeno pripomoglo k izboljšanju končnega rezultata pri postopkih določanja položaja. V prihodnosti, ko bodo na voljo vsi sateliti GLONASS in bo tudi evropski sistem Galileo začel operativno delovati, lahko pričakujemo še boljšo natančnost in še večjo uporabnost satelitskih navigacijskih sistemov.

## 2.2 Metode GNSS izmere

Metode GNSS izmere v splošnem delimo na absolutne in relativne. Za natančno določitev položaja sprejemnika se v geodeziji uporabljajo predvsem relativne metode izmere. Zanje je značilno, da sta za določitev položaja potrebna najmanj dva sprejemnika, od katerih je eden lociran na točki z znanimi koordinatami, drugi pa na novi točki. V osnovi se relativne metode izmere delijo naprej glede na vrste efemerid, ki se uporabljajo pri določitvi položaja sprejemnika. Tako jih delimo na izmero v dejanskem času in izmero s postprocesiranjem oziroma naknadno obdelavo opazovanj. Za slednjo so značilne statična, hitra statična in kinematična metoda izmere. Za pridobivanje rezultatov meritev v dejanskem času izmere pa poznamo RTK (angl. Real-Time-Kinematic) in tako imenovano Stop-And-Go metodo izmere. Relativne metode izmere med seboj delimo tudi glede na to, ali se sprejemnik med samo izmero premika ali ne. Od tu izhaja delitev na statične in kinematične metode izmere. (Stopar, Kogoj, 2005)



Slika 1: Princip GNSS opazovanj pri relativnih metodah izmere

### 2.2.1 Statična metoda izmere

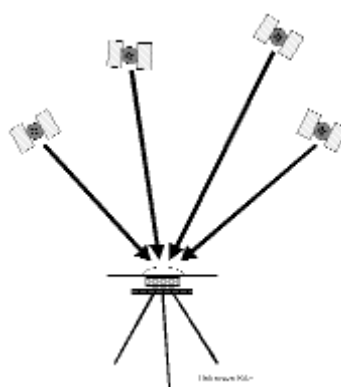
To je osnovna metoda za določanje relativnega položaja. Opazovanja pri tej metodi, ki trajajo navadno od 30 do 120 minut, temeljijo na spremembi geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj. Statično izmero običajno izvajamo s številom sprejemnikov, ki je manjše od števila točk, izvedemo v več serijah. Število serij, potrebnih za izmero, je odvisno od števila sprejemnikov, števila točk in števila neodvisnih izmer posamezne točke. Vsaka točka naj bi bila neodvisno opazovana vsaj dvakrat. Rezultat statične izmere so bazni vektorji med pari točk. Matematični modeli za modeliranje ionosferske refrakcije ter zanesljivi algoritmi za določitev neznanega začetnega števila celih valov omogočajo ob izvedbi statičnih GNSS opazovanj pridobitev baznih vektorjev dolžin  $d$ , z relativno natančnostjo do  $10^{-6} * d$ , ki pa je lahko v primeru uporabe natančnih efemerid satelitov tudi do  $10^{-7} * d$ . Za doseganje tako visoke natančnosti pa je, poleg kakovostne izvedbe opazovanj in uporabe natančnih tirnic satelitov ustrezne kakovosti, potrebno ustrezno izvesti tudi obdelavo opazovanj. Končne rezultate statične izmere običajno pridobimo z izravnavo baznih vektorjev v GNSS mreži. (Stopar, Kogoj, 2005)

## 2.2.2 Metoda RTK izmere

To je v osnovi kinematična metoda, ki je lahko tudi Stop-and-Go metoda ali tudi kombinacija kinematične in hitre statične metode GNSS izmere. Metoda RTK-GNSS potrebuje radijsko ali GSM povezavo med referenčnim in premičnim sprejemnikom GNSS in ustrezno programsko opremo za obdelavo opazovanj referenčnega in premičnega sprejemnika GNSS v času trajanja izmere. Metoda je primerna za najrazličnejše geodetske naloge, od detajlne izmere do nalog inženirske geodezije. Največja prednost omenjene metode med ostalimi je v tem, da med samo izmero pridobimo informacijo o količini in kakovosti opravljenega terenskega dela. Pri drugih metodah teh podatkov med samo izmero namreč še nimamo. (Stopar, Kogoj, 2005)

## 2.2.3 Metoda Precise Point Positioning

Kot alternativa relativnim metodam se je v sredini 90-ih let prejšnjega stoletja pojavila nova (absolutna) metoda določitve položaja s centimetrovsko natančnostjo, to je tako imenovana Precise Point Positioning (PPP). Glavna prednost te metode je, da ne potrebujemo več kot enega sprejemnika, pač pa moramo poznati natančen položaj satelitov in stanje njihovih ur v času izmere. Podrobneje jo bomo obravnavali v nadaljevanju.



Slika 2: Princip GNSS opazovanj pri absolutnih metodah izmere

## **2.3 Obdelava opazovanj in tipi opazovanj GNSS izmere**

### **2.3.1 Obdelava opazovanj**

Obdelava GNSS opazovanj je ključna faza pri izvedbi projekta GNSS izmere. Določene postopke obdelave opazovanj je priporočljivo izvajati med samo izmero, določene lahko izvedemo na koncu izmere. Grobi pogreški operaterjev, nezadovoljivi podatki izmere in neprimerna kakovost satelitskega signala posameznih satelitov lahko za uspešno izvedbo GNSS izmere predstavljajo tolikšen problem, da je nemogoče pridobiti rezultate želene kvalitete. Da bi se težavam izognili, je potrebno poskrbeti za ugotovitev njihovega izvora v času izmere, ko so stroški ponovne izmere še relativno majhni. Čeprav nam uspe odstraniti grobe pogreške, je še vedno potrebno zagotoviti, da med opazovanji ne bomo imeli sistematičnih vplivov, ki lahko močno obremenjujejo rezultate GNSS izmere. Obdelava GNSS opazovanj naj bi tako omogočila pridobitev optimalnih rezultatov iz običajno velikega števila opazovanj. Ključna naloga obdelave podatkov GNSS izmere je uspešna in zanesljiva določitev vseh, še posebej pa koordinatnih neznank ter pripadajoča informacija o natančnosti ocene le-teh. (Stopar, Kogoj, 2005)

### **2.3.2 Tipi opazovanj in določitev položaja**

Pri vseh omenjenih metodah izmere 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 se lahko določi na osnovi kodnih ali pa faznih opazovanj.

#### **2.3.2.1 Kodna opazovanja**

Pri kodnih opazovanjih se čas potovanja signala določi na podlagi avtokorelacije dveh kod. Prva je oddana s satelita, druga je generirana v sprejemniku. Valovanji sta identični in sta v idealnem primeru zamaknjeni le za čas potovanja signala. Vendar pa izmerjeni časovni zamik

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. (Stopar, Pavlovčič, 2001) Tako je splošen izraz za opazovano psevdo razdaljo med satelitom  $p$  in sprejemnikom  $k$  na valovanju  $i$  enak (Hofmann-Wellenhof, 1997, cit. po Witchayangkoon, 2000):

$$P_{k,i}^p = \rho_k^p + (dt^p - dt_k) \cdot c + I_{k,i}^p + T_k^p + d_{k,i} + d_{k,i}^p + d_{k,i}^p + \varepsilon_{k,i}^p, \quad (1)$$

kjer je:

$P_{k,i}^p$	- psevdo razdalja pri kodnih opazovanjih v metrih
$i$	- indeks nosilnega valovanja (L1 ali L2)
$k$	- sprejemnik
$p$	- satelit
$\rho_k^p$	- geometrijska razdalja med satelitom in sprejemnikom v trenutku $t$
$dt^p, dt_k$	- pogrešek satelitove in sprejemnikove ure v trenutku $t$
$c$	- hitrost svetlobe v vakuumu
$I_{k,i}^p, T_k^p$	- vpliv ionosfere in troposfere
$d_{k,i}$	- pogrešek sprejemnikove strojne opreme
$d_{k,i}^p$	- vpliv večpotja (multipath)
$d_i^p$	- pogrešek satelitove strojne opreme
$\varepsilon_k$	- šum sprejemnika.

Za določitev relativnega položaja dveh sprejemnikov lahko dobimo natančnost merjenega vektorja med 2 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, Pavlovčič, 2001)

### 2.3.2.2 Fazna opazovanja

Pri faznih opazovanjih pa se meri razlika faze dveh valovanj. Prvo je spet oddano iz satelita, drugo pa generira sprejemnik. 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 celih valov nespremenjena in se jo določi naknadno pri obdelavi opazovanj. (Stopar, Pavlovčič, 2001)

Razdalja med satelitom in sprejemnikom se lahko izračuna, če je v danem trenutku poznana valovna dolžina valovanja, število celih valov v začetnem trenutku opazovanja, faza sprejetega valovanja in faza generiranega valovanja v sprejemniku. Če upoštevamo še vse pogreške in vplive na fazna opazovanja, je končna enačba faznih opazovanj (Hofmann-Wellenhof, 1997, cit. po Witchayangkoon, 2000):

$$\Phi_{k,i}^p = \rho_k^p - cdt_k + cdt^p + \frac{c}{f_i} N_{i,k}^p + I_{k,i}^p + T_k^p + d_{k,i} + d_{k,i}^p + d_{k,i}^p + \varepsilon_{k,i}^p, \quad (2)$$

kjer je:

- $\Phi_{k,i}^p$  - nedoločena psevdo razdalja pri faznih opazovanjih v metrih
- $f_i$  - frekvenca valovanja L1 in L2
- $N_k^p$  - neznan število celih valov.

Ostale količine so identične tistim pri enačbi za psevdo razdaljo pri kodnih opazovanjih in so obrazložene v prejšnjem poglavju.

Sprejemnik lahko fazo izmeri z natančnostjo 1 % valovne dolžine, kar pri L1 in L2 ustreza približno 2 mm. To pomeni, da je opazovanje faze kar za faktor 1000 natančnejše od opazovanja C/A kode, oziroma 100-krat natančnejše od opazovanj P kode. Za določitev

razdalje med satelitom in sprejemnikom z natančnostjo 3 mm moramo glede na svetlobno hitrost izmeriti čas potovanja signala z natančnostjo 0,01 ns. (Stopar, Pavlovčič, 2001)

### 2.3.3 Fazne razlike in linearne kombinacije faznih opazovanj

Povečano natančnost koordinat točk, ki jih določamo na osnovi faznih opazovanj, dosežemo s tvorjenjem faznih razlik. Te temeljijo na opazovanjih z dvema ali več sprejemniki, ki istočasno sprejemajo signal s štirih ali več satelitov. Poznamo:

- *Enojne fazne razlike*; to je razlika opazovanih faz valovanja, oddanega z enega satelita in sprejetega istočasno z dvema sprejemnikoma. Tukaj se odstrani pogrešek ure satelita.
- *Dvojne fazne razlike*; to je razlika enojnih faznih razlik za dve opazovani valovanji, oddanih z dveh satelitov. Tukaj odpade pogrešek ure sprejemnika.
- *Trojne fazne razlike*; to so razlike dvojnih faznih razlik, sestavljene za dva različna trenutka. Tukaj odpade neznan začetno število celih valov, ker je neznan število celih valov konstantno v času (ob predpostavki, da ni prišlo do prekinitve signala).

Druga možnost, da se poveča natančnost faznih opazovanj, pa je tvorjenje linearnih kombinacij faznih opazovanj. Vpliv ionosfere, enega večjih vplivov na opazovanja, lahko odpravimo prav na ta način. Poznamo:

- *Linearna kombinacija L3*; je neobčutljiva za vpliv ionosfere (angl. ionosphere free).
- *Linearna kombinacija L4* se imenuje tudi »ozek pas« (angl. narrow lane); ne vsebuje pogreška sprejemnikove ure in geometrijskih pogreškov tirnice.
- *Linearna kombinacija L5* se imenuje tudi »široki pas« (angl. wide lane); je primerna za določitev neznanega števila celih valov pri daljših vektorjih.

Relativni položaj se v geodeziji določa na osnovi znanega položaja vsaj ene dane točke in opazovanj dvojnih faznih razlik. Kot rezultat izravnave pridobimo vrednosti baznih vektorjev med danimi in novimi točkami. Relativni položaj na osnovi kodnih opazovanj se določa s tako imenovanimi nediferenciranimi opazovanji, ki z vidika natančnosti niso primerne za



potrebe geodezije. Za visoko natančnost opazovanj je potrebno istočasno opazovati fazo nosilnega valovanja na dani točki. Na osnovi takšnih opazovanj se potem tvorijo dvojne fazne razlike, ki so izhodišče za določitev relativnega položaja z geodetsko natančnostjo. (Stopar, Pavlovčič, 2001)

## **2.4 Precise Point Positioning**

V enem od prejšnjih poglavij smo že omenili, da metoda Precise Point Positioning (PPP) omogoča natančno določitev položaja z uporabo samo enega sprejemnika GNSS. V nasprotju z relativnimi metodami pa se pri metodi PPP osnovni pogreški in vplivi na GNSS opazovanja ne eliminirajo. Natančno je tako treba upoštevati premikanje točke na Zemljinem površju, ki ga povzročajo premikanje tektonskih plošč, plimovanje Zemljine skorje in oceanov, kot tudi vplive na opazovanja pri prehodu signala skozi ionosfero in troposfero. Potem so tukaj še satelitovi pogreški, kot so pogrešek satelitovih ur, pogrešek faznega centra antene satelita, relativnost in pogrešek konca faze antene satelita (angl. phase wind-up). Pri sprejemniku pa so glavni viri napak pogrešek faznega centra antene sprejemnika, pogrešek konca faze antene sprejemnika (Witchayangkoon, 2000) in vpliv večpotja (angl. multipath).

### **2.4.1 Viri napak pri PPP**

Dva vira napak, ki najbolj vplivata na rezultat metode PPP, sta pogreška satelitovih tirnic in satelitovih ur. Prav zato se je ta metoda uveljavila šele ob širšem pojavu preciznih tirnic in ur satelitov GPS (efemerid), ki so določene s centimetrsko natančnostjo. Z uporabo preciznih efemerid se pogreška v večji meri zreducirata na minimum. V nadaljevanju bomo na kratko predstavili tudi nekatere druge vire napak, ki so za pridobitev položaja s centimetrsko natančnostjo bistvenega pomena.

### 2.4.1.1 Geofizikalni modeli

Zaradi določene stopnje elastičnosti Zemljinega površja se le-to s časom venomer spreminja. Ciklične deformacije površja Zemlje imenujemo plimovanje. To je značilno tako za Zemljino površje in oceane kot tudi za atmosfero. V večji meri plimovanje povzroča rotacija Zemlje. Poleg rotacije pa na plimovanje površja Zemlje vplivajo še precesija in nutacija Zemljine rotacijske osi, gravitacijska privlačnost Sonca in Lune ter notranje sile (centrifugalne sile) kot posledica vrtenja Zemlje okoli Sonca in Lune okoli Zemlje. (Lamberk, 1980, cit. po Witchayangkoon, 2000)

**Plimovanje Zemljine skorje** je možno približno izračunati. Ima podoben efekt kot plimovanje morja, vendar pa ima pri plimovanju morja precejšen vpliv tudi topografija obale in oceanov. Poznamo štiri izmerljive količine, ki so pri geodetskem dojetanju plimovanja zadovoljive. To so dnevno in poldnevno Lunino ter dnevno in poldnevno Sončevo plimovanje. Dnevno plimovanje ima periodo približno en dan (24 h 50 min), poldnevno pa nekaj več kot pol dneva (12 h 25 min). (Witchayangkoon, 2000)

Na obalnem območju so vertikalni premiki Zemljine skorje posledica spremembe višine morske gladine, ki jo povzroča **plimovanje morja**. Če želimo doseči centimetrsko natančnost, je to pri obdelavi opazovanj še posebej potrebno upoštevati. Dejansko plimovanje morja je mogoče izmeriti na obali, kjer se beležita dviganje in padanje nivoja vode glede na referenčno višinsko točko. Pri tem se uporabljajo posebni merski instrumenti, ki merijo in beležijo te spremembe (mareografi). Poleg tega se uporabljajo še merilci tlaka, ki se jih namesti na dno oceanov. S temi instrumenti se ugotavlja dinamiko plimovanja morja. Celovito plimovanje morja, potovanje vodne mase in plimovanje Zemljine skorje je možno izmeriti le iz vesolja s posebnimi altimetri, nameščenimi na satelite. (Witchayangkoon, 2000)

**Premikanje tektonskih plošč** je povezano s teorijo o delitvi zemljine skorje (litosfere) na manjše enote, imenovane tektonske plošče. Ob stikih večji premiki tektonskih plošč povzročajo potrese in vulkansko aktivnost. Hipotezo o tektonskih ploščah so znanstveniki razvili, da bi sintetizirali dinamiko obnašanja Zemljine skorje. Pri študiju tektonike je

geodezija imela pomembno vlogo. Predvsem z uporabo satelitskih metod, kot sta GPS in VLBI, je možno opazovati premikanja plošč z visoko natančnostjo.

Geodetski prispevek tektoniki litosferskih plošč je modeliranje časovnih sprememb položaja opazovanih točk. To nam pomaga izboljšati določitev terestričnih referenčnih sestavov (»reference frame«) oziroma referenčnih koordinatnih sistemov in daje vpogled v medsebojen vpliv kinematike plošč in rotacije Zemlje. Gibanje tektonskih plošč lahko opišemo z naslednjo enačbo (Witchayankoon, 2000):

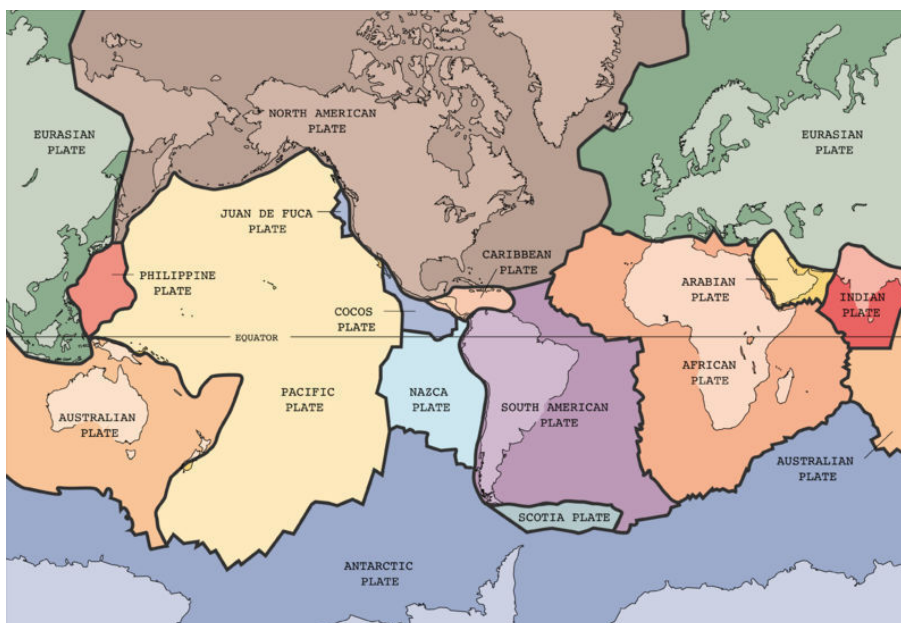
$$\dot{\vec{X}} = \vec{\Omega} \times \vec{X}, \quad (3)$$

kjer so:

$\vec{X}$  – krajevni vektor točke na gibajoči se plošči

$\dot{\vec{X}}$  – vektor hitrosti gibanja točke

$\vec{\Omega}$  – vektor, ki definira Eulerjevo gibanje plošč.



Slika 3: Glavne tektonske plošče na Zemljinem površju

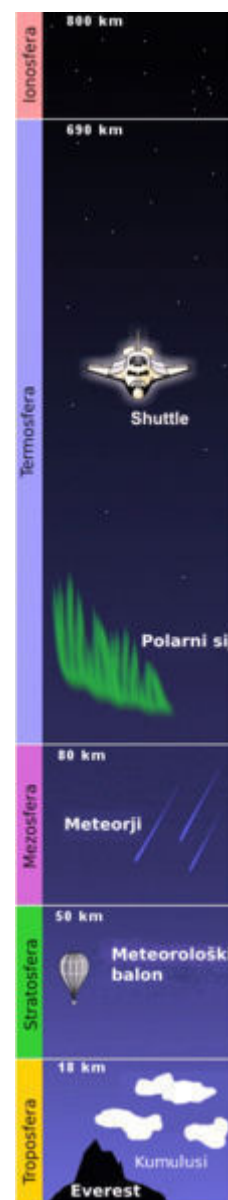
Obstaja več modelov premikanja litosferskih plošč: NUVEL-1, NNR-NUVEL-1, NNR-NUVEL-1A ipd. Ti opisujejo hitrost premikov točk na površini zaradi premikanja litosferskih plošč. Premiki plošč so predstavljeni z geocentričnimi rotacijskimi vektorji.

#### 2.4.1.2 Atmosfera

Na potovanje GNSS signala skozi atmosfero vplivata dve območji znotraj atmosfere: troposfera in ionosfera. **Troposfera** je spodnji sloj Zemljine atmosfere, to je sloj, v katerem nastaja vreme. Debelina sloja se od pola do ekvatorja spreminja in obsega vrednosti med 8 in 16 km. Temperatura se v troposferi običajno spreminja obratno sorazmerno z višino, približno  $-6,5 \text{ }^{\circ}\text{C/km}$ . (NOAA/NASA/USAF, 1976, cit. po Witchayangkoon, 2000)

Troposfera predstavlja 75 % vse mase atmosfere in večino vodne pare v atmosferi. Največjo koncentracijo vodne pare imajo tropska območja (4 % vodne pare, kar pomeni 60 %–80 % vlažnost), na polih pa jo je komaj zaznati. Poleg vodne pare so v zraku ob povprečnem zračnem pritisku  $1,03 \text{ kg/cm}^2$  prisotni še dušik (78 %), kisik (21 %) in drugi plini (1 %), na primer vodik, ozon, ogljikov dioksid in metan. Količina ogljikovega dioksida v ozračju se je od leta 1900 podvojila. (Witchayangkoon, 2000)

Tik nad troposfero sta tropopavza in stratosfera. Ta dva sloja skupaj s troposfero predstavljata električno nevtralni del atmosfere. To pomeni, da na radijskih valovih s frekvenco, manjšo od 20 Mhz ne povzročajo disperzije (razpršenosti) signala. Vpliv troposferske refrakcije na fazo nosilnega valovanja in na modulirano kodo je enak. Vseeno pa se pri prehodu signala skozi neionizirane pline in vodno paro del energije oddanega signala



Slika 4: Troposfera in drugi sloji atmosfere

absorbira. Posledica daljšega časa potovanja signala od satelita do sprejemnika, kot bi ga sicer opravil v vakuumu, pomeni zakasnitev signala do 2,5 m v zenitu in do 30 m blizu horizonta. Ta zakasnitev signala je odvisna od temperature, zračnega pritiska in vlažnosti zraka, kot tudi od fizične lokacije sprejemnika. Troposferske refrakcije ne moremo eliminirati z dvofrekvenčnimi opazovanji. (Witchayangkoon, 2000)

V zvezi z vplivom troposfere na prenos GNSS signala, je bilo opravljenih kar nekaj študij. Obstaja veliko modelov troposfere. Poleg modelov je poznanih tudi veliko projekcijskih funkcij. Naštejmo samo nekaj bolj znanih modelov in funkcij:

- Hopfieldov model
- Saastamoinenov model
- Marinijeva funkcija
- Marini & Murrayeva funkcija
- Chaova funkcija
- Lanyiova funkcija (Lanyi)
- Davisova funkcija (Cfa-2.2)
- Herringova funkcija (MMT)
- Neilova funkcija (NMF)

Za projekcijske funkcije je značilno, da opisujejo odvisnost zakasnitve signala, ki potuje skozi atmosfero, od višinskega kota satelita (Niell, 1996, cit. po Witchayangkoon, 2000). Pri modeliranju linije vidne refrakcije je potrebno upoštevati posamezno komponento nevtralne atmosfere, višinski kot in projekcijsko funkcijo, seveda ob predpostavki azimutalne simetrije obravnavane linije. Osnovna enačba za troposfersko refrakcijo ima obliko:

$$T_k^p = \int_{pot} [n(r) - 1] \csc \theta(r) dr + \left[ \int_{pot} \csc \theta(r) dr - \int_{pot} \csc \varepsilon(r) dr \right] \quad (4)$$

**Ionosfera** je sloj ionizirane atmosfere, ki obdaja Zemljo od približno 80 km nad površjem Zemlje do višine 1500 km. Na teh višinah je zrak že izredno redek. Ionosfero v večji meri sestavljajo negativno nabiti prosti elektroni in pozitivno nabiti atomi in molekule, imenovani

ioni, ki so nastali zaradi ultravijoličnega in radioaktivnega sevanja Sonca. Prosti elektroni vplivajo na razširjanje radijskih valov, kot je na primer GNSS signal. V nasprotju s troposfero ionosfera povzroča disperzijo signala, kar pomeni, da drugače vpliva na frekvenco nosilnega valovanja kot na modulirano kodo. Disperzija signala je odvisna od frekvence nosilnega valovanja. Vpliv se manjša z višanjem frekvence. Nižje frekvence od 30 MHz so močno podvržene vplivom ionosfere, kar pomeni, da v ionosfero lahko normalo prehajajo le signali z višjimi frekvencami. To so na primer GNSS signal, televizijski in radijski (FM) signal. (Witchayangkoon, 2000)

Na območjih srednjih geografskih širin je vpliv ionosfere ponavadi zanemarljiv. Ionosferska aktivnost je bolj značilna za območja nižjih geografskih širin, še posebej v času takoj po sončevem zahodu. (Knight and Finn, 1996 cit. po Witchayangkoon, 2000) Poleg tega se ionosferska aktivnost spreminja v odvisnosti od števila sončevih peg. Aktivnost Sonca ima pri ionosferskem efektu močno vlogo. Aktivnost sončevih peg se spreminja, večja in manjša, v tako imenovanih ciklih. Posamezen cikel ni simetričen in traja približno 11,1 leto. Aktivnost sončevih peg v povprečju doseže maksimum po 4,3 letih, nato pa naslednji minimum šele čez 6,6 let.

Vpliv ionosfere je v odvisen od števila prostih elektronov (*TEC*) v ionosferi. Ta se vzdolž poti razširjanja signala ves čas spreminja. Količina *TEC* je definirana z:

$$TEC = \int_{pot} N_e(s) ds \quad (5)$$

$N_e$  predstavlja gostoto elektronov v kubičnem metru zraka ( $\text{el}/\text{m}^3$ ). *TEC* predstavlja skupno število prostih elektronov v stolpcu s presekom  $1 \text{ m}^2$  vzdolž poti signala med satelitom in sprejemnikom. Vpliv ionosfere na fazna in kodna opazovanja lahko zapišemo kot:

$$I_{k,f,P}^i = \frac{40,28}{f^2} TEC = \frac{40,28c}{f^2} \int_{pot} N_e dt \quad (6)$$

Vpliv ionosfere je različnega predznaka za fazna in kodna opazovanja.

Upoštevanje troposferske in ionosferske refrakcije je pri metodah GNSS izmere z visoko natančnostjo ključnega pomena. Vpliv troposfere iz opazovanj odstranimo z upoštevanjem znanih modelov in projekcijskih funkcij, vpliv ionosfere pa eliminiramo s tvorjenjem ionosfere prostih linearnih kombinacij faznih opazovanj. Seveda je nujno, da pri meritvah uporabljamo dvofrekvenčne sprejemnike GNSS.

#### **2.4.1.3 Pogrešek prehitevanja faze in zaostajanja kode (angl. Group Delay)**

Izvor tega pogreška je povezan z vplivom ionosfere na razširjanje GNSS signala. Govorimo o ionosferski refrakciji. Prehitevanje faze pomeni, da je s faznimi opazovanji izmerjena razdalja prekratka, zaostajanje kode pa, da je s kodnimi opazovanji izmerjena razdalja predolga glede na pravo geometrijsko razdaljo. Velikost pogreška je za kodna in fazna opazovanja enaka, vendar nasprotnega predznaka. Pogrešek je tudi funkcija elektromagnetnega valovanja, kar pomeni, da različno vpliva na posamezno frekvenco GNSS signala. Iz opazovanj ga izločimo z uporabo dvofrekvenčnih sprejemnikov in upoštevanjem ionosfere proste linearne kombinacije faznih opazovanj.

#### **2.4.1.4 Precizne efemeride**

Precizne efemeride satelitov, parametre Zemljine orientacije, popravke satelitovih ur in še mnogo drugih produktov dnevno določa in jih prek spletnih strani posreduje uporabnikom služba IGS (angl. International GNSS Service). IGS je sestavljena iz mednarodnega omrežja več kot 350 dvofrekvenčnih postaj GNSS, več kot ducata regionalnih in operativnih podatkovnih centrov, treh globalnih podatkovnih centrov, sedmih analiznih centrov in mnogih pridruženih analiznih centrov. (Konečnik, 2008)

Uradne precizne efemeride IGS so rezultat uteženih kombinacij efemerid, ki jih določi posamezni analizni center. Koordinatorji analiznih centrov vsak teden pripravijo precizne efemeride in parametre satelitovih ur ter poročilo, v katerem je dokumentiran proces kombiniranja podatkov. Zaradi takega načina pridobivanja efemerid je končna natančnost

efemerid IGS boljša od 3 cm v vseh koordinatnih komponentah. Hitre efemeride pa so običajno določene s podatki iz le 15 do 20 mednarodnih postaj, s katerih ob koncu dneva v analizne centre prenesejo vse dostopne podatke v tistem trenutku. Te efemeride so običajno dostopne že v 21 urah po opravljenih opazovanjih. Njihova natančnost je sicer slabša od končnih efemerid, vendar še vedno boljša od 20 cm za posamezno koordinato. (Witchayangkoon, 2000)

Danes se za prenos satelitovih efemerid uporablja ASCII format datoteke s končnico SP3, ki ga je definirala organizacija NGS (angl. National Geodetic Survey). SP3 vsebuje tako parametre satelitovih tirnic (efemeride) kot tudi popravke satelitovih ur. Natančnost podatkov je za dolžinske parametre 1 mm, za časovne pa 1 ps. (Witchayangkoon, 2000)

#### **2.4.1.5 Pogrešek konca faze (angl. Phase wind-up)**

Problem tega pogreška je povezan z orientacijo antene tako na satelitu kot tudi na sprejemniku. Je posledica narave krožno polariziranega elektromagnetnega valovanja GNSS signala. V idealnih razmerah je smer faze nosilnega valovanja v sprejemniku enaka kotu med trenutno smerjo elektromagnetnega polja in referenčno smerjo sprejemnikove antene. Če se spremeni orientacija antene, se spremeni tudi referenčna smer in zaradi tega tudi izmerjena faza. Prav tako sprememba orientacije satelitove antene spremeni smer električnega polja v oddajnikovi anteni. Posledice se odražajo v vrednosti izmerjene faze.

Naj bosta  $x$  in  $y$  enotska vektorja v smereh dipolnih elementov ciklične dipol antene. Podobno naj bosta  $x'$  in  $y'$  enotska vektorja v smereh dipolnih elementov oddajnikove antene na satelitu. Simbol  $\phi$  označuje azimut satelita v ravnini dipolnih elementov na sprejemniku. Simbol  $\theta$  označuje zenitno razdaljo do satelita. Kota  $\phi'$  in  $\theta'$  v sistemu dipolnih elementov na satelitu predstavljata iste količine.

Pri nediferenciranih opazovanjih se pogrešek konca faze izračuna z izrazom (Witchayangkoon, 2000):



$$\Delta\phi = \phi + \phi' + \pi \quad (7)$$

Pri enojnih faznih razlikah je pogešek konca faze razlika pogreškov dveh sprejemnikov (Witchayangkoon, 2000):

$$\Delta\phi_{enojna} = \Delta\phi_m^p - \Delta\phi_k^p = \beta_1 - (\pi - \alpha_1) + \gamma = \Omega_1 \quad (8)$$

Koti  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ , in  $\gamma$  predstavljajo notranje kote sfernega trikotnika pri projekciji sprejemnikov m in k ter satelita p na enotsko kroglo s centrom v središču zemlje. To pomeni, da je pogrešek konca faze pri enojnih faznih razlikah enak notranji površini sfernega trikotnika.

Pogrešek konca faze pri dvojnih faznih razlikah dobimo, podobno kot v prejšnjem primeru, z izrazom:

$$\Delta\phi_{dvojna} = \pm\Omega = \alpha + \beta + \lambda + \delta - 2\pi \quad (9)$$

kjer so  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  in  $\delta$  notranji koti sfernega četverokotnika, ki ga dobimo s projekcijo dveh satelitov in dveh sprejemnikov na enotsko kroglo.

#### 2.4.1.6 Pogrešek faznega centra antene sprejemnika

Fazni center antene GNSS ni ena sama dobro definirana fizična točka niti ni stabilna točka, pač pa se spreminja glede na smer prihajajočega satelitskega signala. Uporabniki običajno predvidevajo, da je točka sprejema signala v času opazovanj ves čas na istem mestu, kar sicer velja za referenčno točko antene.

Pogrešek faznega centra antene neposredno vpliva na natančnost položaja, in sicer do enega centimetra v horizontalni smeri, v vertikalni smeri pa celo do 10 cm. Pogrešek je funkcija tako azimuta kot višinskega kota. (Wubenna et al., 1997, Aloï, 1999, cit. po Witchayangkoon,

2000) Zaradi odvisnosti od odboja signala – večpotja in različnih lastnosti anten, je položaj faznega centra težko modelirati. Ob predpostavki, da je pogrešek odvisen samo od zenitne razdalje satelita  $E$ , se modeliranje položaja faznega centra precej poenostavi. Naj bo  $\Theta_i(E)$  razdalja med faznim centrom in referenčno točko antene. Enačbi za fazna in kodna opazovanja zdaj lahko zapišemo kot:

$$\varphi_{k,i}^p(t) = \frac{f_i}{c} \rho_k^p(t) + N_{k,i}^p + \frac{f_i}{c} \Theta_i(E) \sin E + \varepsilon_\varphi \quad (10)$$

$$P_{k,i}^p(t) = \rho_k^p(t) + N_{k,i}^p + \Theta_i(E) \sin E + \varepsilon_p \quad (11)$$

Zaradi lažje predstave so v enačbah (10) in (11) izrazi za troposfero, ionosfero, pogrešek satelitovih ur in večpotje izpuščeni.

#### 2.4.1.7 Pogrešek faznega centra antene satelita in orientacija satelita

Pri metodi PPP se pogrešek faznega centra antene satelita ne eliminira. Skladno s tem ga je potrebno natančno obravnavati. Izločimo ga lahko le s tvorjenjem dvojnih faznih razlik ali pa z upoštevanjem empirično določenih vrednosti pogreška. Dne 29. novembra 1996 so pri IGS med njihove produkte vključili tudi pogreške faznega centra antene satelita. Podani so v treh koordinatah, kot prikazuje spodnja tabela.

Preglednica 1: Primer popravkov faznega centra antene satelitov

Satelit	i	j	k
Block II/IIA	0,279 m	0,000 m	1,023 m
Block IIR	0,000 m	0,000 m	0,000 m

Pogrešek je podan v na satelit pritrjenem 3D kartezičnem koordinatnem sistemu, v katerem je prikazan tudi tlak Sončevega sevanja. Center koordinatnega sistema je v masnem središču

satelita, k-os je usmerjena proti Zemljinem središču, j-os je usmerjena vzdolž osi ravnine Sonce–satelit–Zemlja, i-os pa je usmerjena tako, da je sistem desnosučen. Koordinatni sistem leži v ravnini, ki jo tvorijo satelit, Zemlja in Sonce. Ta definicija odpove, ko so Sonce, satelit in Zemlja na isti premici, se pravi kolinearni. V tem primeru in v primeru, ko je satelit v zemljini senci, je modeliranje pogreška faznega centra antene satelita precej bolj komplicirano. (Bar - Sever, 1996, cit. po Witchayangkoon, 2000)

#### 2.4.1.8 Pogrešek satelitovih ur

Če upoštevamo hitrost svetlobe  $3 \times 10^8$  m/s, potem pogrešek satelitove ure 1  $\mu$ s pomeni za 300 m napačno izračunano topocentrično razdaljo. Natančno poznavanje pogreškov satelitovih ur je za metodo PPP ključnega pomena. Brez tega sploh ne bi bilo metode PPP, kajti pridobljena rešitev bi bila na nivoju natančnosti klasične navigacije (ki uporablja popravke satelitovih ur, pridobljene iz oddanih efemerid). Pri relativnih metodah tega problema nimamo, saj se pogrešek satelitovih ur eliminira s tvorjenjem enojnih faznih razlik.

Pogreške satelitovih ur ocenijo in pripravijo pri IGS vzporedno s pripravo satelitovih efemerid. Pri tem si pomagajo z globalnimi nizi podatkov. Tako je v datoteke efemerid s končnico SP3 vključen poseben stolpec, ki vsebuje podatke o stanju satelitovih ur. (Witchayangkoon, 2000)

#### 2.4.1.9 Vpliv večpotja in šum sprejemnika

Večpotje (angl. multipath) je posledica odboja signala od objektov v bližini sprejemnika. Odbiti signali popačijo neposredno sprejete signale in s tem poslabšajo natančnost kodnih in faznih opazovanj. Kljub hitremu razvoju tehnologije sprejema signala ostaja vpliv večpotja še vedno eden glavnih virov pogreškov. Vpliv večpotja pri kodnih opazovanjih znaša polovico dolžine kode (150 m pri C/A kodi in 15 m pri P kodi), pri faznih opazovanjih pa običajno nikoli ne preseže četrtno valovne dolžine nosilnega valovanja (5–6 cm).

Vpliv večpotja lahko zmanjšamo s pravilno postavitvijo točke (v bližini točke ni objektov), izbiro primerne oblike antene (choke ring ali ground plane antene) ali nastavitvijo maske višinskih kotov, s katero onemogočimo sprejem signalov nizkoletnih satelitov. Prav ti signali povzročajo največji multipath. Današnji razvoj določanja multipatha gre v tej smeri, da sam sprejemnik prepozna vpliv in ga izloči iz opazovanj. Poznanih je že več različnih pristopov.

Šum sprejemnika je seštevek napak antene, oscilatorjev in drugih strojnih komponent, ki so vgrajene v sprejemnik. Običajno imajo zelo majhne vrednosti, pri kodnih opazovanjih okoli decimetra, pri faznih pa le nekaj milimetrov. Velikosti šuma ne moremo določiti empirično. Njegov vpliv lahko omilimo le z izborom kvalitetne merske opreme.

#### 2.4.1.10 Relativnost

Relativistični popravek satelitovih ure je potreben predvsem zaradi upoštevanja ekscentricitete orbit satelitov GNSS kot tudi upoštevanja hitrosti satelita, ki je sicer zanemarljivo majhna glede na svetlobno hitrost. Določimo ga z izrazom:

$$dt_{rel} = \frac{2}{c^2} X \cdot \dot{X}, \quad (12)$$

kjer sta  $X$  in  $\dot{X}$  položaj in hitrost satelita GNSS.

Relativistični popravek se spreminja od satelita do satelita in od epohe do epohe. V nasprotju z relativnimi metodami ga moramo pri metodi PPP striktno upoštevati. (Witchayangkoon, 2000)

#### 2.4.2 Določitev položaja z metodo PPP

V nadaljevanju bomo metodo PPP na kratko predstavili še z matematičnimi izrazi. Pri tem predpostavljamo, da imamo na voljo opazovanja na frekvencah L1 in L2. Z uporabo

dvofrekvenčnih sprejemnikov GNSS je določitev položaja boljša, saj je tedaj možno tvoriti ionosfere proste kombinacije nediferenciranih opazovanj (Yang, Chen, 2005):

$$P_{IF} = \frac{f_1^2 P_1 - f_2^2 P_2}{f_1^2 - f_2^2} = \rho + cdt + d_{trop} + dm_{IF} + \varepsilon(P_{IF}) \quad (13)$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2 \Phi_1 - f_2^2 \Phi_2}{f_1^2 - f_2^2} = \rho + cdt + d_{trop} + \frac{cf_1 N_1 - cf_2 N_2}{f_1^2 - f_2^2} + \delta m_{IF} + \varepsilon(\Phi_{IF}), \quad (14)$$

kjer je:

$f_1, f_2$	- frekvenci GPS nosilnih valovanj L1 in L2 (m)
$P_i, \Phi_i$	- kodna in fazna opazovanja na L1 in L2
$\rho$	- prava geometrična razdalja
$c$	- hitrost svetlobe v vakuumu
$dt$	- napaka sprejemnikove ure
$d_{trop}$	- vpliv troposfere
$N_i$	- neznano število celih valov pri faznih opazovanjih
$dm, \delta m$	- efekt večpotja (multipath) na kodnih in faznih opazovanjih
$\varepsilon(P_i), \varepsilon(\Phi_i)$	- šum sprejemnika.

V enačbi nista prisotna člena, ki predstavljata pogrešek satelitovih efemerid in ur, saj ta dva eliminiramo z uporabo preciznih parametrov satelitovih tirnic in ur. Vpliv troposfere in pogrešek sprejemnikove ure je možno oceniti, multipath pa zmanjšamo z uporabo ustreznega tipa antene (choke-ring antena). (Yang, Chen, 2005)

Danes so precizni parametri satelitovih tirnic in ur (efemeride) podani s centimetrsko natančnostjo že široko dostopni širšemu krogu uporabnikov. Dosegljivi so tako parametri za naknadno obdelavo PPP kot parametri za uporabo PPP v realnem času. Organizacije, ki ponujajo te produkte, so na primer IGS (angl. International GNSS Service), NRCan (angl.

Natural Resources Canada), JPL (angl. Jet Propulsion Laboratory, NASA), obstaja pa tudi nekaj komercialnih ponudnikov.

