

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Drešček, U., 2014. Primerjava metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Stopar, B.): 96 str.

Datum arhiviranja: 01-07-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Drešček, U., 2014. Primerjava metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Stopar, B.): 96 pp.

Archiving Date: 01-07-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GEODEZIJA  
SMER GEODEZIJA

Kandidatka:

**URŠKA DREŠČEK**

**PRIMERJAVA METOD IZMERE GNSS ZA  
UGOTAVLJANJE MAJHNIH PREMİKOV**

Diplomska naloga št.: 957/G

**COMPARISON OF GNSS SURVEY METHODS FOR THE  
DETERMINATION OF SMALL DISPLACEMENTS**

Graduation thesis No.: 957/G

**Mentor:**

prof. dr. Bojan Stopar

**Predsednik komisije:**

prof. dr. Bojan Stopar

**Član komisije:**

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

doc. dr. Božo Koler

Ljubljana, 24. 06. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVE**

Podpisana **URŠKA DREŠČEK** izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom  
»**PRIMERJAVA METOD IZMERE GNSS ZA UGOTAVLJANJE MAJHNIH PREMIKOV**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 9. 6. 2014

Urška Drešček

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>528.28(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Urška Drešček</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof. dr. Bojan Stopar</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Primerjava metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>96 str., 17 pregl., 46 graf., 7 sl., 1 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>tehnologija GNSS, metode izmere GNSS, majhni premiki točk, referenčna postaja, ugotavljanje premikov</b>

### **Izvleček**

Diplomska naloga obravnava primerjavo različnih metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov točk v geodetski mreži. V uvodu so predstavljene teoretične osnove delovanja tehnologije GNSS, značilnosti posameznih metod izmere GNSS in način ugotavljanja premikov v geodetskih nalogah. V glavnem delu naloge je opisan praktični primer uporabe treh metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov točk. Prikazan je celoten postopek merjenja premikov od terenske izmere, obdelave meritev do izračuna premikov in testne statistike. Primerjavo metod smo izvedli za statično, kinematično in RTK metodo izmere, tako da smo na izbrani točki v geodetski mreži izvajali premike različnih velikosti, od 1 do nekaj cm in od 1 do 3 mm. Položaj izbrane točke smo določili relativno na različne referenčne postaje. Premiki so bili izračunani na tri različne načine, glede na začetni položaj, kot razlika med zaporednimi položaji in glede na razliko med povprečnimi vrednostmi položaja med premiki. Na koncu je prikazan tudi izračun natančnosti premikov in izračun testne statistike, ki jo lahko uporabimo v zahtevnejši analizi ugotavljanja premikov in je sestavljena iz velikosti ter standardnega odklona obravnavanega premika.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 528.28(043.2)  
**Author:** Urška Drešček  
**Supervisor:** Prof. Bojan Stopar, Ph.D.  
**Title:** Comparison of GNSS survey methods for the determination of small displacements  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Scope and tools:** 96 p., 17 tab., 46 graph., 7 fig., 1 ann.  
**Keywords:** GNSS technology, GNSS survey methods, small point displacements, reference station, determination of displacements

**Abstract**

The graduation thesis discusses the comparison of different GNSS survey methods for the determination of small displacements of points in a geodetic network. Firstly, the theoretical basics of GNSS technology operation, the characteristics of GNSS methods and the procedure for the determination of displacements are presented. In the main part, the practical use of GNSS methods for detecting small point displacements is described. Moreover, the whole procedure for measuring small displacements is introduced - from fieldwork, measurement processing and computation of point displacements to test statistics. The comparison of different GNSS methods has been made for static, kinematic and RTK method by performing point displacements of the selected point in the geodetic network, from 1 to several cm and from 1 to 3 mm. Position of the selected point has been computed relatively to different reference stations. Point displacements have been determined in three different ways; according to initial position of selected point, as a difference between consecutive positions and according to the difference between average positions. Furthermore, the computation of the accuracy of displacements and the computation of test statistic, which could be used for the advanced analysis of displacements and consists of the size and the standard deviation of the discussed point displacement, has been presented.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Bojanu Stoparju za vso pomoč, strokovne nasvete in predloge pri izdelavi diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem asist. Gašperju Štebetu za pomoč pri izvedbi terenskega dela in obdelavi meritev.

Hvala staršem in bratu, ker me vedno spodbujajo in mi stojijo ob strani.

Hvala sošolcem za nepozabne študijske trenutke in prijateljem za podporo ter spodbudne besede.

»Ta stran je namenoma prazna.«



## KAZALO VSEBINE

Izjave .....	II
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček .....	III
Bibliographic-documentalistic information and abstract.....	IV
Zahvala.....	V
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 Predstavitev problema.....	1
1.2 Namen naloge .....	2
<b>2 TEORETIČNE OSNOVE .....</b>	<b>3</b>
2.1 Princip delovanja .....	3
2.2 Efemeride.....	5
2.3 Načini določitve položaja.....	5
2.3.1 Kodni in fazni način .....	6
2.3.2 Absolutni in relativni način .....	6
2.3.3 Statični in kinematični način.....	7
2.3.4 Določitev položaja z naknadno obdelavo in z obdelavo v realnem času .....	7
2.4 Vplivi na opazovanja GNSS.....	8
2.5 Omrežja referenčnih postaj .....	9
2.6 Metode izmere .....	10
2.6.1 Statična metoda .....	10
2.6.2 Hitra statična metoda .....	11
2.6.3 Kinematična metoda .....	11
2.6.4 Psevdo kinematična metoda .....	12
2.6.5 RTK-metoda .....	12
2.6.6 Diferencialni GNSS .....	13
2.6.7 Metoda PPP .....	14
2.6.8 Primerjava metod .....	15
2.7 Obdelava meritev .....	16
2.7.1 Pregled in priprava podatkov .....	16
2.7.2 Obdelava baznih vektorjev .....	17
2.7.3 Izravnava baznih vektorjev.....	18
2.7.4 Kakovost opravljene izmere.....	18
2.8 Ugotavljanje premikov .....	19
2.8.1 Izračun premika in natančnosti premika .....	20

2.8.2	Testiranje značilnost premika.....	21
2.8.3	Deformacijska analiza.....	22
3	TERENSKA IZMERA.....	23
3.1	Planiranje izmere.....	23
3.2	Merska oprema.....	24
3.3	Potek izmere.....	25
4	OBDELAVA MERITEV.....	28
4.1	Priprava podatkov.....	28
4.2	Obdelava meritev statične metode.....	28
4.3	Obdelava meritev v kinematičnem načinu.....	30
4.4	Obdelava meritev RTK-metode.....	31
5	REZULTATI OBDELAVE.....	32
5.1	Statična metoda.....	32
5.2	Kinematična metoda.....	37
5.3	RTK-metoda.....	38
6	IZRAČUN PREMIKOV.....	39
6.1	Izračun premikov glede na začetni položaj.....	39
6.1.1	Statična metoda.....	39
6.1.2	Kinematična metoda.....	44
6.1.3	RTK-metoda.....	60
6.2	Izračun premikov med zaporednimi položaji.....	69
6.2.1	Kinematična metoda.....	69
6.2.2	RTK-metoda.....	74
6.3	Izračun premikov iz povprečnih položajev med premiki.....	76
6.4	Izračun natančnosti premikov in testne statistike T.....	79
7	KONČNE UGOTOVITVE.....	88
8	ZAKLJUČEK.....	93
VIRI.....		95