### **2.4.3 Prednosti metode PPP in uporabnost**

Metoda PPP ponuja v primerjavi s tradicionalnimi relativnimi tehnikami določanja položaja kar nekaj pomembnih prednosti. Prvič, pri izmeri z metodo PPP potrebujemo samo en sprejemnik. S tem se eliminira omejitev obsega obratovanja premičnega sprejemnika – roverja (največ 20 km od baze), problem istočasnega izvajanja opazovanj z mobilnim in referenčnim sprejemnikom ter težave s prenosom podatkov med sprejemnikoma. (Yang, 2006) Našteti problemi omejujejo širšo uporabo klasične metode RTK.

Naslednja prednost metode je v tem, da ima PPP globalni pristop k določanju položaja, kajti položaj je določen glede na globalni referenčni sestav. S stališča koordinat na novo določenih točk so koordinate PPP mnogo bolj konsistentne kot v primeru relativne določitve položaja, kjer je položaj odvisen od položajev lokalnih baznih postaj. (Yang, 2006)

Naslednja pomembna prednost je v tem, da PPP zmanjša delovni napor in količino potrebne merske opreme (zmanjšanje stroškov) ter poenostavi logistična in planerska dela, kajti metoda je neodvisna od referenčnih postaj. PPP pa se lahko uporablja ne samo za natančno določanje položaja, pač pa tudi za druge namene. Denimo, pri metodi PPP je potrebno za natančno določitev položaja oceniti napake sprejemnikove ure in vplive troposfere, to pa je lahko nov način distribucije točnega časa in ugotavljanja količine in razporeditve vodne pare v ozračju s samo enim sprejemnikom. (Yang, 2006)

Če na kratko povzamemo, metoda PPP je nov koncept natančnega določanja položaja, ki je lahko uspešna alternativa v mnogih aplikacijah trenutno najbolj uporabne relativne metode, metode RTK. Opazna je že porast uporabe te metode, tudi v komercialne namene. Z vpeljavo GLONASS-ovih in Galileovih preciznih tirnic in ur bo metoda PPP v prihodnosti glede natančnosti in zanesljivosti prerasla do vsesplošne uporabnosti. (Yang, 2006)

## 2.4.4 Ponudniki spletnih storitev PPP

V zadnjem času je bilo s strani vladnih organizacij, univerz, podjetij in posameznikov razvite že kar nekaj potrebne programske opreme za praktično uporabo metode PPP. Na voljo so tudi nekatere spletne storitve PPP in GNSS uporabniki lahko preverijo, če so te storitve enake ali ne. Povezave do teh spletnih storitev se nahajajo na spletni strani <http://gge.unb.ca/Resources/PPP/>. Tukaj so zbrani štirje ponudniki spletnih storitev PPP:

- **CSRS-PPP** agencije NRCan (angl. Natural Resources Canada)
- **GAPS** (angl. Analysis and Position Software) Rodriga Leonarda iz univerze v New Brunswicku
- **APPS** (angl. Automatic Precise Positioning Service) laboratorija JPL (angl. Jet Propulsion Laboratory)
- **MagicGNSS** podjetja GMV (Španija)

### 2.4.4.1 CSRS-PPP

Storitve CSRS-PPP (angl. Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning) omogoča določitev položaja z naknadno obdelavo opazovanj GPS, ki jih spletni aplikaciji posredujemo prek interneta. Izračunan položaj točke je lahko podan v severnoameriškem datumu iz leta 1983 (NAD83, angl. North America Datum) ali pa v referenčnem koordinatnem sestavu ITRF (angl. International Terrestrial Reference Frame). Pri določitvi položaja točke so upoštevani precizni parametri satelitovih tirnic in ur. Spletna storitev PPP je oblikovana tako, da uporabniku omogoča le najnujnejše nastavitve ter zagotovi najboljšo možno rešitev, ki jo je možno dobiti iz posredovanih podatkov. Natančneje, uporabnik mora določiti samo način procesiranja (statičen ali kinematičen) ter referenčni sistem, v katerem naj bo podan končni rezultat (NAD83(CSRS) ali ITRF). Opazovanja, ki so lahko le v formatu RINEX, se obdelajo po sledečem vrstnem redu (CSRS, 2009):

1. L1 in L2 kodna in fazna opazovanja
2. L1 kodna opazovanja.

Drugi korak obdelave se uporabi le takrat, ko s prvim ni mogoče določiti položaja. V primeru nezmožnosti obdelave tako kodnih kot faznih opazovanj storitev javi neuspešen zaključek obdelave.

V načinu PPP lahko obdelujemo opazovanja GPS šele takrat, ko so na razpolago precizne efemeride. Uporabijo se tiste efemeride, ki so za posredovane podatke v trenutku procesiranja že na voljo. To pomeni, da se za opazovanja, ki jih želimo obdelati istega dne, uporabijo ultra hitre (angl. Ultra Rapid) efemeride (dostopne že po nekaj urah). To so sicer precizne efemeride najslabše natančnosti. Za opazovanja, ki jih obdelamo naslednjega dne, so na voljo hitre (angl. Rapid) efemeride, dostopne v 17 urah po opravljenih opazovanjih. Za najnatančnejše efemeride in posledično tudi rezultat, pa je treba počakati, da so dosegljive končne precizne efemeride. Te pa običajno dobimo v 15 do 21 dneh od dneva opravljenih opazovanj.

Ker storitev PPP sloni na globalnih GPS preciznih efemeridah, omogoča procesiranje opazovanj, pridobljenih kjerkoli na Zemlji v katerem koli dnevnem času. Edina omejitev je dolžina trajanja opazovanj (CSRS, 2009):

- Minimalna dolžina trajanja GPS opazovanj; tukaj praktično ni omejitev. Treba je vedeti le to, da za kratka opazovanja ne bomo dobili fazne rešitve, ampak le kodno. Zaradi prekratkega časa opazovanj ne bo možno natančno določiti neznanega števila celih valov, kar je za fazna opazovanja odločilnega pomena.
- Maksimalna dolžina trajanja opazovanj: obdelajo se lahko do 6 dni trajajoča opazovanja, če je nekomprimirana datoteka RINEX manjša od 100 Mb.

PPP v osnovi določi položajni koordinati in višino faznega centra antene. Če želimo določiti položaj fizične označbe točke na zemlji, moramo poznati vertikalno razdaljo med označbo in referenčno točko antene ARP (angl. Antenna Reference Point) ter razdaljo med ARP in faznim centrom antene APC (angl. Antenna Phase Centre).



Aplikacija CSRS-PPP prevzame tisto razdaljo med označbo točke in ARP, ki je zabeležena v datoteki RINEX. V tej datoteki je zabeležen tudi tip sprejemnikove antene, od katerega je odvisna razdalja med faznim centrom in referenčno točko antene. Ker je ta razdalja določena z laboratorijsko kalibracijo antene, CSRS-PPP uporablja kalibracijske vrednosti, ki jih pripravljata službi IGS in NGS. (CSRS, 2009)

Na kratko predstavimo še izhodne rezultate. CSRS-PPP ustvari dva tipa izhodnih produktov: pregledna poročila in grafične upodobitve. Ti produkti so dostopni prek URL naslova, ki ga PPP posreduje uporabniku elektronske pošte. V krajšem poročilu so podani rezultati ter osnovni podatki o natančnosti in statistiki obdelave opazovanj. Del kratkega poročila, ki je oblikovan v formatu pdf, so tudi grafične upodobitve. Podrobnejše poročilo pa je sestavljeno iz dveh datotek. Datoteka .sum je namenjena osnovnim podatkom in rezultatom obdelave, datoteka .pos pa vsebuje določitev položaja za vsako epoho posebej.

Za podrobnejšo obravnavo in analizo rezultatov je zagotovo najpomembnejša datoteka .sum. Njena vsebina je sestavljena iz treh sekcij, in sicer (CSRS, 2009):

- *1. sekcija: Pregled datotek* (angl. File Summary)  
V njej so podane vhodne, izhodne in interne datoteke, ki so bile med procesiranjem uporabljene.
- *2. sekcija: Pregled parametrov procesiranja* (angl. Summary of Processing Parameters)  
V njej zasledimo podatke, kot so omejitev filtra Cycle Slip (2.1), popravek faznega centra anten posameznih satelitov (2.2), popravek faznega centra uporabnikove antene na sprejmniku (2.3), transformacijske parametre med ITRF in NAD83(CSRS) (2.4), koeficiente plimovanja morja (2.5) in meteorološke podatke (2.6)
- *3. sekcija: Pregled rezultatov procesiranja* (angl. Session Processing Summary)  
V njej so zabeleženi podatki, kot so uporabljene nastavitve procesiranja (3.1), poročilo o opazovanjih (3.2), ocenjene koordinate (3.3), razlike med koordinatami (3.4), ocena pogreška sprejemnikove ure (3.5) in pogeški satelitov (3.6).

#### 2.4.4.2 GAPS

Spletno storitev GAPS (angl. GPS Analysis and Positioning Software) je razvil Rodrigo Leandro z Univerze v New Brunswicku. Podobno kot vse ostale aplikacije tudi ta omogoča procesiranje tako običajnih datotek RINEX, kot tudi stisnjenih. Vendar pa GAPS lahko obdela opazovanja dolžine največ 24 ur, in sicer v okviru le enega GPS dneva. V okviru enega dne pa glede dolžine trajanja opazovanj ni omejitev. (GAPS, 2010)

Uporabnik lahko na spletni strani GAPS pred procesiranjem nastavi naslednje parametre (GAPS, 2010):

- a-priori koordinate (kartezične ali geografske)
- parametri procesiranja podatkov (začetni, končni čas, tip opazovanj, to je statična ali kinematična opazovanja, minimalni višinski kot)
- vpliv atmosfere (a-priori NAD standardna deviacija, NAD šum procesiranja, model UNB3m je že prednastavljen)
- format slik (.emf, .jpg)
- elektronski naslov, kamor želimo prejeti rezultate.

Rezultati obdelave GPS opazovanj so podani v formatu html. Datoteka vsebuje pregledna poročila in grafične upodobitve rezultatov, razvrščene v poglavja, in sicer (GAPS, 2010):

- osnovni podatki
- končne koordinate (IGS05 – epoha trenutka opazovanj)
- a-priori koordinate
- razlike med končnimi in a-priori koordinatami
- popravki
- konvergenca koordinat (grafika)
- vpliv atmosfere v smeri zenita (grafika)
- vertikalni vpliv ionosfere (grafika)
- popravki (grafika)

### 2.4.4.3 APPS

Spletno storitev APPS (angl. Automatic Precise Positioning Service) so razvili v Nasinem laboratoriju JPL (angl. Jet Propulsion Laboratory). Aplikacija APPS združuje (APPS, 2010):

- efemeride satelitov v realnem času, dobljene iz sistema GDGPS (angl. Global Differential GPS)
- dnevne in tedenske precizne efemeride, ki jih pripravlja JPL
- programsko opremo GIPSY-OASIS (verzija 5) za obdelavo GPS opazovanj.

Program GIPSY-OASIS lahko obdelava GPS fazna in kodna opazovanja enofrekvenčnih in dvofrekvenčnih sprejemnikov. Interval registracije opazovanj ni pomemben, saj program samodejno razredči opazovanja na petminutne intervale. Pri obdelavi opazovanj so upoštevane tiste efemeride službe JPL, ki v trenutku obdelave omogočajo najboljšo rešitev. Rezultati obdelave so podani kot (APPS, 2010):

- položajne koordinate in višina točke
- stanje sprejemnikove ure, izračunano za vsako epoho posebej
- mokra komponenta troposferske refrakcije v smeri zenita z varianco  $3 \text{ mm}^2/\text{h}$
- gradient mokre komponente troposferske refrakcije z varianco  $0,3 \text{ mm}^2/\text{h}$
- neznan število celih valov kot realno število.

Ker so položaji satelitov v efemeridah podani v ITRF05 koordinatnem sistemu, je v tem sistemu določen tudi položaj opazovane točke. APPS uporabniku ne omogoča pridobitve položaja v katerem koli drugem koordinatnem sistemu. Pri preračunu koordinat iz elipsoidnih v kartezične je upoštevan regionalni elipsoid z veliko polosjo  $6378136,6 \text{ m}$  in sploščenostjo  $1/298,25642$ . Ta elipsoid ni niti WGS84 niti GRS80.

Podatki opazovanj morajo biti zapisani v datoteki RINEX s poljubnim imenom. Zraven je možno dodati še datoteko z meritvami zračnega tlaka, s pomočjo katere se določi vpliv

troposfere v smeri zenita. Poleg tega lahko uporabnik izbira med štirimi načini obdelave opazovanj (APPS, 2010):

- statičen način; v tem primeru se opazovanja obravnavajo kot statična in kot rezultat dobimo samo ene koordinate točke
- kinematičen način; v tem primeru se opazovanja obravnavajo tako, kot če bi bil sprejemnik v gibanju. Kot rezultat dobimo niz koordinat za vsako izmerjeno epoho posebej (nastavljeno), lahko tudi manj (možnost)
- blizu realnega časa (angl. Near Real Time); to je najhitrejša rešitev, ki jo ponuja APPS. V tem primeru so uporabljene tiste efemeride, ki so v trenutku obdelave dostopne. Možno je obdelati opazovanja, stara manj kot en dan.
- najbolj natančen način (angl. Most Accurate); v tem primeru aplikacija APPS počaka z obdelavo opazovanj toliko časa, da so dostopne najbolj natančne precizne efemeride (en teden).

Aplikacija APPS ob koncu procesiranja uporabniku na njegov elektronski naslov pošlje informacije o mestu, kjer se nahajajo datoteke z rezultati in geslo za dostop do teh podatkov. Rezultati so razvrščeni v več datotek (APPS, 2010):

- datoteka .sum (status procesiranih podatkov, glavni izhodni podatki, seznam izhodnih podatkov)
- datoteka .stacov (koordinate x, y, z in njihove kovariance, samo za statična opazovanja)
- datoteka .tpd (čas, koordinate x, y, z v formatu GIPSY TPD)
- datoteka .ninjalog (sporočila programa GIPSY in statistika)
- datoteka .rgnml
- datoteka .pfs
- datoteka .gd (geografske koordinate skupaj z oceno natančnosti).

#### 2.4.4.4 MagicGNSS

Spletno storitev Magic GNSS so razvili v podjetju GMV s sedežem v Madridu. Ta aplikacija vsebuje dva algoritma, in sicer ODTS (angl. Orbit Determination & Time Synchronisation) in PPP. Prvi je namenjen izračunu preciznih efemerid in modeliranja vpliva troposfere, drugi pa izračunu koordinat točke.

Vhodni podatki so lahko samo statična opazovanja, in sicer ionosfere proste kombinacije kodnih in faznih opazovanj. Aplikaciji ODTS in PPP surove podatke interno razredčita na petminutne intervale. Algoritma sta zasnovana po metodi najmanjših kvadratov. Na ta način se izračunajo efemeride satelitov, vplivi satelitovih in sprejemnikovih ur, neznano število celih valov pri faznih opazovanjih in vpliv troposfere na sprejemniku v smeri zenita. Pri PPP se efemeride satelitov ne računajo, pač pa aplikacija prevzame IGS efemeride (MagicGNSS, 2010).

MagicGNSS od 1. 1. 2010 naprej omogoča obdelavo tako GPS kot GLONASS opazovanj. Vendar pa se GLONASS opazovanja lahko obdelujejo šele dva dni po opravljenih opazovanjih, seveda pa meritve ne smejo biti opravljene pred 1. 1. 2010. Rezultati obdelave GLONASS opazovanj so popolnoma združljivi z izdelki službe IGS za GPS opazovanja (isti referenčni koordinatni sestav in ista časovna skala). To omogoča primerjavo obojih opazovanj in tudi kombinacijo GPS+GLONASS opazovanj (MagicGNSS, 2010).

Vhodna datoteka z opazovanji mora biti v običajnem formatu RINEX ali formatu Hatanaka RINEX. Interval registracije opazovanj v datoteki RINEX je lahko 30, 15, 10, 5 ali 1 sekunda. Datoteka mora vsebovati tako kodna (P1 ali C1, P2) kot tudi fazna (L1, L2) opazovanja. Približne koordinate točke v datoteki RINEX ne smejo biti 0. Prav tako mora biti tip sprejemnikove antene, ki je zapisan v glavi datoteke RINEX, skladen s podatkovno bazo službe IGS. Če ta dva pogoja nista izpolnjena, bo algoritem PPP javil napako.

Rezultati obdelave GPS opazovanj s spletno aplikacijo Magic GNSS so podani v štirih datotekah (MagicGNSS, 2010):

- estimated\_station\_clock\_XXXXXX.clk; ta datoteka vsebuje ocenjene parametre sprejemnikove ure na vsakih 5 minut.
- estimated\_ztd\_XXXXXX.txt; v njej so ocenjeni parametri vpliva troposfere v smeri zenita
- ppp\_report\_XXXXXX.pdf; tukaj so zbrani podatki, kot so pregled nastavitev, pregled obdelave opazovanj, pregled rezultatov. Vsebuje tudi grafične prikaze.
- station\_coords\_XXXXXX.snx; v njej so podane končne 3D kartezične koordinate opazovane točke.

## **2.5 Koordinatni sistemi in transformacije med koordinatnimi sistemi**

Koordinatni sistemi, ki so v uporabi v geodeziji in astronomiji so neločljivo povezani z Zemljo in njenim gibanjem v prostoru. Zemlja se vrti okoli svoje osi (rotacija) in se hkrati giblje okoli Sonca (revolucija). Poleg tega Luna z drugimi umetnimi Zemljinimi sateliti kroži okoli Zemlje. Ta tri periodična gibanja so bistvenega pomena za definicijo geodetskih in astronomskih koordinatnih in časovnih sistemov.

Glede na omenjena gibanja ločimo tri vrste referenčnih (koordinatnih) sistemov: nebesne, terestrične in orbitalne koordinatne sisteme. Nas zanimajo izključno terestrični koordinatni sistemi. Ti so "pritrtjeni" na Zemljo in skupaj z njo rotirajo v prostoru. Definiirajo koordinate točk na zemeljskem površju.

### **2.5.1 Koordinatni sistemi**

#### **2.5.1.1 ITRS in ITRF**

ITRS koordinatni sistem je dogovorjen terestrični koordinatni sistem, ki je geocentričen in pritrjen na telo Zemlje na osnovi dogovorjenega IERS referenčnega Zemljinega pola (IRP) in

IERS referenčnega meridiana (IRM). Za izračun elipsoidnih koordinat  $(f, l, h)$  na osnovi pravokotnih koordinat  $X, Y, Z$  se uporablja GRS80 referenci elipsoid.

Praktična realizacija terestričnega koordinatnega sistema je ITRF (angl. IERS Terrestrial Reference Frame). Imena različic koordinatnih sestavov ITRF so podane v obliki ITRF-yy, kjer je yy oznaka posamezne različice koordinatnega sestava ITRF. Do zdaj se je zvrstila cela množica koordinatnih sestavov ITRF: ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000 in trenutno aktualni ITRF2005 koordinatni sestav. Razlikujejo se tako po vrsti in številu uporabljenih podatkov kot tudi po položaju in orientiranosti v prostoru glede na prejšnje sestave. (Stopar et al., 2009)

#### **2.5.1.2 WGS84**

V povezavi z GPS-jem (angl. Global Positioning System) je pomemben WGS-84 (angl. World Geodetic System 1984) terestrični koordinatni sistem. Izhodišče koordinatnega sistema je v težišču Zemlje, z-os koordinatnega sistema je usmerjena v smeri dogovorjenega zemeljskega pola CTP (angl. Conventional Terrestrial Pole), kot ga je definirala BIH, x-os je usmerjena proti presečišču BIH ničelnega meridiana in ravnine CTP ekvatorja, y-os, ki zaključuje desnosučni ortogonalni koordinatni sistem. WGS-84 koordinatni sistem sovpada s koordinatnimi sistemi ITRS in ETRS v okviru nekaj decimetrov. (Stopar et al., 2009)

#### **2.5.1.3 Državni koordinatni sistem ETRS89/TM**

Koordinatni sistem ETRS (angl. European Terrestrial Reference System) uvrščamo med regionalne koordinatne sisteme. ETRS je rezultat prve enotne evropske GNSS izmere leta 1989. Sprejele so ga vse države članice Mednarodne zveze za geodezijo IAG (angl. International Association of Geodesy). Praktična realizacija koordinatnega sistema ETRS je koordinatni sestav EUREF. Koordinatni sistem, ki ga je privzela podkomisija EUREF, sovpada z ITRS koordinatnim sistemom v začetku leta 1989 in je »pritrjen« na stabilni del Evrazijske plošče. Glede na letnico nastanka sistema se koordinatni sistem imenuje ETRS89.

Realizacija ETRS89 v Sloveniji je bila izvedena v okviru EUREF GPS izmer v letih 1994, 1995 in 1996. Srednji trenutek (epoha) GPS-opazovanj v omenjenih izmerah je bil 1995,55, zato realizacijo novega koordinatnega sistema označujemo tudi s kratico D-96 (geodetski datum, realiziran 1996) – v nasprotju z realizacijo starega koordinatnega sistema, ki ga označujemo tudi s kratico D-48 (geodetski datum, realiziran 1948). Trenutno sta v rabi oba – stari in novi horizontalni koordinatni sistem. (Stopar et al., 2009)

## 2.5.2 Transformacije med koordinatnimi sistemi

### 2.5.2.1 Splošno

V primeru transformacije rezultatov GNSS izmere izmere v državni koordinatni sistem najpogosteje uporabljamo podobnostno transformacijo trirazsežnih koordinatnih sistemov. V primeru te transformacije je zveza med koordinatnima sistemoma dana s 7 transformacijskimi parametri:

- tremi premiki med koordinatnima sistemoma,
- tremi zasuki med koordinatnima sistemoma in
- enim razmerjem enote dolžin med koordinatnima sistemoma.

Razlogi za izbiro podobnostne transformacije pri nalogah transformacij med terestričnimi koordinatnimi sistemi in koordinatnimi sistemi klasične geodezije so v tem, da imata koordinatna sistema različni izhodišči, različno orientacijo koordinatnih osi ter, zaradi uporabe različnih merskih tehnik za njuno praktično realizacijo, različno merilo. Ta transformacija je najpogosteje uporabljena transformacija v geodeziji.

Funkcionalni model podobnostne transformacije med dvema koordinatnima sistemoma, oziroma vektorjema koordinat je dan z izrazom:

$$y = mRx + T, \quad (15)$$



kjer je

- $R$  ortogonalna rotacijska matrika,
- $m$  kvocient enote merila sistema  $y$  glede na sistem  $x$ ,
- $T$  vektor premika izhodišča  $y$  koordinatnega sistema glede na  $x$  koordinatni sistem.

Rotacijska matrika  $R$  je sestavljena iz produkta rotacijskih matrik, ki predstavljajo zasuke okrog posameznih koordinatnih osi  $y$  koordinatnega sistema do lege, ko so vzporedne s koordinatnimi osmi  $x$  sistema. Rotacijsko matriko lahko pridobimo na več načinov. V praksi je najpogosteje v uporabi t. i. kardanska rotacijska matrika, ki jo dobimo z množenjem rotacijskih matrik v naslednjem vrstnem redu:

$$R = R_z(\omega)R_y(\psi)R_x(\varepsilon). \quad (16)$$

### 2.5.2.2 Problematika transformacije koordinat pri uporabi metode PPP

V primeru GNSS izmere z relativnimi metodami, se pravi z navezavo na omrežje postaj GNSS ali na samostojno permanentno postajo, postavljeno na znani točki, ne nastopi problem transformacije koordinat v državni koordinatni sistem. Položaj izmerjene točke bo določen v tistem koordinatnem sistemu, v katerem so določene koordinate dane točke oziroma položaji permanentnih postaj GNSS. V Sloveniji je to koordinatni sistem ETRS89.

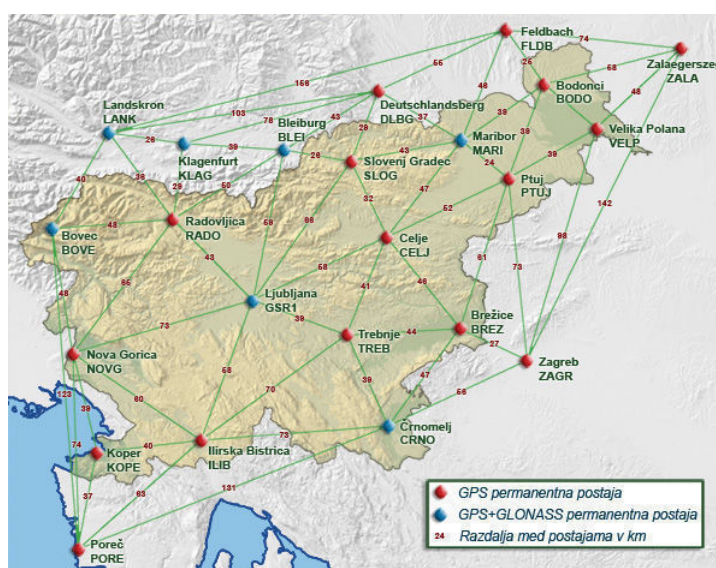
Pri metodi PPP pa v nasprotju z relativnimi metodami ne dobimo neposredno ETRS89 koordinat, pač pa so koordinate izmerjene točke v koordinatnem sistemu, v katerem so podani položaji satelitov, to je ITRS koordinatni sistem. Praktična realizacija ITRS koordinatnega sistema, ki se uporablja danes, je koordinatni sestav ITRF2005. Večina spletnih storitev PPP končne rezultate podaja v tem, ITRS/ITRF2005 sistemu.

Položaj točke v ITRF2005 je vezan na točno določeno epoho, to je na trenutek opravljenih opazovanj. Zaradi gibanja Zemljine skorje se položaj točke stalno spreminja v času. Za

določitev ETRS89 koordinat je tako potrebno koordinate z epoho opazovanj transformirati na epoho 1989, to je epoha, ko je bil s strani EUREF realiziran ETRS89. Ker ta koordinatni sistem velja samo za Evropo, Evropa pa cela leži na evrazijski tektonski plošči, se medsebojni položaj točk na tej plošči s časom ne spreminja oziroma se spreminja zelo malo. Če predpostavimo, da se evrazijska plošča v enem letu premakne za približno 2 cm v isti smeri, to pomeni, da se je točka v 20 letih glede na koordinatni sistem ITRS premaknila za približno 40 do 50 cm. V ETRS89 pa položaj točke kljub globalnemu premiku ostaja nespremenjen, saj se ETRS koordinatni sistem giblje skupaj z evrazijsko ploščo.

## 2.6 Omrežje SIGNAL in VRS

Na ozemlju Slovenije je vzpostavljeno državno omrežje stalnih GPS/GNSS postaj z imenom SIGNAL (SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija). Za njegovo delovanje skrbi Služba za GNSS, ki jo sestavljajo operativni, podatkovni in analitični center. Omrežje tvori 15 stalnih postaj GPS, razporejenih po vsej državi; od katerih je ljubljanska postaja vključena tudi v evropsko mrežo stalnih postaj EPN (angl. European Permanent Network). Omrežje je osnova državne geoinformacijske infrastrukture in predstavlja ogrodje novega slovenskega državnega koordinatnega sistema. (SIGNAL, 2009)



Slika 5: Omrežje permanentnih postaj SIGNAL (SIGNAL, 2009)

Omrežje postaj GPS je pomembno zaradi določitve relativnega oz. diferencialnega položaja sprejemnika glede na izbrano postajo GPS v omrežju. Tako določen položaj je neprimerljivo natančnejši kot absolutni položaj, določen brez navezave na omrežje. Za navezavo GPS meritev na fizično realizacijo koordinatnega sistema potrebujemo dva sprejemnika GPS. Omrežje torej omogoča racionalnejšo izmero, saj uporabniku nadomešča referenčni sprejemnik; za izmero rabi le še premičnega, vlogo referenčnega sprejemnika pa prevzema sistem omrežja SIGNAL. (SIGNAL, 2009)

Služba za GPS omogoča določitev položaja visoke kakovosti na podlagi opazovanj na 15 stalnih postajah omrežja GPS/GNSS. Uporabimo lahko podatke ene od 15 stalnih GPS/GNSS postaj, ki so postavljene na naslednjih lokacijah: Bodonci, Bovec (GNSS), Brežice, Celje, Črnomelj (GNSS), Ilirska Bistrica, Koper, Ljubljana (GNSS), Maribor (GNSS), Nova Gorica, Ptuj, Radovljica, Slovenj Gradec, Trebnje in Velika Polana. (SIGNAL, 2009)

Ko pa je premični sprejemnik preveč oddaljen od točke za navezavo, t. j. stalne postaje GPS, omrežje SIGNAL ponuja tudi storitev opazovanja VRS (angl. Virtual Reference System). Postaja VRS so generirani podatki opazovanj in popravkov opazovanj za vse znane vplive na opazovanja in nadomešča fizično postajo GPS v bližini lokacije uporabnika. V tako generiranih podatkih so upoštevana opazovanja celotnega omrežja in ne le stalne postaje GPS, ki je najbližja lokaciji uporabnika. Ta način omogoča izvedbo zelo natančnih meritev v realnem času tudi na območjih, ki so od posamezne postaje GPS oddaljena za več kot 20 km. Proizvajalec programske rešitve VRS zagotavlja centimetrsko natančnost v primeru, da so stranice trikotnikov med permanentnimi postajami krajše od 70 km. (SIGNAL, 2009)

Tako opazovanja stalnih postaj GPS kot tudi opazovanja VRS so na voljo za uporabo v RTK/DGPS metodah določitve položaja. Opazovanja so posredovana v formatu RTCM in se uporabljajo za določitev kakovostnega položaja v realnem času z metodo RTK izmere oz. DGPS.

Za uporabo metod RTK/DGPS z navezavo na omrežje SIGNAL je potrebo vzpostaviti povezavo med sprejemnikom in centrom omrežja SIGNAL, prek katere se bodo v realnem

času prenašala opazovanja stalnih postaj GPS ali postaje VRS. Povezavo je možno vzpostaviti prek klicnega dostopa (dostop GSM) ali spletne povezave (NTRIP protokol). (SIGNAL, 2009)

### 3 RAZISKAVA

V prejšnjem poglavju smo predstavili satelitske navigacijske sisteme, metode določitve položaja, njihove prednosti in slabosti ter uporabnost posameznih metod. Zdaj pa bomo glavne podobnosti in bistvene razlike opisanih metod izmere, to so statična metoda, metoda RTK in metoda PPP, ponazorili še na praktičnem primeru. Za ta namen smo opravili izmero na dveh dobro stabiliziranih točkah, ki sta postavljeni na lokacijah z različno konfiguracijo terena (ovire). Hkrati so potekale meritve tudi na točki FGG3 na strehi stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Kot referenčno točko za izračun relativnega položaja omenjenih točk pa smo uporabili permanentno postajo v Ljubljani z oznako GSR1.

Opazovanja s permanentne postaje GSR1 smo uporabili še za splošno analizo metode Precise Point Positioning. Zanimalo nas je, kako se PPP obnaša, če spreminjamo interval registracije opazovanj, uporabimo različno dostopne efemeride, uporabimo različne spletne programe PPP različnih avtorjev, predvsem pa kako vpliva na kakovost položaja čas trajanja opazovanj.

#### 3.1 GNSS izmera na dveh novih točkah

GNSS izmera je potekala na dveh dobro stabiliziranih točkah. Prva točka z oznako 1000 je postavljena v dokaj zaprti dolini. 10 m od točke proti vzhodu stoji objekt, proti zahodu pa se približno 6 m od točke strmo vzpenja pobočje. Proti jugu stojijo še drugi objekti, vendar pa so od točke oddaljeni približno 20 m. V okolici točke 1000 je torej veliko fizičnih ovir, ki lahko motijo sprejem GNSS signala. Edino proti severu noben objekt ne ovira sprejema signala. Druga točka z oznako 2000 pa je locirana na vrhu hriba, kjer ni nobenih večjih fizičnih ovir razen oddaljenih hribov, pa še ti so večinoma nižji od višinskega kota  $10^\circ$ .

Zakaj smo izbrali prav takšni lokaciji točk? Pri vsakdanjem delu s sprejemniki GNSS se pogosto nahajamo na terenu, kjer nam sam sprejem signala ovirajo takšne ali drugačne fizične ovire (zgrajeni objekti, drevesa, hribi). Zato smo skušali izbrati lokacije, ki predstavljajo

najskrajnejše razmere za izvajanje GNSS izmere. Na prvi točki so to razmeroma težki pogoji, na drugi pa skoraj idealni.

Običajno je pred kvalitetno opravljeno GNSS izmero nujno potrebno izdelati dober plan izvedbe izmere. Potreben je zato, da ugotovimo, ali bo izmera sploh izvedljiva in da predvidimo možnosti za zmanjšanje sistematičnih vplivov na opazovanja. Pri planiranju je v prvi vrsti treba preveriti razpoložljivost satelitov ter njihovo razporeditev v času opazovanj (almanah). Iz plana je treba izločiti obdobja, ko je vidnih zelo malo satelitov ali pa je DOP (angl. Dilution of Precision) zelo velik (vrednosti nad 5). V praksi pa za planiranje GNSS izmere pogosto zmanjka časa ali pa se nanjo preprosto pozabi. To velja predvsem za naloge v katastru in inženirski geodeziji. Zato smo v raziskavi tudi sami opravili izmero brez predhodnega planiranja. Izbran je bil poljuben dan s povsem povprečnimi, lahko bi rekli realnimi razmerami tako na površju Zemlje kot v vesolju. Res pa je tudi, da je planiranje pri statični metodi smiselno in veliko pomembneje pri krajših opazovanjih (nekaj 10 minut ali nekaj ur). V takih primerih je iz plana sploh potrebno izločiti slaba obdobja za izvajanje meritev.

Izmero smo izvajali z dvema sprejemnikoma GNSS: Leica GPS900CS in Leica GPS1200. Vso potrebno opremo nam je posodilo podjetje Geoservis d. o. o. iz Ljubljane. To so:

- 1 x RX1250TC + ATX1230 GG
- 1 x RX900CS + ATX900 GG
- 2 x stativ, podnožje in pecelj
- 1 x kljuka za merjenje višine
- 1 x dvonožnik
- 1 x 2 m dolgo karbonsko togo grezilo

Preglednica 2: Specifikacije sprejemnikov Leica GPS900CS in Leica GPS1200

	<b>Leica GPS900CS</b>	<b>Leica GPS1200</b>
antena	ATX900 GG	ATX1230 GG
sprejemnik	RX900CS	RX1250TC
tip sprejemnika	dvofrekvenčni, GNSS geodetski, RTK sprejemnik	dvofrekvenčni, GNSS geodetski, RTK sprejemnik
opazovanja, metode in aplikacije	L1 + L2, kodna opazovanja, standard RTK, izmeritvena in RTK orodja	statična, hitra statična, kinematična, On The Fly metoda, L1 + L2, kodna opazovanja, standard RTK, naknadna obdelava, DGPS/RTCM standard, izmeritvena, geodetska in RTK orodja
<b>komponente sistema</b>		
tehnologija GNSS	SmartTrack+:	SmartTrack+:
število kanalov	14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS in 12 L1 + 12 L2 GLONASS	14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS in 12 L1 + 12 L2 GLONASS
opazovanja (GPS)	L1 – fazna na celi valovni dolžini, C/A kodna L2 – fazna na celi valovni dolžini s C in P kodo (deluje enako z vklopljenim kot izklopljenim AS)	L1 – fazna na celi valovni dolžini, C/A kodna L2 – fazna na celi valovni dolžini s C in P kodo (deluje enako z vklopljenim kot izklopljenim AS)
opazovanja (GLONASS)	L1 – fazna na celi valovni dolžini, C/A kodna L2 – fazna na celi valovni dolžini, P kodna	L1 – fazna na celi valovni dolžini, C/A kodna L2 – fazna na celi valovni dolžini, P kodna

se nadaljuje ...

**... nadaljevanje**

neodvisnost opazovanj	popolna neodvisnost L1 in L2 faznih in kodnih opazovanj	popolna neodvisnost L1 in L2 faznih in kodnih opazovanj
čas do prve izmere faze po vklopu	običajno 30 sekund	običajno 30 sekund
<b>osnovne specifikacije</b>		
teža	sprejemnik: 0,73 kg antena: 0,96 kg	sprejemnik: 0,75 kg antena: 1,12 kg
temperatura delovanja	sprejemnik: -30 °C do +65 °C antena: -40 °C do +65 °C	sprejemnik: -30 °C do +65 °C antena: -40 °C do +70 °C
temperatura skladiščenja	sprejemnik: -40 °C do +80 °C antena: -40 °C do +80 °C	sprejemnik: -40 °C do +80 °C antena: -55 °C do +85 °C
vlažnost	do 100 % vlažnost	do 100 % vlažnost
zaščita pred vodo, prahom in peskom	zaščiten proti dežju, vodoodporen do 1 m globine, odporen na prah (IP67)	zaščiten proti dežju, vodoodporen do 1 m globine odporen na prah (IP67)
padec na trdo podlago	sprejemnik: prenese padec z višine 1 m antena: prenese padec z višine 1,5 m	sprejemnik: prenese padec z višine 1 m antena: prenese padec z višine 1,5 m
vibracije	prenese vibracije večjih gradbenih strojev, brez izgube signala	prenese vibracije večjih gradbenih strojev, brez izgube signala
<b>Točnost opazovanj in natančnost določitve položaja</b>		

se nadaljuje ...



**... nadaljevanje**

točnost kodnih in faznih opazovanj	fazna opazovanja na L1 in L2: 0,2 mm RMS, kodna opazovanja na L1 in L2: 20 mm RMS	fazna opazovanja na L1 in L2: 0,2 mm RMS, kodna opazovanja na L1 in L2: 20 mm RMS
natančnost metode RTK	kinematična metoda: horizontala: 10 mm + 1 ppm vertikala: 20 mm + 1 ppm samo kodna opazovanja: običajno 25 cm	kinematična metoda: horizontala: 10 mm + 1 ppm vertikala: 20 mm + 1 ppm hitra statična metoda: horizontala: 5 m + 0,5 ppm vertikala: 10 mm + 0,5 ppm samo kodna opazovanja: običajno 25 cm
<b>On-The-Fly inicializacija</b>		
možnosti OTF	v realnem času in naknadni obdelavi	v realnem času in naknadni obdelavi
občutljivost OTF	zelo visoka, pridobitev več kot 99 % vseh možnih opazovanj nad 10° višinskega kota	zelo visoka, pridobitev več kot 99 % vseh možnih opazovanj nad 10° višinskega kota
čas, potreben za inicializacijo	običajno 8 sekund (ob vidnih 5 satelitih)	običajno 8 sekund (ob vidnih 5 satelitih)
hitrost določanja položaja	možnost do 0,2 s (5 Hz)	izbirno: 0,05 s (20 Hz) do 60 s

**3.1.1 Statična izmera**

Statično GNSS izmero izvajamo, kadar želimo pridobiti položaj neke točke z največjo natančnostjo. Pri tem je zelo pomembna dolžina trajanja opazovanj. Pri daljših opazovanjih se sistematični vplivi na račun ogromnega števila opazovanj precej zmanjšajo. Za potrebe

raziskave smo zato predvideli 12 ur opazovanj na vsaki točki. Druga dva parametra, ki sta prav tako pomembna in tudi vplivata na konsistentnost pridobljenega položaja, sta interval registracije opazovanj in minimalni višinski kot. Pomembno je, da omenjena parametra ustrezno izberemo. V našem primeru smo se odločili za interval registracije 5 s in minimalni višinski kot  $15^\circ$ . Ker smo predvideli tudi izravnavo baznih vektorjev GNSS mreže, smo izmero planirali tako, da so opazovanja potekala hkrati na vseh točkah, vključenih v mrežo.



Slika 6: Postavitev antene GNSS nad točko pri statični izmeri

Statična izmera je potekala dne 19. 4. 2009 prek celega dne. Nad točko smo čvrsto postavili stativ ter nanj trinožnik s podnožjem in pecljem, na katerega smo pritrdili anteno GNSS. Sprejemnik je bil prosto nameščen zraven točke. Na točki 1000 smo z opazovanji začeli ob 6:24:45, na točki 2000 pa ob 6:52:35. Ker smo imeli na razpolago mersko opremo, ki je omogočala neprekinjeno merjenje samo od 5 do 6 ur (toliko namreč zdržijo baterije), smo opravili dve seriji opazovanj. Prva serija opazovanj je na točki 1000 trajala do 11:20:35, na točki 2000 pa do 13:13:05. Na prvi točki se je meritev nepričakovano prekinila skoraj 2 uri prej kot na drugi točki. V anteno je bila vstavljena nekoliko slabše napolnjena baterija.

Druga serija opazovanj je na točki 1000 potekala od 13:09:00 do 18:57:35, na točki 2000 pa od 13:15:45 do 19:03:15. Vmes je prišlo do 10 s prekinitve zaradi menjave baterije v anteni. S tem smo preprečili daljšo prekinitvev, kot se je zgodila v prvi seriji.

Preglednica 3: Osnovni podatki o statični izmeri na točkah 1000 in 2000

točka/serija	1000		2000	
	1. serija	2. serija	1. serija	2. serija
datum	19. 4. 2009	19. 4. 2009	19. 4. 2009	19. 4. 2009
začetek	06:24:45	13:09:00	06:52:35	13:15:45
konec	11:20:35	18:57:35	13:13:05	19:03:15
trajanje	4h 55' 50"	5h 48' 35"	6h 20' 30"	5h 47' 30"
antena	ATX1230 + GNSS Tripod	ATX1230 + GNSS Tripod	ATX900 GG Tripod	ATX900 GG Tripod
višina antene	1.2050 m	1.2050 m	1.2480 m	1.2480 m
približne koordinate (WGS84)	46°06'59.70594"N 14°11'22.45051"E 440.9370 m	46°06'59.71101"N 14 11'22.45301"E 437.9869 m	46°06'57.73630"N 14 11'15.78265"E 495.9994 m	46°06'57.74768"N 14°11'15.76420"E 494.8258 m
natančnost položaja	$\sigma_{\varphi} = 0.4393$ m $\sigma_{\lambda} = 0.4629$ m $\sigma_h = 0.9732$ m $\sigma_p = 0.6382$ m	$\sigma_{\varphi} = 0.5020$ m $\sigma_{\lambda} = 0.4793$ m $\sigma_h = 1.1370$ m $\sigma_p = 0.6941$ m	$\sigma_{\varphi} = 0.4135$ m $\sigma_{\lambda} = 0.3950$ m $\sigma_h = 0.8204$ m $\sigma_p = 0.5718$ m	$\sigma_{\varphi} = 0.4635$ m $\sigma_{\lambda} = 0.3506$ m $\sigma_h = 0.8138$ m $\sigma_p = 0.5812$ m
GDOP/PDOP	1.9/1.7	2.5/2.1	1.6/1.4	1.6/1.4

### 3.1.2 RTK izmera

V raziskavi smo metodo RTK izmere uporabili, da bi na praktičnem primeru ugotovili, kako nanjo vplivajo nekatere stvari. V prvi vrsti nas je zanimalo, kako se RTK obnaša ob uporabi različnih načinov povezave na državno mrežo permanentnih postaj. Druga zadeva, ki smo jo želeli preveriti na praktičnem primeru, je vpliv dolžine trajanja opazovanj na končni rezultat. Tretji vpliv, ki nas je zanimal, pa je vpliv razporeditve satelitov in različnega števila dosegljivih satelitov.

RTK izmera je potekala 18. 4. 2009 prek celega dne. Opravili smo tri serije meritev: dopoldne, popoldne in zvečer. V vsaki seriji smo se na državno mrežo permanentnih postaj SIGNAL navezali na tri različne načine:

1. neposredno na permanentno postajo GSR1 (Ljubljana) – omogočen sprejem opazovanj GPS (v nadaljevanju PP GPS)
2. na omrežje permanentnih postaj VRS – omogočen sprejem opazovanj GPS (v nadaljevanju VRS GPS)
3. neposredno na permanentno postajo GSR1 (Ljubljana) – omogočen sprejem opazovanj GPS + GLONASS (v nadaljevanju PP GPS+GLN).

Omrežje SIGNAL danes še ne omogoča rešitve VRS z upoštevanjem satelitov GLONASS. To bo mogoče šele, ko bodo vse permanentne postaje v omrežju nadgrajene z GNSS prejemniki in antenami.

V posameznem sklopu, se pravi načinu navezave na omrežje permanentnih postaj, smo opazovanja izvajali različno dolgo, 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 2,5 min, 5 min in 10 min. Inicializacijo smo pred posameznim sklopom izvedli samo na začetku, med posameznimi različno dolgimi opazovanji pa je nismo prekinjali. Ponovna inicializacija je bila potrebna le v primeru, ko je do prekinitve prišlo samodejno, bodisi zaradi izgube satelitskih signalov, bodisi zaradi prekinitve spletne povezave s SIGNAL-om. Med samimi opazovanji smo nenehno spremljali število vidnih satelitov, razporeditev satelitov (GDOP) in trenutno položajno natančnost (2D CQ). Omenjeni parametri so zbrani in predstavljeni v preglednicah 4 in 5.

Preglednica 4: Pregled zabeleženih parametrov v času RTK izmere na točki 1000

točka 1000		PP GPS			VRS GPS			PP GPS+GLN		
		1. ser.	2. ser.	3. ser.	1. ser.	2. ser.	3. ser.	1. ser.	2. ser.	3. ser.
5 s	GDOP	2,7	4,8	4,9	2,5	3,1	2,5	4,3	7,4	2,7
	2D CQ (cm)	1,0	0,7	1,8	1,2	1,2	1,4	1,0	0,6	0,9
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/6	7/6	7/6	9/7	9/6	14/10	14/8	15/11

**se nadaljuje ...**

**... nadaljevanje**

15 s	GDOP	2,7	4,9	9,4	2,5	3,1	2,4	4,4	5,1–7,3	3,3
	2D CQ (cm)	1,7	0,8	1,8	1,3	1,2	1,1	1,0	1,8–2,0	1,0
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/6	8/5	7/6	9/7	9/7	14/10	14/8	14/12
30 s	GDOP	2,7	4,9	4,8	2,5	3,1	2,4	4,3	8,3	2,7
	2D CQ (cm)	2,2	1,2	2,0	1,3	1,0	1,5	1,1	1,8	1,2
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/6	8/6	7/6	9/7	9/7	14/11	14/8	14/12
1 min	GDOP	3,6	4,9	4,8	2,5	3,1	2,4	2,5	5,2–5,3	2,8
	2D CQ (cm)	1,7	0,5	0,9	1,3	1,4	1,2	1,0	1,7–3,2	1,9
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/6	8/6	7/6	9/7	9/7	14/11	14/9	14/12
2,5 min	GDOP	2,7	2,9–4,9	4,8	2,4	3,1	2,4	3,6	5,2	2,8
	2D CQ (cm)	0,6–0,9	1,2–1,9	0,7	1,1	1,0–1,1	1,6	1,5	1,5	0,8
	sateliti (vid/spr)	8/7	9/6	8/6	7/6	9/7, 10/7	9/7	14/12	14/9	15/11
5 min	GDOP	2,7	5,0–2,9	4,7–4,8	2,4	3,2	2,3–4,8	3,6	4,4–4,9	3,0–3,1
	2D CQ (cm)	1,1	1,1	1,3–2,0	1,1	1,1	1,2–1,5	1,3	2,2–2,3	1,5–1,7
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/6	8/6	8/6	10/7	9/7, 9/6	14/12 16/12	14/10	15/13
10 min	GDOP	2,5–2,6	3,1–5,3	4,9–19,3	2,0–4,0	3,2–4,9	2,6–4,8	3,6	3,3–3,6	3,1–3,4
	2D CQ (cm)	0,9–1,5	1,3–1,6	1,4–2,2	1,2	1,1	1,2–3,4	1,3	1,1–1,2	0,6–1,7
	sateliti (vid/spr)	9/8	9/6, 9/7	9/6, 9/4	8/5, 8/6, 8/7	10/7, 9/7	9/7, 9/6	16/12	14/10, 13/10	15/13

Preglednica 5: Pregled zabeleženih parametrov v času RTK izmere na točki 2000

točka 2000		PP GPS			VRS GPS			PP GPS+GLN		
		1. ser.	2. ser.	3. ser.	1. ser.	2. ser.	3. ser.	1. ser.	2. ser.	3. ser.
5 s	GDOP	1,9	2,2	1,9	2,2	1,9	2,2	2,3	1,8	2,7
	2D CQ (cm)	0,8	1,0	1,7	0,8	1,1	0,9	0,9	1,3	0,6
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/9	9/9	7/7	8/8	9/9	14/12	11/10	16/14

**se nadaljuje ...**

**... nadaljevanje**

15 s	GDOP	1,9	2,2	1,9	2,2	1,9	2,2	2,3	1,8	2,7
	2D CQ (cm)	0,7	1,3	0,7	1,1	1,0	1,1	0,9	1,3	0,6
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/8	9/9	7/7	8/8	9/9	14/12	11/10	16/14
30 s	GDOP	1,9	2,2	1,9	2,2	1,9	2,2	3,2	1,8	2,7
	2D CQ (cm)	0,9	1,3	0,8	1,0	0,9	1,1	0,8	1,2	0,6
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/8	9/9	7/7	8/8	9/9	14/12	11/10	15/14
1 min	GDOP	1,9	2,1	1,9	2,2	1,9	2,2	2,4	1,8	2,7
	2D CQ (cm)	0,8	1,2	1,1	1,0	0,9	1,0	1,3	1,5	0,6
	sateliti (vid/spr)	8/8	8/7	9/9	7/7	8/8	9/9	14/12	11/10	15/14
2,5 min	GDOP	1,9	1,8–2,8	2,1	2,3	1,9	2,2	2,4	1,8	2,6–2,7
	2D CQ (cm)	0,9	1,0–1,3	0,8	0,7	1,0	0,9	1,1	0,9–1,1	0,6–0,7
	sateliti (vid/spr)	8/8	8/7, 9/9	9/9	7/7	8/8	9/9	14/12	13/10 13/11	15/14
5 min	GDOP	1,9	1,8–1,9	2,0–2,2	2,3–2,9	1,9	2,2	2,5	1,8	2,4–2,6
	2D CQ (cm)	1,5	1,2–1,3	0,7–0,8	0,9	0,9	0,6–0,8	0,6	0,8–1,0	0,7
	sateliti (vid/spr)	8/8	9/9, 9/8	9/9, 9/8	7/7, 6/6	8/8	9/9	14/12	12/11, 13/11	14/13
10 min	GDOP	1,8 – 2,2	1,9	2,2–2,1	2,9–3,0	1,8–1,9	2,0–2,2	2,1–2,2	1,7–1,8	2,1–2,4
	2D CQ (cm)	1,2 – 1,3	0,7–1,0	0,6–0,8	0,6–0,7	0,8–1,2	0,6–0,9	0,6–0,9	0,8–1,3	0,6–0,7
	sateliti (vid/spr)	8/8, 8/7	9/8, 8/8	9/9	6/6, 7/6	8/8	9/9	15/13	13/11, 14/12	14/13, 15/14

RTK izmero smo opravili s sprejemnikom GNSS Leica GPS1200, nameščenim na 2 m dolgo karbonsko togo grezilo. Tak sistem se, v primeru proizvajalca Leica, imenuje Leica SmartRover in je v praksi največkrat uporabljen sistem izvajanja meritev. V kontrolniku so bile že prednastavljene potrebne nastavitve. Seveda je sprejemnik težko prosto držati na enem mestu dalj časa. Zato smo si pri postavitvi karbonske palice na točko pomagali z dvonožnikom. Na ta način smo zmanjšali nekatere vplive, ki so posledica nestabilnosti in ne navpično postavljenega togega grezila.



Slika 7: Sprejemnik na togem grezilu z dvonožnikom (Leica SmartRover)

Opazovanja na točki 1000, okoli katere je precej ovir, niso potekale brez težav. Kar nekajkrat se je število GDOP dvignilo nad maksimalno predpisano vrednost, ki še omogoča kvaliteten rezultat, to je nad 5,0. Največje vrednosti GDOP so zabeležene v drugi seriji, ki se je izvajala med 14:00 in 16:00 uro. Takrat je bilo vidnih tudi najmanj satelitov. Nekajkrat je za kratek čas prekinilo tudi povezavo med permanentno postajo in roverjem. To se je pojavljalo predvsem pri daljših, 5 in 10 minutnih opazovanjih v 3. seriji opazovanj. V takšnih primerih smo meritev opravili znova. Tudi z inicializacijo v začetku opazovanj so bile včasih težave, predvsem pri navezavi neposredno na permanentno postajo v prvi in tretji seriji. V ostalih primerih pa je inicializacija potekala nemoteno, v nekaj sekundah.

Na točki 2000 pa teh težav ni bilo. Inicializacija je potekala brez težav, vedno je bilo vidnih dovolj satelitov. Da so bila opazovanja na tej točki opravljena v dobrih razmerah, pove že podatek, da GDOP ni nikoli presegel vrednosti 3,2.

Preglednica 6: Osnovni podatki o RTK izmeri na točkah 1000 in 2000

	1. serija		2. serija		3. serija	
	1000	2000	1000	2000	1000	2000
datum	18. 4. 2009	18. 4. 2009	18. 4. 2009	18. 4. 2009	18. 4. 2009	18. 4. 2009
začetek	8:30:07	10:34:30	14:27:50	16:12:08	19:03:39	20:37:02
konec	10:26:08	11:52:53	16:00:53	17:25:22	20:26:46	21:53:55
trajanje	1h56m01s	1h18m23s	1h33m03s	1h13m14s	1h23m07s	1h16m53s
GDOP (min/max)	2,0/4,4	1,7/3,2	2,9/8,3	1,7/2,2	2,3/19,3	1,9/2,7
ocena natančnosti položaja v cm (min/max)	0,6/2,2	0,6/1,5	0,5/3,2	0,7/1,5	0,8/3,4	0,6/1,7

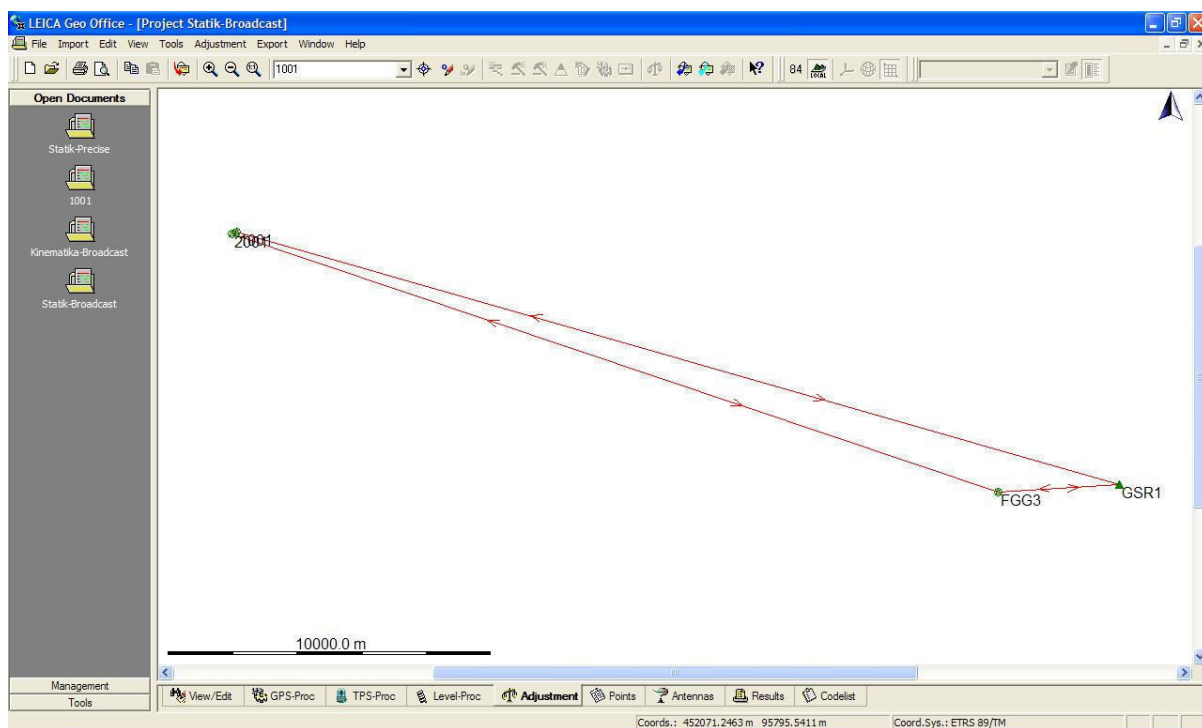
Zaradi obsežne količine so rezultati RTK izmere na točkah 1000 in 2000 podani v prilogi A. Za lažjo primerjavo so koordinate podane v ETRS89/TM koordinatnem sistemu. Višine so elipsoidne.

### 3.2 Naknadna obdelava statičnih opazovanj

Naknadno obdelavo statičnih opazovanj smo izvajali v programskem paketu Leica GeoOffice, in sicer v dneh 29. in 30. 4. 2009 ter 29. 5 2009. Ko osvojiš osnove dela s programom, postane zelo prijazen uporabniku in preprost za uporabo. Rezultati so podrobni in zelo pregledni. Med delom nismo naleteli na večje težave, nastale probleme pa smo vedno hitro rešili.

Naknadna obdelava je potekala na dva načina s tremi različnimi uporabljenimi efemeridami. Prvič smo izračunali koordinate novih točk brez izravnave. Koordinate točk v posamezni seriji smo določili na osnovi izmerjenega baznega vektorja med novo točko in permanentno postajo GSR1. Končni rezultat smo pridobili z izračunom aritmetične sredine koordinat točk med serijama. Pri drugem načinu pa smo določili bazne vektorje tako, da so tvorili zaključen poligon – četverokotnik. Vektorje smo tvorili za obe seriji opazovanj, pri tem pa smo jih v posameznih serijah orientirali v nasprotnih smereh. Oba opisana načina smo preračunali tako z oddanimi kot s hitrimi in preciznimi efemeridami. Pri obdelavi so bile točke 1000, 2000 in FGG3 kot nove, GSR1 pa kot dana točka.





Slika 8: Pogled v delovno okno Leica Geo Office, v katerem je prikazan obravnavan četverkotnik.

Preglednica 7: Dane koordinate točke GSR1

WGS84	$\varphi$	$\lambda$	h [m]
	46°02'53.27068	14°32'37.36199	351.7270
ETRS89/TM	E [m]	N [m]	h [m]
	464688.6043	101026.8272	351.7271

Končni rezultati obdelave opazovanj so podani v spodnjih tabelah. V preglednici 8 so nanizane rešitve izravnave po posameznih efemeridah. Položaj je namenoma podan v geografskih koordinatah sistema WGS-84, kajti vsi rezultati naknadne obdelave so v osnovi predstavljeni v tem sistemu. Zaradi lažje obravnave in analize rezultatov pa smo vse koordinate naknadno pretvorili v ravninski koordinatni sistem. Tako so v nadaljevanju vse koordinate točk podane v ETRS89/TM koordinatnem sistemu z elipsoidnimi višinami. Pri višinah ploskve geoida nismo upoštevali, ker je povsem enako ali primerjaš elipsoidne ali nadmorske višine. V preglednici 9 so podane ravninske koordinate novih točk po končani

obdelavi opazovanj. Podrobnejši pregled rezultatov izračuna in obdelave baznih vektorjev posamezno in v izravnavi je podan v prilogah B in C.

Preglednica 8: Rezultati izravnave statičnih opazovanj na točkah 1000, 2000, FGG3 in GSR1 v WGS-84 koordinatnem sistemu

oddane efemeride					
točka		približne koordinate	izravnane koordinate	popravki	sigma
1000	φ	46°06'59.67957"	46°06'59.67945"	-0.0036 m	0.0018 m
	λ	14°11'22.44846"	14°11'22.44841"	-0.0011 m	0.0015 m
	h	443.1043	443.1011 m	-0.0032 m	0.0040 m
2000	φ	46°06'57.71857"	46°06'57.71845"	-0.0038 m	0.0018 m
	λ	14°11'15.76352"	14°11'15.76347"	-0.0011 m	0.0015 m
	h	499.1399	499.1352 m	-0.0048 m	0.0039 m
FGG3	φ	46°02'44.90757"	46°02'44.90747"	-0.0032 m	0.0013 m
	λ	14°29'43.40998"	14°29'43.40971"	-0.0058 m	0.0010 m
	h	367.5773	367.5700 m	-0.0073 m	0.0027 m
GSR1	φ	46°02'53.27068"	46°02'53.27068"	0.0000 m	-
	λ	14°32'37.36199"	14°32'37.36199"	0.0000 m	-
	h	351.7270	351.7270 m	0.0000 m	-
hitre efemeride					
točka		približne koordinate	izravnane koordinate	popravki	sigma
1000	φ	46°06'59.67952"	46°06'59.67943"	-0.0029 m	0.0018 m
	λ	14°11'22.44842"	14°11'22.44841"	-0.0002 m	0.0015 m
	h	443.1054	443.1026 m	-0.0028 m	0.0041 m
2000	φ	46°06'57.71852"	46°06'57.71843"	-0.0030 m	0.0018 m
	λ	14°11'15.76348"	14°11'15.76347"	-0.0002 m	0.0015 m
	h	499.1410	499.1365 m	-0.0045 m	0.0040 m
FGG3	φ	46°02'44.90754"	46°02'44.90746"	-0.0024 m	0.0013 m
	λ	14°29'43.40998"	14°29'43.40971"	-0.0057 m	0.0010 m
	h	367.5771	367.5701 m	-0.0070 m	0.0027 m
GSR1	φ	46°02'53.27068"	46°02'53.27068"	0.0000 m	-
	λ	14°32'37.36199"	14°32'37.36199"	0.0000 m	-
	h	351.7270	351.7270 m	0.0000 m	-

se nadaljuje ...

## ... nadaljevanje

Precizne efemeride					
Točka		Približne koordinate	Izravnane koordinate	Popravki	Sigma
1000	φ	46°06'59.67952"	46°06'59.67943"	-0.0029 m	0.0018 m
	λ	14°11'22.44842"	14°11'22.44841"	-0.0002 m	0.0015 m
	h	443.1054	443.1026 m	-0.0028 m	0.0041 m
2000	φ	46°06'57.71852"	46°06'57.71843"	-0.0030 m	0.0018 m
	λ	14°11'15.76348"	14°11'15.76347"	-0.0002 m	0.0015 m
	h	499.1410	499.1365 m	-0.0045 m	0.0040 m
FGG3	φ	46°02'44.90754"	46°02'44.90746"	-0.0024 m	0.0013 m
	λ	14°29'43.40998"	14°29'43.40971"	-0.0057 m	0.0010 m
	h	367.5771	367.5701 m	-0.0070 m	0.0027 m
GSR1	φ	46°02'53.27068"	46°02'53.27068"	0.0000 m	–
	λ	14°32'37.36199"	14°32'37.36199"	0.0000 m	–
	h	351.7270	351.7270 m	0.0000 m	–

Preglednica 9: Rezultati naknadne obdelave statičnih opazovanj na točkah 1000, 2000 in FGG3 in GSR1 v ravninskem koordinatnem sistemu ETRS89/TM.

točka	metoda izračuna	efemeride	N	E	h
1000	izravnava	oddane	108852,2251	437359,658	443,1012
		hitre	108852,2245	437359,6580	443,1026
		precizne	108852,2245	437359,6580	443,1026
	aritmetična sredina	oddane	108852,2275	437359,6591	443,1028
		hitre	108852,2266	437359,6589	443,1039
		precizne	108852,2266	437359,6589	443,1039
2000	izravnava	oddane	108793,1485	437215,5129	499,1352
		hitre	108793,1479	437215,5129	499,1366
		precizne	108793,1479	437215,5129	499,1366
	aritmetična sredina	oddane	108793,1515	437215,5130	499,1422
		hitre	108793,1506	437215,5127	499,1433
		precizne	108793,1506	437215,5127	499,1433

se nadaljuje ...

**... nadaljevanje**

FGG3	izravnava	oddane	100791,2088	460947,5601	367,5700
		hitre	100791,2087	460947,5600	367,5701
		precizne	100791,2087	460947,5600	367,5701
	aritmetična sredina	oddane	100791,2078	460947,5601	367,5696
		hitre	100791,2077	460947,5602	367,5697
		precizne	100791,2077	460947,5602	367,5697

**3.3 Primerjava rezultatov statične in RTK metode izmere**

Poleg same izmere smo opravili tudi primerjavo rezultatov meritev. Pomembno je, da so opazovanja dobro in pravilno opravljena. Primerjali smo kar 6 različnih rezultatov statične izmere in 63 različnih rezultatov RTK izmere na posamezni točki. To je vsekakor dovolj za kvalitetno in obsežno analizo.

Pri statični izmeri na točkah 1000, 2000 in FGG3 smo dobili 6 različni rezultatov, in sicer:

1. Po izravnavi baznih vektorjev z
  - oddanimi efemeridami (angl. broadcast)
  - hitrimi efemeridami (angl. rapid)
  - preciznimi efemeridami (angl. precise).
  
2. Po izračunu baznih vektorjev posamično brez izravnave z
  - oddanimi efemeridami (angl. broadcast)
  - hitrimi efemeridami (angl. rapid)
  - preciznimi efemeridami (angl. precise)

Te rezultate je smiselno primerjati med seboj, saj ugotovimo, kako na končni rezultat vpliva izbira efemerid in način izračuna koordinat. Sama primerjava je natančneje opisana v poglavju 4.1.1.

RTK izmera je bila zastavljena zelo obsežno, saj je na posamezni točki določenih kar 63 različnih položajev. Iz tega je potrebno izluščiti najbolj smiselne ugotovitve, kajti primerjava med vsemi rezultati bi bila zelo nepregledna in brez rdeče niti. Sploh pa je treba vedeti, kaj želimo s primerjavo dokazovati. Tako smo se odločili, da bomo rezultate RTK izmere primerjali na dveh področjih, in sicer:

- primerjava rezultatov med posameznimi serijami; v vsaki seriji je s tremi načini navezave na omrežje SIGNAL opravljenih 7 različno dolgih opazovanj (skupaj 3 serije po 21 opazovanj)
- primerjava rezultatov, dobljenih z različno navezavo na omrežje SIGNAL v posamezni seriji.

Opazovanja v posamezni seriji so trajala različno dolgo, od 5 s do 10 min. Ali je dolžina trajanja opazovanj pri RTK odločilna za kvaliteten rezultat, je tudi eno od vprašanj, na katerega želimo odgovoriti. Na to vprašanje je odgovor zelo preprosto dobiti. Če RTK izmero izvajamo na točkah s kvalitetno določenim položajem in primerjamo dobljene rezultate z »znanimi« koordinatami, je odgovor kot na dlani. Zato smo v poglavju 4.1.4 opravili primerjavo rezultatov statične in RTK izmere. Za »znan« položaj je prevzet rezultat statične izmere dobljen z izravnavo ob uporabi preciznih efemerid. Razlike so sestavljene po enačbi:

$$\Delta x_{(i)} = x_{dan} - x_{RTK(i)}, \quad (17)$$

kjer je

- $\Delta x_{(i)}$  – razlika v položaju za  $i$ -to opazovanje ( $\Delta E_{(i)}$ ,  $\Delta N_{(i)}$ ,  $\Delta h_{(i)}$ )
- $x_{dan}$  – »dan« položaj, določen s statično izmero
- $x_{RTK(i)}$  –  $i$ -ti položaj določen z RTK izmero ( $E_{RTK(i)}$ ,  $N_{RTK(i)}$ ,  $h_{RTK(i)}$ ).

V primerjavah, ki sledijo v nadaljevanju diplomske naloge, so koordinatne komponente ( $E$ ,  $N$ ,  $h$ ) obravnavane ločeno. Ponekod sta za potrebe analize izračunana aritmetična sredina odstopanj od dane vrednosti in standardni odkloni koordinat. Seveda za vsako koordinatno

komponento posebej in smiselno glede na obravnavano primerjavo. Aritmetično sredino smo izračunali z enačbo:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (18)$$

standardni odklon pa z:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}, \quad (19)$$

kjer  $x$  predstavlja posamezno koordinatno komponento ( $E$ ,  $N$ ,  $h$ ). Izraz (19) ja enačba standardnega odklona, ki temelji na vzorcu. Standardni odklon je mera razpršenosti od srednje vrednosti (aritmetična sredina). Te vrednosti predstavljajo razpršenost rezultatov izmere pri posamezni primerjavi.

### 3.4 Metoda Precise Point Positioning

Drugi del raziskave bomo namenili obravnavi metode Precise Point Positioning. Glavni namen tega dela raziskave bo primerjava rezultatov PPP z rezultati statične in RTK metode izmere. Vseeno pa samo ta analiza za nas ne bo dovolj. Pred tem bomo namreč obravnavali metodo PPP kot samostojno metodo in ugotavljali kvaliteto rezultatov, ki jih ta metoda nudi. Raziskavo bomo tako opravili v več fazah:

1. obdelava in analiza opazovanj s permanentne postaje GSR1 ob spreminjanju dolžine trajanja opazovanj in intervala registracije
2. obdelava in analiza opazovanj s permanentne postaje GSR1 ob uporabi različnih efemerid in ob različni razporeditvi satelitov

3. obdelava in analiza opazovanj s permanentne postaje GSR1 ob uporabi različnih spletnih aplikacij PPP
4. obdelava in analiza opazovanj na točkah 1000, 2000 in FGG3
5. primerjava rezultatov metode PPP z rezultati statične in RTK metode.

### 3.4.1 Pridobitev opazovanj s permanentne postaje GSR1

Opazovanja s permanentne postaje (PP) GSR1 smo pridobili s spletnega strežnika Službe za GPS. Registrirani uporabniki lahko na njihovi spletni strani izberejo datum opazovanj, začetek opazovanj, čas trajanja opazovanj, interval registracije (1 s, 2 s, 5 s, 10 s, 15 s, 20 s, 30 s in 60 s) in možnost prenosa oddanih efemerid. Po oddanem naročilu se na strežniku generira datoteka opazovanj v formatu RINEX, ki jo nato prenesemo na svoj računalnik.

V raziskavo smo vključili opazovanja, opravljena v treh različnih dneh. Opazovanja z dne, 12. 3. 2009 smo uporabili za splošno analizo metode PPP. Ugotavljali smo obnašanje koordinat točk, določenih z metodo PPP ob uporabi različnega intervala registracije in dolžine trajanja opazovanj. Za analizo metode PPP ob uporabi različnih efemerid, ob različni razporeditvi satelitov in uporabi različnih spletnih ponudnikov PPP smo uporabili opazovanja z dne, 25. 7. 2009. Zaradi dejstva, da so rezultati PPP podani v ITRF2005 koordinatnem sistemu, smo morali pri primerjavi metode PPP s statično in RTK metodo uporabiti opazovanja na GSR1 tistega dne, v katerem so bila opravljena opazovanja na točkah 1000 in 2000. Ta primerjava je sploh nekaj posebnega in jo bomo podrobneje obravnavali v nadaljevanju.

Opazovanja istega dne so s spletnega strežnika večkrat pridobljena, saj so ali različno dolga ali pa so bila opravljena z drugačnim intervalom registracije. V raziskavo smo vključili opazovanja v trajanju 1 min, 5 min, 10 min, 20 min, 30 min, 1 ura, 2 uri, 3 ure, 6 ur, 12 ur in 24 ur. Pri večini opazovanj je bil interval registracije 5 s, razen v primeru, ko smo ugotavljali vpliv spreminjanja intervala registracije na rezultat. Takrat smo uporabili podatke z intervali 1 s, 5 s, 10 s, 15 s in 30 s. Hkrati smo upoštevali tudi vseh 11 različnih dolžin trajanja opazovanj. Pri primerjavi klasičnih metod GNSS izmere in PPP nismo potrebovali tako obsežnega števila podatkov. Predvidevali smo, da bo za analizo in preračun koordinat dovolj,

če uporabimo 14-urna opazovanja s 5-sekundnim intervalom registracije. Tako smo obdelali skupaj več kot 70 različnih datotek RINEX z opazovanji s permanentne postaje GSR1.

Preglednica 10: Pregled pridobljenih opazovanj s permanentne postaje GSR1

	trajanje opazovanj	čas opazovanj		interval registracije				
		začetek	konec	1 s	5 s	10 s	15 s	30 s
<u>datum: 12. 3. 2009</u>  obdelava in analiza opazovanj ob različnem trajanju opazovanj in intervalu registracije	1 min	12:00	12:01	x	x	x	x	x
	5 min	12:00	12:05	x	x	x	x	x
	10 min	12:00	12:10	x	x	x	x	x
	20 min	12:00	12:20	x	x	x	x	x
	30 min	12:00	12:30	x	x	x	x	x
	1 ura	12:00	13:00	x	x	x	x	x
	2 uri	12:00	14:00	x	x	x	x	x
	3 ure	12:00	15:00	x	x	x	x	x
	6 ur	12:00	18:00	x	x	x	x	x
	12 ur	12:00	24:00	x	x	x	x	x
	24 ur	00:00	24:00	x	x	x	x	x
<u>datum: 25. 7. 2009</u>  obdelava in analiza opazovanj ob uporabi različnih efemerid in ponudnikov spletnih storitev PPP	1 min	12:00	12:01		x			
	5 min	12:00	12:05		x			
	10 min	12:00	12:10		x			
	20 min	12:00	12:20		x			
	30 min	12:00	12:30		x			
	60 min	12:00	13:00		x			
	1 ura	12:00	14:00		x			
	2 uri	12:00	14:00		x			
	3 ure	12:00	15:00		x			
	6 ur	12:00	18:00		x			
	12 ur	12:00	24:00		x			
24 ur	00:00	24:00		x				
<u>datum: 25. 7. 2009</u>  obdelava in analiza opazovanj ob upoštevanju različne razporeditve satelitov	3 ure	00:00	3:00		x			
	3 ure	3:00	6:00		x			
	3 ure	6:00	9:00		x			
	3 ure	9:00	12:00		x			

se nadaljuje ...



**nadaljevanje ...**

	3 ure	12:00	15:00		x			
	3 ure	15:00	18:00		x			
	3 ure	18:00	21:00		x			
	3 ure	21:00	24:00		x			
<u>datum: 19. 4. 2009</u>								
primerjava opazovanj s statično in metodo RTK	14 ur	6:00	20:00		x			

**3.4.2 Obdelava opazovanj s permanentne postaje GSR1**

V tem poglavju bomo opisali vrsto podatkov in načine obdelave podatkov, pridobljenih s permanentne postaje GSR1. Rezultati obdelave bodo prikazani v preglednicah na koncu vsakega podpoglavja. V nekaterih primerih bomo poleg podanih koordinat dodali tudi grafičen prikaz odstopanj od »danih« vrednosti koordinat točke GSR1. »Dane« koordinate GSR1 so objavljene na spletni strani Službe za GPS. V našem primeru so pretvorjene v ITRF05 koordinatni sistem, pri čemer smo morali upoštevati različne datume opazovanj. Pri preračunu smo uporabili metodo in transformacijske parametre, ki jih predlagata Claude Boucher in Zuheir Altamimi (2008). Tako smo dobili tri različne vrednosti koordinat, ki so podane v preglednici 11. Ime koordinatni sistem ITRF05, ki se bo v nadaljevanju naloge pogosto pojavljal, v bistvu označuje ITRS koordinatni sistem z realizacijo ITRF2005.

Preglednica 11: Ravninske koordinate točke GSR1, preračunane na datum opazovanj v sistemu ITRF05

datum opazovanj	epoha	E [m]	N [m]	h [m]
12. 3. 2009	2009.1932	464689.0016	101027.2158	351.6807
19. 4. 2009	2009.2959	464689.0038	101027.2172	351.6806
25. 7. 2009	2009.5616	464689.0087	101027.2215	351.6805

Zaradi lažje primerjave so koordinate ITRF05 preračunane na ravnino. Pri preračunu na ravnino smo uporabili transverzalno Mercatorjevo (TM) kartografsko projekcijo. Višine so elipsoidne. Pretvorbe smo opravili kar v programskem paketu Leica Geo Office.

### 3.4.2.1 Spreminjanje dolžine trajanja opazovanj in intervala registracije

Pri raziskovanju in spoznavanju metode PPP lahko v literaturi velikokrat zasledimo tezo, da je rezultat PPP močno odvisen od dolžine trajanja opazovanj, in da pri zelo kratkih meritvah sploh ne dobimo korektnega rezultata. Zanimalo nas je, ali to zares velja. Zato smo uporabili različno dolga opazovanja od najkrajših (1 min) do celodnevnih (24 ur). Seznam uporabljenih opazovanj je prikazan v preglednici 10.

Potem nas je zanimalo, ali gostota registracije opazovanj pri metodi PPP kaj vpliva na končni rezultat. Pri pripravi datotek RINEX smo zato upoštevali različne intervale registracije opazovanj. Podrobnejši pregled podatkov je prikazan v preglednici 10. Tako smo za 5 tipov opazovanj, 11 različnih dolžin trajanja opazovanj in dva načina izračuna (statičen in kinematičen) skupno obdelali 110 podatkovnih datotek.

Posamezno datoteko opazovanj smo obdelali s spletno aplikacijo CSRS-PPP (angl. Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning). Ta spletna aplikacija omogoča obdelavo opazovanj na statičen in kinematičen način. Omogoča tudi ročno nastavitvev poteka obdelave. V primeru, da statična opazovanja obdelujemo na kinematičen način, aplikacija vsako registrirano opazovanje (interval) obravnava samostojno, kot bi obravnavali kinematična opazovanja. Tudi pri statičnem načinu program PPP izračuna položaj za vsako epoho posebej, pri čemer je z vsakim naslednjim izračunom rezultat bliže »pravi« vrednosti. To pomeni, da položaj konvergira k pravi vrednosti toliko bolj pri daljših opazovanjih. Tudi pri kinematični rešitvi položaj konvergira k eni točki, vendar precej bolj neenakomerno. Lahko bi tudi rekli, da je pri statičnem načinu konvergenca zvezna, pri kinematičnem pa ne.

Končni rezultati obdelave opazovanj ob uporabi različnega intervala registracije in ob različnih dolžinah opazovanj so predstavljeni v prilogi D. Koordinate so podane v ITRF05

koordinatnem sistemu, preračunane na ravnino s TM kartografsko projekcijo. Podrobnejša analiza in medsebojne primerjave pa bodo podane v nadaljevanju te diplomske naloge.

### **3.4.2.2 Uporaba različnih efemerid in spletnih aplikacij PPP**

Tretji vpliv, ki smo ga pri metodi PPP obravnavali, je vpliv upoštevanja različnih efemerid satelitov. Kot vemo, obstajajo prenesene (angl. broadcast), ultra hitre, hitre in precizne efemeride. S prenesenimi efemeridami si pri PPP ne moremo kaj prida pomagati. Ultra hitre efemeride je že možno uporabiti, najbolj zaželene pa so končne precizne efemeride. Praktično nobena spletna aplikacija ne omogoča izbire efemerid s strani uporabnika, pač pa sama izbere najboljše možne, ki so v trenutku obdelave dostopne. Nekatere aplikacije (npr. GAPS in APPS) sploh ne dajo rezultata, če niso poznane končne precizne efemeride. Slabost teh je, da opazovanja lahko obdelajo in določijo položaj šele 10 do 20 dni po opravljenih meritvah. Seveda pa so to najnatančnejše efemeride, ki naj bi zagotavljale tudi najbolj natančno določitev položaja.

Zanimalo nas je, ali lahko še isti dan oziroma najkasneje naslednji dan z metodo PPP dobimo rezultat zadovoljive natančnosti. Ker sami ne moremo vplivati na izbor, je nujno potrebno podatke obdelati v pravih časovnih presledkih. Če želimo rezultate, ki slonijo na ultra hitrih efemeridah, moramo podatke obdelati že v nekaj urah po opravljenih opazovanjih. V primeru hitrih efemerid moramo počakati en dan, vendar pa imamo nato okrog 14 dni časa, da obdelamo podatke s tem tipom efemerid. Po 14 dneh so na voljo že končne efemeride. S temi efemeridami lahko obdelamo opazovanja kadar koli pozneje.

Naslednja stvar, ki smo jo ugotavljali, je homogenost koordinat, pridobljenih od različnih spletnih aplikacij PPP. Obravnavali smo ponudnike storitev PPP, ki so zbrani na spletnem naslovu <http://gge.unb.ca/Resources/PPP/index.htm>, to so CSRS-PPP, GASP, APPS in MagicGNSS. Aplikacijam PPP smo posredovali opazovanja istočasno, in sicer na sledeč način:

- ustvarimo elektronsko sporočilo z naslovom »Static« za statična opazovanja ali »Kinematic« za kinematična opazovanja
- sporočilu pripnemo datoteko z opazovanji v formatu RINEX, ki mora biti stisnjena z UNIX kompresijskim programom GZIP (končnica datoteke .Z ali .gz)
- sporočilo pošljemo na elektronski naslov ppp@unb.ca.

Dobra stran takega pristopa je, da je potrebno samo enkrat posredovati podatke. Tako vsaka aplikacija dobi res iste podatke in se pri vseh opazovanjih upoštevajo enake nastavitve. Tukaj je mišljena izključno nastavitvev, ali gre za obravnavo statičnih ali kinematičnih meritev. Slabost takega načina sporazumevanja pa je v tem, da uporabnik nima možnosti vpogleda na morebitne druge nastavitve. Seveda obstaja možnost, da spletnim aplikacijam PPP prek njihovih URL strani vsaki posebej posredujemo podatke. Tedaj imamo vpogled na vse možne nastavitve, ki jih posamezna aplikacija PPP ponuja.

Odgovor z rezultati dobimo kmalu po oddanem elektronskem sporočilu z datoteko opazovanj. Datoteko z rezultati prenesemo s FTP naslova, ki je zapisan v sprejetem elektronskem sporočilu. Prenesena datoteka je v formatu .zip. Čas, ki ga spletne aplikacije potrebujejo za obdelavo opazovanj, je odvisen od količine podatkov, torej od dolžine opazovanj in od zasedenosti spletnih strežnikov. Pri krajših opazovanjih dobimo odgovor že po nekaj sekundah, pri zelo dolgih opazovanjih (12 ali 24 ur) pa lahko šele po nekaj urah.

V obdelavo so bila vključena opazovanja z dne 25. 7. 2009 in vsi možni tipi efemerid. Opazovanja smo tudi tokrat obdelali dvakrat, prvič na statičen, drugič pa na kinematičen način. Med obdelavo smo nenehno opazovali, kako se pri posamezni aplikaciji PPP glede na različne tipe efemerid in dolžino trajanja opazovanj obnašajo rezultati. Ugotovili smo lahko, da GASP in APPS pri ultra hitrih efemeridah ne vrnete rezultata. Aplikaciji CSRS-PPP in MagicGNSS pa sta določili položaj z uporabo vseh treh tipov efemerid. CSRS-PPP v svojem kratkem poročilu zelo nazorno prikaže tip uporabljenih efemerid. Zapisane so v spodnjem desnem kotu dokumenta na vsaki strani. Omenjena aplikacija uporablja NRCan Hourly efemeride kot ultra hitre, IGS Rapid kot hitre in IGS Final kot precizne efemeride. Ultra hitre efemeride pripravlja inštitucija NRCan (angl. Natural Resources CANada) kar sama. Ostala

dva tipa efemerid pa aplikacija prevzame od službe IGS. Pri MagicGNSS podatkov o uporabljenih efemeridah ni zaslediti v nobeni datoteki. APPS vedno uporabi končne produkte JPL (angl. JPL Final Products). Aplikacija GASP je enkrat upoštevala hitre, drugič pa končne precizne efemeride.

Pri rezultatih obdelave opazovanj z aplikacijo GASP lahko opazimo nekaj posebnega. V poročilu obdelave opazovanj je bil, ne glede na izbor načina izračuna, vedno naveden kinematičen način. Tudi rezultati so povsem identični, tako da je zagotovo aplikacija obdelala podatke obakrat na isti način. To se je zgodilo pri vseh opazovanjih, ne glede na uporabljene efemeride. Nato smo za testiranje opazovanja aplikaciji GASP posredovali neposredno prek njene spletne strani in dobili smo pravilen rezultat. Zakaj se je pri hkratnem pristopu aplikacija GASP tako obnašala, nismo dobili odgovora.