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Intervali izmere GNSS prvega dne.....	30
Preglednica 2: Koordinate točk FGG1 in FGG2 iz statične izmere prvega dne brez točke VRS .....	32
Preglednica 3: Izravnane vrednosti baznih vektorjev iz statične izmere prvega dne brez točke VRS..	33
Preglednica 4: Koordinate točk FGG1 in FGG2 iz statične izmere ob vključitvi točke VRS .....	34
Preglednica 5: Izravnane vrednosti baznih vektorjev iz statične izmere ob vključitvi točke VRS .....	35
Preglednica 6: Položaj točke FGG2 med posameznimi intervali glede na točko GSR1 .....	36
Preglednica 7: Položaj točke FGG2 med posameznimi intervali glede na točko RADO .....	36
Preglednica 8: Položaj točke FGG2 med posameznimi intervali glede na točko VRS .....	37
Preglednica 9: Položaj točke FGG2 med posameznimi intervali glede na točko FGG1 .....	37
Preglednica 10: Premiki točke FGG2 iz statične izmere glede na točko GSR1 .....	40
Preglednica 11: Premiki točke FGG2 iz statične izmere glede na točko RADO .....	41
Preglednica 12: Premiki točke FGG2 iz statične izmere glede na točko FGG1 .....	42
Preglednica 13: Premiki točke FGG2 iz statične izmere glede na točko VRS.....	43
Preglednica 14: Premiki iz povprečnih položajev kinematične izmere glede na GSR1 .....	76
Preglednica 15: Premiki iz povprečnih položajev kinematične izmere glede na RADO .....	77
Preglednica 16: Premiki iz povprečnih položajev kinematične izmere glede na VRS .....	77
Preglednica 17: Povprečne vrednosti standardnih odklonov izračunanih premikov glede na izhodiščni položaj sprejemnika iz kinematičnega načina izmere .....	80

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere prvega dne glede na GSR1 .....	45
Grafikon 2: 2D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na GSR1 .....	46
Grafikon 3: 3D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na GSR1 .....	46
Grafikon 4: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere prvega dne glede na RADO .....	47
Grafikon 5: 2D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na RADO .....	48
Grafikon 6: 3D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na RADO .....	48
Grafikon 7: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere prvega dne glede na VRS.....	50
Grafikon 8: 2D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na VRS .....	50
Grafikon 9: 3D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na VRS .....	51
Grafikon 10: Spremembe razdalje med FGG1 in FGG2 med meritvami centimetrskih premikov .....	52
Grafikon 11: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere drugega dne glede na GSR1.....	54
Grafikon 12: 2D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na GSR1 .....	54
Grafikon 13: 3D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na GSR1 .....	55
Grafikon 14: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere drugega dne glede na RADO .....	56
Grafikon 15: 2D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na RADO .....	56
Grafikon 16: 3D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na RADO .....	57
Grafikon 17: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere drugega dne glede na VRS.....	58
Grafikon 18: 2D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na VRS .....	59
Grafikon 19: 3D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na VRS .....	59
Grafikon 20: Koordinatne razlike točke FGG2 glede na začetni položaj iz RTK-izmere centimetrskih premikov z eno inicializacijo.....	61
Grafikon 21: 2D premiki iz RTK-izmere centimetrskih premikov z eno inicializacijo .....	61
Grafikon 22: 3D premiki iz RTK-izmere centimetrskih premikov z eno inicializacijo .....	62
Grafikon 23: Koordinatne razlike točke FGG2 glede na začetni položaj iz RTK-izmere centimetrskih premikov z več inicializacijami .....	63
Grafikon 24: 2D premiki iz RTK-izmere centimetrskih premikov z več inicializacijami .....	63
Grafikon 25: 3D premiki iz RTK-izmere centimetrskih premikov z več inicializacijami .....	64
Grafikon 26: Koordinatne razlike točke FGG2 glede na začetni položaj iz RTK-izmere milimetrskih premikov z eno inicializacijo.....	65
Grafikon 27: 2D premiki iz RTK-izmere milimetrskih premikov z eno inicializacijo .....	66
Grafikon 28: 3D premiki iz RTK-izmere milimetrskih premikov z eno inicializacijo .....	66
Grafikon 29: Koordinate razlike točke FGG2 glede na začetni položaj iz RTK-izmere milimetrskih premikov z več inicializacijami .....	67
Grafikon 30: 2D premiki iz RTK-izmere milimetrskih premikov z več inicializacijami.....	68
Grafikon 31: 3D premiki iz RTK-izmere milimetrskih premikov z več inicializacijami.....	68

Grafikon 32: Razlike med zaporednimi položaji glede na GSR1 v izmeri centimetrskih premikov ....	70
Grafikon 33: Razlike med zaporednimi položaji glede na RADO v izmeri centimetrskih premikov...	71
Grafikon 34: Razlike med zaporednimi položaji glede na VRS v izmeri centimetrskih premikov .....	72
Grafikon 35: Razlike med zaporednimi položaji glede na GSR1 v izmeri milimetrskih premikov.....	73
Grafikon 36: Razlike med zaporednimi položaji glede na RADO v izmeri milimetrskih premikov ....	73
Grafikon 37: Razlike med zaporednimi položaji glede na VRS v izmeri milimetrskih premikov.....	74
Grafikon 38: Razlike med zaporednimi položaji iz RTK-izmere centimetrskih premikov .....	75
Grafikon 39: Razlike med zaporednimi položaji iz RTK-izmere milimetrskih premikov .....	75
Grafikon 40: Milimetrski premiki iz povprečnih položajev kinematične metode.....	78
Grafikon 41: Testna statistika T glede na GSR1 pri izmeri centimetrskih premikov .....	82
Grafikon 42: Testna statistika T glede na RADO pri izmeri centimetrskih premikov .....	83
Grafikon 43: Testna statistika T glede na VRS pri izmeri centimetrskih premikov .....	84
Grafikon 44: Testna statistika T glede na GSR1 pri izmeri milimetrskih premikov.....	85
Grafikon 45: Testna statistika T glede na RADO pri izmeri milimetrskih premikov .....	86
Grafikon 46: Testna statistika T glede na VRS pri izmeri milimetrskih premikov.....	87