Na tem mestu bomo omenili še nekatere druge posebnosti. Magic GNSS, APPS in GASP pri zelo kratkih opazovanjih ne vrnejo rezultata. Pri MagicGNSS in GASP nismo dobili rezultata za opazovanja dolžine 1 min in 5 min, pri aplikaciji APPS pa še za 10-minutna (statičen in kinematičen način) in 20-minutna opazovanja (kinematičen način). Razlog za ignoranco krajših opazovanj se skriva v algoritmu za izračun položaja, ki je integriran v spletno aplikacijo. Algoritmi za izračun položaja po metodi PPP so običajno zasnovani tako, da se za izračun položaja uporabi samo toliko opazovanj, kot jih je za kvalitetno rešitev najmanj potrebno. Predhodne analize metode PPP so pokazale, da je za kvalitetno rešitev najugodnejše, če uporabimo 5-minutno vzorčenje opazovanj. To pomeni, da se pri izračunu položaja upoštevajo samo opazovanja s 5-minutnim intervalom, ne glede na to s kakšnim intervalom registracije so v resnici zajeta opazovanja. Edino CSRS-PPP se ne poslužuje tega principa, medtem ko aplikacije APPS, GASP in MagicGNSS upoštevajo opazovanja samo na vsakih 5 minut. Končni rezultati celotne obdelave vseh možnih kombinacij opazovanj so podani v prilogi D.

### 3.4.2.3 Različna razporeditev satelitov

Za obravnavo je lahko zanimivo tudi naslednje vprašanje: Kako na končni rezultat vpliva število satelitov in njihova razporeditev na nebu? V splošnem velja, da za doseg dobrega rezultata GNSS izmere, naj bo to statična, RTK izmera ali pa PPP, potrebujemo zadostno število vidnih satelitov, ki morajo biti na nebu čim bolj enakomerno razvrščeni. To je toliko bolj pomembno pri zelo kratkih opazovanjih, ki jih izvajamo z metodo RTK. Pri daljših opazovanjih, na primer nekajurnih, ta problem ni več tako očiten. Kljub temu so signali s satelitov blizu horizonta močno obremenjeni s troposfersko refrakcijo, sateliti blizu skupaj pa ne dajejo dobrih geometrijskih pogojev za kvalitetno določitev položaja.

Pri metodi PPP za dober rezultat potrebujemo nekajurna opazovanja. Ker se je med raziskavo izkazalo, da so opazovanja dolžine 3 ure že zadovoljiva, smo pri analizi vpliva razporeditve satelitov na rezultat PPP uporabili 8 triurnih nizov opazovanj, ki so časovno razporejeni tako, da pokrijejo en cel dan (24 ur). Ko se prvi niz konča, se začne drugi, nato tretji in tako naprej.

Pri obdelavi opazovanj smo uporabili precizne efemeride. Podatke smo obdelali z vsemi štirimi aplikacijami PPP na statičen in kinematičen način, tako da je vpliv razporeditve satelitov možno ugotavljati pri vseh možnih variantah določitve položaja. Interval registracije opazovanj je bil 5 s. Rezultati so podani v prilogi D.

### 3.4.3 Obdelava opazovanj s točk 1000 in 2000

Do zdaj smo z metodo PPP obdelovali zgolj opazovanja s permanentne postaje GSR1. Zanje lahko rečemo, da so od vseh najkvalitetnejša. Predpostavimo lahko, da smo dobili rezultate, ki so minimalno obremenjeni s sistematičnimi pogreški opazovanj GNSS.

Pri vsakodnevni praksi na terenu se srečujemo s takšnimi ali drugačnimi težavami. Običajno nimamo »idealnih« razmer za opravljanje GNSS meritev. Zato smo v obdelavo opazovanj z metodo PPP vključili tudi terenske meritve na točkah 1000 in 2000. Ta opazovanja so precej bolj obremenjena s pogreški. Že sama konfiguracija terena v oklici točk ni idealna. Možnosti

za multipath je bilo veliko (bližina objektov). V dolini na točki 1000 je bilo občasno vidnih kritično malo satelitov.

Obravnavali smo samo statična opazovanja na točkah 1000 in 2000. S programom Lecia Geo Office smo surove datoteke opazovanj pretvorili v standardni format RINEX. Pri obeh točkah smo iz prve serije opazovanj izluščili še 4 dodatne dolžine opazovanj: 30 min, 1 ura, 2 uri in 3 ure. Začetek opazovanj je pri vseh enak. V obdelavo s PPP sta vključeni tudi obe celotni seriji opazovanj. Interval registracije je 5 s, opazovanja pa so potekala dne 19. 4. 2009.

Podatke smo spletnim aplikacijam PPP posredovali prek spletnega centra PPP. Opazovanja smo obdelali dvakrat, prvič na statičen, drugič pa na kinematičen način. Kljub po vsej verjetnosti kvalitetnim in dovolj dolgim opazovanjem končnega rezultata niso vrnile vse aplikacije. Pri točki 1000 sta vrnili rezultat le aplikaciji CSRS-PPP in GASP, in sicer v obeh načinih. Pri točki 2000 pa je rezultat vrnila še aplikacija APPS. Pri APPS je v poročilu o procesiranju kot razlog za zavrnitev navedena nezmožnost branja vhodne datoteke, pri Magic GNSS pa nezmožnost procesiranja posredovanih opazovanj. Rezultati obdelave so tabelarično predstavljeni v prilogi E.

### **3.5 Primerjava rezultatov statične izmere in izmere RTK z rezultati metode PPP**

#### **3.5.1 Transformacija med ITRF05 in ETRS89**

Glavni razlog za transformacijo koordinat iz ITRF05 v ETRS89 je ta, da ITRF05 koordinate v splošni geodetski praksi niso uporabne. Prvič zato, ker se s časom spreminjajo, drugič pa zato, ker se vsi prostorski podatki neke države nanašajo na ravninski koordinatni sistem. Razlog za transformacijo je tudi v primerjavi koordinat, ki so določene z različnimi metodami GNSS izmere.

Postopek transformacije je potekal v več korakih:

1. Izbrali smo 4 najbližje permanentne postaje, in sicer tako, da območje terenskih meritev leži znotraj četverokotnika, ki ga tvorijo. To so permanentne postaje Ljubljana (GSR1), Radovljica (RADO), Nova Gorica (NOVG) in Ilirska Bistrica (ILIR).
2. Za omenjene postaje smo s spletnega portala SIGNAL prenesli opazovanja z datumom 19. 4. 2009 in začetkom meritev ob 6:00. Interval registracije je bil nastavljen na 5 s, dolžina opazovanj pa na 14 ur.
3. ETRS89 koordinate permanentnih postaj so znane in smo jih prevzeli s spleta.
4. ITRF05 koordinate postaj smo določili prek spletnega centra PPP. Rešitev aplikacije CSRS-PPP smo izbrali kot najboljšo.
5. Transformacijske parametre smo izračunali s spletnim programom SiTraNet.
6. Transformacijo in pretvorbo koordinat točk 1000 in 2000 v ravninski koordinatni sistem ETRS89/TM smo prav tako izvedli s programom SiTraNet.

Preglednica 12: Koordinate permanentnih postaj GSR1, RADO, NOVG in ILIR v ITRF05 in ETRS89 koordinatnem sistemu.

	ITRF05/TM			ETRS05/TM		
	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
GSR1	464688,9960	101027,2150	351,6848	464688,6040	101026,8270	351,7270
RADO	436230,8080	134119,2770	554,3365	436230,4180	134118,8980	554,3680
NOVG	393277,7100	84976,4040	110,1262	393277,3160	84976,0190	110,1790
ILIR	441323,8960	47746,4090	494,6231	441323,5040	47746,0270	494,6620

Rezultati transformacije so zelo kvalitetni, saj srednji standardni odklon iz odstopanj znaša le 6 mm. To pomeni, da so opazovanja na permanentnih postajah homogena, transformacijski parametri pa primerni za nadaljnjo uporabo. Prikazani so v preglednici 13.

Preglednica 13: Transformacijski parametri med ITRF05 in ETRS89



$\delta x$	0,511295 m
$\delta y$	-0,982848 m
$\delta z$	-0,523726 m
$\alpha$	0,016449"
$\beta$	0,009522"
$\gamma$	0,013265"
merilo	0,037639 ppm

### 3.5.2 Primerjava rezultatov

Pri primerjavi klasičnih metod GNSS izmere (statične in RTK metode) in metode PPP nas je zanimalo predvsem dvoje: katera opazovanja se pri metodi PPP lahko uporabijo za določitev položaja s centimetrsko natančnostjo in kdaj se PPP v smislu natančnosti približa klasičnim metodam. Poleg tega smo primerjali tudi rezultate različnih spletnih aplikacij, saj se že v osnovi njihovi rezultati medsebojno nekoliko razlikujejo. Ugotavljali smo čigavi rezultati se najbolj približajo klasičnim rešitvam.

Kot »dane« koordinate točk 1000 in 2000 smo prevzeli vrednosti, pridobljene z izravnavo v sklopu naknadne obdelave na terenu opravljenih meritev (preglednica 9). Koordinate točk so podane v ETRS89/TM koordinatnem sistemu. Podrobnosti same primerjave pa so obravnavane v poglavju 4.5.

## 4 ANALIZA REZULTATOV

V okviru raziskave smo pridobili ogromno podatkov, bodisi z meritvami na terenu ali pa v pisarni s preračunavanjem. Te podatke smo morali urediti in iz njih izluščiti določene ugotovitve. Analizo in primerjavo podatkov bomo opravili v treh sklopih. V prvem bomo predstavili rezultate opravljenih meritev. Najprej bomo rezultate statične in RTK metode obravnavali ločeno, nato pa jih bomo primerjali še med seboj. V drugem sklopu bomo podrobneje analizirali rezultate, pridobljene z metodo Precise Point Positioning. Tukaj bomo ugotavljali podobnosti in razlike izračunanega položaja z uporabo različnih tipov efemerid, različne dolžine opazovanj, različnega intervala zajema, različne razporeditve satelitov in različnih ponudnikov storitev. V tretjem sklopu pa se bomo lotili primerjave ter iskanja skupnih točk in razhajanj med tradicionalnima statično in RTK metodo in novejšo metodo PPP.

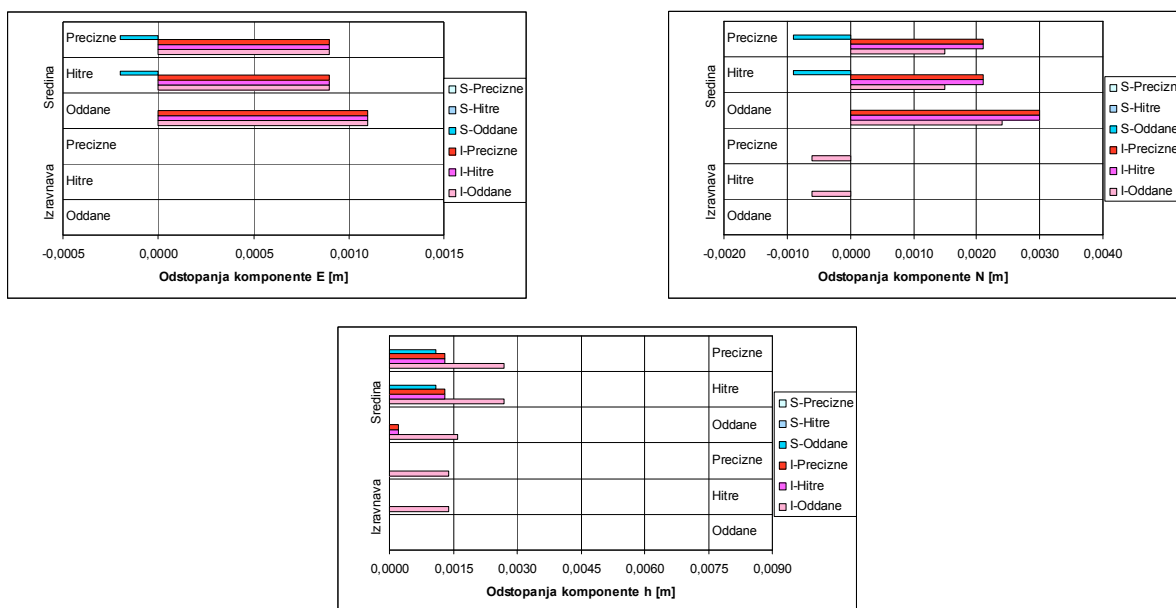
### 4.1 Analiza rezultatov izmere na točkah 1000 in 2000

V splošnem lahko rečemo, da so rezultati terenskih meritev zelo dobri. Statična izmera je potekala skoraj 12 ur, sicer v dveh serijah, kar pa, kot bo vidno v nadaljevanju, ni vplivalo na končni rezultat. Z metodo RTK je bil položaj posamezne točke določen kar 63-krat in to vsakič na drug način oziroma ob drugačnih pogojih. Med samo izmero RTK ni bilo opaženih velikih anomalij, razen v nekaj primerih, ko so se pogoji za izmero RTK drastično poslabšali. Podrobnejša analiza sledi v nadaljevanju.

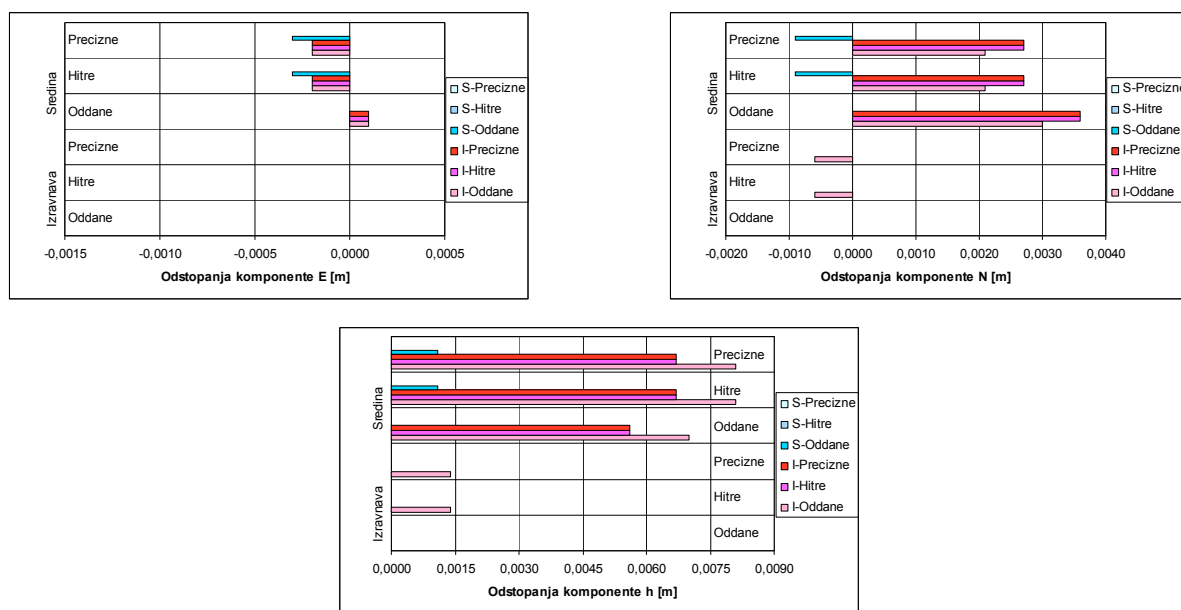
#### 4.1.1 Statična metoda izmere in naknadna obdelava opazovanj

Posebni priprav na statično izmero ni bilo. Konfiguracija terena v okolici posamezne točke je imela določen vpliv na opazovanja. Uporabljeni sprejemniki so kakovostni, namenjeni najzahtevnejšim uporabnikom, ki zahtevajo najnatančnejše meritve. Obdelava opazovanj je potekala nemoteno, kar pomeni, da je opravljena statična izmera dobra in primerna za kasnejše analize.

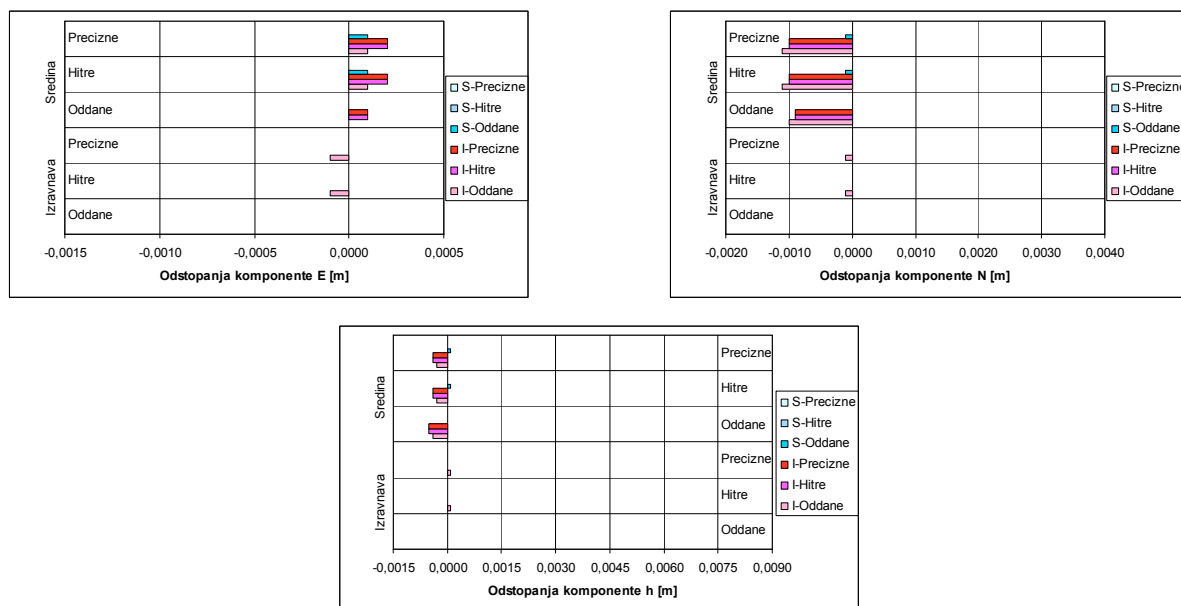
Rezultati naknadne obdelave statičnih opazovanj so tabelarično predstavljeni v preglednici 9. Takoj lahko ugotovimo, da so razlike med posameznimi izračunanimi koordinatami zelo majhne ali pa jih sploh ni. Pričakovali bi lahko celo večje, kot so v resnici, predvsem med izravnanimi vrednostmi koordinat ob upoštevanju oddanih oziroma preciznih efemerid. Vendar pa vrednosti komaj presegajo 1 mm. Med hitrimi preciznimi in končnimi preciznimi efemeridami pa sploh ni razlike. Nekoliko opaznejše so le razlike med izravnanimi in neposredno izračunanimi vrednostmi. Pa še te samo pri višinski komponenti. Če primerjamo razlike pri posameznih točkah, so pri FGG3 najmanjše (največ 1,1 mm), pri 2000 pa največje (8,1 mm). Zakaj je prišlo do takšnih razlik pri točki 2000 je težko reči, verjetno pa je prišlo do posedanja stativa med izmero. Točka je namreč stabilizirana na travnatem pobočju. Ostali dve točki sta postavljeni na stabilnem terenu, sploh točka FGG3, ki je locirana na strehi stavbe FGG.



Slika 9: Prikaz koordinatnih razlik točke 1000 za statično izmero



Slika 10: Prikaz koordinatnih razlik točke 2000 za statično izmero



Slika 11: Prikaz koordinatnih razlik točke FGG3 za statično izmero

Pri analizi rezultatov statične metode izmere ni bil ugotovljen noben poseben vzorec, po katerem bi se obnašale izračunane koordinate. Ugotovimo lahko le, da so razlike ne glede na

vrsto uporabljenih efemerid in načina izračuna, zelo majhne ali pa jih sploh ni. Rezultat je v vseh primerih praktično enak.

#### 4.1.2 Analiza RTK metode izmere

Tudi rezultati RTK metode izmere so v skladu s pričakovanji. Če so bili vsi pogoji za kvalitetno izvedbo RTK izmere izpolnjeni, večjih razhajanj ni bilo. Kljub temu bomo nekatere posebnosti opisali podrobneje in poskušali poiskati razloge zanje.

Ker so opazovanja potekala praktično prek celega dne do poznih večernih ur, so posamezni položaji točk določeni v zelo različnih razmerah tako na površju Zemlje kot v atmosferi. Zato lahko pričakujemo različno natančnost določitve položaja pri posameznih točkah. Določene informacije o kakovosti koordinat nam ponudi že sam instrument v času izvajanja opazovanj. To je natančnost horizontalnega položaja opazovane točke. Po uspešni inicializaciji in ob enakih razmerah ostaja natančnost določitve položaja približno enaka. V primeru prekinitve signala in ponovni inicializaciji pa se natančnost nekoliko spremeni. Kot je razvidno iz spodnje tabele, čas trajanja opazovanj niti ne vpliva toliko na natančnost. Razlike so očitne le med posameznimi serijami, ko smo prekinili opazovanja, da bi v sprejemniku nastavili drug način navezave na omrežje SIGNAL. Poleg tega so serije opazovanj med sabo časovno oddaljene približno 6 ur, kar pomeni, da so opazovanja med sabo popolnoma nekorelirana.

Preglednica 14: Natančnost določitve položaja točk 1000 in 2000 z RTK v času opazovanj

	PP GPS			VRS GPS			PP GPS+GLN		
	1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija
<b>TOČKA 1000 – natančnost položaja</b>									
5 s	1,41	0,84	1,98	1,14	1,39	1,26	1,06	0,68	0,89
15 s	1,56	0,84	3,45	1,64	1,22	1,17	1,08	1,83	1,35
30 s	1,29	1,36	1,57	1,29	0,91	1,52	0,84	1,3	1,25
1 min	1,54	0,8	0,88	1,03	1,26	1,29	0,98	2,36	1,53

se nadaljuje ...

**... nadaljevanje**

2,5 min	0,88	1,2	1,08	1,18	1,11	1,41	1,44	1,64	1,45
5 min	1,14	1,1	2	1,11	1,1	1,18	1,17	1,35	1,54
10 min	0,87	1,27	2,17	0,95	1,13	1,19	1,47	1,17	1,73
<i>sredina</i>	<i>1,24</i>	<i>1,06</i>	<i>1,88</i>	<i>1,19</i>	<i>1,16</i>	<i>1,29</i>	<i>1,15</i>	<i>1,48</i>	<i>1,39</i>
<b>TOČKA 1000 – natančnost višine</b>									
5 s	2,94	1,97	4,6	1,61	2,47	1,89	2,14	1,54	0,93
15 s	3,27	1,97	5,09	2,29	2,16	1,46	2,17	3,94	1,71
30 s	2,72	3,2	3,58	1,81	1,61	1,87	1,69	2,15	1,35
1 min	3,39	1,88	2,06	1,4	2,19	1,54	1,94	4,89	1,64
2,5 min	1,93	2,68	2,41	1,61	1,9	1,62	2,76	3,34	1,57
5 min	2,54	2,24	4,11	1,41	1,88	1,22	2,16	2,73	1,74
10 min	1,95	2,51	4,05	1,12	2,19	1,21	2,59	2,23	2,16
<i>sredina</i>	<i>2,68</i>	<i>2,35</i>	<i>3,70</i>	<i>1,61</i>	<i>2,06</i>	<i>1,54</i>	<i>2,21</i>	<i>2,97</i>	<i>1,59</i>
<b>TOČKA 2000 – natančnost položaja</b>									
5 s	0,79	0,75	1,19	0,71	1,14	0,92	0,78	1,28	0,58
15 s	0,72	1,28	0,95	0,96	1,02	1,06	0,81	1,29	0,56
30 s	0,92	1,22	0,78	0,91	0,85	1,01	1,05	1,2	0,61
1 min	0,97	1,16	1,1	0,92	0,87	0,88	1,07	1,49	0,62
2,5 min	0,87	1,06	0,8	0,69	0,99	0,71	0,97	0,84	0,73
5 min	1,02	1,24	0,8	0,72	0,88	0,64	0,6	0,85	0,69
10 min	0,82	0,72	0,64	0,61	0,76	0,58	0,63	0,84	0,74
<i>sredina</i>	<i>0,87</i>	<i>1,06</i>	<i>0,89</i>	<i>0,79</i>	<i>0,93</i>	<i>0,83</i>	<i>0,84</i>	<i>1,11</i>	<i>0,65</i>
<b>TOČKA 2000 – natančnost višine</b>									
5 s	0,85	1,28	1,15	0,95	1,64	1,37	1,31	1,79	1,08
15 s	0,78	2,16	1,21	1,3	1,45	1,59	1,37	1,81	1,03
30 s	0,99	2,04	1	1,23	1,21	1,51	1,79	1,68	1,13
1 min	1,05	1,96	1,43	1,26	1,23	1,33	1,81	2,09	1,15
2,5 min	0,95	1,73	1,05	0,98	1,39	1,09	1,65	1,17	1,34
5 min	1,14	1,93	1,08	1,09	1,23	1,01	1,03	1,17	1,26
10 min	0,99	1,07	0,9	1,04	1,06	0,97	1,03	1,11	1,27
<i>sredina</i>	<i>0,96</i>	<i>1,74</i>	<i>1,12</i>	<i>1,12</i>	<i>1,32</i>	<i>1,27</i>	<i>1,43</i>	<i>1,55</i>	<i>1,18</i>

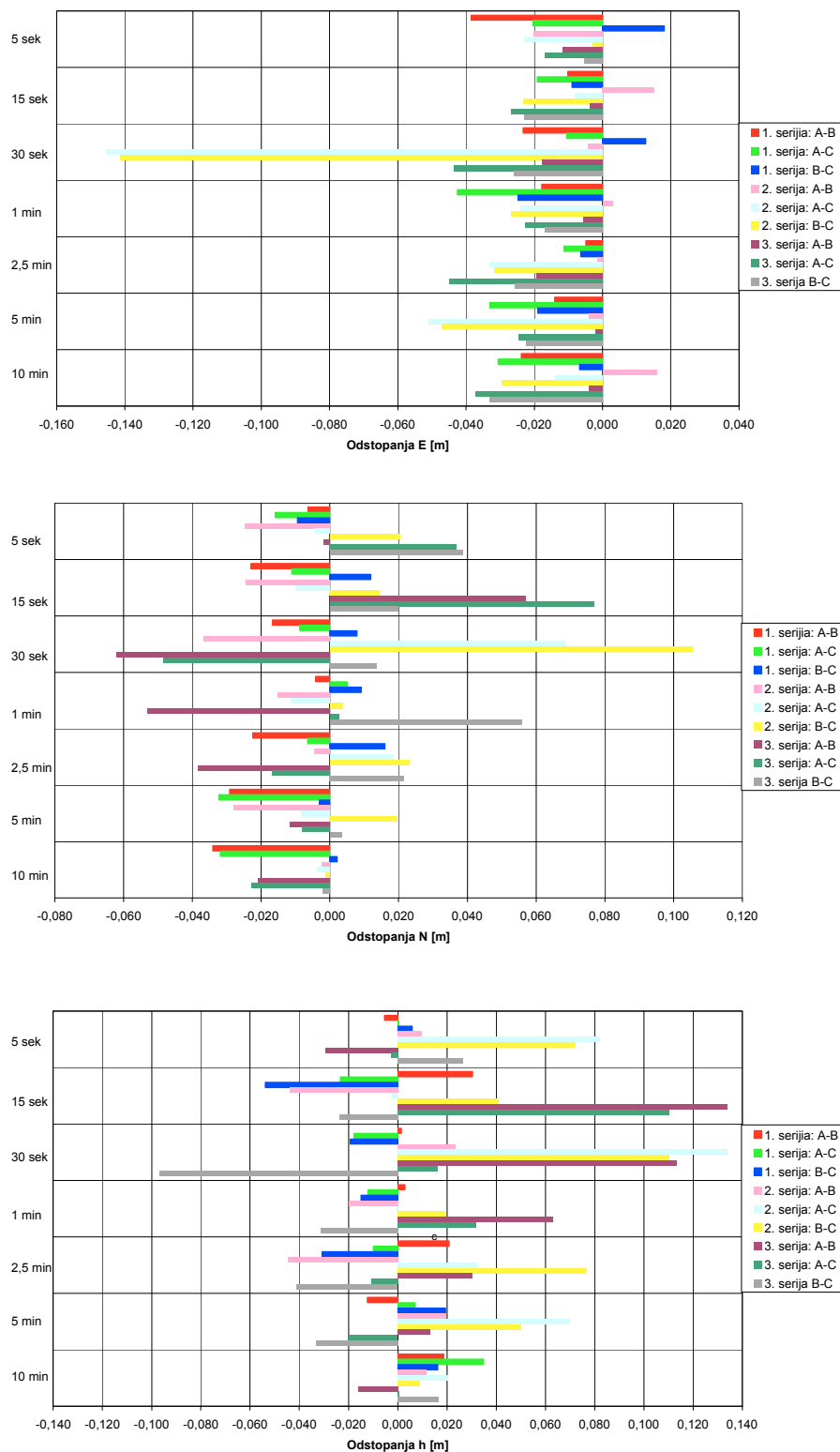
Če primerjamo natančnost določitve položaja na točkah 1000 in 2000, ugotovimo opazno razliko. Na točki 1000 je povprečna ocenjena natančnost (aritmetična sredina vseh ocen natančnosti na posamezni točki) horizontalnega položaja 1,31 cm in višine 2,30 cm, na točki

2000 pa 0,88 cm in 1,30 cm. Razlika je skoraj dvakratna in je verjetno posledica slabših razmer za izvajanje meritev na točki 1000. Na točki 2000 se je GDOP gibal med 1,9 in 3,2, število opazovanih satelitov pa ni nikoli padlo pod 8. Rezultati na tej točki so zelo homogeni, brez večjih odstopanj. Drugače pa je na točki 1000. Število satelitov je padlo tudi na 4, GDOP pa je narasel celo na 19,3. To se je zgodilo v 3. seriji opazovanj pri 10-minutnem opazovanju z navezavo na PP GPS. Kljub temu je ocenjena natančnost tega opazovanja precej dobra, in sicer v horizontalni komponenti 2,17 cm, v vertikalni pa 4,05 cm. Kot se bo pokazalo tudi v nadaljevanju, je kakovost teh opazovanj čisto primerljiva z drugimi.

Splošno je horizontalna komponenta položaja bolje določena kot višina. Pri slabših pogojih, se pravi v zaprtih dolinah in v strnjenih naseljih, so te razlike še večje kot na odprtem prostoru. V povprečju je natančnost vertikalne komponente manjša od horizontalne na točki 1000 za faktor 1,75, na točki 2000 pa za faktor 1,47. Da so nekatere razlike večje, druge pa manjše, je posledica različne geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj. Če so vsi vidni sateliti visoko na nebu, je slabo določen horizontalni položaj, če pa so sateliti tik nad obzorjem, je slabše določena višinska komponenta. Najboljše rezultate dosežemo, če so vsaj trije sateliti tik nad obzorjem, vsaj eden pa visoko na nebu. (GPS1, 2010)

#### **4.2 Primerjava rezultatov metode izmere RTK znotraj serij in znotraj različne navezave na omrežje SIGNAL**

Koordinatne razlike med različnimi načini navezave na omrežje SIGNAL znotraj serij in razlike med serijami znotraj različne navezave so za nas še posebej zanimive. Najprej obravnavajmo razlike znotraj serij. Rezultati so grafično predstavljeni v nadaljevanju.



Slika 12: Prikaz odstopanj med koordinatami točke 1000, dobljenimi z različnimi načini navezave na omrežje SIGNAL



Na prvi pogled lahko opazimo, da pri točki 1000 v dveh primerih koordinate močno izstopajo od povprečja. Večja razlika se pojavi pri 30-sekundnem opazovanju v drugi seriji z navezavo na PP GPS+GLONASS in pri 15-sekundnem opazovanju v 3. seriji z navezavo na PP GPS. Glede na vse ostale razlike lahko smatramo ti dve opazovanji kot grobo pogrešeni. Razlogov, zakaj je prišlo do te grobe napake, je lahko več. Ugotovimo lahko, da je v prvem primeru GDOP ob samo 5 vidnih satelitih znašal kar 9,5 in je bil največji v tej seriji. Tudi v drugem primeru je GDOP zelo slab, saj ob 8 satelitih (GPS+GLONASS) doseže celo vrednost 8,3. V prvem primeru lahko zagotovo rečemo, da so trenutne razmere vplivale na natančnost, v drugem primeru pa tega ne moremo trditi, saj je GDOP v celotni seriji dosegel vrednosti med 3,3 in 7,4, tako očitne razlike pa ni nikjer drugje.

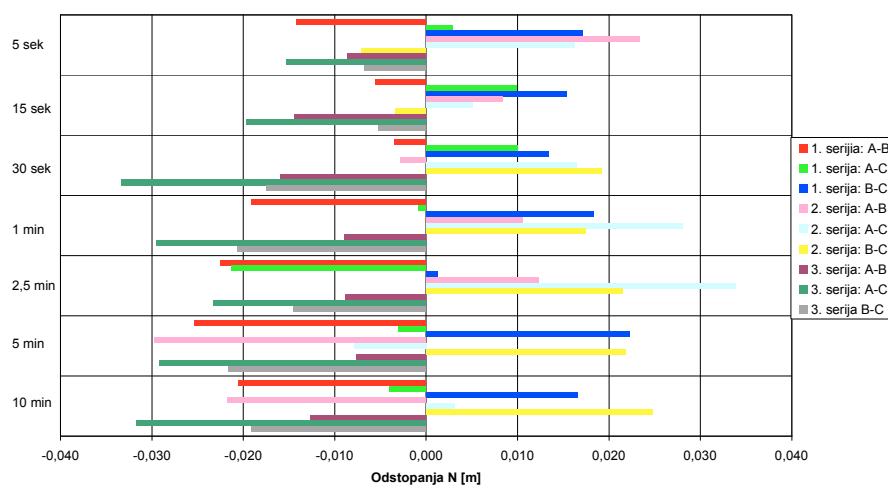
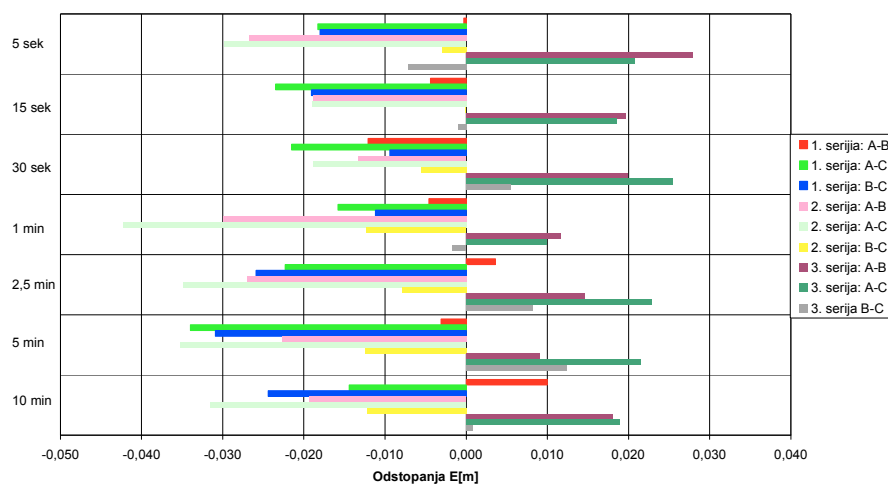
Preglednica 15: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat, dobljenih z različno navezavo na omrežje SIGNAL na točki 1000

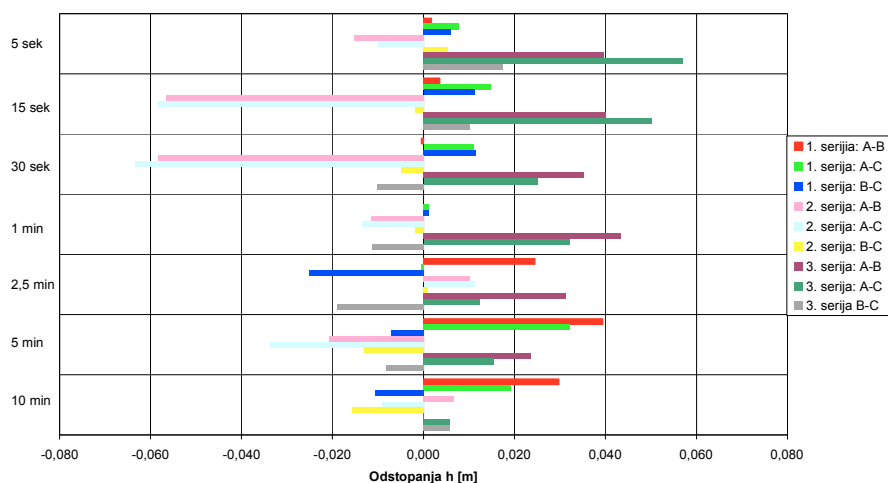
TOČKA 1000		E			N			h		
		1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija
st. dev.	A–B	0,0110	0,0124	0,0061	0,0111	0,0126	0,0234	0,0155	0,0295	0,0517
	A–C	0,0185	0,0170	0,0147	0,0145	0,0145	0,0238	0,0248	0,0340	0,0328
	B–C	0,0156	0,0143	0,0087	0,0089	0,0099	0,0200	0,0267	0,0275	0,0407
aritm. sredina	A–B	-0,0189	0,0006	-0,0094	-0,0194	-0,0195	-0,0313	0,0081	-0,0062	0,0265
	A–C	-0,0240	-0,0255	-0,0310	-0,0145	-0,0033	-0,0094	-0,0030	0,0336	0,0000
	B–C	-0,0050	-0,0269	-0,0218	0,0049	0,0133	0,0216	-0,0110	0,0447	-0,0261

A = PP GPS, B = VRS GPS, C = PP GPS+GLONASS

Če izvzamemo grobo pogrešene meritve, je večina odstopanj med ostalimi v rangi nekaj centimetrov. Odstopanja so v povprečju najmanjša pri E koordinati, največja pa pri višinski komponenti. Standardni odkloni odstopanj znašajo pri E od 0,61 cm do 1,85 cm, pri N od 0,89 cm do 2,38 cm ter pri h od 1,55 cm do 5,17 cm. To pomeni, da so najbolj neenakomerno določene višine, saj odstopanja zajemajo vrednosti med -9,69 cm in 11,33 cm, medtem ko so pri E odstopanja med -5,11 cm in 1,81 cm, pri N pa med -6,20 cm in 5,58 cm. Pri E se maksimalna odstopanja pojavijo pri 5-minutnih opazovanjih, v drugi seriji z navezavo na PP GPS+GLONASS pri N so maksimalne vrednosti ugotovljene pri 30-sekundnih opazovanjih, v tretji seriji z navezavo PP GPS, pri višini h pa pri 30-sekundnih opazovanjih v tretji seriji z

navezavo na VRS GPS. To so popolnoma neodvisna opazovanja. Na osnovi tega lahko ugotovimo, da se odstopanja obnašajo brez kakšnega posebnega vzorca. Večina odstopanj pade v okolico srednje vrednosti, maksimalni in minimalni vrednosti se približajo zelo malokrat.





Slika 13: Prikaz odstopanj med koordinatami točke 2000, dobljenimi z različnimi načini navezave na omrežje SIGNAL

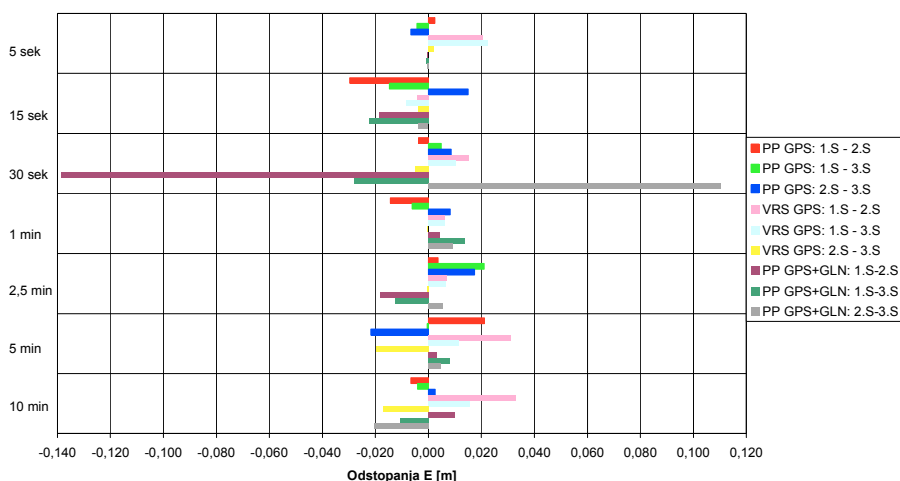
Pri točki 2000 lahko ugotovimo, da so odstopanja v koordinatah, dobljenimi z različno navezavo na omrežje SIGNAL, približno enaka kot na točki 1000, vendar pa nekoliko manj razpršena. To nam nazorno prikazujejo standardni odkloni koordinat, ki so pri komponenti E med 0,50 cm in 2,50 cm, pri komponenti N med 0,33 cm in 2,16 cm ter pri komponenti h med 0,75 cm in 3,38 cm. Največja razpršenost odstopanj je značilna za koordinate, dobljene z navezavo na PP GPS in PP GPS+GLONASS v tretji seriji, in sicer pri vseh koordinatnih komponentah. To sicer nič ne pomeni, je pa zanimivo dejstvo, da so standardni odkloni pri ostalih koordinatah bistveno manjši, tudi za dvakrat ali več. Odstopanja so kljub različni razpršenosti pri vseh tvorjenih razlikah približno enaka. Tako kot pri točki 1000 so tudi v tem primeru največja odstopanja v višinski komponenti, saj zajemajo vrednosti med  $-6,34$  cm in  $5,71$  cm, najmanjše pa pri komponenti N, kjer odstopanja padejo v interval med  $3,33$  cm in  $3,38$  cm. Za komponento E pa velja, da so odstopanja v intervalu od  $-4,23$  cm do  $2,79$  cm.

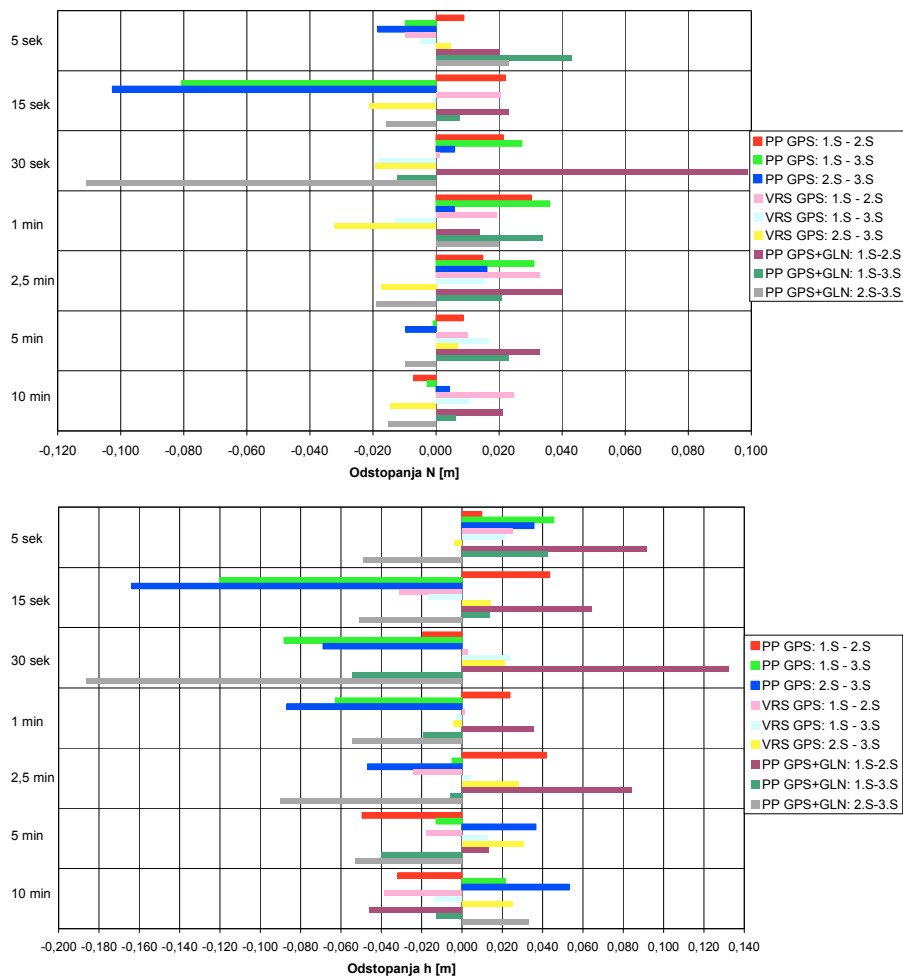
Preglednica 16: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat, dobljenih z različno navezavo na omrežje SIGNAL na točki 2000

TOČKA 2000		E			N			h		
		1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija
st. dev.	A–B	0,0070	0,0058	0,0062	0,0085	0,0193	0,0033	0,0167	0,0274	0,0149
	A–C	0,0061	0,0100	0,0249	0,0133	0,0141	0,0216	0,0205	0,0265	0,0338
	B–C	0,0078	0,0050	0,0067	0,0066	0,0130	0,0066	0,0133	0,0075	0,0133
aritm. sredina	A–B	-0,0016	-0,0226	0,0173	-0,0158	0,0001	-0,0110	0,0141	-0,0208	0,0305
	A–C	-0,0214	-0,0302	0,0197	-0,0009	0,0135	-0,0260	0,0122	-0,0252	0,0283
	B–C	-0,0198	-0,0077	0,0024	0,0149	0,0135	-0,0150	-0,0018	-0,0044	-0,0022

A = PP GPS, B = VRS GPS, C = PP GPS+GLONASS

Druga primerjava, ki jo bomo obdelali v nadaljevanju, je primerjava med koordinatami, določenimi v posameznih serijah. Določili smo medsebojne razlike koordinat med posameznimi serijami za vsako dolžino trajanja opazovanj posebej, njihove srednje vrednosti in standardne odklone. Rezultati so grafično predstavljeni v nadaljevanju.





Slika 14: Prikaz odstopanj med koordinatami točke 1000, dobljenimi v posameznih serijah opazovanj

Preglednica 17: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat, dobljenih v posamezni seriji opazovanj na točki 1000

TOČKA 1000		E			N			h		
		1.S – 2.S	1.S – 3.S	2.S – 3.S	1.S – 2.S	1.S – 3.S	2.S – 3.S	1.S – 2.S	1.S – 3.S	2.S – 3.S
st. dev.	A	0,0159	0,0080	0,0129	0,0121	0,0200	0,0135	0,0368	0,0491	0,0586
	B	0,0139	0,0119	0,0111	0,0152	0,0169	0,0199	0,0317	0,0320	0,0227
	C	0,0122	0,0154	0,0108	0,0094	0,0186	0,0190	0,0516	0,0322	0,0408
aritm. sredina	A	-0,0039	0,0012	0,0008	0,0141	0,0134	0,0006	0,0026	-0,0144	-0,0103
	B	0,0156	0,0093	-0,0064	0,0141	0,0008	-0,0133	-0,0116	0,0043	0,0159
	C	-0,0032	-0,0075	-0,0009	0,0251	0,0174	-0,0027	0,0404	-0,0108	-0,0440

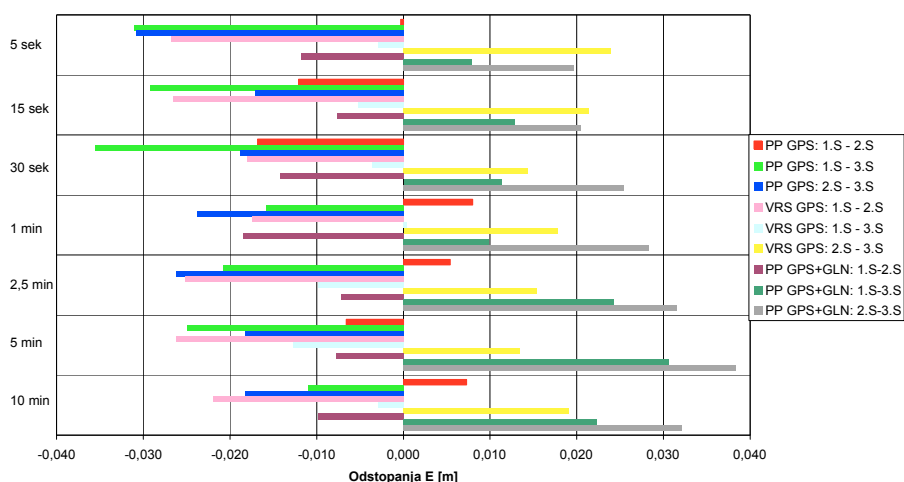
A = PP GPS, B = VRS GPS, C = PP GPS+GL ONASS

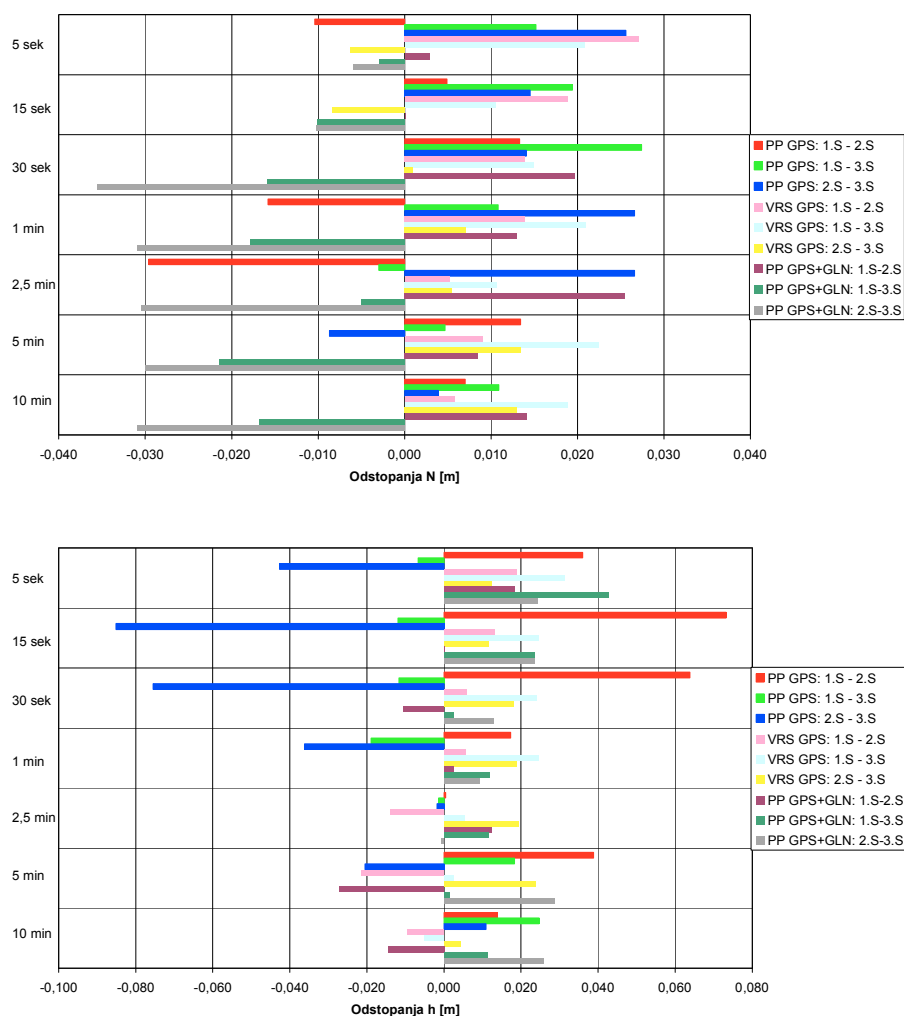
Ugotovimo lahko, da odstopanja praktično nikoli ne presežejo vrednosti  $\pm 4,0$  cm. Izjeme so odstopanja pri višinah, kjer so spet največja in tista opazovanja, ki so verjetno obremenjena z grobimi pogreški. Pri točki 1000 je razpršenost nekoliko manjša, kajti standardni odkloni so pri E med 0,80 cm in 1,59 cm, pri N med 0,94 cm in 2,00 cm ter pri h med 2,27 cm in 5,86 cm. Podobno velja tudi za točko 2000. Tukaj so opazovanja sploh precej bolj homogena. Standardni odkloni pri komponenti E znašajo med 0,42 cm in 1,23 cm, pri komponenti N 0,68 cm in 1,64 cm ter pri višini h 1,08 cm in 3,57 cm. Kljub velikim razlikam med minimalnimi in maksimalnimi vrednostmi odstopanj, jih je velika večina v bližini srednjih vrednosti. Enako obnašanje lahko opazimo tudi na točki 1000.

Preglednica 18: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat, dobljenih v posamezni seriji opazovanj na točki 2000

TOČKA 2000		E			N			h		
		1.S – 2.S	1.S – 3.S	2.S – 3.S	1.S – 2.S	1.S – 3.S	2.S – 3.S	1.S – 2.S	1.S – 3.S	2.S – 3.S
st. dev.	A	0,0099	0,0087	0,0052	0,0164	0,0099	0,0133	0,0267	0,0164	0,0356
	B	0,0055	0,0110	0,0123	0,0068	0,0081	0,0104	0,0120	0,0174	0,0120
	C	0,0042	0,0086	0,0067	0,0090	0,0070	0,0117	0,0158	0,0142	0,0108
aritm. sredina	A	-0,0022	-0,0241	-0,0219	-0,0025	0,0122	0,0147	0,0348	-0,0011	-0,0358
	B	-0,0232	-0,0052	0,0179	0,0134	0,0170	0,0036	-0,0001	0,0153	0,0155
	C	-0,0110	0,0170	0,0280	0,0120	-0,0129	-0,0249	-0,0027	0,0150	0,0177

A = PP GPS, B = VRS GPS, C = PP GPS+GLONASS





Slika 15: Prikaz odstopanj med koordinatami točke 2000, dobljenimi v posameznih serijah opazovanj

Analiza opazovanj z metodo RTK je s tem zaključena. Ugotovili smo, da so vsa opazovanja, ne glede na to, kateri način navezave na omrežje SIGNAL izberemo, dobra in uporabna v praksi. Tudi koordinate, dobljene v posameznih serijah, so med seboj povsem primerljive. Predvsem je treba paziti, da meritve izvajamo takrat, ko je vidnih dovolj satelitov in GDOP ne presega vrednosti 5,0. To lahko preverjamo že med samo RTK izmero. V primeru slabih razmer je zato najbolje za nekaj časa prekiniti meritve in počakati, dokler ni na razpolago dovolj satelitov. V zaprtih predelih je takšnih obdobij lahko več kot na odprtem, saj visoki hribi in objekti še onemogočijo sprejem satelitskega signala. Vsekakor pa bo takih situacij vse manj, ko bosta na razpolago tudi ruski sistem GLONASS in evropski Galileo.

### 4.3 Primerjava rezultatov statične in RTK metode izmere

Ker so med posameznimi koordinatami, dobljenimi s statično zelo majhne razlike (le nekaj milimetrov), smo za primerjavo koordinat izbrali po vseh kriterijih najboljšo rešitev. To so koordinate, pridobljene z izravnavo ob uporabi preciznih efemerid. Tako bodo v nadaljevanju prikazane razlike med temi, koordinatami in rezultati izmere RTK.

Preglednica 19: Izravnane koordinate točk 1000 in 2000, ki smo jih uporabili za primerjavo

TOČKA	E	N	h
1000	108852,2245	437359,6580	443,1026
2000	108793,1479	437215,5129	499,1366

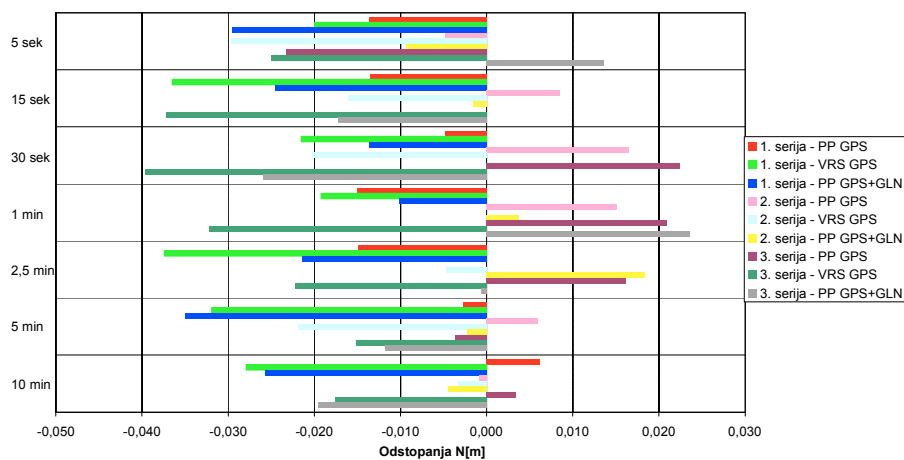
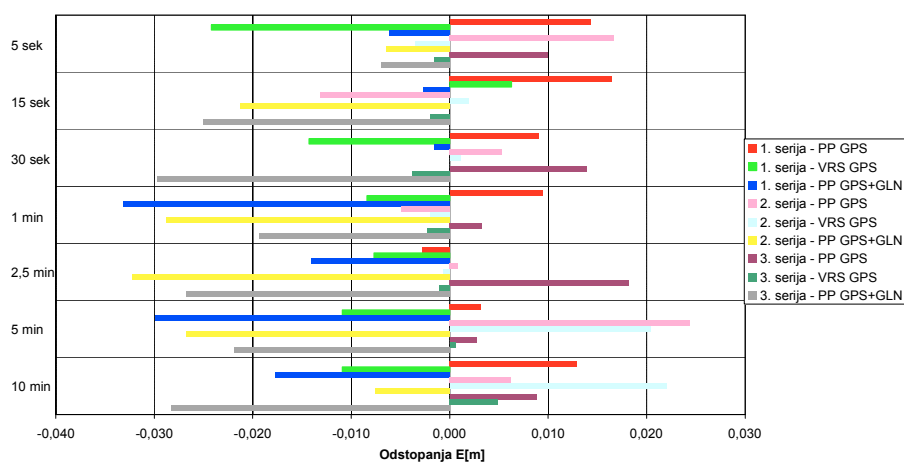
Pri točki 1000 smo koordinate, pri katerih je bila ugotovljena prisotnost grobega pogreška, zaradi realnejše in nazornejše predstave ostalih rezultatov, izločili iz obravnave. Tako so rezultati na prvi pogled zelo homogeni, brez večjih razhajanj. Odstopanja med koordinatami statične izmere in rezultati RTK izmere so relativno majhna, od le nekaj milimetrov do nekaj centimetrov. Pri komponenti E se nahajajo v intervalu med  $-3,34$  cm in  $2,44$  cm, pri N med  $-3,96$  cm in  $2,36$  cm, ter pri h med  $-7,41$  cm in  $7,69$  cm. Praktično nikjer, razen pri višini, ni presežena vrednost 4 cm. Tudi razpršenost je spet največja pri višinski koordinati, čeprav tukaj odstopanja sploh niso vedno največja. Zanimivo je, da so pri načinu navezave VRS GPS višinska odstopanja v povprečju celo manjša kot pri koordinati N. Zakaj je prišlo do tega, je težko reči, saj se pri točki 2000 ta razlika ne pokaže, čeprav so bili na točki bistveno boljši pogoji za izmero. Odstopanja pa so gotovo prav zaradi tega nekoliko manjša. Pri koordinati E točke 2000 se nahajajo v intervalu med  $-2,90$  cm in  $1,56$  cm, pri N med  $-2,54$  cm in  $1,33$  cm, ter pri h med  $-2,65$  cm in  $6,43$  cm. Standardni odkloni pa so pri vseh koordinatah približno enaki.

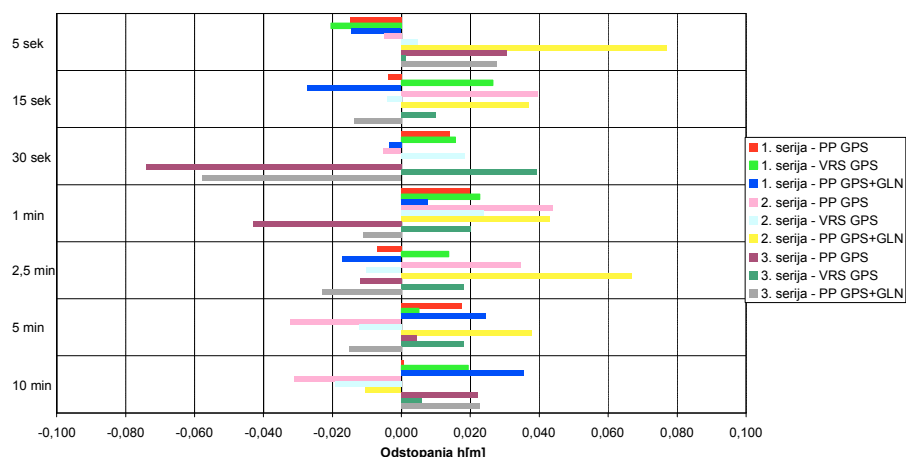


Preglednica 20: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat pri primerjavi rezultatov statične in RTK metode na točki 1000

TOČKA 1000		E			N			h		
		1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija
st. dev.	A	0,0067	0,0127	0,0066	0,0082	0,0081	0,0162	0,0135	0,0328	0,0370
	B	0,0085	0,0118	0,0083	0,0147	0,0116	0,0143	0,0228	0,0243	0,0231
	C	0,0127	0,0127	0,0077	0,0087	0,0088	0,0184	0,0230	0,0320	0,0288
aritm. sredina	A	0,0089	0,0050	0,0081	-0,0083	0,0058	0,0051	0,0038	0,0064	-0,0103
	B	-0,0100	0,0056	-0,0008	-0,0278	-0,0137	-0,0270	0,0118	0,0002	0,0161
	C	-0,0150	-0,0176	-0,0226	-0,0228	0,0006	-0,0054	0,0008	0,0359	-0,0100

A = PP GPS, B = VRS GPS, C = PP GPS+GLONASS



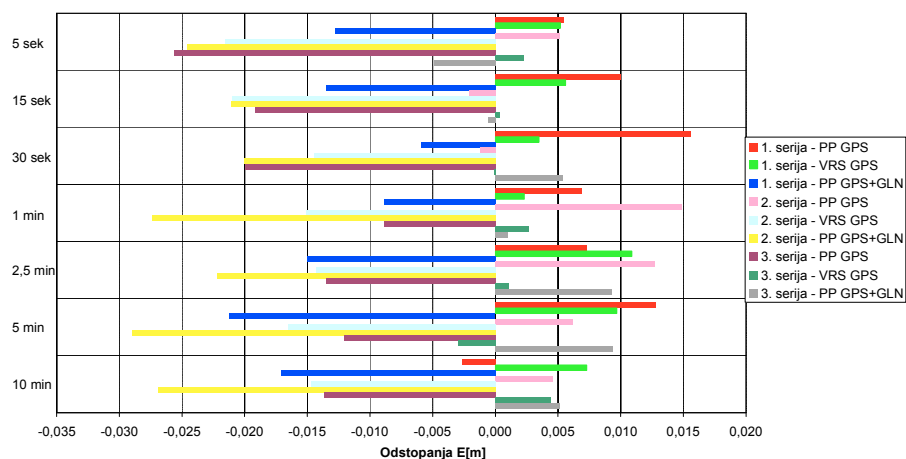


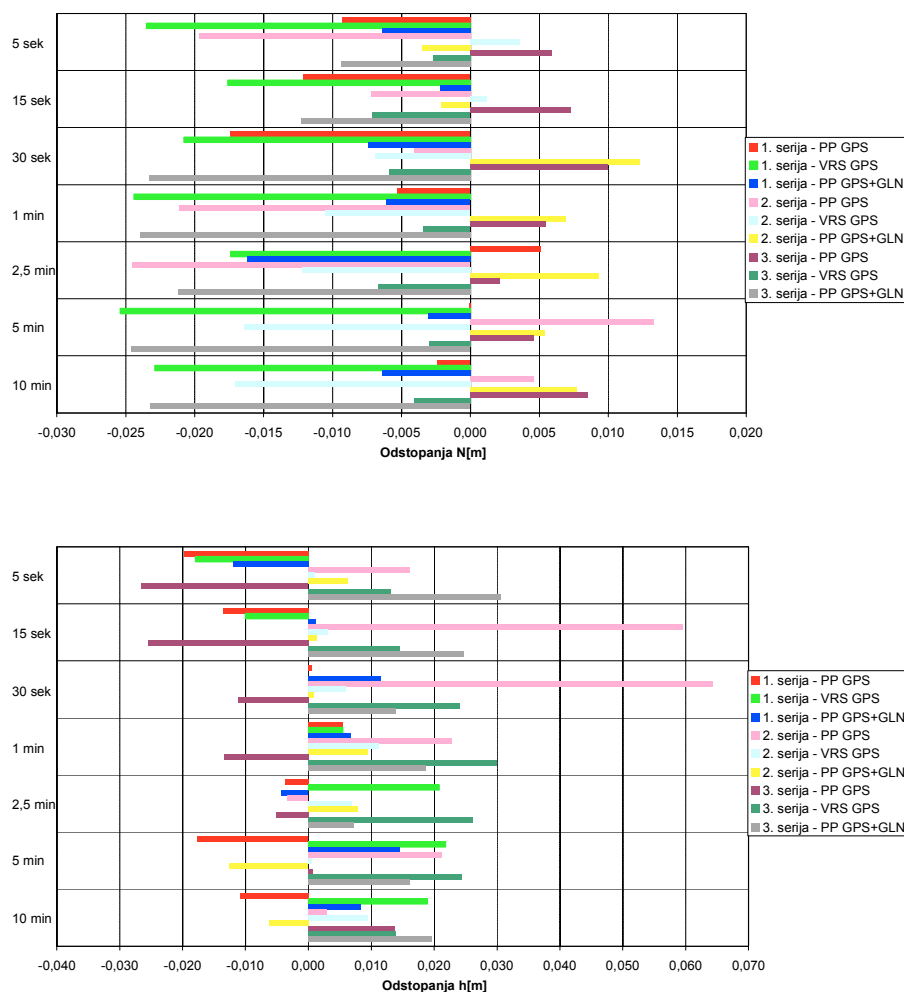
Slika 16: Prikaz odstopanj med rezultati statične in RTK izmere na točki 1000

Preglednica 21: Aritmetične sredine odstopanj in standardni odkloni koordinat pri primerjavi rezultatov statične in RTK metode na točki 2000

TOČKA 1000		E			N			h		
		1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija	1. serija	2. serija	3. serija
st. dev.	A	0,0059	0,0064	0,0057	0,0076	0,0142	0,0026	0,0095	0,0262	0,0143
	B	0,0074	0,0126	0,0100	0,0114	0,0092	0,0057	0,0119	0,0112	0,0102
	C	0,0051	0,0034	0,0053	0,0046	0,0059	0,0062	0,0094	0,0080	0,0075
aritm. sredina	A	0,0079	0,0058	-0,0161	-0,0059	-0,0084	0,0063	-0,0085	0,0262	-0,0096
	B	0,0064	-0,0168	0,0011	-0,0217	-0,0083	-0,0047	0,0056	0,0054	0,0209
	C	-0,0135	-0,0245	0,0035	-0,0068	0,0051	-0,0197	0,0037	0,0010	0,0187

A = PP GPS, B = VRS GPS, C = PP GPS+GLONASS





Slika 17: Prikaz odstopanj med rezultati statične in RTK izmere na točki 2000

Koordinatne razlike (odstopanja) smo primerjali tudi z oceno natančnosti (standardnimi odkloni), ki jih je instrument prikazoval med samimi opazovanji. Zanimivo je, da na točki 1000 v tretji seriji opazovanj z navezavo na PP GPS, kjer so bile prikazane najslabše ocene natančnosti, odstopanja niso največja. Največje razlike smo dobili v drugi seriji opazovanj z navezavo na PP GPS+GLONASS. Ta serija je bila tudi sicer ena najslabših. Čeprav je bilo na nebu v času opazovanj v drugi seriji dovolj satelitov, saj smo v opazovanja vključili tudi satelite GLONASS, je bil tako kot v tretji seriji PP GPS trenutni GDOP zelo visok. V omenjeni drugi seriji so tudi odstopanja nekoliko večja od ostalih, medtem ko so v tretji seriji PP GPS popolnoma enakovredna ostalim. Glede na rezultate lahko vidimo, da so lahko meritve ob visokem faktorju GDOP tudi zadovoljiva, je pa verjetnost za grobo pogrešena

opazovanja toliko večja. Grobe napake v opazovanjih je zelo preprosto ugotoviti: meritve izvedemo v dveh ali več serijah v razmaku vsaj 20 minut (s tem zagotovimo neodvisnost serij) in primerjamo rezultate. Če odstopanja ne presegajo  $\pm 3$  cm, lahko glede na rezultate trdimo, da opazovanja ne vsebujejo grobih pogreškov. V primeru, da so odstopanja večja od 3 cm, so po vsej verjetnosti opazovanja obremenjena z grobimi, lahko pa tudi z neodstranjenimi sistematičnimi pogreški. V takšnih primerih je najbolje počakati toliko, da se pogoji za meritve izboljšajo in takrat znova izvesti meritve.

Primerjava rezultatov statične in RTK izmere na točkah 1000 in 2000 je spet potrdila tezo, da so na opazovanja bistveno vplivali pogoji, v katerih je bila posamezna meritev izvedena. Dolžina trajanja opazovanj in način navezave na omrežje SIGNAL na rezultat ne vplivata sistematično, tako da je bilo nemogoče izluščiti nek vzorec obnašanja opazovanj. Ker je statična izmera potekala prek celega dne, je tako na točki 1000, ob kateri je več fizičnih ovir, kot na točki 2000, ki je locirana na odprtem, rezultat v smislu natančnosti povsem enakovreden. Pojavil bi se namreč lahko dvom, ali je na točki 1000 statična izmera sploh kvalitetno izvedena. Ta dvom je pravzaprav neutemeljen, saj so odstopanja na točkah 1000 in 2000 zelo blizu. Pa tudi iz analize statične izmere izhaja, da je natančnost na vseh v izravnavo vključenih točkah homogena.

V analizo statične in RTK izmere je bilo vključenih veliko različnih podatkov in rezultatov. Zato so tudi ugotovitve zelo zanimive in raznolike. Za konec na kratko povzemimo glavne ugotovitve analize:

- Razlike med izravnanimi koordinatami točk 1000, 2000 in FGG3, dobljenimi z upoštevanjem različnih efemerid, so zelo majhne ali pa jih sploh ni. Odstopanja so največja pri višinski komponenti.
- Izbira načina navezave na omrežje SIGNAL ne vpliva na natančnost določitve položaja z metodo RTK. Z vsemi tremi smo dobili zadovoljive rezultate, ki v nobenem primeru niso kazali drastičnega poslabšanja kakovosti položaja.
- Podaljševanje dolžine trajanja opazovanj v posamezni seriji ni imelo za posledico večje natančnosti v položaju. Razlike v natančnosti so očitne le med serijami opazovanj.

- Na kvaliteto rezultatov metode RTK izmere vplivajo trenutne razmere v okolici točke in na nebu. Pomembno je, da imamo vidnih zadostno število satelitov, da v bližini točke ni večjih ovir in da je zagotovljen nemoten prenos podatkov med statičnim in premičnim sprejemnikom.
- Kljub slabšim razmeram v času izmere ni rečeno, da bodo rezultati RTK izmere popolnoma neuporabni. V takem primeru položaj posamezne točke določimo večkrat, pri tem pa mora med posameznimi meritvami poteči nekaj časa.

#### **4.4 Analiza metode Precise Point Positioning**

Metodo PPP smo obravnavali v več fazah. Vendar pa je potrebno na nekaj opozoriti. Analizo rezultatov ob spreminjanju dolžine trajanja opazovanj in intervala registracije ter analizo rezultatov ob uporabi različnih efemerid, ob različni razporeditvi satelitov in ob uporabi različnih spletnih aplikacij PPP, moramo obravnavati ločeno, saj so v obdelavo vključena opazovanja dveh različnih datumov. Konec koncev niti ni pomembno, ali so opazovanja in s tem tudi izračunane koordinate, vezane na isti datum ali ne. Kljub temu da so razlike med koordinatami različnih datumov zelo majhne (le nekaj milimetrov), smo analizo opazovanj obravnavali ločeno, saj medsebojna primerjava niti ni tako pomembna. V nadaljevanju je vsaka faza obdelave opazovanj z metodo PPP obravnavana ločeno.

##### **4.4.1 Spreminjanje dolžine trajanja opazovanj**

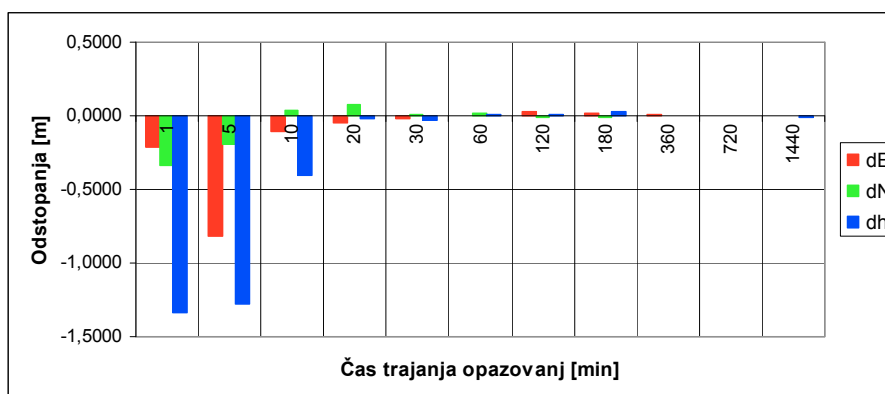
Že večkrat je bilo omenjeno, da ima pri metodi PPP dolžina opazovanj zelo velik vpliv na kvaliteto dobljenega rezultata. Za primer vzemimo opazovanja z GSR1 s petsekundnim intervalom registracije. Po obdelavi podatkov s CSRS-PPP smo dobili rezultate, kot so prikazani v preglednici 23.

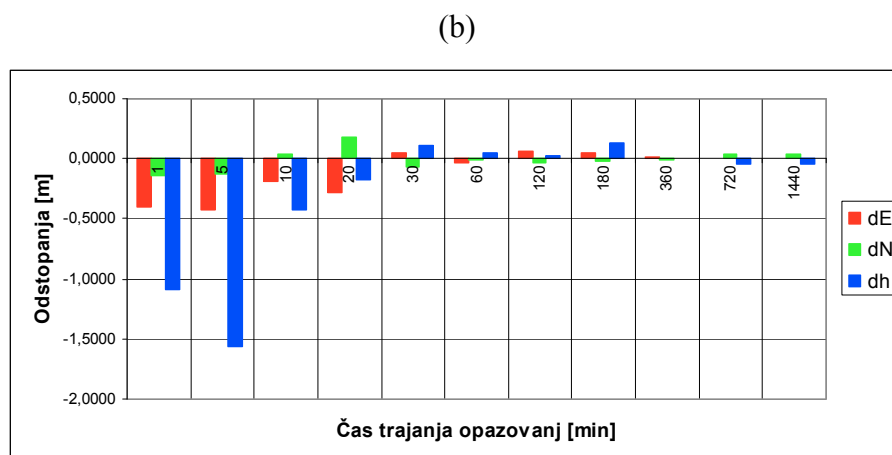
Preglednica 22: Primer rezultatov obdelave s CSRS-PPP ob spreminjanju dolžine trajanja opazovanj (interval registracije 5 s)

trajanje [min]	statična metoda			kinematična metoda		
	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
1	464689,2106	101027,5498	353,0220	464689,4072	101027,3511	352,7640
5	464689,8224	101027,4043	352,9560	464689,4226	101027,3399	353,2390
10	464689,1095	101027,1799	352,0870	464689,1895	101027,1745	352,1010
20	464689,0534	101027,1401	351,6980	464689,2816	101027,0406	351,8590
30	464689,0172	101027,2020	351,7070	464688,9502	101027,2870	351,5710
60	464688,9979	101027,1960	351,6710	464689,0350	101027,2310	351,6260
120	464688,9744	101027,2301	351,6680	464688,9423	101027,2537	351,6510
180	464688,9787	101027,2270	351,6530	464688,9576	101027,2314	351,5480
360	464688,9958	101027,2176	351,6760	464688,9885	101027,2201	351,6750
720	464689,0001	101027,2145	351,6820	464688,9960	101027,1756	351,7260
1440	464689,0023	101027,2145	351,6870	464688,9960	101027,1756	351,7290

Slika 18 prikazuje odstopanja koordinat od dane vrednosti položaja točke GSR1, ki je podan v preglednici 11. Že na prvi pogled lahko ugotovimo, da pri krajšem trajanju opazovanj, to je od 1 min do 1 ure, izračunane koordinate precej bolj odstopajo od dane vrednosti kot pri opazovanjih, daljših od 1 ure. Pri statičnih opazovanjih od prve ure dalje ni več zaznati večjih odstopanj, saj ta znašajo le nekaj centimetrov. Pri meritvah, daljših od 6 ur, pa odstopanja padejo celo pod 1 centimeter. Pri kinematičnem obravnavanju opazovanj so rezultati nekoliko manj homogeni, vendar pa se v celoti gledano obnašajo zelo podobno.

(a)





Slika 18: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih iz različno dolgih opazovanj, od dane vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu

Potek obdelave opazovanj ter z njim povezana statistika je pri CSRS-PPP zelo dobro predstavljena v poročilih o obdelavi opazovanj. Iz njih je možno pridobiti oceno natančnosti izračunanega položaja. Na tem mestu bomo na kratko opisali vsebino končnih poročil CSRS-PPP in predstavili najpomembnejše parametre pri ugotavljanju kvalitete rezultata.

Na prvi strani poročila v formatu .pdf so najprej navedene osnovne nastavitve v času procesiranja opazovanj. Pod njimi so zapisane končne geografske koordinate v ITRF05 koordinatnem sistemu s pripadajočimi standardnimi deviacijami. Sledijo še a-priori koordinate ter razlike med končnimi in a-priori koordinatami. Če bi opazovanja opravljali nekje na ozemlju Kanade, bi imeli čisto spodaj v poročilu izračunano tudi ortometrično višino na podlagi geoidnega modela. V našem primeru aplikacija CSRS-PPP geoida ni upoštevala.

Prvi vtis o kvaliteti izračunanega položaja dobimo na prvi strani poročila. V nadaljevanju poročila pa so nanizani grafični prikazi nekaterih spremenljivk v odvisnosti od časa. To so: razlike med izračunanimi koordinatami za posamezno epoho in a-priori vrednostjo, ocenjeni vplivi troposferske refrakcije, ocena napake sprejemnikove ure, neznano število celih valov ter popravki kodnih in faznih opazovanj. Poleg teh sta zanimiva tudi grafa razporeditev satelitov na nebu s popravki psevdo razdalj in v grafični obliki predstavljeni popravki koordinat.

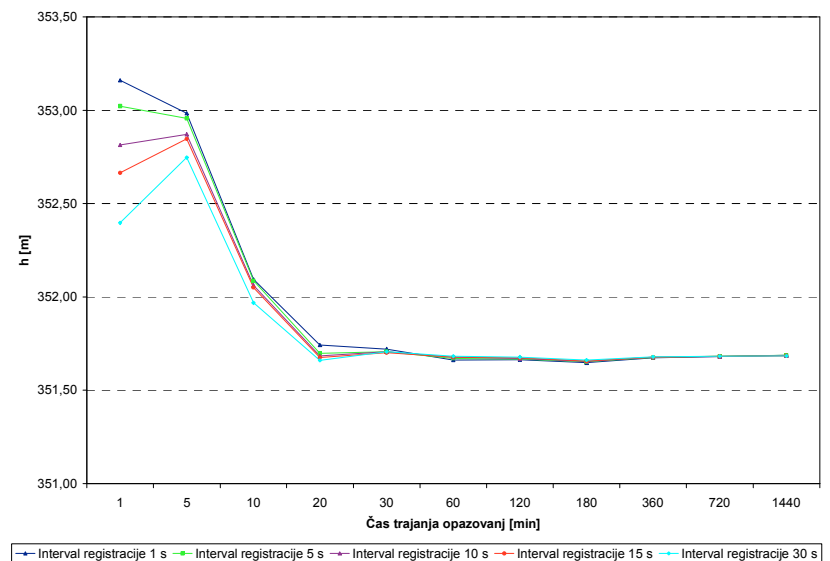
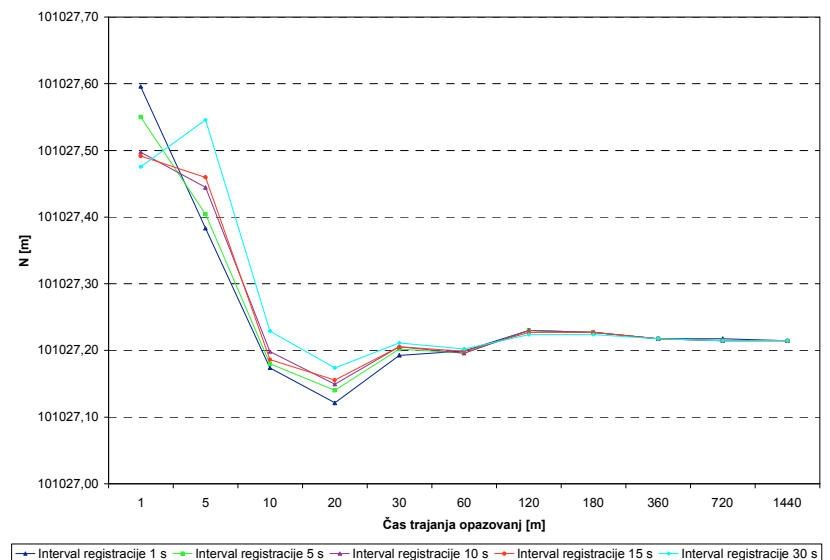
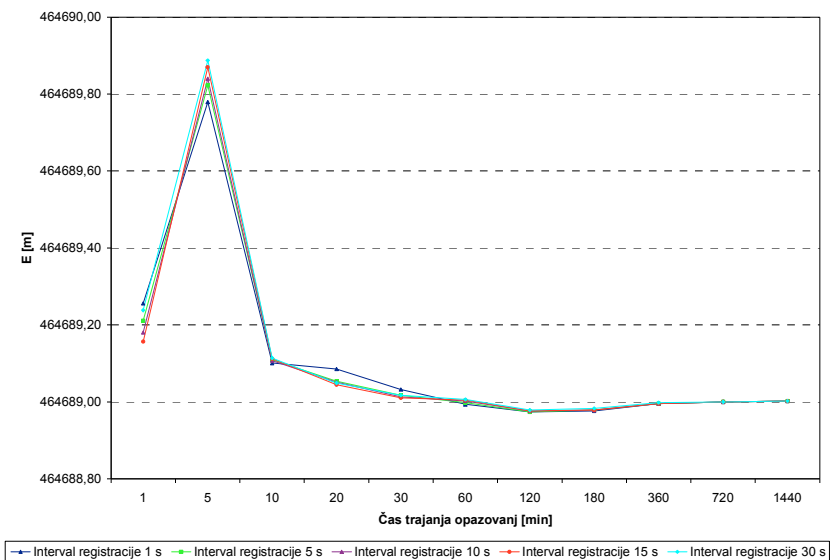
Zakaj so vsi ti podatki pomembni za analizo? Posamezna različno dolga opazovanja, razen 24-urnega, se začnejo isto uro, trajajo pa različno dolgo. Ugotovimo lahko, da je s statično metodo izračunan položaj krajšega opazovanja v nekem trenutku popolnoma identičen položaju nekega daljšega opazovanja. Povedano drugače, pri obdelavi opazovanj, ki potekajo na isti točki istočasno, dobimo enak rezultat. Vsak naslednji izračun položaja je izboljšava prejšnjega. To je nazorno vidno tudi pri grafih, ki so si v posameznih količinah med sabo zelo podobni. To dejstvo se nam je zdelo zelo pomembno, saj je s tem zagotovljeno, da bo CSRS-PPP izračunal vedno enako kvaliteten položaj, končni rezultat pa je odvisen samo od dolžine opazovanj. Za kinematično metodo izračuna pa seveda to ne velja, saj je posamezen interval opazovanj obravnavan samostojno. Tako je za isto epoho pri različno dolgih opazovanjih izračunan položaj točke popolnoma drugačen. Tudi iz grafičnih prikazov je razvidno, da v primeru kinematične metode dobimo nehomogeno množico točk, ki je na prvi pogled ob različno dolgih opazovanjih podobna, vendar pa se na koncu izkaže, da so izračunane vrednosti popolnoma drugačne.