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Določitev razdalje med satelitom in sprejemnikom. ....	3
Slika 2: Omrežje permanentnih postaj GNSS v Sloveniji in okolici (Omrežje SIGNAL, 2013).....	9
Slika 3: Skica geodetske mreže .....	24
Slika 4: Kovinski nosilec, na katerem je pritrjena antena sprejemnika GNSS .....	25
Slika 5: Točka FGG2, na kateri smo preko kovinskega nosilca izvajali premike.....	26
Slika 6: Skica baznih vektorjev iz prve obdelave statične izmere .....	32
Slika 7: Skica baznih vektorjev iz druge obdelave statične izmere .....	34

## 1 UVOD

Pomembna naloga geodezije je spremljanje in ugotavljanje dogajanja na zemeljskem površju. Preko uveljavljenih postopkov lahko geodeti zagotovijo informacije o spremembah v prostoru, ki so ključnega pomena za učinkovito rabo prostora. Spremembe v prostoru so lahko premiki in deformacije naravnih ter zgrajenih objektov, ki jih je zaradi varnosti in finančnih posledic pomembno spremljati, ali tudi širše dogajanje zaradi tektonike in geodinamike zemeljskega površja. Pomembno vlogo na področju ugotavljanja premikov in deformacij lahko odigra tehnologija GNSS, z uporabo katere lahko geodeti s svojim znanjem nudijo podporo številnim strokam. Tako kot pri drugih tehnologijah je tudi na področju tehnologije GNSS pomembno dobro poznati, kaj so prednosti tehnologije in kako se izogniti njenim slabostim. Prav to je še kako pomembno pri izbiri prave metode za ugotavljanje majhnih premikov.

### 1.1 Predstavitev problema

Poznamo različne metode izmere GNSS, ki se med seboj razlikujejo tako po zahtevah, ki jim moramo zadostiti pred in med izmero, po uporabnosti kot tudi po kakovosti rezultatov, ki jih z izmero pridobimo. Četudi v geodeziji strmimo k čim natančnejšim rezultatom, moramo pred vsako zastavljeno nalogo razmisliti o izbiri ustrezne metode izmere. Pravilna odločitev o izbiri metode nam omogoča, da dosežemo kakovostne rezultate, ki jih od nas pričakuje naročnik, hkrati pa vpliva na smotno in ekonomično izvedbo izmere. Praviloma velja, da je izvedba zahtevnejših in natančnejših metod časovno zamudnejša in zahteva boljšo strojno ter programsko opremo, kar vpliva na stroške in s tem dražjo izmero. Za dosego optimalnega razmerja med kakovostjo in ceno je potrebno ob poznavanju problema zastavljene geodetske naloge poznati zmožnosti in omejitve, ki jih imajo posamezne metode, na podlagi katerih se lahko pravilno odločimo glede izbire metode izmere. Tovrsten premislek je potreben pri vseh geodetskih metodah, tako pri klasičnih terestričnih metodah kot v primeru metod GNSS.

Pri ugotavljanju premikov točk na naravnih ali zgrajenih objektih na zemeljskem površju je potrebno pred izmero razmisliti tako o obliki geodetske mreže kot tudi glede izbire metode izmere, ki bo omogočila pridobitev rezultatov, ki bodo prikazali pravo sliko o dogajanju na objektu. Za tovrstno oceno je potrebno poznati naravo dogajanja na objektu, ki vključuje poznavanje dejstva, na katerih mestih bi se lahko pojavili premiki in kolikšna bi lahko bila velikost ter hitrost morebitnih premikov. Na podlagi ocene velikosti in hitrosti premikov se nato odločimo, katero metodo bomo uporabili in kako pogosto bomo izvajali terminske izmere. Metode izmere se med seboj razlikujejo v ločljivosti rezultatov, ki jo razumemo kot zmožnost za doseganje določene natančnosti določitve položaja točke v

geodetski mreži. Za izmero premikov točk moramo uporabiti metodo, ki bo lahko določila premike z natančnostjo, nekajkrat višjo od velikosti pričakovanih premikov.

## **1.2 Namen naloge**

Z izvedbo praktičnih meritev v sklopu naše diplomske naloge smo želeli preizkusiti, kakšne so zmožnosti izbranih metod določitve koordinat z GNSS pri ugotavljanju majhnih premikov. Osredotočili smo se izključno na geodetske metode izmere GNSS, ki jih uporabljamo tudi v praksi za ugotavljanje premikov točk. Ugotoviti smo želeli, kako uporabne in učinkovite so tovrstne metode pri določanju majhnih sprememb položaja sprejemnika. Pri tem je pomembno poznati ločljivost posamezne metode, ki nam pove, kako majhne premike bomo lahko z določeno metodo izmerili in jih določili kot zanesljive premike položaja merjene točke. Naš namen je bil ugotoviti, kako bodo metode GNSS meritev uspešne v določitvi premikov, ki smo jih izvedli med terensko izmero. Pri tem smo metode preizkusili tako za premike v velikosti od 1 cm do nekaj cm kot tudi za milimetrске premike in jih med seboj primerjati. Prav tako je bil namen naloge preveriti vpliv navezave na različno oddaljene referenčne postaje. Primerjati smo želeli tudi rezultate izmere v primeru naknadne obdelave meritev in v primeru obdelave v realnem času.



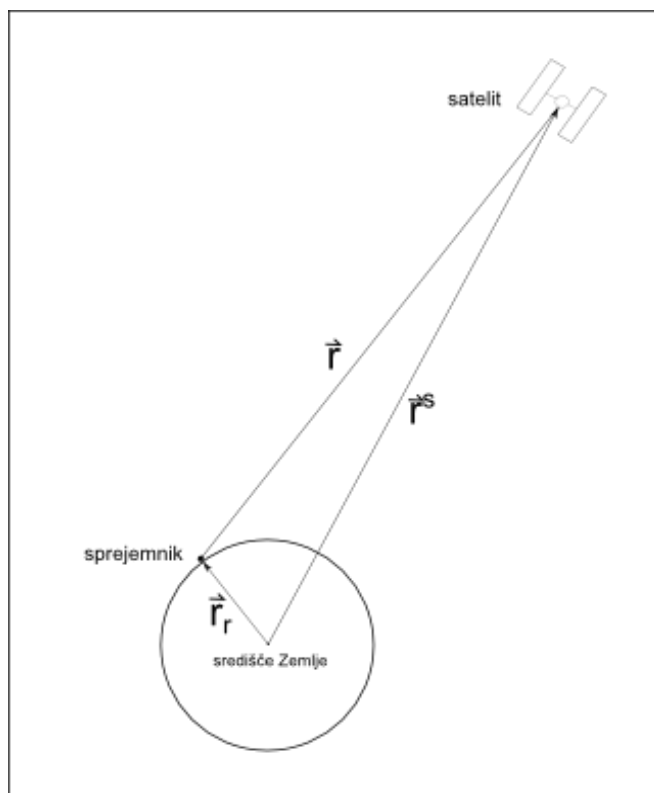
## 2 TEORETIČNE OSNOVE

Globalni navigacijski satelitski sistemi ali na kratko GNSS so ena od številnih uveljavljenih tehnologij določanja položaja, ki temeljijo na satelitsko podprti tehnologiji. Tehnologija GNSS omogoča globalen način določanja položaja, bodisi na Zemeljskem površju bodisi nad njim (npr. uporaba v letalstvu).

### 2.1 Princip delovanja

Osnovno infrastrukturo sistemov GNSS sestavljajo sateliti, ki krožijo okoli Zemlje po vnaprej določenih in znanih tirnicah, njihova hitrost kroženja je prilagojena dejstvu, da vsak satelit obkroži Zemljo približno dvakrat dnevno. Vsi sateliti GNSS oddajajo valovanje, ki ga lahko posameznik na Zemlji s svojim sprejemnikom GNSS sprejme. Položaj satelita je znan v vsakem trenutku opazovanj. Podatke o položajih satelita imenujemo efemeride in so zapisani v podatkovnih nizih, ki jih s svojim valovanjem oddajajo sateliti. Za vsak trenutek opazovanj lahko določimo radij vektor med središčem Zemlje (geocenter) in obravnavanim satelitom  $\mathbf{r}^s$ , ki ga izračunamo iz podatkov efemerid. V primeru določitve položaja sprejemnika na Zemlji nas zanima radij vektor  $\mathbf{r}_r$ , ki poteka med središčem Zemlje in sprejemnikom na površju. Določimo ga preko znanega položaja satelita  $\mathbf{r}^s$  in izmerjene razdalje med sprejemnikom in satelitom  $r$ :

$$r = \|\mathbf{r}^s - \mathbf{r}_r\|$$



Slika 1: Določitev razdalje med satelitom in sprejemnikom

Geometrijsko razdaljo med sprejemnikom in satelitom lahko izmerimo preko merjenja časa potovanja signala, ki ga oddaja satelit. Sprejemnik in satelit morata imeti usklajeni uri, ki omogočata natančno merjenje časa med trenutkom oddaje in trenutkom sprejema signala. Ker vemo, da signal GNSS potuje od satelita do sprejemnika s svetlobno hitrostjo ( $c \approx 299.792$  km/s), in poznamo vrednost izmerjenega časa potovanja signala, lahko izračunamo razdaljo med sprejemnikom in satelitom (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

Določitev položaja s pomočjo tehnologije GNSS temelji na principu trilateracije, kjer se položaj točke določa z merjenjem razdalj do znanih točk. V primeru tehnologije GNSS predstavljajo znane točke sateliti, določamo pa položaj sprejemnika GNSS. Satelit oddaja signal v obliki elektromagnetnega valovanja do sprejemnika, ki ta signal primerja z enakim valovanjem, ki ga ustvari sam sprejemnik. Sprejemnik bodisi primerja mersko kodo bodisi fazo valovanja in glede na razliko med s satelita oddanim ter lastnim valovanjem določi razliko med časom oddaje ter časom sprejema signala (Blewitt, 2007). V praksi je nemogoče doseči, da bi bili satelitova in sprejemnikova ura popolnoma usklajeni, zato tudi ni mogoče natančno izmeriti prave razdalje med satelitom in sprejemnikom. Poleg neuskklajenosti satelitove in sprejemnikove ure imamo tudi druge vplive na potovanje signala, ki vplivajo, da se izmerjena razdalja razlikuje od prave geometrijske razdalje med satelitom in sprejemnikom, zato imenujemo izmerjeno razdaljo psevdorazdalja, ki se od geometrijske razlikuje za vrednost vseh vplivov na potovanje signala med satelitom in sprejemnikom (Hofmann-Wellenhof et al., 2008):

$$R = r + \Delta r$$

R ... psevdorazdalja

r ... geometrijska razdalja

$\Delta r$  ... vplivi na geometrijsko razdaljo

Položaj sprejemnika je določen s tremi koordinatnimi neznankami (x,y,z), iz česar bi lahko sklepali, da je potrebno določiti razdalje med sprejemnikom in najmanj tremi različnim sateliti. Vendar imamo poleg koordinatnih neznank tudi neznanke, ki se nanašajo na merjenje časa potovanja signala, kot sta pogrešek satelitovih ur in pogrešek sprejemnikov ure ter druge vplive na opazovanja. Del tega problema je rešila sama izvedba tehnologije GNSS in sestava valovanj, ki jih oddajajo sateliti. Nosilno valovanje satelita ima poleg svoje osnovne naloge za določanje razdalje med satelitom in sprejemnikom tudi nalogo posredovanja informacij o položaju satelita, stanju satelitovih ur in stanju atmosfere. Valovanje namreč vsebuje navigacijsko sporočilo, ki nam podaja informacije o položaju satelitov v izbranem trenutku in informacije o stanju satelitovih ur, njihovem pogrešku in popravke zaradi vpliva atmosfere. Tako nam pri določanju položaja sprejemnika poleg geometrijskih neznank

ostane le še pogrešek sprejemnikove ure. Skupaj obravnavamo torej štiri neznanke, ki jih rešimo z opazovanjem razdalj do najmanj štirih različnih satelitov v istem trenutku.

## 2.2 Efemeride

Za določitev položaja sprejemnika GNSS v prostoru potrebujemo podatke o položajih satelitov. Vrsta podatkov o položajih satelitov in njihova kakovost pomembno vpliva na končne rezultate določitve položaja sprejemnika, kajti če so vhodni podatki izračuna položaja slabi, tudi sam postopek izračuna ne more izboljšati kakovosti končnih rezultatov. Ločimo tri vrste podatkov, ki se med seboj razlikujejo po načinu pridobitve in po natančnosti določitve položaja satelita, in sicer so to almanah satelitov, oddane efemeride in precizne efemeride. Almanah satelitov vsebuje podatke o efemeridah in stanju vseh satelitov sistema. Almanah je del vsebine signala, ki ga oddajajo sateliti in nam omogoča, da preko signala iz enega satelita pridobimo podatke o približnem položaju vseh satelitov. Ko pridobimo približne položaje, lahko s tem skrajšamo čas iskanja signala posameznega satelita, saj sprejemnik išče signal samo v območju približnega položaja, ki ga pridobi iz almanaha. Efemeride so podatkovni niz, ki vsebuje informacije o položaju satelita in stanju satelitovih ur. Oddane efemeride pridobimo med izmero, saj so del navigacijskega sporočila znotraj satelitskega signala in na osnovi teh podatkov o položaju satelitov lahko določimo položaj sprejemnika že v realnem času na terenu. Za njihov izračun skrbi kontrolni segment izbranega sistema, določijo se vsaj 4-6 ur vnaprej, zato je dejanski položaj satelita le omejene točnosti. Uporabimo jih v nalogah, ki ne zahtevajo visoke točnosti. Ker je natančnost oddanih efemerid že ob njihovem nastanku slaba, s časom pa se ta natančnost še poslabša, jih v izračunih položaja pri zahtevnejših nalogah zamenjujemo s preciznimi efemeridami, ki so določene za nazaj na podlagi opazovanj dejanskega gibanja satelitov na tirnici. Poznamo več vrst preciznih efemerid, ki se med seboj razlikujejo po tem, kdaj so uporabniku na voljo, kakšna je njihova natančnost in s kakšno programsko opremo jih je potrebno obdelati. Za njihov izračun in posredovanje skrbi služba IGS, uporabnik jih lahko pridobi preko spleta. Ločimo ultra hitre efemeride, ki so deloma dostopne že v realnem času deloma nekaj ur po izmeri, hitre efemeride in končne efemeride, ki so najnatančnejše (Pavlovčič Prešeren, Stopar, 2004; Pavlovčič Prešeren, Stopar, 2005).