#### 4.4.2 Spreminjanje intervala registracije

Vzporedno s predhodno analizo smo primerjali tudi koordinate, dobljene ob spreminjanju intervala registracije opazovanj. Obnašanje koordinat smo spremljali pri vseh 11 dolžinah trajanja opazovanj. Tako je nastala kar zajetna zbirka podatkov za analizo.

Najprej lahko ugotovimo, da so razlike v rezultatih med opazovanji z različnimi intervali registracije največji pri krajših časih trajanja opazovanj, pri daljših od 6 ur pa razlik ni ali pa so zelo majhne. Pri statični metodi so bila največja odstopanja pri posameznih koordinatnih komponentah ugotovljena med enosekundnim in 30-sekundnim intervalom za dolžino opazovanj 1 oziroma 5 minut, in sicer pri koordinati E  $-10,8$  cm, pri koordinati N  $-16,3$  cm in pri višini h  $76,3$  cm. Podobno velja tudi za kinematično metodo, le pri koordinati E je največje odstopanje ugotovljeno za dolžino opazovanj 10 minut. Posamezne maksimalne vrednosti odstopanj znašajo pri koordinati E  $15,6$  cm, pri koordinati N  $15,6$  cm in pri višini h  $85,4$  cm.

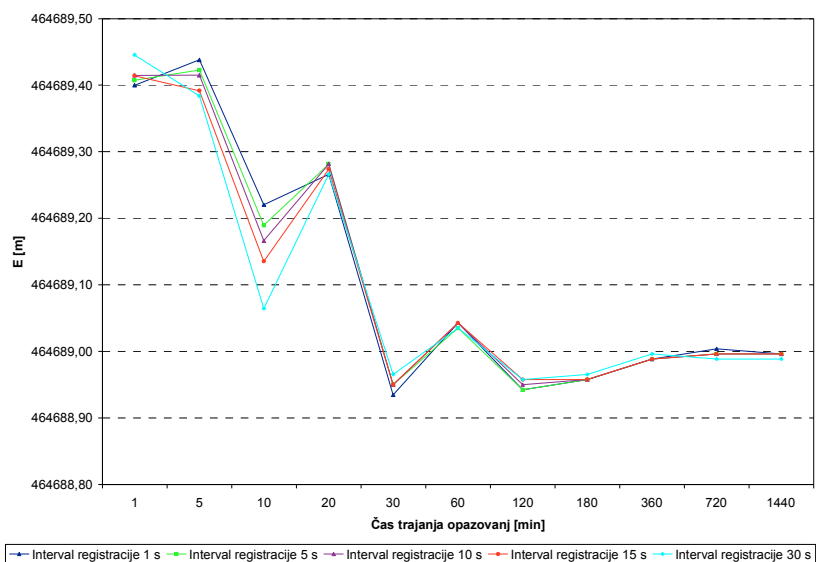


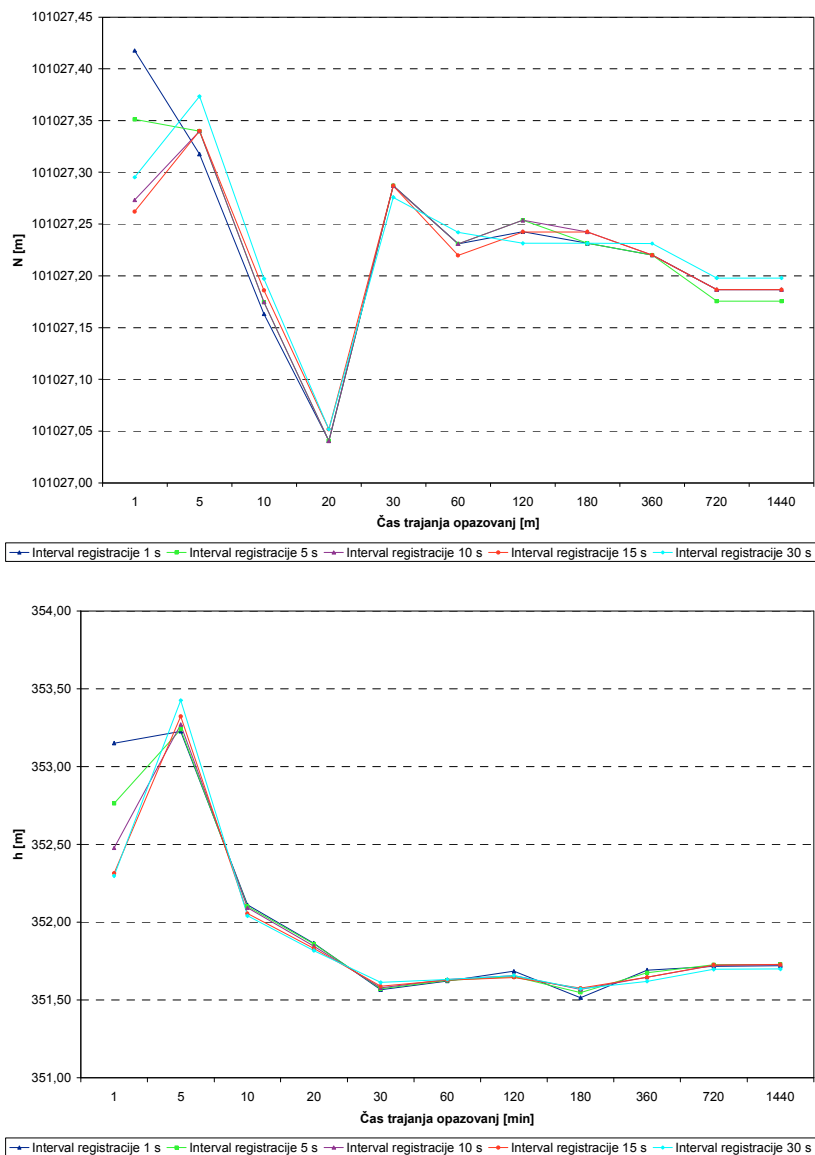


Slika 19: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z različnimi intervali registracije opazovanj, od dane vrednosti v statičnem načinu izračuna

Opazimo lahko, da je maksimalno odstopanje pri višinski komponenti bistveno večje od ostalih. To v splošnem sicer ne velja. Če pogledamo rezultate podrobneje, lahko opazimo, da so bistveno večja odstopanja prisotna samo v enem primeru, in sicer pri primerjavi 1 minuto dolgih opazovanj z enosekundnim intervalom z ostalimi opazovanji ob nastavitvi različnih intervalov registracije. Verjetno je pri obdelavi enominutnih opazovanj prišlo do neke grobe napake, saj v nobenem drugem primeru razlika ni večja kot 17,0 cm.

V primeru opazovanj daljših od dveh ur so odstopanja ne glede na interval registracije bistveno manjša (le nekaj milimetrov) ali pa jih sploh ni. Pri njih velikost odstopanj ni odvisna niti od intervala registracije niti od dolžine opazovanj. To velja tako za statičen kot kinematičen način obdelave. Zato lahko rečemo, da so od koordinate, dobljene z opazovanji, daljšimi od dveh ur, enakovredne. Torej so rezultati obdelave opazovanj z metodo PPP neodvisni od intervala registracije, s katerim so zajeta opazovanja.





Slika 20: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z različnimi intervali registracije opazovanj, od dane vrednosti v kinematičnem načinu izračuna

#### 4.4.3 Uporaba različnih spletnih aplikacij PPP

Generalno gledano se rezultati posameznih spletnih aplikacij nekoliko razlikujejo, vendar pa so te razlike razmeroma majhne. Analizo rezultatov ob uporabi različnih spletnih aplikacij PPP smo izvedli v dveh sklopih. Najprej smo primerjali rezultate posamezne aplikacije z

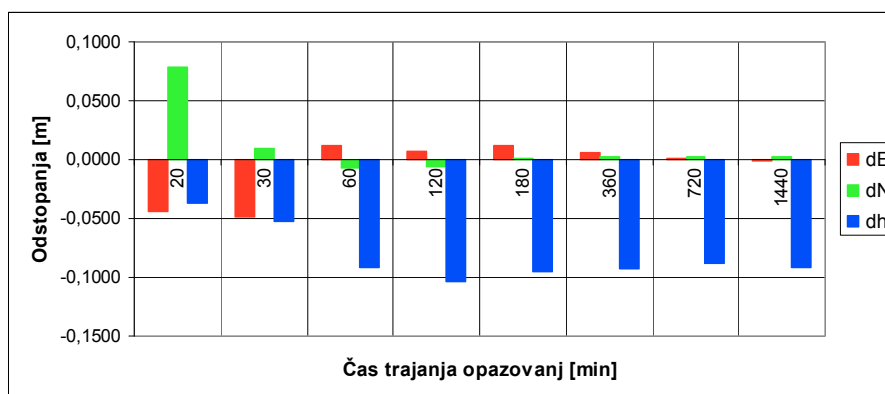
danimi koordinatami. Tukaj se je pokazalo, koliko so izračunane koordinate blizu prave vrednosti. V drugem sklopu pa smo rezultate primerjali še med seboj. V obeh analizah so rezultati pridobljeni z upoštevanjem preciznih efemerid.

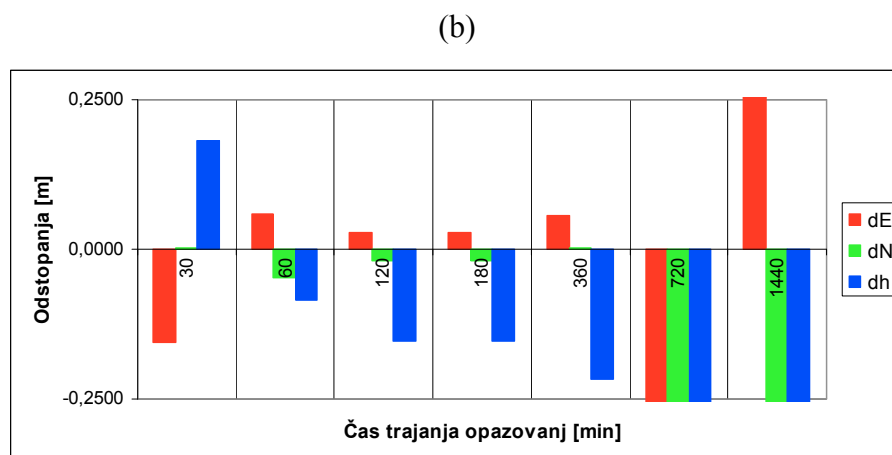
#### 4.4.3.1 Primerjava koordinat z dano vrednostjo

Začeli bomo kar z aplikacijo APPS, ki ima za statično metodo v povprečju pri vseh koordinatah najmanjša odstopanja od danih vrednosti. S slike 21 je razvidno, da so odstopanja dokaj enakomerna ne glede na dolžino opazovanj. Kljub temu pa so opazno večja odstopanja pri višini, saj skoraj pri vseh, tudi najdaljših opazovanjih, znašajo blizu 10 cm. Zakaj tako odstopanje, je težko odgovoriti. Zanimivo pa je tudi dejstvo, da je že pri 20-minutnem opazovanju v vseh koordinatah odstopanje precej manjše od 10 cm, kar je pri drugih aplikacijah redkost. Pri opazovanjih, krajših od 20 min, APPS sploh ne vrne rezultata.

Pri obravnavi s kinematičnim načinom izračunanih koordinat se je vse skupaj pokazalo precej podobno. Odstopanja so dokaj homogena, spet so največja pri višinski komponenti (od 8,1 do 21,6 cm). Najbolj presenetljivo pa je to, da pri opazovanjih dolžine 12 in 24 ur dobimo popolnoma nerealne koordinate, ki so približno en kilometer oddaljene od danega položaja. Tudi za ta pojav nismo našli pravega odgovora.

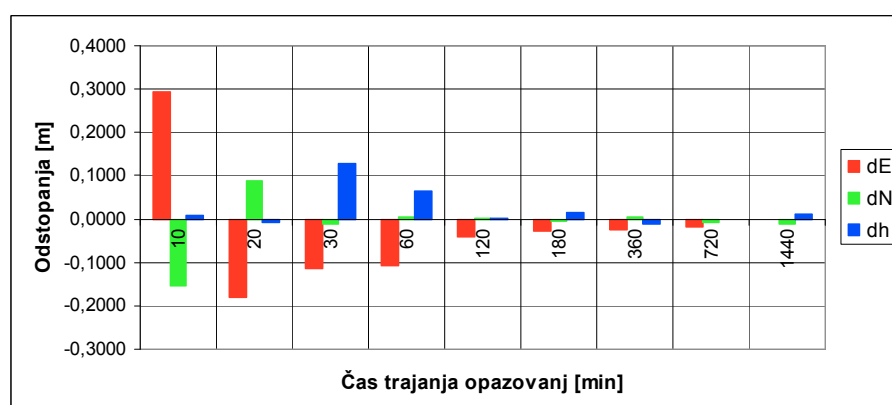
(a)





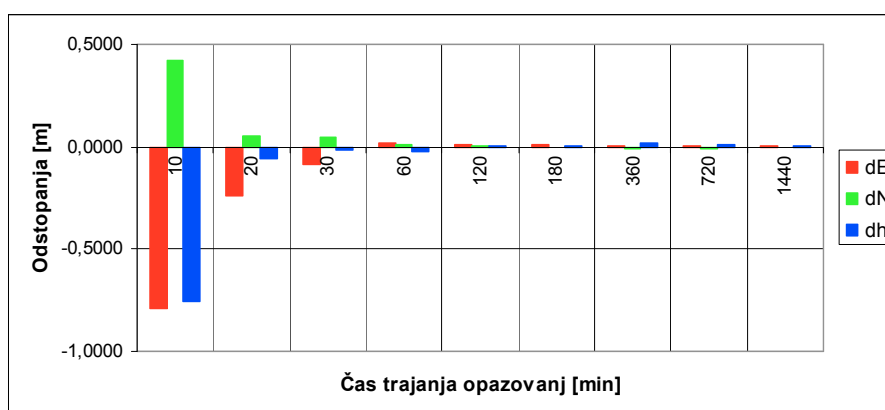
Slika 21: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z APPS, od danih vrednosti, obdelanih v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna

Spletna aplikacija GAPS je vrnila rezultat samo za kinematično metodo izračuna. Pri tej aplikaciji se odstopanja posameznih koordinatnih komponent obnašajo približno enako. Najmanjša so pri koordinati N, kjer izstopata le 10- in 20-minutni opazovanji (15,6 cm in 8,8 cm), pri ostalih pa je velikost odstopanj približno 1 cm. Zanimivo je tudi dejstvo, da je v povprečju najslabše določena koordinata E in ne višina h, kot je običajno. Pri koordinati E je povprečna vrednost odstopanj  $-2,56$  s standardno deviacijo 13,4 cm, pri N je srednja vrednost 1,0 cm, standardna deviacija 6,3 cm, pri višini h je srednja vrednost 2,3 cm, standardna deviacija pa 4,5 cm.



Slika 22: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z GAPS, od danih vrednosti

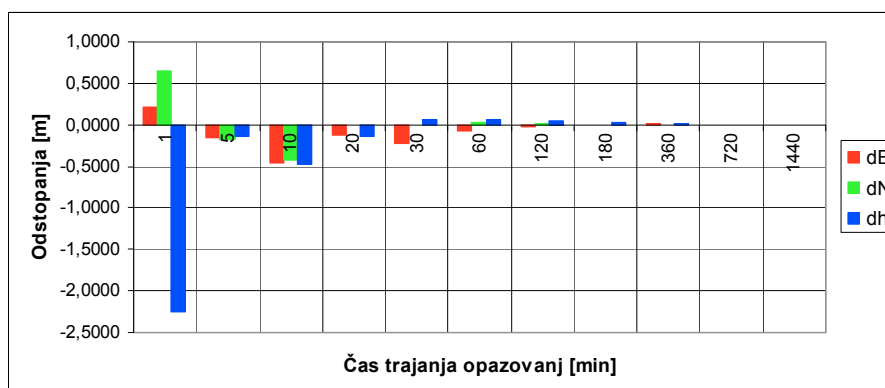
Aplikacija MagicGNSS omogoča obdelavo opazovanj samo s statično metodo. Rezultati obdelave so v splošnem zelo dobri. Za enominutna in petminutna opazovanja sicer ni vrnila rezultata, je pa izračunan položaj od 30-minutnih opazovanj dalje zelo blizu dane vrednosti. Najslabše je določen položaj z 10-minutnimi opazovanji, sicer pa je brez upoštevanja 10-minutnega opazovanja v povprečju odstopanje pri koordinati E  $-3,3$  cm s standardno deviacijo  $8,9$ m, pri N v povprečju  $1,1$  cm s standardno deviacijo  $2,4$  cm in pri višini h v povprečju  $0,7$  cm s standardnim odklonom  $2,5$  cm



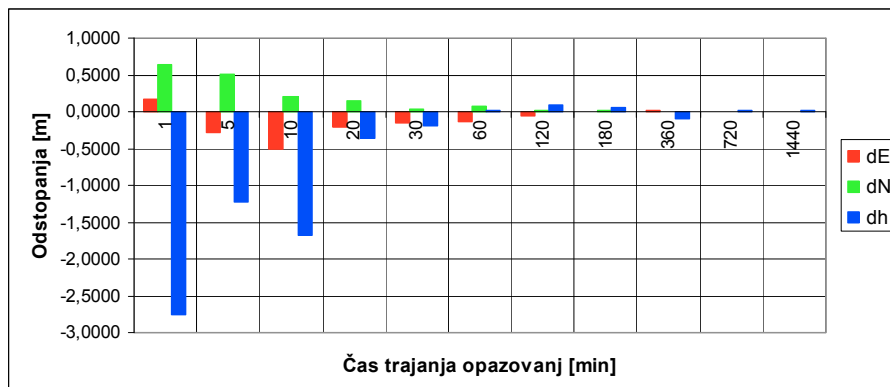
Slika 23: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z MagicGNSS, od danih vrednosti

Rezultate aplikacije CSRS-PPP in njihova odstopanja smo obravnavali že v poglavjih 4.4.1 in 4.4.2. Zato se v podrobnosti tukaj ne bomo spuščali, za ilustracijo pa dodajam dva grafa s prikazom odstopanj posameznih koordinat od danih vrednosti.

(a)



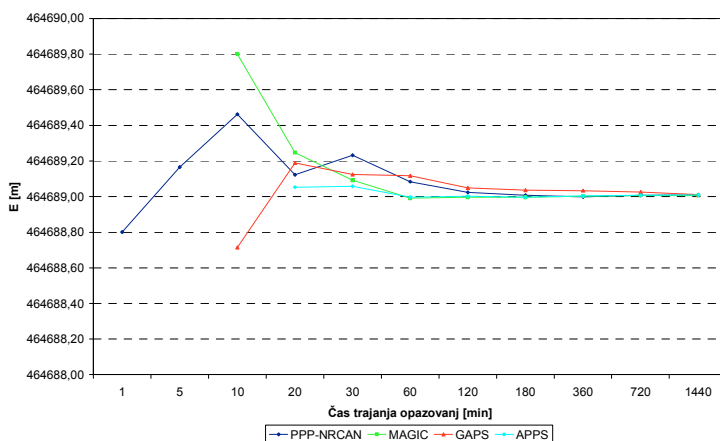
(b)

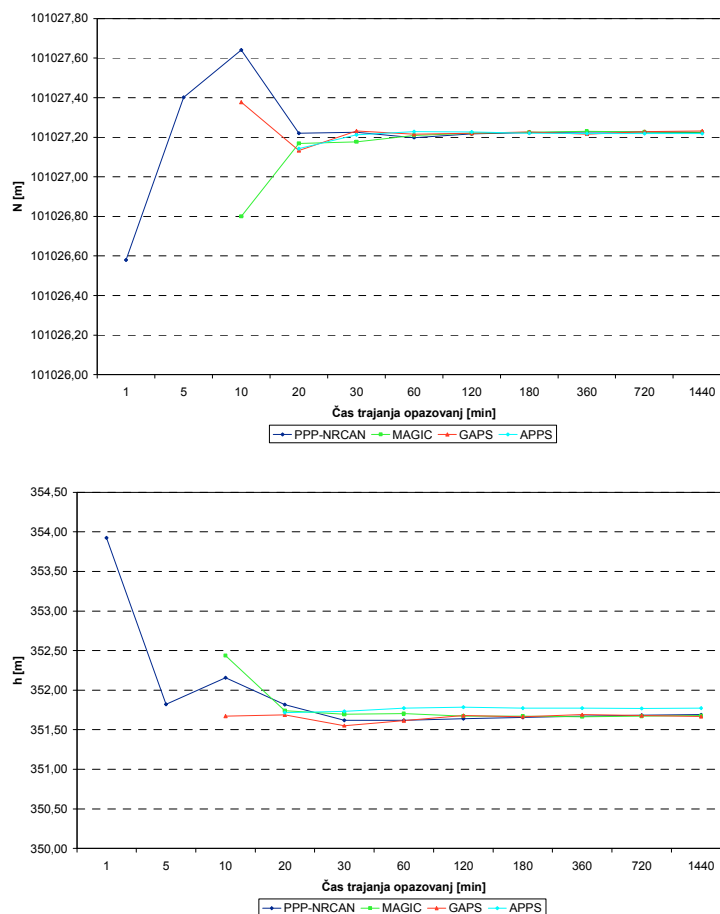


Slika 24: Prikaz odstopanja koordinat, dobljenih s CSRS-PPP, od danih vrednosti, obdelanih v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu

#### 4.4.3.2 Medsebojna primerjava koordinat, dobljenih z različnimi aplikacijami

Pri tej analizi smo ugotavljali, koliko se koordinate, dobljene s posameznimi spletnimi aplikacijami PPP razlikujejo med seboj. Splošno lahko rečemo, da razen pri višini od ostalih ponudnikov najbolj odstopajo rezultati aplikacije GAPS. Višinska komponenta pa se od vseh najbolj razlikuje pri aplikacij APPS. To se nazorno vidi tudi na sliki 25.





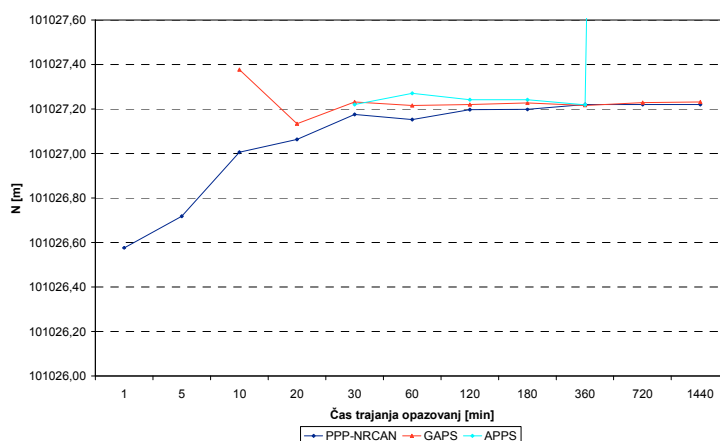
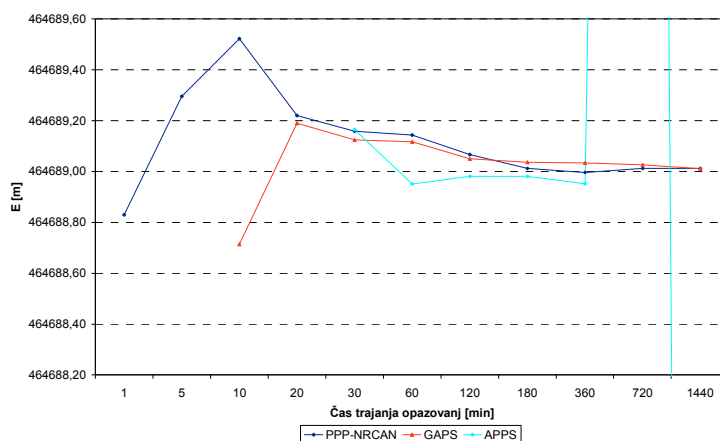
Slika 25: Prikaz odstopanj med koordinatami, dobljenimi s posameznimi aplikacijami, v statičnem načinu

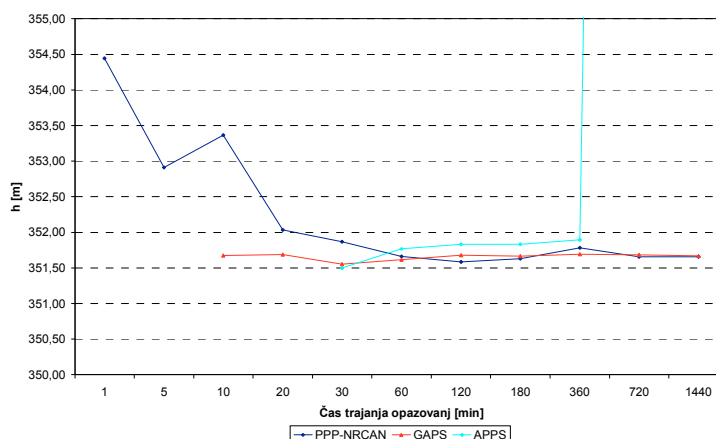
Pri koordinati E in višini h je bila največja razlika ugotovljena med rezultatom GAPS in MagicGNSS pri desetminutnem opazovanju, in sicer 108,6 cm za E in 76,5 cm za h. Pri koordinati N pa največje odstopanje znaša 84,1 cm, in sicer med rezultatom MagicGNSS in CSRS-PPP, prav tako pri 10-minutnem opazovanju. V povprečju so največja odstopanja značilna med rezultati GAPS in MagicGNSS. Tudi razpršenost odstopanj je tukaj največja, saj pri E znaša 37,6 cm, pri N 19,3 cm in pri h 25,0 cm. Najmanjša odstopanja opazimo med rezultati GAPS in APPS. Prav tako je v tem primeru njihova razpršenost najmanjša. Pri koordinati E je standardni odklon 4,8 cm, pri N 1,2 cm in pri višini h 4,6 cm.



Iz tega sledi, da najbolj enakovredne rezultate ne glede na dolžino opazovanj dajeta aplikaciji APPS in GAPS, najbolj pa se razhajajo s rezultati med GAPS in MagicGNSS. Ugotovimo lahko tudi, da so odstopanja v povprečju najmanjša pri koordinati N, največja pa niso pri višini, kot je običajno, ampak pri koordinati E.

Prejšnje navedbe veljajo za statično metodo izračuna. Podobno velja tudi za kinematično metodo, saj je spet pri vseh koordinatah v povprečju odstopanje najmanjše med rezultati GAPS in APPS. Seveda moramo izvzeti nerealne rezultate pri 12- in 24-urnih opazovanjih. Največja odstopanja v vseh koordinatnih komponentah pa smo opazili med rezultati GAPS in CSRS-PPP, kjer je pri E razlika 80,8 cm, pri N  $-37,1$  cm in pri višini  $h$  169,4 cm.





Slika 26: Prikaz odstopanj med koordinatami, dobljenimi s posameznimi aplikacijami, v kinematičnem načinu

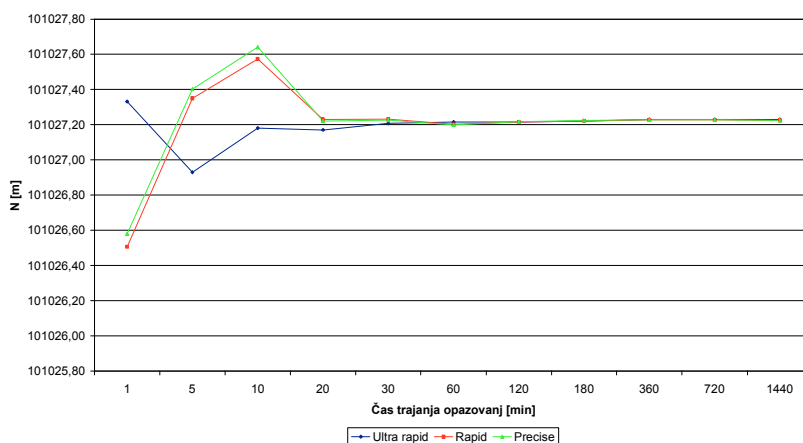
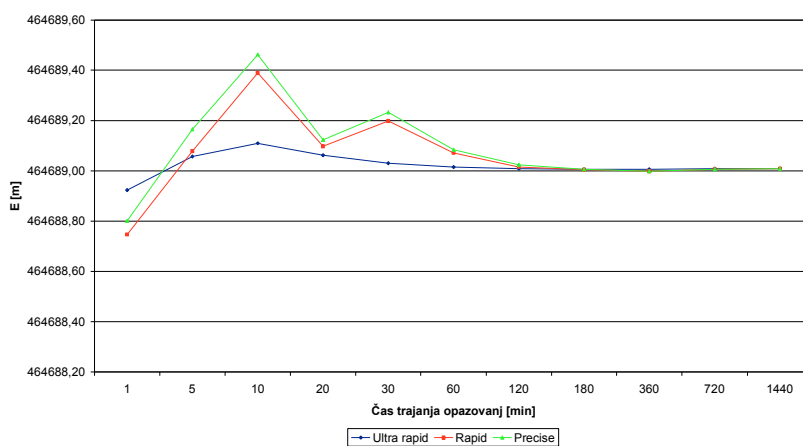
V splošnem lahko rečemo, da med rezultati posameznih spletnih aplikacij PPP ni večjih razlik. Kot smo lahko pričakovali, so odstopanja nekoliko bolj očitna le pri opazovanjih, krajših od dveh ur. Z daljšanjem časa opazovanj se tudi razlike minimalizirajo na nekaj milimetrov. Le pri višinski komponenti rezultatov aplikacije APPS je v primerjavi z ostalimi zaznati nekoliko večja odstopanja. Ker so odstopanja približno enakih vrednosti pri vseh dolžinah opazovanj, je vzrok večjih odstopanj verjetno nekje v samem algoritmu, ki ga APPS uporablja za izračun višine. Morda so upoštewane druge vrednosti zamikov faznega centra sprejemnikove antene ali pa je izbrano drugo višinsko izhodišče. Ne smemo pozabiti dejstva, da APPS vrne rezultat v ITRF05 koordinatnem sistemu, pri čemer za referenčni elipsoid ni izbran GRS-80, pač pa nek drug.

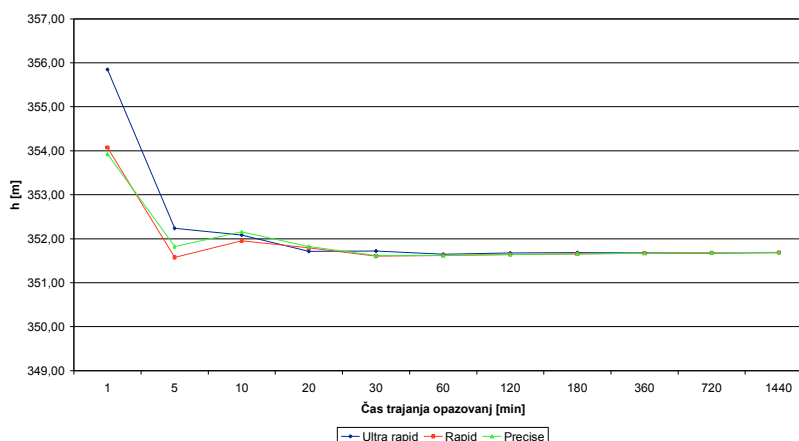
#### 4.4.4 Uporaba različnih tipov efemerid

Edina spletna aplikacija PPP, ki je vrnila rezultat tako z uporabo ultra hitrih kot tudi hitrih in preciznih efemerid, je bila CSRS-PPP organizacije NRCAN. Poglavitni razlog za to je, da ta organizacija sama pripravlja ultra hitre efemeride in jih tudi sama uporablja. So pa te efemeride, kot se je pozneje pokazalo, nekoliko slabše kakovosti od IGS-ovih hitrih in preciznih efemerid. Natančnost uporabljenih efemerid se neposredno odraža tudi v

natančnosti določitve položaja tako z metodo PPP kot tudi s klasičnimi metodami, kot na primer statično metodo.

Podrobneje bomo obravnavali samo rezultate, ki smo jih dobili s spletno aplikacijo CSRS-PPP. Razlike zelo nazorno prikazujejo spodnji grafi. Največje razlike so, kot je bilo pričakovati, med rezultati z upoštevanjem ultra hitrih efemerid nasproti ostalim. To velja tako za statičen kot kinematičen način izračuna. Med koordinatami, določenimi s hitrimi in preciznimi efemeridami ni velikih razlik, medtem ko koordinate, določene na osnovi ultra hitrih efemerid, od ostalih dveh odstopajo tudi za več kot en meter.

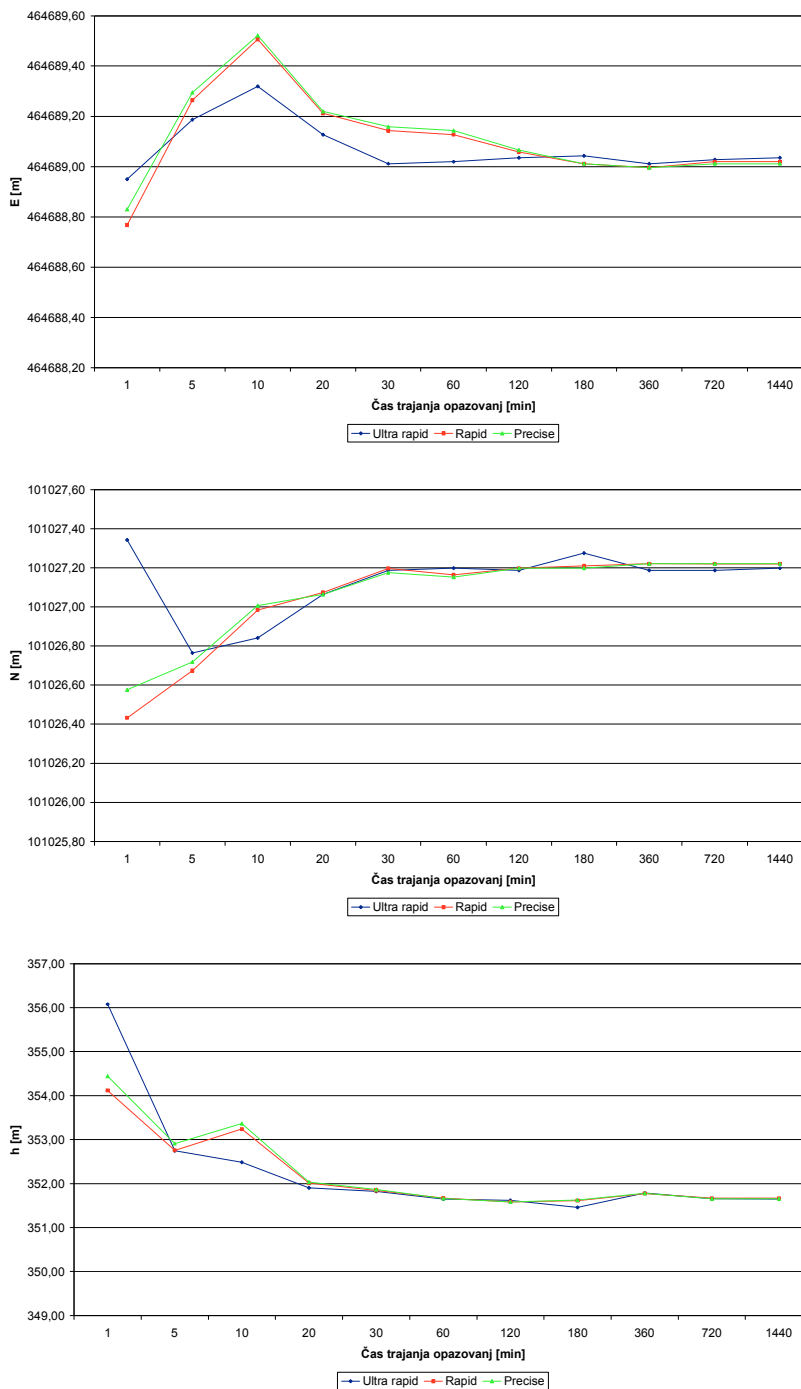




Slika 27: Prikaz odstopanj med koordinatami, dobljenimi z upoštevanjem različnih efemerid, v statičnem načinu

Pri statičnem načinu izračuna največje razlike med ultra hitrimi in hitrimi oziroma preciznimi efemeridami znašajo v koordinati E 17,7 cm, v koordinati N 82,6 cm in pri višini h 192,2 cm. Pri kinematični metodi pa v koordinati E 18,3 cm, v koordinati N 91,0 cm in pri višini h 195,9 cm. Po pričakovanjih so v povprečju največje razlike nastale med koordinatami z upoštevanjem ultra hitrih in preciznih efemerid.

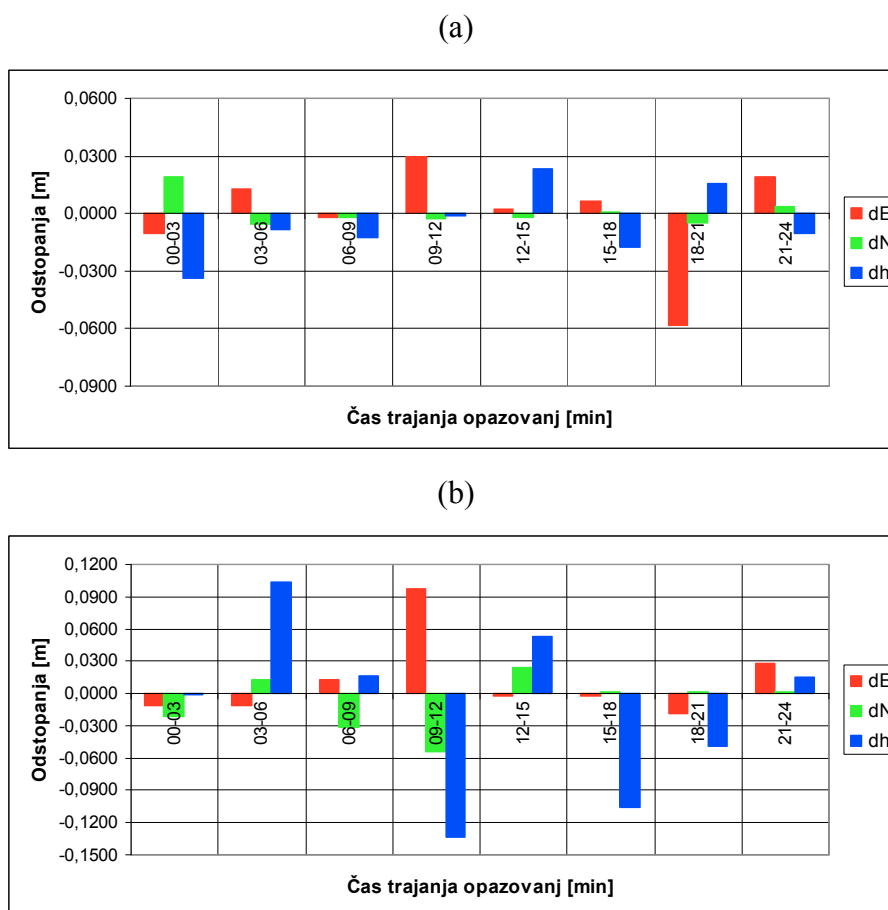
Podobno je pri kinematičnem načinu, le da so v povprečju odstopanja največja med ultra hitrimi in hitrimi efemeridami. V splošnem pa so odstopanja pri kinematičnem načinu precej večja od tistih pri statičnem, tudi pri daljših opazovanjih. Ugotovimo lahko, da so pri daljših opazovanjih pri statičnem načinu odstopanja reda velikosti nekaj milimetrov, pri kinematičnem pa reda velikosti nekaj centimetrov. Kljub tem ugotovitvam pa v splošnem lahko rečemo, da so vsi rezultati, ne glede na upoštewane efemeride, zadovoljivi in povsem uporabni tudi v vsakdanji praksi. Edini pogoj, ki ga je treba upoštevati, je spet dolžina trajanja opazovanj. Torej če imamo na razpolago dovolj dolge meritve, lahko s spletno aplikacijo CSRS-PPP pridobimo položaj, ki bo v okvirih potrebne geodetske natančnosti, to je nekaj milimetrov, še isti dan, le nekaj ur po opravljenih meritvah. To pa zna biti v praksi še kako uporabno.



Slika 28: Prikaz odstopanj med koordinatami, dobljenimi z upoštevanjem različnih efemerid, v kinematičnem načinu

#### 4.4.5 Različna razporeditev satelitov

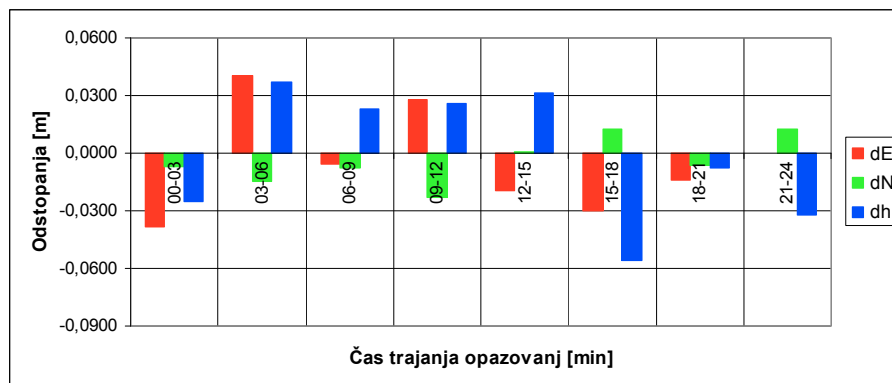
Pri analizi vpliva različne razporeditve satelitov na rezultat smo tvorili razlike med dobljenimi in danimi koordinatami. Nato smo ugotavljali, v katerem časovnem obdobju so se izračunane koordinate najbolj približale danim. V poročilu aplikacije CSRS-PPP smo preverili tudi število satelitov v posameznih časovnih obdobjih. Sicer smo obravnavali rezultate vseh štirih aplikacij PPP. Pri vseh opazovanjih je bilo vidnih 13 ali 14 satelitov. Pri triurnih opazovanjih razporeditev satelitov ne sme vplivati na končni rezultat. Kljub temu pa so koordinate, izračunane v različnih časovnih obdobjih, precej nehomogene. Razloge za to bomo skušali dobiti z analizo rezultatov posameznih spletnih aplikacij.