## 2.3 Načini določitve položaja

Glede na razpoložljivo opremo poznamo različne načine določitve položaja preko sprejema signala GNSS. Glede na to, kakšen sprejemnik imamo na razpolago, je odvisno, kako bo naš položaj določen. Razlikujemo tudi med tem, koliko časa traja izmera, kako hitro pridobimo rezultate, ali je potrebno meritve obdelati naknadno in ali potrebujemo za pridobitev rezultatov dodatno infrastrukturo.

### 2.3.1 Kodni in fazni način

Za določitev položaja v prostoru je potrebno izmeriti razdaljo med sprejemnikom in satelitom. Poznamo dva različna postopka, kako izmerimo to razdaljo, in sicer:

- kodni način: korelacija kode nosilnega valovanja z valovanjem, generiranim v sprejemniku,
- fazni način: primerjava faze sprejetega in v sprejemniku vzpostavljenega valovanja (Kozmus, Stopar, 2003).

Če se omejimo na delovanje GPS sistema, ki je med GNSS sistemi najbolj razširjen, lahko vidimo, da je satelitski signal GPS satelita sestavljen iz nosilnih valovanj (L1, L2, L5), na katera sta naneseni dve merski kodi (C/A koda in P koda). V kolikor naš sprejemnik deluje le na kodni način, določi razdalja med satelitom in sprejemnikom s postopkom avto-korelacije kode na nosilnem valovanju in kode na valovanju, ki ga generira sprejemnik. Glede na razliko med zamikom obeh kod se določi čas potovanja satelitskega signala in s tem razdalja satelit-sprejemnik. V primeru faznega sprejemnika se razdalja med sprejemnikom in satelitom določi preko fazne razlike sprejetega valovanja in valovanja, ki ga vzpostavi sprejemnik. Zaradi višje ločljivosti nosilnega valovanja je možno bolj natančno določiti čas med oddajo in sprejemom satelitskega signala ter s tem položaj sprejemnika.

### 2.3.2 Absolutni in relativni način

Pri določitvi položaja na neki točki lahko uporabljamo samo en sprejemnik, ki izmeri razdaljo do najmanj štirih satelitov. Lahko pa uporabimo dva sprejemnika in določimo položaj ene točke glede na znane koordinate točke druge točke. Ločimo:

- absolutni način,
- relativni način.

V primeru absolutne določitve položaja izvajamo opazovanja le z enim sprejemnikom, ki izmeri najmanj štiri psevdorazdalje med satelitom in sprejemnikom. Absolutna določitev položaj sprejemnika se lahko določi tako s korelacijo merske kode kot tudi s primerjavo faze merskega in nosilnega valovanja, vendar se v praksi pri absolutnem določanju položaja največkrat uporablja kodni način, saj se z uporabo faznega načina natančnost določitve položaja bistveno ne izboljša. Razlog za to je dejstvo, da so opazovanja obremenjena s številnimi nemodelirani pogreški, ki slabšajo natančnost faznih opazovanj in s tem tudi natančnost določitve položaja (Kozmus, Stopar, 2003). Posebna primera absolutne določitve položaja sta diferencialni GNSS (DGNSS) in PPP (angl. Precise Point Positioning), ki ju bomo opisali v nadaljevanju.

Relativni način določitve položaja je možen, če uporabimo najmanj dva sprejemnika, ki sočasno sprejemata signal istih satelitov na dveh različnih točkah. Pri tem je položaj sprejemnika na prvi točki znan, položaj druge točke pa določimo relativno glede na znan položaj prve točke s tvorjenjem baznih vektorjev med točkami (Hofmann-Wellenhof et al., 2008). Za meritve na obeh točkah lahko uporabimo samo kodna ali pa tudi fazna opazovanja. V praksi pri geodetski nalogah se pri relativnem določanju položaja največkrat uporablja tako kodna kot fazna opazovanja z opazovanjem na dveh frekvencah, kar omogoča doseganje višje natančnosti in točnosti meritev. Dvofrekvenčni sprejemniki omogočajo tvorjenje faznih razlik med opazovanji iz dveh nosilnih valovanj in s tem izločitev številnih vplivov na opazovanja (pogrešek satelitove in sprejemnikove ure, vpliv ionosfere idr.), posledica je boljša natančnost izvedene meritve. Pri faznih opazovanjih je posebej pomembna določitev neznank celih začetnih valov oz. t. i. fazne nedoločenosti. Rešitev problema je ustrezna, ko je vrednost fazne nedoločenosti naravno število, ali neustrezna, ko je vrednost realno število (Kozmus, Stopar, 2003).

### **2.3.3 Statični in kinematični način**

Glede na obravnavno lokacijo sprejemnika GNSS lahko ločimo med tem, ali le-ta med določanjem položaja miruje ali se premika. V tem smislu ločimo:

- statični način: sprejemnik v času določanja položaja miruje,
- kinematični način: sprejemnik v času določanja položaja spreminja svojo lokacijo, zato dobimo različne položaje sprejemnika v prostoru med njegovim premikom.