Slika 29: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih s CSRS-PPP ob upoštevanju različne razporeditve satelitov, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna

Pri CSRS-PPP se prikazani parametri v kratkem poročilu (časoven potek izračuna koordinat, troposferske refrakcije, popravkov sprejemnikovih ur ...) med obdelanimi opazovanji močno razlikujejo, precej bolj kot pri spreminjanju dolžine trajanja opazovanj ali intervala registracije, kjer so se vsa opazovanja začela v istem trenutku. Predvidevamo lahko, da je končni rezultat odvisen tudi od tega, s kolikšno natančnostjo je aplikacija v samem začetku zmožna določiti potrebne količine za izračun položaja. Pri CSRS se lepo vidi različen potek izračuna položaja do končne vrednosti. Kjer so v prvih 30 minutah dosežena približno enakomerna odstopanja v posameznih koordinatah, se rezultati precej bolj približajo dani vrednosti kot sicer.

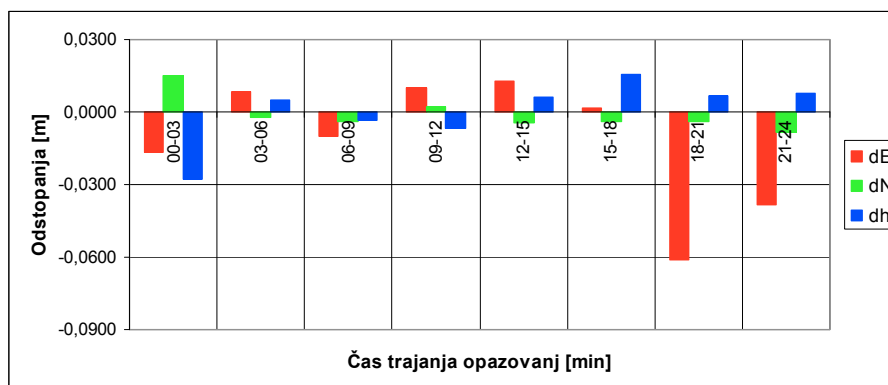
Za CSRS-PPP so najmanjša odstopanja pri statičnem načinu značilna za opazovanja med 6:00 in 9:00 ter 12:00 in 15:00 uro, pri kinematičnem načinu pa med 0:00 in 3:00 ter 21:00 in 24:00. V povprečju so največje razlike pri višinski komponenti, najmanjše pa pri koordinati N. Absolutno največjo razliko pa najdemo pri opazovanjih med 18:00 in 21:00 uro pri koordinati E (5,8 cm).



Slika 30: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z GAPS ob upoštevanju različne razporeditve satelitov, od danih vrednosti

Pri aplikaciji GAPS imamo podobno kot pri CSRS-PPP na razpolago grafičen prikaz poteka izračuna položaja, s pomočjo katerega lahko ugotavljamo zakaj prihaja do takšnih razlik v rezultatih. Najmanjša odstopanja pa so pri GAPS tam, kjer so pri CSRS-PPP največja, torej

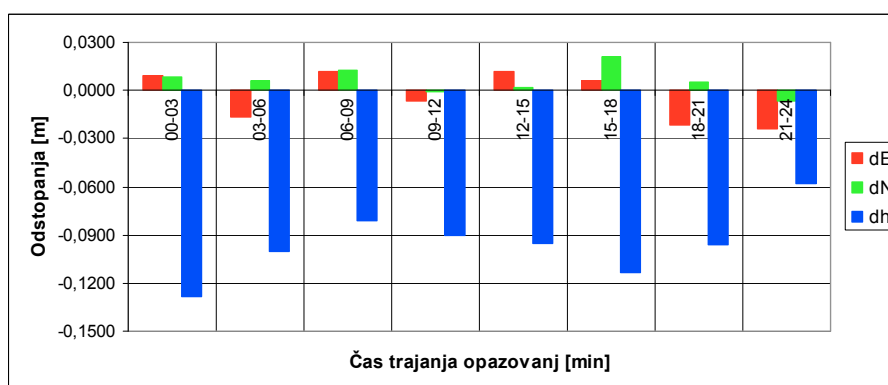
med 18:00 in 19:00 uro. V povprečju so največje razlike pri višinah, takoj za njimi so pri koordinanti E, bistveno manjše pa so značilne za koordinato N.



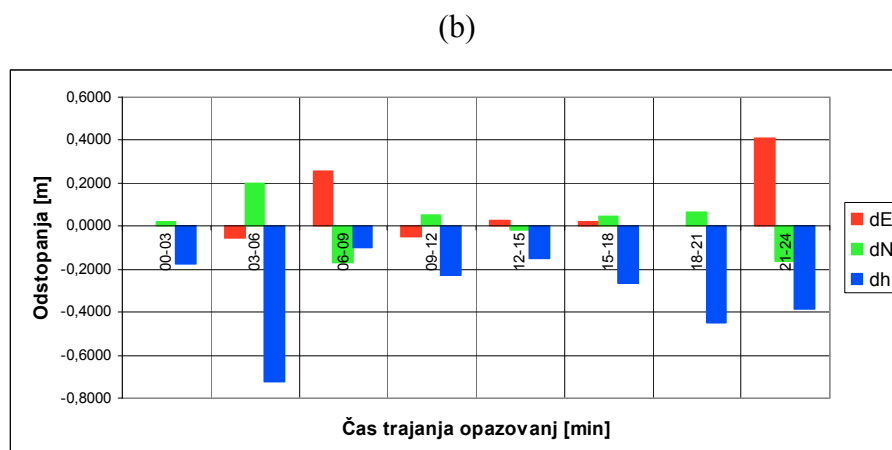
Slika 31: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z MagicGNSS ob upoštevanju različne razporeditve satelitov, od danih vrednosti

Pri MagicGNSS so glede na rezultate ostalih aplikacij prisotna najmanjša odstopanja, saj zelo redko presežejo vrednost 2 cm. V resnici je samo dvakrat odstopanje večje od 3 centimetrov, in sicer pri koordinati E pri opazovanjih med 18:00 in 21:00 ter med 21:00 in 24:00 uro. Glede na prejšnji dve aplikaciji so pri MagicGNSS rezultati precej bolj homogeni.

(a)







Slika 32: Prikaz odstopanj koordinat, dobljenih z APPS ob upoštevanju različne razporeditve satelitov, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna

Aplikacija APPS je, podobno kot MagicGNSS, dala rezultat, pri katerem so odstopanja precej manj razpršena kot pri aplikacijah CSRS-PPP in GAPS. Izjema je seveda višinska komponenta, ki pa, kot vemo, pri APPS ni povsem relevantna. Ostala odstopanja so majhna, nikoli večja od 3 cm. To seveda velja za statičen način izračuna. Pravo nasprotje temu pa so rezultati kinematične obravnave opazovanj, kjer so odstopanja zelo nehomogena, saj zajemajo vrednosti od nekaj milimetrov do več kot 70 cm.

Zanimivo je dejstvo, da iz opazovanj, ki so enako dolga, vendar iz drugih časovnih obdobj, dobimo tako različne rezultate. To je v praksi še kako potrebno upoštevati, saj je potemtakem zelo pomembno, v katerem časovnem obdobju opravimo meritve. Verjetno pa se za daljša opazovanja od treh ur ta odstopanja toliko zmanjšajo, da na koncu ni več važno, v katerem obdobju so opravljene meritve.

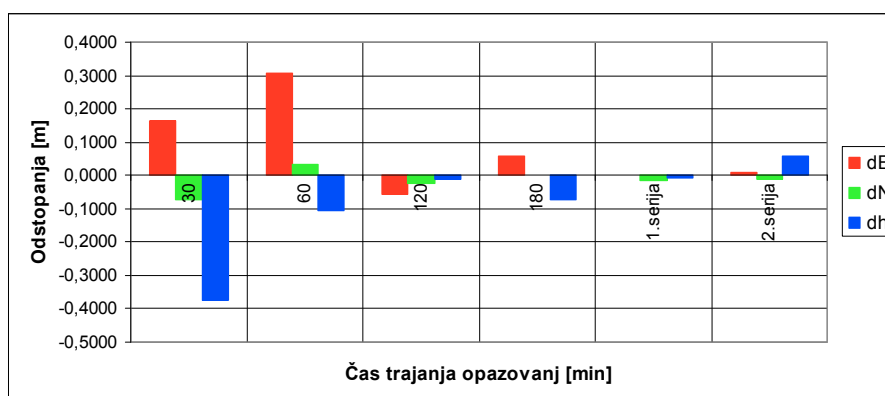
#### 4.5 Analiza rezultatov obdelave opazovanj s točk 1000 in 2000

V obravnavo so vključena samo statična opazovanja na točkah 1000 in 2000. Tako bodo na prvi pogled obravnavane samo razlike koordinat med klasično statično metodo izmere in PPP. Ker pri metodi RTK pridobimo rezultat v realnem času, pri PPP pa šele z naknadno obdelavo,

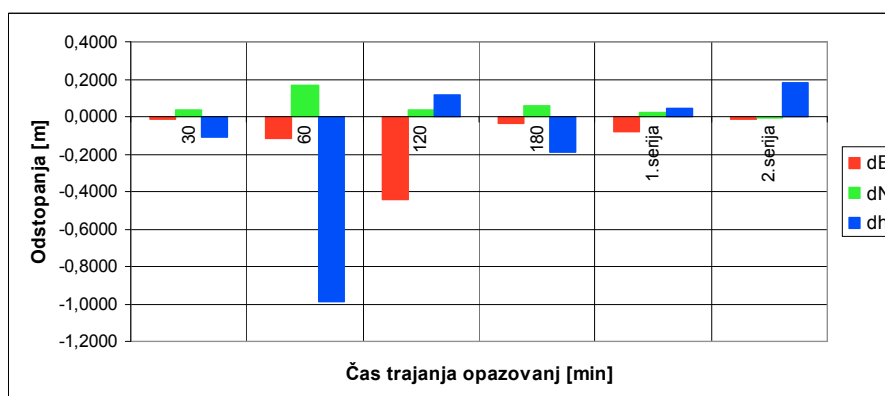
koordinate niso neposredno primerljive. Primerjati jih je možno le na osnovi odstopanj od rezultatov statične metode. Tako je ugotavljanje odstopanj med RTK in metodo PPP na nek način identično tvorjenju razlik med rezultati statične metode in RTK metode izmere. Z drugimi besedami, če poznamo odstopanja med rezultati PPP in statične metode, lahko posredno ugotovimo tudi razlike med rezultati RTK in PPP, enako kot smo primerjali RTK in klasično statično metodo izmere.

Analizo začnemo pri CSRS-PPP. Ta aplikacija je podala zelo dobre rezultate. Od triurnih opazovanj dalje so odstopanja, razen pri višini, manjša od dveh centimetrov. Pri točki 1000 so sicer nekoliko večja kot pri 2000, vendar pa razlike niso toliko očitne. To velja za statičen način izračuna, medtem ko pri kinematičnem načinu nismo pridobili kvalitetnih rezultatov. Odstopanja se pri obeh točkah v večji meri sučejo okoli 10 cm. Te koordinate ne zadostujejo kriteriju visoke natančnosti. Pri statiki pa se, tako kot v predhodnih analizah, kažejo rezultati, ki so že popolnoma primerljivi s centimetrsko natančnostjo.

(a)



(b)

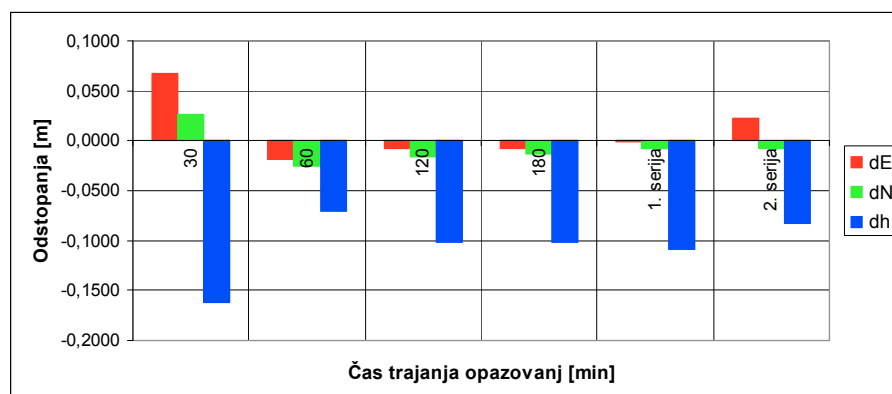


Slika 33: Prikaz odstopanj koordinat točke 1000, dobljenih s CSRS-PPP, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna

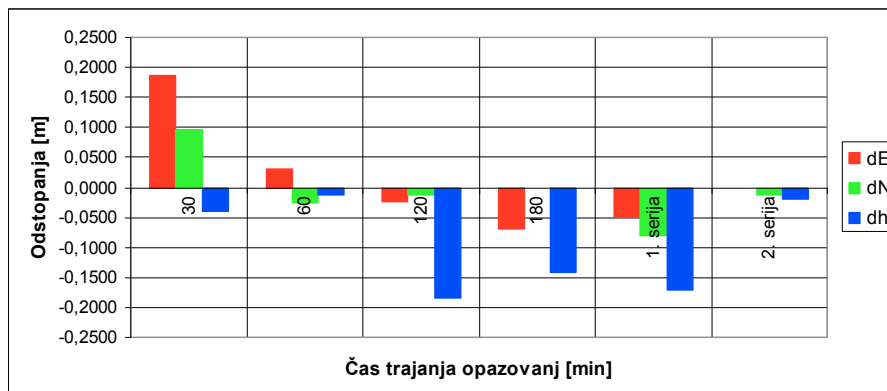
V povprečju so najmanjša odstopanja značilna za koordinato N (do 7,1 cm za statično metodo in do 16,9 cm za kinematično metodo), največja pa spet za višino h (do –37,4 cm za statično metodo in do 98,8 cm za kinematično metodo). Največje odstopanje v absolutnem smislu (98,8 cm) je bilo ugotovljeno pri višinski komponenti enournega opazovanja na točki 1000. V tem primeru je verjetno v procesu obdelave opazovanj prišlo do neke grobe napake, saj nikjer drugje ni zaznati tolikšnega odstopanja.

Na tem mestu moramo opozoriti še na nekaj. Verjetno se že na daleč opazijo nekoliko večja odstopanja pri višinah na točki 2000 (slika 34). Ta odstopanja so nastala zaradi neznanega tipa sprejemnikove antene. Namreč, aplikacije PPP niso prepoznale tipa antene (LEIATX900GG), zapisane v datoteki RINEX točke 2000. Tako se pri izračunu položaja točk ni upošteval zamik faznega centra glede na referenčno točko antene. Ta zamik najbolj vpliva na kvaliteto določitve višine opazovane točke. Če bi upoštevali isti zamik faznega centra, kot je značilen za anteno z oznako LEIATX1230+GNSS (to je 9,2 cm), ki je bila uporabljena na točki 1000, bi dobili popolnoma primerljive rezultate. Vendar pa je vprašljiva relevantnost omenjenih rezultatov, saj je za natančno določitev položaja potrebo poznati kalibrirane vrednosti zamikov faznega centra antene, ki veljajo le za točno določen tip antene.

(a)

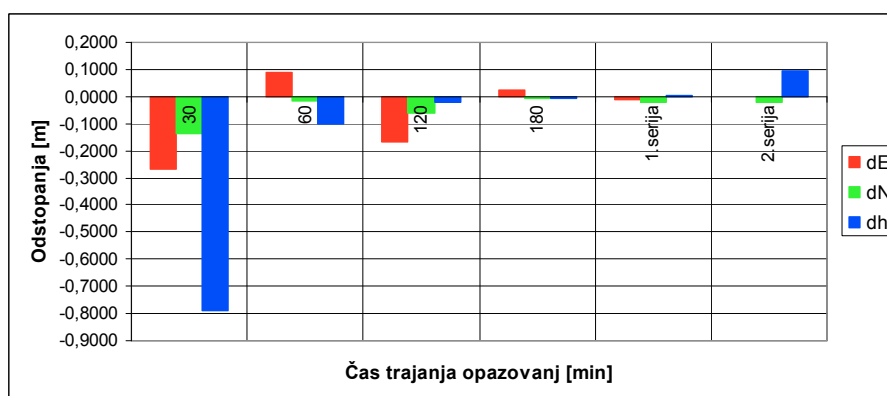


(b)

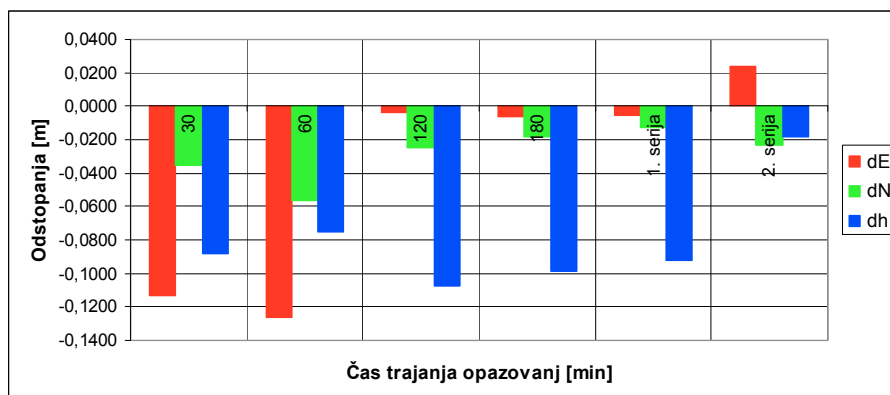


Slika 34: Prikaz odstopanj koordinat točke 2000, dobljenih s CSRS-PPP, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna

Poleg CSRS-PPP je na obeh točkah vrnila rezultat samo še aplikacija GAPS, in sicer v statičnem načinu izračuna. Rezultati so precej podobni kot pri CSRS-PPP. Največja odstopanja so v povprečju pri višinski komponenti, najmanjša pa pri koordinati N. Maksimalno odstopanje je prisotno pri 30-minutnem opazovanju na točki 1000 v višinski komponenti, in sicer 78,7 cm. Tudi sicer so odstopanja v primerjavi s točko 2000 nekaj večja kot za točko pri 1000. To je verjetno posledica boljših pogojev med opravljanjem meritev GNSS na točki 2000. Rezultati obdelave opazovanj, daljših od treh ur, odstopajo od dane vrednosti največ 2,4 cm (pri višini ponekod sicer malo več), kar pomeni, da so že primerna za uporabo v praksi.



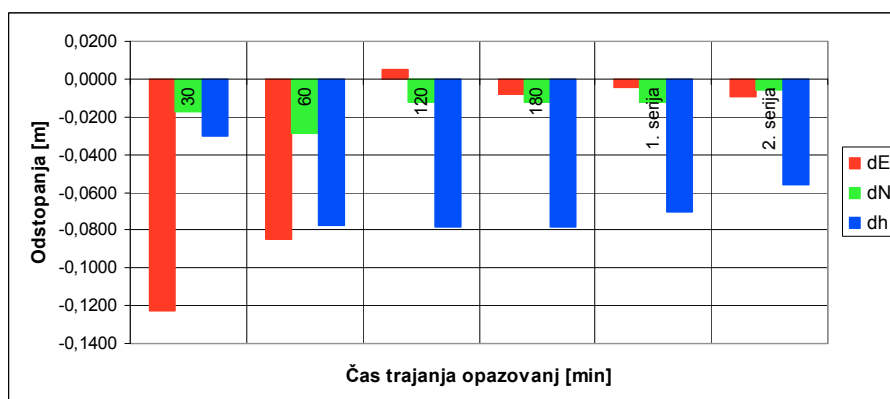
Slika 35: Prikaz odstopanj koordinat točke 1000, dobljenih z GAPS, od danih vrednosti

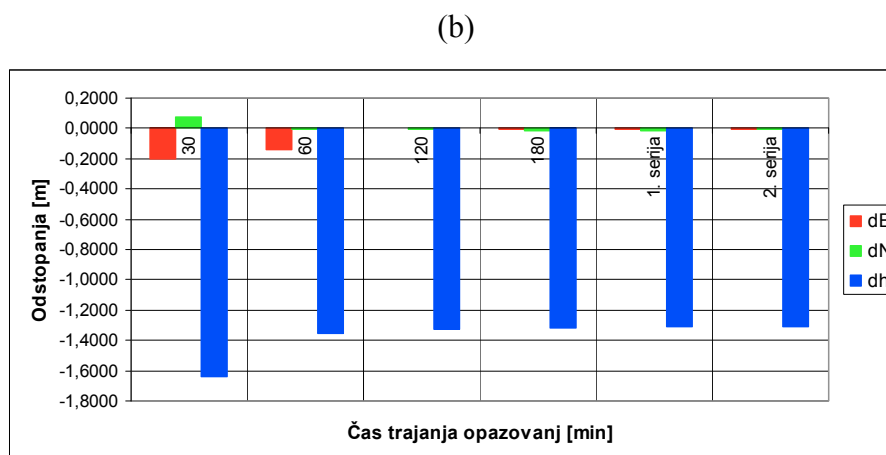


Slika 36: Odstopanja koordinat točke 2000, dobljenih z GAPS, od danih vrednosti

Na točki 2000 smo pridobili rezultate tudi od aplikacije APPS, in sicer v statičnem in kinematičnem načinu izračuna. Rezultati so presenetljivo dobri, lahko bi rekli, da celo boljši od GAPS in CSRS-PPP. Razen pri višini in dvakrat pri koordinati E vrednosti odstopanj ne presežejo 3 cm. V splošnem so odstopanja blizu enega centimetra, v veliko primerih celo manj. Zanimivo je dejstvo, da so tudi pri kinematičnem načinu izračuna razlike med dano in izračunano vrednostjo zanemarljivo majhne. Edino pri višinski komponenti je moralo v procesu obdelave opazovanj priti do neke grobe napake, saj se višine od danih vrednosti razlikujejo celo za 1,30 m.

(a)





Slika 37: Prikaz odstopanj koordinat točke 2000, dobljenih z APPS, od danih vrednosti v statičnem (a) in kinematičnem (b) načinu izračuna

Rezultati obdelave terenskih meritev z metodo PPP ob uporabi različnih spletnih aplikacij so se izkazali kot popolnoma primerljivi in uporabni tudi v praksi. Edini pogoj so dovolj dolga opazovanja, glede na ugotovitve morajo biti vsaj triurna. Daljša kot je meritev, večja je verjetnost, da bo izračunan položaj točen, natančnost določitve položaja pa v skladu z geodetsko natančnostjo.

#### 4.6 Primerjava rezultatov PPP s statično in izmero RTK

Preden lahko sploh primerjamo rezultate statične in metode PPP moramo dobljene koordinate transformirati v državni koordinatni sistem (ETRS89). Pri tem smo uporabili transformacijo, ki je opisana v poglavju 3.5.1. Transformacijski parametri so določeni zelo dobro. Standardni odklon, izračunan iz odstopanj, znaša samo 6 mm. To pomeni, da sama transformacija ni vplivala na rezultat metode PPP.

Samo primerjavo metod smo opravili že med analizo rezultatov. Na tem mestu bomo zato povzeli le nekaj glavnih ugotovitev. Kot prvo lahko rečemo, da so z metodo PPP dobljeni rezultati primerljivi le z rezultati statične izmere. Primerjave z metodo RTK niti ni smiselno delati, saj je proces določitve položaja pri obeh metodah zelo različen. Pri PPP potrebujemo večurna opazovanja, medtem ko z RTK določimo položaj že v nekaj sekundah. Glede obsega

podatkov je metoda PPP torej bolj primerljiva s statično metodo, čeprav je izračun položaja pri obeh metodah popolnoma drugačen.

Pri PPP je zelo pomembna dolžina trajanja opazovanj. Spet se je pokazalo, da so šele opazovanja, daljša od 3 ur, dala rezultat blizu prave vrednosti. Pri krajših opazovanjih so ponekod odstopanja drastično poskočila, tudi do skoraj enega metra. Najslabše je, tako kot je v splošnem značilno za GNSS izmero, določena višina točke. Ostali dve koordinatni komponenti sta določeni s približno enako natančnostjo, morda je nekoliko boljše določena koordinata N.

Glede na opravljeno analizo lahko rečemo, da se metoda PPP zelo dobro obnese. Določitev položaja s PPP pomeni alternativo statični metodi določanja koordinat. Pri določevanju koordinat točk geodetske mreže bi jo lahko uporabili namesto klasične statične metode izmere. Na osnovi tako določenih koordinat točk, seveda transformiranih v državni koordinatni sistem in ob upoštevanju ploskve geoida, bi lahko izvajali detajlno izmero za potrebe katastra ali inženirske geodezije.

## 5 ZAKLJUČEK

Analizo metod GNSS izmere smo uspešno zaključili. V okviru analize smo nanizali kar veliko ugotovitev. Največ je bilo govora o posebnostih in razlikah koordinat točk, določenih z različnimi metodami. Vendar pa na koncu lahko ugotovimo, da z vsemi obravnavanimi metodami, seveda ob upoštevanju določenih pravil, pridobimo zelo podobne rezultate, ki se največkrat ne razlikujejo za več kot nekaj centimetrov.

Koordinate točk 1000, 2000 in FGG3, pridobljene s statično izmero, se med seboj razlikujejo samo za nekaj milimetrov. Izbira efemerid (oddane, hitre in precizne) in načina izračuna koordinat (izravnava baznih vektorjev, neposreden izračun) na same koordinate ni imelo veliko vpliva. Tudi z metodo RTK pridobljene koordinate točk 1000 in 2000 se v večji meri zelo malo razlikujejo, ne glede na to, ali smo upoštevali samo satelite GPS ali tudi GLONASS, ali so opazovanja trajala samo nekaj sekund ali celih 10 minut, ter ali smo uporabili navezavo na permanentno postajo ali na VRS. V vseh primerih, razen v redkih slučajih, kjer so bili ugotovljeni grobi pogreški, so dobljene koordinate povsem skladne s pričakovanji. Podobno lahko rečemo tudi za razlike med statičnimi in RTK koordinatami.

Ampak vse to nam je dobro znano že od prej, saj so bile relativne metode GNSS izmere v preteklosti že velikokrat obravnavane. Zakaj je bila potem ta analiza sploh potrebna? Za to seveda obstajata najmanj dva razloga. Prvič, pri meritvah na terenu se srečujemo z najrazličnejšimi situacijami, ki jih moramo reševati hitro in kvalitetno. Velikokrat se odločamo za precej radikalne rešitve, saj smo ali odvisni od časovnih rokov ali pa naročnik geodetske storitve ne želi imeti dodatnih stroškov zaradi povečanja obsega dela. Vse to gre na račun slabše natančnosti dobljenih koordinat. Zato torej tako obsežna analiza metode RTK, saj smo želeli pokazati, da je v še tako drastičnih pogojih mogoče dobiti zadovoljiv rezultat. Seveda nadštevilčnost opazovanj nikoli ni odveč.

Na račun tega se tudi statična metoda v vsakdanji praksi morda uporablja redkeje. Pa še precej bolj zamudna je od metode RTK. Najprej moramo na posamezni točki opraviti meritve dolžine najmanj 20 minut, potem pa je opazovanja potrebno obdelati z drago programsko opremo. Ob vsem tem moramo v obdelavo vključiti opazovanja z vsaj še ene znane točke. Če



želimo dobiti res dober rezultat, je potrebno čakati vsaj 14 dni, da so na voljo končne precizne efemeride, ki zagotavljajo visoko natančnost izračunanih koordinat.

Drugi razlog za analizo relativnih metod izmere je v tem, da smo želeli primerjati koordinate z rezultati metode Precise Point Positioning. Ta metoda naj bi v določenih primerih celo nadomestila RTK in statično metodo. Seveda se postavlja vprašanje, kdaj bi bila ta metoda sploh uporabna v splošni geodetski praksi. Torej, kako in na kakšen način bi jo lahko uporabili na primer pri katastrski izmeri in v inženirski geodeziji (detajlna izmera, zakoličba). Običajno se pri teh nalogah geodezije poslužujemo metode izmere RTK, pri kateri dobimo rezultate izmere že takoj na terenu. Ker omrežje SIGNAL in omrežje Mobitel zelo dobro pokrivata celotno slovensko ozemlje, metoda RTK odpove zelo redko. Poleg tega je za uporabo najpreprostejša metoda izmere GNSS, čeprav v ozadju obdelave opazovanj potekajo zelo zapleteni procesi.

Glavna prednost metode PPP je v tem, da je popolnoma neodvisna od omrežja permanentnih postaj in mobilnega operaterja. Oddaljenost od permanentne postaje ne pomeni več nobene ovire, prenosa podatkov med permanentno postajo in roverjem ni. Druga prednost je v tem, da so spletne storitve PPP zaenkrat še brezplačne, poleg tega pa za obdelavo opazovanj ne potrebujemo drage programske opreme. V tem pogledu ima metoda PPP vsaj v primerjavi s statično metodo veliko prednost, saj danes vse stremi k čim manjšim stroškom. Tudi pri metodi RTK izmere nastanejo določeni izdatki, to so stroški prenosa podatkov in stroški omrežja permanentnih postaj. Najverjetneje bodo ti stroški iz leta v leto naraščali. Tukaj pa se lahko pojavi paradoks. Namreč, edina večja slabost metode PPP je v tem, da moramo opazovanja za doseg visoke natančnosti izvajati najmanj 3 ure. Odločitev, ali izbrati cenejšo metodo PPP ali pa hitrejšo RTK, bo postala vsakdanji problem.

Zavedati se moramo, da imajo take pogoje za izvajanje RTK izmere, kot jih imamo v Sloveniji, kjer jo je možno izvajati praktično po vsej državi, le redkokje na svetu. Zato bo v Sloveniji RTK še vedno ostala najbolj razširjena metoda izmere GNSS. Metoda PPP pa se bo verjetno še naprej razvijala in uporabljala v senci relativnih metod.

## VIRI

### Uporabljeni viri:

APPS. 2010. Automatic Precise Positioning Service. NASA, Jet Propulsion Laboratory.  
<http://apps.gdgps.net/> (28. 1. 2010)

Bisnath, S. B., Gao, Y. 2009. Innovation: Precise Point Positioning. GPS World, Algorithms and Methods.  
<http://www.gpsworld.com/gnss-system/algorithms-methods/innovation-precise-point-positioning-7040> (30. 8. 2009)

Boucher, C., Altamimi, Z. 2008. Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Paris, Observatoire de Paris: 9 str.

GAPS. 2010. GPS Analysis And Positioning Software. University of New Brunswick, Geodesy and Geomatics Engineering.  
<http://gaps.gge.unb.ca/ppp/FAQ.txt> (28.1.2010)

GPS. 2010. Informacije o sistemu GPS.  
<http://www.kowoma.de/en/gps/index.htm> (28.1.2010)

King, M., Edwards, S., Clarke, P. 2002. Precise Point Positioning: Breaking the Monopoly of Relative GPS Processing. Engineering Surveying Showcase.  
[ftp://stella.ncl.ac.uk/pub/matt/papers/PPP\\_vs\\_Relative\\_EngShowcase.pdf](ftp://stella.ncl.ac.uk/pub/matt/papers/PPP_vs_Relative_EngShowcase.pdf) (30.8.2009)

Konečnik, J. 2008. Integracija sistemov GPS in GLONASS v geodetski izmeri. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 122 str.

MagicGNSS. 2010. Navodila za uporabo spletne aplikacije MagicGNSS.  
<http://magicgnss.gmv.com/ppp/> (28. 1. 2010)

CSRS. 2009. On-Line Precise Point Positioning 'How To Use' Document. 2004. Ottawa, National Resources Canada: 24 str.

<http://www.geod.nrcan.gc.ca/userguide/pdf/howtouse.pdf> (22. 8. 2009)

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.

Stopar, B. Kogoj, D. 2005. Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke: Geodetska izmera. Ljubljana, Geodetski inštitut: str. 22, 23, 24.

Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M. 2009. Osnovni geodetski sistem: str. 7, 8.

[http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni\\_izpiti/msgeo/Osnovni\\_geodetski\\_sistem\\_2009.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/Osnovni_geodetski_sistem_2009.pdf) (28. 1. 2010)

Witchayangkoon, B. 2000. Elements of GPS Precise Point Positioning. Doktorska disertacija. Orono, Maine (ZDA), The University Of Maine, The Graduate School: str. 11-99.

Yang, G., Chen, K. 2004. Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-Time Orbit and Clock Products. Journal of Global Positioning System. 3, 1-2: 95-100.

Yang, G. 2006. Precise Point Positioning and Its Challenges, Aided-GNSS and Signal Tracking: What is precise point positioning (PPP) and what are its requirements, advantages and challenges.

<http://www.insidegnss.com/auto/NovDec06GNSSolutions.pdf> (30. 8. 2009)

### **Ostali viri:**

GLONASS. 2009. Stanje GLONASS satelitov.

<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:1200169092638667370::NO>  
(12.4.2009)

GPS. 2009a. Stanje GPS satelitov.

<http://www.navcen.uscg.gov/navinfo/Gps/ActiveNanu.aspx> (12.4.2009)

GPS. 2009b. Navstar GPS sateliti in razdelitev v generacije.

[http://space.skyrocket.de/index\\_frame.htm?http://www.skyrocket.de/space/doc\\_sdat/navstar-2rm.htm](http://space.skyrocket.de/index_frame.htm?http://www.skyrocket.de/space/doc_sdat/navstar-2rm.htm) (12.4.2009)

IGS. 2010. International GNSS Service.

<http://igsceb.jpl.nasa.gov/> (28. 1. 2010)

ITRF. 2010. International Terrestrial Reference Frame.

<http://itrf.ensg.ign.fr/> (28. 1. 2010)

Koler – Povh, T. 2005. Navodila za oblikovanje zaključnih izdelkov študijev na FGG in navajanje virov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in Geodezijo: 24 str.

NRCan. 2010. Podatki o delovanju aplikacije CSRS-PPP.

[http://www.geod.nrcan.gc.ca/online\\_data\\_e.php](http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php) (28. 1. 2010)

PPP. 2010. The Precise Point Positioning Software Centre.

<http://gge.unb.ca/Resources/PPP/Purpose.html> (28. 1. 2010)

SIGNAL. 2010. Omrežje SIGNAL, Služba za GPS.

<http://www.gu-signal.si/> (30. 8. 2009)

## PRILOGA A: Rezultati RTK izmere na točki 1000 in 2000

Točka 1000	1. serija			2. serija			3. serija			
	E	N	h	E	N	h	E	N	h	
PP GPS	5 sek	437359,6437	108852,2381	442,6975	437359,6413	108852,2293	442,6877	437359,6480	108852,2478	442,6520
	15 sek	437359,6415	108852,2380	442,6864	437359,6712	108852,2160	442,6429	437359,6562	108852,3186	442,8065
	30 sek	437359,6490	108852,2293	442,6684	437359,6527	108852,2080	442,6878	437359,6441	108852,2021	442,7567
	1 min	437359,6486	108852,2396	442,6627	437359,6629	108852,2094	442,6388	437359,6531	108852,2082	442,7156
	2,5 min	437359,6608	108852,2394	442,6898	437359,6572	108852,2245	442,6479	437359,6450	108852,2040	442,6892
	5 min	437359,6548	108852,2272	442,6651	437359,6336	108852,2185	442,7147	437359,6553	108852,2281	442,6780
10 min	437359,6451	108852,2183	442,6819	437359,6518	108852,2253	442,7136	437359,6492	108852,2211	442,6605	
VRS GPS	5 sek	437359,6822	108852,2445	442,7030	437359,6615	108852,2541	442,6778	437359,6596	108852,2495	442,6813
	15 sek	437359,6517	108852,2610	442,6560	437359,6561	108852,2406	442,6867	437359,6600	108852,2617	442,6725
	30 sek	437359,6723	108852,2460	442,6669	437359,6569	108852,2448	442,6643	437359,6618	108852,2641	442,6434
	1 min	437359,6664	108852,2437	442,6598	437359,6600	108852,2245	442,6586	437359,6603	108852,2567	442,6625
	2,5 min	437359,6657	108852,2619	442,6689	437359,6586	108852,2292	442,6927	437359,6591	108852,2467	442,6645
	5 min	437359,6689	108852,2564	442,6775	437359,6376	108852,2464	442,6949	437359,6574	108852,2397	442,6646
PP GPS+GLONASS	10 min	437359,6689	108852,2524	442,6632	437359,6360	108852,2278	442,7018	437359,6531	108852,2421	442,6766
	5 sek	437359,6641	108852,2540	442,6971	437359,6644	108852,2338	442,6057	437359,6650	108852,2109	442,6548
	15 sek	437359,6607	108852,2491	442,7098	437359,6793	108852,2261	442,6455	437359,6830	108852,2418	442,6963
	30 sek	437359,6596	108852,2381	442,6862	437359,7982	108852,1394	442,5540	437359,6877	108852,2504	442,7403
	1 min	437359,6912	108852,2346	442,6748	437359,6868	108852,2208	442,6394	437359,6773	108852,2009	442,6938
	2,5 min	437359,6721	108852,2459	442,6997	437359,6902	108852,2061	442,6157	437359,6847	108852,2251	442,7056
5 min	437359,6879	108852,2595	442,6580	437359,6847	108852,2268	442,6448	437359,6799	108852,2363	442,6977	
10 min	437359,6757	108852,2502	442,6470	437359,6656	108852,2290	442,6930	437359,6863	108852,2440	442,6599	

Točka 2000	1. serija			2. serija			3. serija			
	E	N	h	E	N	h	E	N	h	
PP GPS	5 sek	437215,5074	108793,1572	498,7364	437215,5077	108793,1676	498,7004	437215,5385	108793,1420	498,7431
	15 sek	437215,5029	108793,1600	498,7302	437215,5150	108793,1551	498,6570	437215,5321	108793,1406	498,7421
	30 sek	437215,4973	108793,1653	498,7161	437215,5141	108793,1520	498,6523	437215,5329	108793,1379	498,7278
	1 min	437215,5060	108793,1532	498,7111	437215,4980	108793,1690	498,6938	437215,5218	108793,1424	498,7300
	2,5 min	437215,5056	108793,1428	498,7203	437215,5002	108793,1724	498,7199	437215,5264	108793,1458	498,7217
	5 min	437215,5001	108793,1480	498,7342	437215,5067	108793,1346	498,6954	437215,5250	108793,1433	498,7159
	10 min	437215,5156	108793,1503	498,7275	437215,5083	108793,1433	498,7137	437215,5266	108793,1394	498,7028
	5 sek	437215,5077	108793,1714	498,7346	437215,5345	108793,1443	498,7156	437215,5106	108793,1506	498,7034
	15 sek	437215,5073	108793,1655	498,7266	437215,5339	108793,1467	498,7135	437215,5125	108793,1550	498,7020
	30 sek	437215,5094	108793,1687	498,7166	437215,5274	108793,1548	498,7107	437215,5130	108793,1538	498,6926
VRS GPS	1 min	437215,5106	108793,1723	498,7111	437215,5280	108793,1584	498,7054	437215,5102	108793,1513	498,6866
	2,5 min	437215,5020	108793,1653	498,6958	437215,5272	108793,1601	498,7097	437215,5118	108793,1546	498,6904
	5 min	437215,5032	108793,1733	498,6948	437215,5294	108793,1643	498,7161	437215,5159	108793,1509	498,6922
	10 min	437215,5056	108793,1708	498,6977	437215,5276	108793,1650	498,7071	437215,5085	108793,1520	498,7027
	5 sek	437215,5257	108793,1543	498,7286	437215,5375	108793,1514	498,7103	437215,5178	108793,1573	498,6860
	15 sek	437215,5264	108793,1501	498,7154	437215,5340	108793,1500	498,7153	437215,5135	108793,1602	498,6918
PP GPS+GLONASS	30 sek	437215,5188	108793,1553	498,7051	437215,5330	108793,1356	498,7157	437215,5075	108793,1712	498,7027
	1 min	437215,5218	108793,1540	498,7098	437215,5403	108793,1410	498,7072	437215,5119	108793,1719	498,6979
	2,5 min	437215,5279	108793,1641	498,7209	437215,5351	108793,1386	498,7087	437215,5036	108793,1691	498,7094
	5 min	437215,5341	108793,1510	498,7020	437215,5419	108793,1425	498,7291	437215,5035	108793,1725	498,7005
	10 min	437215,5300	108793,1543	498,7083	437215,5398	108793,1402	498,7228	437215,5077	108793,1711	498,6969