Statični način je klasični način določanja položaja ene ali več točk, ki ga uporabimo pri statični metodi izmere. Pri tem načinu izmere sprejemnik v času izmere miruje. Na drugi strani pri kinematičnem načinu, ki ga uporabimo pri kinematični metodi izmere, se sprejemnik med izvajanjem meritev premika in tako se določajo posamezni položaji sprejemnika vzdolž potovanja le-tega. Težavo pri takšnem določanju posameznih položajev sprejemnika lahko predstavlja morebitna izguba signala GNSS, kar onemogoči določitev položaja v izbranem trenutku. Kinematični način se uporablja predvsem v primeru sledenja premikajočih vozil, kot sta avtomobil in letalo, ali v primerih, kjer se predvideva premik obravnavanega objekta (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

### **2.3.4 Določitev položaja z naknadno obdelavo in z obdelavo v realnem času**

V nekaterih primerih izmere GNSS je potrebno za pridobitev zelenih rezultatov izvesti naknadno obdelavo izmerjenih količin, v drugih primerih lahko to obdelavo izvedemo že v času izmere in tako že na terenu pridobimo položaj sprejemnika. Glede na način obdelave ločimo:

- naknadno obdelavo izmerjenih količin,

- obdelava v realnem času: rezultate pridobimo že v času izmere (Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

V nekaterih primerih meritve izvedemo v taki obliki, da zahtevajo naknadno obdelavo, saj meritve na terenu še niso praktično uporabne. Prav tako je v nekaterih primerih potrebno po izmeri pridobiti določene podatke (npr. končne efemeride), s pomočjo katerih lahko dobimo iz meritev zadovoljive rezultate. Na drugi strani pa imamo naloge, ki zahtevajo rezultate meritve, torej določitev položaja sprejemnika, že v času izmere na terenu. Pri teh nalogah moramo zagotoviti ustrezno strojno in programsko opremo, s pomočjo katere bomo lahko izvedli obdelavo v realnem času. V geodetskih nalogah, kjer se izmera izvaja na vsaj dveh sprejemnikih ob istem času, je pomembno, da se zagotovi GSM ali spletna povezava med sprejemnikoma ali sprejemnikom in referenčno postajo, ki omogoča pridobitev podatkov opazovanj na obeh točkah in tako izvedbo obdelave v realnem času (SIGNAL, 2013).

## 2.4 Vplivi na opazovanja GNSS

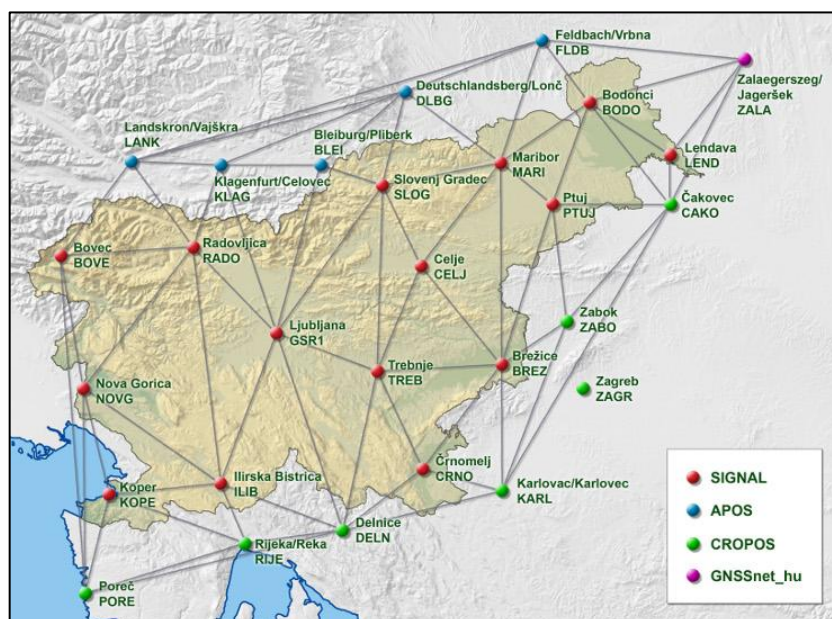
Ker geodetska opazovanja, kamor sodijo tudi opazovanja GNSS, izvajamo v fizičnem prostoru, imamo vedno opravka z vplivi na ta opazovanja. Razlogi za vplive so v koordinatnem sistemu, v katerem izvajamo opazovanja, ki je na Zemljo pritrjen in ni inercialni koordinatni sistem. Prav tako je razlog za vplive na opazovanja dejstvo, da Newtonovi zakoni mehanike v tehnologiji GNSS ne veljajo povsem, in dejstvo, da se satelitski signal ne širi skozi vakuum, temveč skozi atmosfero, ki vpliva na širjenje signala od satelita do sprejemnika. Glede na omenjene vzroke je potrebno pri obravnavi opazovanj GNSS upoštevati vplive vrtenja Zemlje, relativistične efekte in vpliv atmosfere na širjenje satelitskega signala. Vplive na opazovanja GNSS lahko glede na njihov izvor razdelimo v tri skupine:

- vplivi, ki imajo izvor v satelitu,
- vplivi, ki imajo izvor v mediju širjenja satelitskega signala,
- vplivi, ki imajo izvor v sprejemniku (Seeber, 1993).

Nekateri vplivi so sistematični, drugi so slučajni. Prisotnost slučajnih vplivov je neodvisna tako od delovanja sistema kot tudi od izvedbe in obdelave meritev. Na drugi strani pa lahko sistematične vplive odstranimo ali vsaj zmanjšamo z uporabo ustrezne merske opreme in z izbiro ustrezne metode izmere, s tvorjenjem primernih kombinacij opazovanj in z uporabo ustreznih matematičnih modelov vplivov pri obdelavi opazovanj (Stopar et al., 2006).

## 2.5 Omrežja referenčnih postaj

Kot smo že omenili, potrebujemo za relativno določitev položaja, ki jo uporabljamo v geodetskih nalogah, najmanj dva sprejemnika, ki sočasno sprejemata signal istih satelitov. Za doseganje boljših rezultatov terenska izmera velikokrat zahteva, da uporabimo celo večje število sprejemnikov, ki so stalno postavljeni in neprekinjeno sprejemajo signal satelitov. Stalno delujoče sprejemnike GNSS imenujemo permanentne postaje GNSS. Vzpostavitev permanentne postaje ali celo sistema oz. omrežja postaj je za posameznega uporabnika nesmiselna predvsem z ekonomskega vidika, saj taki sistemi pridejo v poštev v primeru večjega števila uporabnikov. Omrežja permanentnih postaj se vzpostavljajo na ravni regije v večjih državah ali na območju celotne države kot na primer v Sloveniji. Omrežje vzpostavi in nato z njim upravlja praviloma pristojna državna geodetska služba v okviru pristojnega ministrstva. Uporabnik lahko posledično z uporabo le enega sprejemnika in navezavo na omrežje permanentnih postaj določi položaj svojega sprejemnika GNSS tudi na relativni način (Kozmus, Stopar, 2003). V Sloveniji se državno omrežje permanentnih postaj imenuje SIGNAL (Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija) in predstavlja osnovo državne geoinformacijske infrastrukture ter ogrodje novega slovenskega državnega koordinatnega sistema. Sestavlja ga 15 stalnih postaj GNSS, ki so razporejene po vsej državi. Na vsaki točki je dvofrekvenčni sprejemnik GNSS, ki stalno beleži signale, oddane s satelitov. Podatki pa se preko spleta prenašajo v center Službe za GNSS, ki upravlja z omrežjem in poskrbi, da se meritve na točkah permanentnih postaj obdelajo in pretvorijo v od sprejemnika neodvisni format zapisa – format RINEX ter so tako na voljo vsem uporabnikom (Omrežje SIGNAL, 2013).