**PRILOGA B: Rezultati izračuna posameznih baznih vektorjev na 1000, 2000 in FGG3****Oddane efemeride**

	<b>1001</b>	<b>1002</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>FGG3-1</b>	<b>FGG3-2</b>
<b>Zažetek</b>	06:24:54	13:09:00	06:52:35	13:15:45	05:59:45	13:08:35
<b>Konec</b>	11:20:35	18:57:35	13:13:05	19:03:15	13:05:50	19:59:40
<b>Trajanje</b>	4h 55' 50"	5h 48' 35"	6h 20' 30"	5h 47' 30"	7h 06' 05"	6h 51' 05"
<b>Približne koordinate - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°06'59.70594"N 14°11'22.45051"E 440.9370 m	46°06'59.70594"N 14°11'22.45051"E 440.9370 m	46°06'57.73630"N 14 11'15.78265"E 495.9994 m	46°06'57.73630"N 14 11'15.78265"E 495.9994 m	46°02'44.94120"N 14°29'43.41460"E 365.9272 m	46°02'44.94120"N 14°29'43.41460"E 365.9272 m
<b>Minimalni višinski kot</b>	15°	15°	15°	15°	15°	15°
<b>Efemeride (GPS/GLONASS)</b>	Oddane/Oddane	Oddane/Oddane	Oddane/Oddane	Oddane/Oddane	Oddane/Oddane	Oddane/Oddane
<b>Tip rešitve</b>	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«
<b>Tip GNSS</b>	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS
<b>Frekvenca</b>	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	L1 in L2	L1 in L2
<b>Določitev fiksnega NŠCV do</b>	80 km	80 km	80 km	80 km	80 km	80 km
<b>Minimalna dolžina trajanja za »float« rešitev</b>	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"
<b>Interval registracije</b>	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s
<b>Model troposfere</b>	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield
<b>Model ionosfere</b>	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan
<b>Minimalna razdalja</b>	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km
<b>Statistika opazovanj:</b>						
– Število uporabljenih opazovanj na L1/L2	36882/36882	37542/37542	54561/54561	44277/44277	47571/43672	45885/43196
– Število izločenih opazovanj na L1/L2	522/257	1814/235	1251/5	1261/0	2387/6286	1238/3927





## Hitre efemeride

	1001	1002	2001	2002	FGG3-1	FGG3-2
<b>Zažetek</b>	06:24:54	13:09:00	06:52:35	13:15:45	05:59:45	13:08:35
<b>Konec</b>	11:20:35	18:57:35	13:13:05	19:03:15	13:05:50	19:59:40
<b>Trajanje</b>	4h 55' 50"	5h 48' 35"	6h 20' 30"	5h 47' 30"	7h 06' 05"	6h 51' 05"
<b>Približne koordinate - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°06'59.70594"N 14°11'22.45051"E 440.9370 m	46°06'59.70594"N 14°11'22.45051"E 440.9370 m	46°06'57.73630"N 14°11'15.78265"E 495.9994 m	46°06'57.73630"N 14°11'15.78265"E 495.9994 m	46°02'44.94120"N 14°29'43.41460"E 365.9272 m	46°02'44.94120"N 14°29'43.41460"E 365.9272 m
<b>Minimalni višinski kot</b>	15°	15°	15°	15°	15°	15°
<b>Efemeride (GPS/GLONASS)</b>	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre
<b>Tip rešitve</b>	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«
<b>Tip GNSS</b>	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS
<b>Frekvenca</b>	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	L1 in L2	L1 in L2
<b>Določitev fiksnega NŠCV do</b>	80 km	80 km	80 km	80 km	80 km	80 km
<b>Minimalna dolžina trajanja za »float« rešitev</b>	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"
<b>Interval registracije</b>	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s
<b>Model troposfere</b>	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield
<b>Model ionosfere</b>	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan
<b>Minimalna razdalja</b>	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km
<b>Statistika opazovanj:</b>						
– Število uporabljenih opazovanj na L1/L2	36882/36882	37507/37507	54561/54561	44277/44277	47571/43656	45885/43196
– Število izločenih opazovanj na L1/L2	522/257	547/270	6/5	40/0	2387/6302	1238/3927
<b>Statistika rešitev NŠCV:</b>						
– Število rešitev pri GPS (vseh/<fixed«)	151/49	171/56	39/36	61/48	34/34	40/38
– Število rešitev pri GLONASS (vseh/<fixed«)	51/34	67/33	26/26	33/29	27/15	36/22
– Število neodvisnih rešitev	1701	2020	2252	2043	2516	2427
– Povprečen čas med neodvisnima rešitvama	10"	10"	10"	10"	10"	10"
<b>Končne koordinate - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°06'59.67952"N 14°11'22.44842"E 443.1054 m	46°06'59.67947"N 14°11'22.44848"E 443.1022 m	46°06'57.71855"N 14°11'15.76348"E 499.1432 m	46°06'57.71847"N 14°11'15.76344"E 499.1432 m	46°02'44.90730"N 14°29'43.40988"E 367.5720 m	46°02'44.90750"N 14°29'43.40965"E 367.5682 m

<b>Natančnost določitve položaja</b> ( $\sigma_\varphi$ , $\sigma_\lambda$ , $\sigma_h$ , $\sigma_p$ )	0.0002 m 0.0001 m 0.0004 m 0.0002 m	0.0002 m 0.0001 m 0.0004 m 0.0002 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m
<b>Bazni vektor (d<math>\varphi</math>, d<math>\lambda</math>, dh, s<math>_{pos}</math>)</b>	0°04'06.40884" -0°21'14.91357" 91.3784 m 28431.1189 m	0°04'06.40879" -0°21'14.91351" 91.3752 m 28431.1173 m	0°04'04.44787" -0°21'21.59851" 147.4162 m 28553.9674 m	0°04'04.44779" -0°21'21.59855" 147.4162 m 28553.9678 m	-0°00'08.36338" -0°02'53.95211" 15.8450 m 3749.0091 m	-0°00'08.36318" -0°02'53.95234" 15.8412 m 3749.0136 m
<b>GDOP (min/max)</b>	1.7/9.3	2.0/7.5	1.5/4.3	1.5/4.2	1.8/4.3	1.7 - 7.6
<b>PDOP (min/max)</b>	1.5/7.1	1.7/6.0	1.3/3.6	1.3/3.5	1.6/3.6	1.5 - 6.0
<b>Število uporabljenih satelitov (GPS/GLONASS)</b>	13/10	15/9	18/12	17/10	17/8	19/6
<b>Opomba</b>		Med 16:50:10 in 16:50:20 je prišlo do prekinitve		Med 16:58:20 in 16:58:30 je prišlo do prekinitve		

## Precizne efemeride

	1001	1002	2001	2002	FGG3-1	FGG3-2
<b>Zažetek</b>	06:24:54	13:09:00	06:52:35	13:15:45	05:59:45	13:08:35
<b>Konec</b>	11:20:35	18:57:35	13:13:05	19:03:15	13:05:50	19:59:40
<b>Trajanje</b>	4h 55' 50"	5h 48' 35"	6h 20' 30"	5h 47' 30"	7h 06' 05"	6h 51' 05"
<b>Približne koordinate - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°06'59.70594"N 14°11'22.45051"E 440.9370 m	46°06'59.70594"N 14°11'22.45051"E 440.9370 m	46°06'57.73630"N 14°11'15.78265"E 495.9994 m	46°06'57.73630"N 14°11'15.78265"E 495.9994 m	46°02'44.94120"N 14°29'43.41460"E 365.9272 m	46°02'44.94120"N 14°29'43.41460"E 365.9272 m
<b>Minimalni višinski kot</b>	15°	15°	15°	15°	15°	15°
<b>Efemeride (GPS/GLONASS)</b>	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre
<b>Tip rešitve</b>	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«
<b>Tip GNSS</b>	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS
<b>Frekvenca</b>	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	L1 in L2	L1 in L2
<b>Določitev fiksnega NŠCV do rešitev</b>	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"
<b>Interval registracije</b>	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s
<b>Model troposfere</b>	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield
<b>Model ionosfere</b>	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan
<b>Minimalna razdalja</b>	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km
<b>Statistika opazovanj:</b>						
– Število uporabljenih opazovanj na L1/L2	36882/36882	37507/37507	54561/54561	44277/44277	47571/43656	45885/43196
– Število izločenih opazovanj na L1/L2	522/257	547/270	6/5	40/0	2387/6302	1238/3927
<b>Statistika rešitev NŠCV:</b>						
– Število rešitev pri GPS (vseh/<fixed«)	151/49	171/56	39/36	61/48	34/34	40/38
– Število rešitev pri GLONASS (vseh/<fixed«)	51/34	67/33	26/26	33/29	27/15	36/22
– Število neodvisnih rešitev	1701	2020	2252	2043	2516	2427
– Povprečen čas med neodvisnima rešitvama	10"	10"	10"	10"	10"	10"
<b>Končne koordinate - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°06'59.67952"N 14°11'22.44842"E 443.1054 m	46°06'59.67947"N 14°11'22.44848"E 443.1022 m	46°06'57.71855"N 14°11'15.76348"E 499.1432 m	46°06'57.71847"N 14°11'15.76344"E 499.1432 m	46°02'44.90730"N 14°29'43.40988"E 367.5720 m	46°02'44.90750"N 14°29'43.40965"E 367.5682 m

<b>Natančnost določitve položaja</b> ( $\sigma_\varphi$ , $\sigma_\lambda$ , $\sigma_h$ , $\sigma_p$ )	0.0002 m 0.0001 m 0.0004 m 0.0002 m	0.0002 m 0.0001 m 0.0004 m 0.0002 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m
<b>Bazni vektor (<math>d\varphi</math>, <math>d\lambda</math>, <math>dh</math>, <math>s_{p,os}</math>)</b>	0°04'06.40884" -0°21'14.91357" 91.3784 m 28431.1189 m	0°04'06.40879" -0°21'14.91351" 91.3752 m 28431.1173 m	0°04'04.44787" -0°21'21.59851" 147.4162 m 28553.9678 m	0°04'04.44779" -0°21'21.59855" 147.4162 m 28553.9678 m	0°04'04.44779" -0°21'21.59855" 147.4162 m 28553.9678 m	-0°00'08.36318" -0°02'53.95234" 15.8412 m 3749.0136 m
<b>GDOP (min/max)</b>	1.7/9.3	2.0/7.5	1.5/4.3	1.5/4.2	1.8/4.3	1.7 - 7.6
<b>PDOP (min/max)</b>	1.5/7.1	1.7/6.0	1.3/3.6	1.3/3.5	1.6/3.6	1.5 - 6.0
<b>Število uporabljenih satelitov (GPS/GLONASS)</b>	13/10	15/9	18/12	17/10	17/8	19/6
<b>Opomba</b>		Med 16:50:10 in 16:50:20 je prišlo do prekinitve		Med 16:58:20 in 16:58:30 je prišlo do prekinitve		





## Hitre efemeride

	GSRI - 1000	1000 - GSRI	1000 - 2000	2000 - 1000	2000 - FGG3	FGG3 - 2000	FGG3 - GSRI	GSRI - FGG3
<b>Zažetek</b>	06:24:45	13:09:00	06:52:35	13:15:45	06:52:35	13:15:45	05:59:45	13:08:35
<b>Konec</b>	11:20:35	18:57:35	11:20:35	18:57:35	13:05:50	19:03:15	13:05:50	19:59:40
<b>Trajanje</b>	4h 55' 50"	5h 48' 35"	4h 28' 00"	5h 41' 50"	6h 13' 15"	5h 47' 30"	7h 06' 05"	6h 51' 05"
<b>Približne koordinate 1. točke - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m	46°06'59.67957" 14°11'22.44846" 443.1043	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m
<b>Približne koordinate 2. točke - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°06'59.70594" 14°11'22.45051" 440.9370 m	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m	46°06'57.73630" 14°11'15.78265" 495.9994 m	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054	46°02'44.94120" 14°29'43.41460" 365.9272 m	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m
<b>Minimalni višinski kot</b>	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°
<b>Efemeride (GPS/GLONASS)</b>	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre	Hitre/Hitre
<b>Tip rešitve</b>	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«
<b>Tip GNSS</b>	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS
<b>Frekvenca</b>	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	L1 in L2	L1 in L2	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	L1 in L2	L1 in L2
<b>Določitev fiksnega NŠCV do</b>	80 km	80 km	80 km	80 km	80 km	80 km	80 km	80 km
<b>Minimalna dolžina trajanja za »float« rešitev</b>	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"	5'00"
<b>Interval registracije</b>	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s
<b>Model troposfere</b>	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield
<b>Model ionosfere</b>	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan
<b>Minimalna razdalja</b>	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km
<b>Statistika opazovanj:</b>								
- Število uporabljenih opazovanj na L1/L2	36882/36882	37496/37496	33821/33492	36886/36563	42308/42308	35985/35985	47567/43654	46101/43412
- Število izločenih opazovanj na L1/L2	522/257	510/235	227/556	331/653	677/536	2646/2375	2388/6301	1022/3711
<b>Statistika rešitev NŠCV:</b>								
- Število rešitev pri GPS (vseh/«fixed«)	151/49	171/58	137/43	186/64	34/34	61/48	34/34	40/38
- Število rešitev pri GLONASS (vseh/«fixed«)	51/34	67/35	47/30	70/33	25/19	29/16	27/15	36/24
- Število neodvisnih rešitev	1701	2020	1551	1987	2222	2055	2516	2427
- Povprečen čas med neodvisnima rešitvama	10"	10"	10"	10"	10"	10"	10"	10"
<b>Končne koordinate 1. točke - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054 m	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m

<b>Končne koordinate 2. točke - WGS84</b> ( $\varphi$ , $\lambda$ , $h$ )	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054 m	46°02'53.27073" 14°32'37.36194" 351.7300 m	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410 m	46°06'59.67950" 14°11'22.44840" 443.1086 m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°06'57.71845" 14°11'15.76381" 499.1425 m	46°02'53.27093" 14°32'37.36208" 351.7320 m	46°02'44.90751" 14°29'43.40964" 367.5684 m
<b>Natančnost določitve položaja</b> ( $\sigma_\varphi$ , $\sigma_\lambda$ , $\sigma_h$ , $\sigma_p$ )	0.0002 m 0.0001 m 0.0004 m 0.0002 m	0.0002 m 0.0001 m 0.0004 m 0.0002 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0002 m 0.0001 m 0.0003 m 0.0002 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m
<b>Bazni vektor (<math>d\varphi</math>, <math>d\lambda</math>, <math>dh</math>, <math>s_{pos}</math>)</b>	0°04'06.40884" -0°21'14.91357" 91.3784 m 28431.1189 m	-0°04'06.40879" 0°21'14.91352" -91.3754 m 28431.1174 s m	-0°00'01.96100" -0°00'06.68494" 56.0356 m 165.5715 m	0°00'01.96098" 0°00'06.68492" -56.0325 m 165.5698 m	-0°04'12.81098" 0°18'27.64650" -131.5639 m 25048.5081 m	0°04'12.81091" -0°18'27.64617" 131.5654 m 25048.5007 m	0°00'08.36338" 0°02'53.95210" -15.8451 m 3749.0090 m	-0°00'08.36317" -0°02'53.95235" 15.8415 m 3749.0139 m
<b>GDOP (min/max)</b>	1.7/9.3	2.0/7.5	1.7/9.2	1.9/7.5	1.7/3.7	1.8/11.0	1.8/4.3	1.6/7.6
<b>PDOP (min/max)</b>	1.5/7.1	1.7/6.0	1.5/7.0	1.6/6.0	1.5/2.9	1.6/8.8	1.6/3.6	1.4/6.0
<b>Število uporabljenih satelitov (GPS/GLONASS)</b>	13/10	15/9	13/10	14/9	17/8	17/4	17/8	19/6
<b>Opomba</b>		Med 16:50:10 in 16:50:20 je prišlo do prekinitve		Med 16:50:10 in 16:50:20 ter med 58:20 in 16:58:30 je prišlo do prekinitve		Med 16:58:20 in 16:58:30 je prišlo do prekinitve		



## Precizne efemeride

	<b>GSRI - 1000</b>	<b>1000 - GSRI</b>	<b>1000 - 2000</b>	<b>2000 - 1000</b>	<b>2000 - FGG3</b>	<b>FGG3 - 2000</b>	<b>FGG3 - GSRI</b>	<b>GSRI - FGG3</b>
<b>Zažetek</b>	06:24:45	13:09:00	06:52:35	13:15:45	06:52:35	13:15:45	05:59:45	13:08:35
<b>Konec</b>	11:20:35	18:57:35	11:20:35	18:57:35	13:05:50	19:03:15	13:05:50	19:59:40
<b>Trajanje</b>	4h 55' 50"	5h 48' 35"	4h 28' 00"	5h 41' 50"	6h 13' 15"	5h 47' 30"	7h 06' 05"	6h 51' 05"
<b>Približne koordinate 1. točke - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m	46°06'59.67957" 14°11'22.44846" 443.1043	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m
<b>Približne koordinate 2. točke - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°06'59.70594" 14°11'22.45051" 440.9370 m	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m	46°06'57.73630" 14°11'15.78265" 495.9994 m	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054	46°02'44.94120" 14°29'43.41460" 365.9272 m	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m
<b>Minimalni višinski kot</b>	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°
<b>Efemeride (GPS/GLONASS)</b>	Prec./Prec.	Prec./Prec.	Prec./Prec.	Prec./Prec.	Prec./Prec.	Prec./Prec.	Prec./Prec.	Prec./Prec.
<b>Tip rešitve</b>	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«	fazna: »all fix«
<b>Tip GNSS</b>	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS
<b>Frekvenca</b>	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	L1 in L2	L1 in L2	Ionosfere prosta (L3)	Ionosfere prosta (L3)	L1 in L2	L1 in L2
<b>Določitev fiksnega NŠCV do rešitev</b>	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"	80 km 5'00"
<b>Interval registracije</b>	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s	5 s
<b>Model troposfere</b>	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield	Hopfield
<b>Model ionosfere</b>	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan	Izračunan
<b>Minimalna razdalja</b>	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km
<b>Statistika opazovanj:</b>								
- Število uporabljenih opazovanj na L1/L2	36882/36882	37496/37496	33821/33492	36886/36563	42308/42308	35985/35985	47567/43654	46101/43412
- Število izločenih opazovanj na L1/L2	522/257	510/235	227/556	331/653	677/536	2646/2375	2388/6301	1022/3711
<b>Statistika rešitev NŠCV:</b>								
- Število rešitev pri GPS (vseh/«fixed«)	151/49	171/58	137/43	186/64	34/34	61/48	34/34	40/38
- Število rešitev pri GLONASS (vseh/«fixed«)	51/34	67/35	47/30	70/33	25/19	29/16	27/15	36/24
- Število neodvisnih rešitev	1701	2020	1551	1987	2222	2055	2516	2427
- Povprečen čas med neodvisnima rešitvama	10"	10"	10"	10"	10"	10"	10"	10"
<b>Končne koordinate 1. točke - WGS84 (φ, λ, h)</b>	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054 m	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°02'53.27068" 14°32'37.36199" 351.7270 m

<b>Končne koordinate 2. točke - WGS84</b> <b>(<math>\varphi</math>, <math>\lambda</math>, <math>h</math>)</b>	46°06'59.67952" 14°11'22.44842" 443.1054 m	46°02'53.27073" 14°32'37.36194" 351.7300 m	46°06'57.71852" 14°11'15.76348" 499.1410 m	46°06'59.67950" 14°11'22.44840" 443.1086 m	46°02'44.90754" 14°29'43.40998" 367.5771 m	46°06'57.71845" 14°11'15.76381" 499.1425 m	46°02'53.27093" 14°32'37.36208" 351.7320 m	46°02'44.90751" 14°29'43.40964" 367.5684 m
<b>Natančnost določitve položaja</b> <b>(<math>\sigma_\varphi</math>, <math>\sigma_\lambda</math>, <math>\sigma_h</math>, <math>\sigma_p</math>)</b>	0.0002 m 0.0001 m 0.0004 m 0.0002 m	0.0002 m 0.0001 m 0.0004 m 0.0002 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0002 m 0.0001 m 0.0003 m 0.0002 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m	0.0001 m 0.0001 m 0.0002 m 0.0001 m
<b>Bazni vektor (<math>d\varphi</math>, <math>d\lambda</math>, <math>dh</math>, <math>s_{\text{pos}}</math>)</b>	0°04'06.40884" -0°21'14.91357" 91.3784 m 28431.1189 m	-0°04'06.40879" 0°21'14.91352" -91.3754 m 28431.1174 m	-0°00'01.96100" -0°00'06.68494" 56.0356 m 165.5715 m	0°00'01.96098" 0°00'06.68492" -56.0325 m 165.5698 m	-0°04'12.81098" 0°18'27.64650" -131.5639 m 25048.5081 m	0°04'12.81091" -0°18'27.64617" 131.5654 m 25048.5007 m	0°00'08.36338" 0°02'53.95210" -15.8451 m 3749.0090 m	-0°00'08.36317" -0°02'53.95235" 15.8415 m 3749.0139 m
<b>GDOP (min/max)</b>	1.7/9.3	2.0/7.5	1.7/9.2	1.9/7.5	1.7/3.7	1.8/11.0	1.8/4.3	1.6/7.6
<b>PDOP (min/max)</b>	1.5/7.1	1.7/6.0	1.5/7.0	1.6/6.0	1.5/2.9	1.6/8.8	1.6/3.6	1.4/6.0
<b>Število uporabljenih satelitov (GPS/GLONASS)</b>	13/10	15/9	13/10	14/9	17/8	17/4	17/8	19/6
<b>Opomba</b>		Med 16:50:10 in 16:50:20 je prišlo do prekinitve		Med 16:50:10 in 16:50:20 ter med 58:20 in 16:58:30 je prišlo do prekinitve		Med 16:58:20 in 16:58:30 je prišlo do prekinitve		

**PRILOGA D: Rezultati obdelave opazovanj s permanentne postaje GSR1 z metodo PPP**

Rezultati izračuna položajev točke GSR1 z aplikacijo CSRS-PPP ob uporabi različnega intervala registracije opazovanj

Trajanje [min]	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
<b>Interval registracije 1s</b>						
	Statična metoda			Kinematična metoda		
1	464689,2560	101027,5959	352,1600	464689,3998	101027,4178	353,1510
5	464689,7793	101027,3829	352,9840	464689,4380	101027,3176	353,2260
10	464689,1009	101027,1738	352,0940	464689,2204	101027,1632	352,1110
20	464689,0856	101027,1214	351,7420	464689,2661	101027,0407	351,8650
30	464689,0322	101027,1927	351,7210	464688,9347	101027,2871	351,5660
60	464688,9936	101027,1991	351,6620	464689,0428	101027,2309	351,6210
120	464688,9744	101027,2301	351,6640	464688,9422	101027,2426	351,6850
180	464688,9765	101027,2270	351,6480	464688,9576	101027,2314	351,5150
360	464688,9958	101027,2176	351,6740	464688,9885	101027,2201	351,6920
720	464689,0001	101027,2176	351,6810	464689,0038	101027,1867	351,7170
1440	464689,0023	101027,2145	351,6870	464688,9961	101027,1867	351,7210
<b>Interval registracije 5s</b>						
	Statična metoda			Kinematična metoda		
1	464689,2106	101027,5498	353,0220	464689,4072	101027,3511	352,7640
5	464689,8224	101027,4043	352,9560	464689,4226	101027,3399	353,2390
10	464689,1095	101027,1799	352,0870	464689,1895	101027,1745	352,1010
20	464689,0534	101027,1401	351,6980	464689,2816	101027,0406	351,8590
30	464689,0172	101027,2020	351,7070	464688,9502	101027,2870	351,5710
60	464688,9979	101027,1960	351,6710	464689,0350	101027,2310	351,6260
120	464688,9744	101027,2301	351,6680	464688,9423	101027,2537	351,6510
180	464688,9787	101027,2270	351,6530	464688,9576	101027,2314	351,5480
360	464688,9958	101027,2176	351,6760	464688,9885	101027,2201	351,6750
720	464689,0001	101027,2145	351,6820	464688,9960	101027,1756	351,7260

1440	464689,0023	101027,2145	351,6870		464688,9960	101027,1756	351,7290
<b>Interval registracije 10s</b>							
	Statična metoda				Kinematična metoda		
1	464689,1802	101027,4975	352,8140		464689,4145	101027,2732	352,4770
5	464689,8398	101027,4443	352,8710		464689,4149	101027,3399	353,2700
10	464689,1075	101027,1984	352,0620		464689,1663	101027,1746	352,0920
20	464689,0513	101027,1494	351,6840		464689,2816	101027,0406	351,8470
30	464689,0130	101027,2052	351,7060		464688,9502	101027,2870	351,5790
60	464689,0022	101027,1960	351,6780		464689,0428	101027,2309	351,6310
120	464688,9766	101027,2301	351,6700		464688,9500	101027,2537	351,6560
180	464688,9787	101027,2270	351,6550		464688,9577	101027,2425	351,5690
360	464688,9958	101027,2176	351,6770		464688,9885	101027,2201	351,6470
720	464689,0001	101027,2145	351,6810		464688,9961	101027,1867	351,7230
1440	464689,0023	101027,2145	351,6860		464688,9961	101027,1867	351,7260
<b>Interval registracije 15s</b>							
	Statična metoda				Kinematična metoda		
1	464689,1565	101027,4915	352,6640		464689,4144	101027,2621	352,3140
5	464689,8700	101027,4596	352,8470		464689,3917	101027,3401	353,3230
10	464689,1117	101027,1861	352,0500		464689,1354	101027,1859	352,0550
20	464689,0449	101027,1556	351,6760		464689,2739	101027,0518	351,8310
30	464689,0108	101027,2052	351,7010		464688,9502	101027,2870	351,5890
60	464689,0043	101027,1990	351,6780		464689,0427	101027,2198	351,6280
120	464688,9765	101027,2270	351,6730		464688,9577	101027,2425	351,6450
180	464688,9787	101027,2270	351,6570		464688,9577	101027,2425	351,5760
360	464688,9958	101027,2176	351,6770		464688,9885	101027,2201	351,6470
720	464689,0001	101027,2145	351,6820		464688,9961	101027,1867	351,7250
1440	464689,0023	101027,2145	351,6850		464688,9961	101027,1867	351,7280
<b>Interval registracije 30s</b>							
	Statična metoda				Kinematična metoda		
1	464689,2381	101027,4755	352,3970		464689,4456	101027,2953	352,2970
5	464689,8877	101027,5459	352,7460		464689,3841	101027,3734	353,4250

10	464689,1141	101027,2293	351,9680		464689,0645	101027,1974	352,0400
20	464689,0493	101027,1741	351,6600		464689,2662	101027,0518	351,8180
30	464689,0173	101027,2113	351,7060		464688,9656	101027,2758	351,6130
60	464689,0065	101027,2021	351,6820		464689,0351	101027,2421	351,6320
120	464688,9787	101027,2239	351,6780		464688,9576	101027,2314	351,6570
180	464688,9830	101027,2238	351,6620		464688,9654	101027,2314	351,5720
360	464688,9980	101027,2176	351,6790		464688,9963	101027,2312	351,6200
720	464689,0001	101027,2145	351,6820		464688,9884	101027,1979	351,6970
1440	464689,0023	101027,2145	351,6840		464688,9884	101027,1979	351,6990

Rezultati izračuna položajev točke GSR1 z aplikacijo CSRS-PPP ob uporabi različnih efemerid.

Trajanje [min]	E [m]	N [m]	h [m]		E [m]	N [m]	h [m]
<b>Ultra hitre efemeride</b>							
	Statična metoda				Kinematična metoda		
1	464688,9234	101027,3322	355,8480		464688,9505	101027,3426	356,0760
5	464689,0565	101026,9301	352,2400		464689,1871	101026,7633	352,7470
10	464689,1095	101027,1799	352,0870		464689,3191	101026,8403	352,4830
20	464689,0622	101027,1709	351,7160		464689,1269	101027,0637	351,9040
30	464689,0302	101027,2081	351,7220		464689,0116	101027,1866	351,8240
60	464689,0152	101027,2144	351,6510		464689,0194	101027,1977	351,6510
120	464689,0087	101027,2144	351,6740		464689,0348	101027,1865	351,6200
180	464689,0066	101027,2206	351,6840		464689,0430	101027,2754	351,4560
360	464689,0066	101027,2299	351,6760		464689,0116	101027,1866	351,7870
720	464689,0088	101027,2299	351,6760		464689,0270	101027,1865	351,6570
1440	464689,0088	101027,2299	351,6850		464689,0348	101027,1976	351,6490
<b>Hitre Efemeride</b>							
	Statična metoda				Kinematična metoda		
1	464688,7467	101026,5058	354,0740		464688,7673	101026,4323	354,1170

5	464689,0783	101027,3499	351,5770	464689,2640	101026,6739	352,7550
10	464689,3891	101027,5735	351,9540	464689,5057	101026,9837	353,2390
20	464689,0969	101027,2294	351,7920	464689,2121	101027,0743	352,0080
30	464689,1980	101027,2319	351,6040	464689,1432	101027,1970	351,8420
60	464689,0710	101027,2017	351,6220	464689,1275	101027,1637	351,6720
120	464689,0152	101027,2144	351,6440	464689,0581	101027,1975	351,5840
180	464689,0044	101027,2206	351,6580	464689,0117	101027,2089	351,6150
360	464688,9980	101027,2268	351,6710	464688,9963	101027,2201	351,7740
720	464689,0066	101027,2268	351,6790	464689,0195	101027,2199	351,6660
1440	464689,0088	101027,2237	351,6870	464689,0195	101027,2199	351,6660
<b>Precizne efemeride</b>						
	Statična metoda			Kinematična metoda		
1	464688,8008	101026,5796	353,9260	464688,8301	101026,5764	354,4440
5	464689,1646	101027,4019	351,8230	464689,2952	101026,7182	352,9110
10	464689,4626	101027,6410	352,1580	464689,5213	101027,0059	353,3670
20	464689,1227	101027,2200	351,8200	464689,2198	101027,0632	352,0330
30	464689,2323	101027,2255	351,6190	464689,1585	101027,1747	351,8690
60	464689,0839	101027,1986	351,6200	464689,1429	101027,1525	351,6620
120	464689,0238	101027,2174	351,6410	464689,0658	101027,1974	351,5820
180	464689,0066	101027,2237	351,6570	464689,0116	101027,1977	351,6280
360	464688,9980	101027,2268	351,6720	464688,9963	101027,2201	351,7830
720	464689,0066	101027,2268	351,6830	464689,0117	101027,2200	351,6560
1440	464689,0088	101027,2237	351,6900	464689,0117	101027,2200	351,6560

Rezultati izračuna položajev točke GSR1 z aplikacijo MagicGNSS ob uporabi različnih efemerid.

Trajanje [min]	E [m]	N [m]	h [m]		E [m]	N [m]	h [m]
<b>Ultra hitre efemeride</b>					<b>Hitre efemeride</b>		
	Statična metoda				Statična metoda		
1	-	-	-		-	-	-
5	-	-	-		-	-	-
10	464689,8314	101026,8101	351,7640		464689,7864	101026,8186	352,4241
20	464689,7307	101026,5683	351,2703		464689,2398	101027,1770	351,7332
30	464690,1808	101027,1590	351,5686		464689,0863	101027,1801	351,6805
60	464689,2389	101027,0854	351,5695		464688,9931	101027,2091	351,7000
120	464689,1343	101027,2065	351,5678		464688,9959	101027,2185	351,6685
180	464689,0550	101027,2193	351,5757		464688,9952	101027,2251	351,6698
360	464688,9955	101027,2356	351,5845		464689,0018	101027,2295	351,6615
720	464689,0182	101027,2296	351,6408		464689,0064	101027,2264	351,6699
1440	464689,0165	101027,2301	351,6621		464689,0063	101027,2252	351,6764
<b>Precizne efemeride</b>							
	Statična metoda						
1	-	-	-				
5	-	-	-				
10	464689,8001	101026,7998	352,4378				
20	464689,2470	101027,1691	351,7405				
30	464689,0916	101027,1774	351,6953				
60	464688,9902	101027,2097	351,7036				
120	464688,9960	101027,2202	351,6735				
180	464688,9957	101027,2258	351,6743				
360	464689,0025	101027,2298	351,6650				
720	464689,0063	101027,2275	351,6720				
1440	464689,0060	101027,2256	351,6781				

Rezultati izračuna položajev točke GSR1 z aplikacijo GASP ob uporabi različnih efemerid.

Trajanje [min]	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
<b>Hitre efemeride</b>				<b>Precizne efemeride</b>		
	Statična metoda			Statična metoda		
1	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
10	464689,3628	101027,6987	352,2971	464689,3628	101027,6987	352,2971
20	464689,6814	101027,1396	351,8600	464689,6814	101027,1396	351,8600
30	464689,5981	101027,2697	351,4953	464689,5981	101027,2697	351,4953
60	464689,3988	101027,1329	351,6185	464689,3988	101027,1329	351,6185
120	464689,1170	101027,2018	351,7661	464689,1170	101027,2018	351,7661
180	464689,0671	101027,2058	351,7210	464689,0671	101027,2058	351,7210
360	464689,0433	101027,2112	351,7211	464689,0433	101027,2112	351,7211
720	464689,0432	101027,2247	351,6880	464689,0432	101027,2247	351,6880
1440	464689,0256	101027,2319	351,6679	464689,0256	101027,2319	351,6679

Rezultati izračuna položajev točke GSR1 z aplikacijo APPS ob uporabi različnih efemerid.

Trajanje [min]	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
<b>Hitre efemeride</b>						
	Statična metoda			Kinematična metoda		
1	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
20	464689,0532	101027,1428	351,7169	464688,9265	101027,1066	352,2950
30	464689,0578	101027,2121	351,7323	464689,1642	101027,2201	351,4996
60	464688,9972	101027,2281	351,7719	464688,9508	101027,2698	351,7661
120	464689,0016	101027,2273	351,7843	464688,9801	101027,2414	351,8335
180	464688,9970	101027,2199	351,7756	464688,9801	101027,2414	351,8335



360	464689,0033	101027,2186	351,7730	464688,9519	101027,2185	351,8965
720	464689,0071	101027,2196	351,7688	465759,8372	102213,6289	1102,9756
1440	464689,0093	101027,2188	351,7725	464490,2693	102326,6316	938,7462
<b>Precizne efemeride</b>						
	Statična metoda			Kinematična metoda		
1	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
20	464689,0532	101027,1428	351,7169	-	-	-
30	464689,0578	101027,2121	351,7323	464689,1642	101027,2201	351,4996
60	464688,9972	101027,2281	351,7719	464688,9508	101027,2698	351,7661
120	464689,0016	101027,2273	351,7843	464688,9801	101027,2414	351,8335
180	464688,9970	101027,2199	351,7756	464688,9801	101027,2414	351,8335
360	464689,0033	101027,2186	351,7730	464688,9519	101027,2185	351,8965
720	464689,0071	101027,2196	351,7688	465759,8372	102213,6289	1102,9756
1440	464689,0093	101027,2188	351,7725	464490,2693	102326,6316	938,7462

Rezultati izračuna položajev točke GSR1 ob različni razporeditvi satelitov.

Obdobje (3 h)	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
<b>CSRS - PPP</b>						
	Statična metoda			Kinematična metoda		
0 – 3	464689,0194	101027,2020	351,7140	464689,0196	101027,2422	351,6820
3 – 6	464688,9959	101027,2269	351,6890	464689,0194	101027,2088	351,5770
6 – 9	464689,0109	101027,2237	351,6930	464688,9965	101027,2534	351,6640
9 – 12	464688,9787	101027,2239	351,6820	464688,9115	101027,2761	351,8140
12 – 15	464689,0066	101027,2237	351,6570	464689,0116	101027,1977	351,6280
15 – 18	464689,0023	101027,2206	351,6980	464689,0117	101027,2200	351,7860
18 – 21	464689,0668	101027,2265	351,6650	464689,0272	101027,2199	351,7300
21 – 24	464688,9894	101027,2176	351,6910	464688,9808	101027,2202	351,6650

<b>APPS</b>						
	Statična metoda			Kinematična metoda		
0 – 3	464688,9993	101027,2133	351,8089	464689,0084	101027,1978	351,8569
3 – 6	464689,0254	101027,2157	351,7811	464689,0653	101027,0216	352,4025
6 – 9	464688,9970	101027,2089	351,7620	464688,7514	101027,3893	351,7806
9 – 12	464689,0154	101027,2226	351,7707	464689,0607	101027,1671	351,9062
12 – 15	464688,9970	101027,2199	351,7756	464688,9801	101027,2414	351,8335
15 – 18	464689,0025	101027,2005	351,7936	464688,9855	101027,1762	351,9473
18 – 21	464689,0298	101027,2165	351,7767	464689,0064	101027,1580	352,1314
21 – 24	464689,0326	101027,2283	351,7384	464688,6018	101027,3857	352,0662
<b>MagicGNSS</b>				<b>GASP</b>		
	Statična metoda			Statična metoda		
0 – 3	464689,0251	101027,2067	351,7080	464689,0473	101027,2284	351,7055
3 – 6	464689,0005	101027,2236	351,6756	464688,9684	101027,2363	351,6438
6 – 9	464689,0189	101027,2254	351,6836	464689,0140	101027,2292	351,6574
9 – 12	464688,9987	101027,2192	351,6872	464688,9809	101027,2442	351,6545
12 – 15	464688,9957	101027,2258	351,6743	464689,0285	101027,2208	351,6494
15 – 18	464689,0072	101027,2252	351,6652	464689,0390	101027,2090	351,7362
18 – 21	464689,0698	101027,2255	351,6739	464689,0228	101027,2279	351,6883
21 – 24	464689,0471	101027,2297	351,6727	464689,0085	101027,2086	351,7127

## PRILOGA E: Koordinate točk 1000 in 2000, dobljene z obdelavo opazovanj z metodo PPP

Koordinate točke 1000:

Trajanje [min]	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
<b>CSRS-PPP – statičen način izračuna</b>						
	ITRF05/TM			ETRS89/TM		
30	437359,8857	108852,6782	443,4380	437359,4940	108852,2950	443,4770
60	437359,7451	108852,5715	443,1690	437359,3530	108852,1890	443,2080
120	437360,1064	108852,6327	443,0750	437359,7150	108852,2500	443,1140
180	437359,9923	108852,6061	443,1350	437359,6010	108852,2230	443,1740
1. serija	437360,0505	108852,6209	443,0720	437359,6590	108852,2380	443,1110
2. serija	437360,0397	108852,6179	443,0060	437359,6480	108852,2350	443,0450
<b>CSRS-PPP – kinematičen način izračuna</b>						
	ITRF05/TM			ETRS89/TM		
30	437360,0633	108852,5739	443,1720	437359,6720	108852,1910	443,2110
60	437360,1701	108852,4394	444,0520	437359,7780	108852,0560	444,0910
120	437360,4961	108852,5694	442,9450	437360,1040	108852,1860	442,9840
180	437360,0863	108852,5514	443,2540	437359,6940	108852,1680	443,2930
1. serija	437360,1330	108852,5843	443,0230	437359,7410	108852,2010	443,0620
2. serija	437360,0638	108852,6183	442,8820	437359,6720	108852,2350	442,9210
<b>GAPS – statičen način izračuna</b>						
	ITRF05/TM			ETRS89/TM		
30	437360,3169	108852,7442	443,8508	437359,9250	108852,3610	443,8900
60	437359,9622	108852,6227	443,1635	437359,5700	108852,2400	443,2030
120	437360,2161	108852,6714	443,0831	437359,8240	108852,2880	443,1220
180	437360,0272	108852,6147	443,0672	437359,6350	108852,2320	443,1070
1. serija	437360,0624	108852,6298	443,0618	437359,6710	108852,2470	443,1010
2. serija	437360,0484	108852,6290	442,9669	437359,6570	108852,2460	443,0060

Koordinate točke 2000:

Trajanje [min]	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
<b>CSRS-PPP – statičen način izračuna</b>						
	ITRF05/TM			ETRS89/TM		
30	437215,8371	108793,5049	499,2590	437215,4450	108793,1220	499,2980
60	437215,9235	108793,5565	499,1680	437215,5320	108793,1740	499,2070
120	437215,9127	108793,5474	499,1990	437215,5210	108793,1640	499,2380
180	437215,9126	108793,5443	499,1990	437215,5210	108793,1610	499,2380
1. serija	437215,9061	108793,5382	499,2060	437215,5140	108793,1550	499,2450
2. serija	437215,8825	108793,5384	499,1800	437215,4910	108793,1550	499,2190
<b>CSRS-PPP – kinematičen način izračuna</b>						
	ITRF05/TM			ETRS89/TM		
30	437215,7187	108793,4351	499,1370	437215,3270	108793,0520	499,1760
60	437215,8745	108793,5558	499,1090	437215,4830	108793,1730	499,1480
120	437215,9285	108793,5441	499,2830	437215,5370	108793,1610	499,3220
180	437215,9748	108793,5325	499,2390	437215,5830	108793,1500	499,2780
1. serija	437215,9524	108793,6106	499,2680	437215,5610	108793,2280	499,3070
2. serija	437215,9053	108793,5444	499,1170	437215,5140	108793,1610	499,1560
<b>GAPS – statičen način izračuna</b>						
	ITRF05/TM			ETRS89/TM		
30	437216,8154	108793,6984	499,1855	437215,6260	108793,1830	499,2250
60	437216,3011	108793,6126	499,1726	437215,6390	108793,2040	499,2120
120	437215,8937	108793,5556	499,2045	437215,5170	108793,1730	499,2440
180	437215,9275	108793,5475	499,1954	437215,5190	108793,1660	499,2350
1. serija	437215,9064	108793,5434	499,1895	437215,5180	108793,1610	499,2290
2. serija	437215,8904	108793,5513	499,1153	437215,4890	108793,1710	499,1550
<b>APPS – statičen način izračuna</b>						
	ITRF05/TM			ETRS89/TM		
30	437216,0276	108793,5482	499,1272	437215,6360	108793,1650	499,1670
60	437215,9894	108793,5595	499,1746	437215,5980	108793,1770	499,2140
120	437215,8995	108793,5434	499,1758	437215,5080	108793,1600	499,2150
180	437215,9128	108793,5430	499,1760	437215,5210	108793,1600	499,2150
1. serija	437215,9083	108793,5429	499,1679	437215,5170	108793,1600	499,2070
2. serija	437215,9140	108793,5370	499,1540	437215,5220	108793,1540	499,1930

<b>APPS – kinematičen način izračuna</b>							
	ITRF05/TM				ETRS89/TM		
30	437216,1081	108793,4599	500,7345		437215,7160	108793,0770	500,7740
60	437216,0424	108793,5355	500,4483		437215,6510	108793,1520	500,4880
120	437215,9017	108793,5381	500,4211		437215,5100	108793,1550	500,4600
180	437215,9126	108793,5432	500,4186		437215,5210	108793,1600	500,4580
1. serija	437215,9108	108793,5420	500,4098		437215,5190	108793,1590	500,4490
2. serija	437215,9084	108793,5328	500,4056		437215,5170	108793,1500	500,4450