Slika 2: Omrežje permanentnih postaj GNSS v Sloveniji in okolici (Omrežje SIGNAL, 2013)

Meritve permanentnih referenčnih postaj lahko uporabimo za relativno določitev položaja sprejemnika v primeru, ko smo od točke referenčne postaje oddaljeni največ 20 kilometrov. Ker so postaje v omrežju permanentnih postaj med seboj bolj oddaljene, se pogosto zgodi, da je lokacija naših meritev od permanentne postaje oddaljena več kot 20 kilometrov. V takih primerih si pomagamo z vzpostavitvijo virtualne referenčne postaje – VRS (angl. Virtual Reference Station). Virtualno referenčno postajo oziroma meritve in vplive na opazovanja na virtualni postaji se vzpostavi s pomočjo programske opreme, ki upravlja delovanje omrežja stalnih postaj GNSS, in sicer na podlagi interpolacije meritev iz pravih referenčnih postaj v omrežju na lokacijo virtualne referenčne postaje. Posebej pomembna je določitev fazne nedoločenosti oz. neznanega začetnega števila celih valov in vzpostavitev modelov vplivov na opazovanja, kot so vpliv ionosfere, troposfere idr. Uporabnik med delom na terenu ali pri naknadni obdelavi posreduje svojo lokacijo oziroma želen položaj virtualne referenčne postaje v center Službe za GNSS, ki mu nato nazaj posreduje podatke virtualnih meritev in vplive na meritve, ki se določijo z interpolacijo opazovanj na pravih referenčnih postajah na lokacijo virtualne referenčne postaje. Interpolacija se izvede posebej za vplive na meritve, ki so odvisni od frekvence valovanja (npr. vpliv ionosfere), in posebej za od frekvence neodvisne vplive (vpliv troposfere, vpliv napak tirnice in satelitovih ur idr.). Postopek interpolacije vplivov na opazovanja na lokacijo uporabnika se lahko izvede tudi na strani uporabnika. Uporabnik lahko s tem nadzira postopek interpolacije in morebitne slabosti vhodnih podatkov. Tak pristop je znan pod imenom ACP (angl.: Area Correction Parameters) oziroma FKP (nem.: Flächen Korrektur Parameter). V nekaterih okoljih je ta postopek bolj uveljavljen kot postopek VRS. Vključitev virtualnih opazovanj je najpogosteje uporabljena pri meritvah, ki predvidevajo mirovanje virtualne referenčne postaje. Se pa uveljavljajo tudi že aplikacije, pri katerih virtualna referenčna postaja ni stalno na isti lokaciji in se premika vzdolž trajektorije premikanja lokacije meritev (Wanninger, 2002).

## **2.6 Metode izmere**

Razvoj tehnologije GNSS je omogočil uporabo kakovostnejših sprejemnikov, zmogljivejše programske opreme in učinkovitejših postopkov obdelave podatkov. Skladno z razvojem so se razvijale in uveljavljale različne metode izmere, ki za svojo izvedbo zahtevajo izpolnitev različnih zahtev, na katerih temelji tudi kakovost končnih rezultatov. V splošnem ločimo metode, ki zagotavljajo absolutni način določitve položaja, in metode, ki jih uporabljamo pri relativnem načinu določanja položaja sprejemnika in so v geodetski praksi bolj uveljavljene.

### **2.6.1 Statična metoda**

Statična metoda je osnovna metoda izmere GNSS za potrebe geodezije, saj ponuja najnatančnejše končne rezultate. Metoda omogoča določitev položaja sprejemnika na relativen način. V geodeziji jo



praviloma uporabljamo z uporabo faznih opazovanj. Meritve običajno izvajamo v več serijah, kjer ena serija predstavlja postavitev sprejemnikov na več točkah, katerih položaj določamo. Kakor pri vseh metodah določitve relativnega položaja, mora biti tudi pri statični metodi zagotovljeno sprejemanje satelitskega signala iz najmanj štirih satelitov v istih časovnih trenutkih in istem časovnem obdobju. Ena izmed točk mora imeti znane koordinate, da lahko določimo položaj novih točk relativno glede na znano. Med novimi točkami in točko z znanimi koordinatami tvorimo bazne vektorje, ki predstavljajo rezultat obdelave naših opazovanj. Običajno izvedemo več serij opazovanj, posamezna serija traja od 30 do 120 minut, odvisno od dolžine baznih vektorjev med točkami. Po izvedbi izmere je potrebno bazne vektorje obdelati z ustrezno programsko opremo, tako da položaje novih točk v mreži pridobimo šele po naknadni obdelavi, z obdelavo in izravnavo baznih vektorjev. Bistvo statične izmere je dalj časa trajajoče opazovanje satelitskega signala, kar ima za posledico spremembo geometrije položajev satelitov in omogoča določitev položaja sprejemnika z milimetrsko natančnostjo. Z ustrezno izvedbo meritev, z uporabo preciznih efemerid satelita in kakovostnih algoritmov obdelave lahko določimo položaj tudi z natančnostjo, višjo od milimetra (Stopar et al., 2006).

### **2.6.2 Hitra statična metoda**

Hitra statična metoda je podobna statični metodi, bistvena razlika je predvsem v trajanju izmere, saj je izmera na posamezni točki pri hitri statični metodi precej krajša kot pri statični metodi. Ta metoda je uporabna predvsem v primerih, ko imamo v izmeri krajše bazne vektorje, praviloma do dolžine 10 km. Izmera posamezne točke traja običajno med 5 in 20 minut, dosežene končne natančnosti položajev točk so podobne kot pri statični izmeri. Za doseganje tako visokih natančnosti kljub krajšemu trajanju opazovanj moramo imeti na voljo kakovostno programsko opremo, ki vključuje algoritme za učinkovito in hitro določanje neznanega števila celih valov v začetku opazovanj. Obenem pa moramo zagotoviti ustrezne pogoje za izvedbo meritev, kot je optimalna razporeditev satelitov po obzorju in uporaba ustreznih modelov o stanju v atmosferi (Berber et al., 2012).

### **2.6.3 Kinematična metoda**

Kinematična metoda izmere prav tako temelji na relativnem načinu določanju položaja z dvofrekvenčnimi sprejemniki na osnovi faznih opazovanj, pri čemer uporabljamo dva ali več sprejemnikov. Prvi sprejemnik miruje na znani referenčni točki, medtem ko se drugi sprejemnik, katerega položaj določamo, med izmero premika. Pred začetkom izmere je potrebno izvesti t.i. inicializacijo – določitev začetnega števila celih valov nosilnega valovanja, ki pa se ob neprekinjenem sprejemu satelitskega signala med izmero ne spreminja, zato je pri uporabi kinematične metode zelo pomembno, da med izmero ne izgubimo satelitskega signala z vsaj štirih satelitov. V primeru, da se

sprejem satelitskega signala prekine, je potrebno ponovno izvesti inicializacijo. Položaj sprejemnika je mogoče določiti zelo hitro, celo v primeru, ko se sprejemnik neprekinjeno premika. Meritve kinematične izmere je potrebno za pridobitev koordinat točk naknadno obdelati z ustrezno programsko opremo. Osnovna izvedba kinematične izmere, ko se premikajoči sprejemnik stalno premika, je uporabna v primerih, ko potrebujemo položaje vzdolž linije premika nekega objekta, npr. pri določevanju položaja letala pri letalskem laserskem snemanju, pri določanju položaja vozila v aplikacijah mobilnih snemalnih sistemov idr. (Berber et al., 2012). Za običajne naloge geodezije je bolj uporabna izvedba te metode, da za nekaj sekund do nekaj minut postavimo sprejemnik na točko, katere položaj določamo. Tako izvedemo več meritev na mestu, kar vpliva na kakovost določitve položaja točke. Tovrstno izvedbo kinematične metode imenujemo Stop-and-Go metoda ali semi-kinematična metoda izmere, ki jo običajno imenujemo kar preprosto kinematična metoda, strogo gledano pa predstavlja kombinacijo statične (Stop) in kinematične (Go) metode. Z uporabo kinematične metode je mogoče določiti položaj z nekaj centimetrovsko natančnostjo, medtem ko je mogoče z metodo Stop-and-Go doseči celo še boljše natančnost. Težavo pri doseganju višje natančnosti lahko predstavljajo predvsem sistematični vplivi na opazovanja z izvorom v okolju, ki jih je zaradi kratkotrajnih opazovanj težje modelirati, upoštevati in odkriti (Stopar et al., 2006).

#### **2.6.4 Psevdo kinematična metoda**

Psevdo kinematična metoda je vrsta metode, ki je podobna Stop-and-Go metodi, saj prav tako omogoča relativno določanje položaja z mirujočim sprejemnikom na referenčno točko in premikajočim sprejemnikom na točkah, katerih položaj določamo. Pri tem je pomembno, da vsak položaj nove točke izmerimo v dveh serijah, in sicer da je časovni razmik med serijama dolg najmanj eno uro. Vsaka serija izmere na eni točki je relativno kratka, saj običajno traja le 5 minut. Ko isto točko izmerimo še enkrat v drugi seriji, se geometrija satelitov spremeni. To nam omogoča doseganje višje natančnosti položaja, kajti sprememba geometrije satelitov zmanjša nemodelirane vplive na opazovanja z izvorom v okolici sprejemnika (npr. multipath). Slabost psevdo kinematične metode v primerjavi s statično ali kinematično metodo je dejstvo, da moramo enkrat že izmerjene točke po določenem časovnem razmiku ponovno izmeriti, kar nam podaljša trajanje terenskega dela, zato je potrebno pred samo izvedbo izmere skrbno pripraviti plan izmere (Berber et al., 2012).

#### **2.6.5 RTK-metoda**

RTK-metoda, katere kratice v imenu predstavljajo angl. Real-Time Kinematic, predstavlja v osnovi kinematično ali Stop-and-Go metodo izmere, ki poleg tega omogoča obdelavo in pridobitev rezultatov izmere v realnem času, torej že na samem terenu. Metoda omogoča določitev relativnega položaja sprejemnika na osnovi faznih opazovanj, izvedba meritev je lahko kinematična, kjer se en sprejemnik

stalno premika, ali kot Stop-and-Go metoda, kjer sprejemnik na vsaki novi točki nekaj časa miruje. Obdelava meritev in pridobitev rezultatov ter njihove kakovosti v realnem času je mogoča ob pogoju, da ima sprejemnik omogočeno GSM ali spletno povezavo, preko katere je možna pridobitev opazovanj referenčnega sprejemnika ali omrežja stalnih postaj GNSS. Sprejemnik na novi točki ima tako na voljo sočasna opazovanja z dveh točk, na podlagi katerih lahko izračuna svoj položaj preko baznega vektorja relativno na referenčno točko oziroma v konceptu VRS oziroma FKP. Uporabnik ima že med izmero vpogled v rezultate meritev, zato RTK-metoda ne zahteva naknadne obdelave, prav tako lahko uporabnik že na terenu pridobi podatke o kakovosti izvedenih meritev, ki jih pri drugih metodah v času izmere nimamo. RTK-metoda je zaradi hitro pridobljenih rezultatov in njihove kakovosti zelo uporabna v različnih geodetski nalogah (detajlna izmera, katastrska izmera, inženirska geodezija...). Zaradi kratkega trajanja izmere na posamezni točki je dosežena natančnost določitve položaja točke slabša kot v primeru statične izmere, kljub temu pa je natančnost primerljiva s hitro statično in kinematično izmero (Stopar et al., 2006).

### **2.6.6 Diferencialni GNSS**

Diferencialni GNSS ali krajše DGNS je metoda, ki je precej podobna RTK-metodi, saj za njeno izvedbo potrebujemo komunikacijsko povezavo med premičnim sprejemnikom in referenčno postajo na točki z znanim položajem. Princip delovanja DGNS temelji na absolutnem načinu določitve položaja točke z upoštevanjem popravkov opazovanj na referenčni oziroma bazni postaji, kjer se istočasno kot na novi točki izvajajo opazovanja GNSS. Diferencialen način določitve položaja omogoča zmanjšanje oziroma odstranitev vplivov na opazovanja, ki imajo izvor v atmosferi, saj sta tako bazni kot premični sprejemnik med seboj relativno blizu, zato so vplivi na opazovanja podobni. Oddaljenost med baznim in premičnim sprejemnikom je lahko tudi več 10 km, vendar ne več kot 100 km, da lahko zagotovimo nemoteno izvedbo opazovanj z metodo DGNS. Oba sprejemnika sprejemata signale istih satelitov in določita psevdorazdalje med satelitom in sprejemnikom. Ker se bazni sprejemnik nahaja na točki z znanimi koordinatami, lahko na podlagi razlike med teoretičnimi vrednostmi geometrijskih razdalj in vrednostmi izmerjenih psevdorazdalj določimo popravke izmerjenih psevdorazdalj. Ker sta bazni in premični sprejemnik relativno blizu glede na oddaljenost do satelitov, so vplivi na opazovanja na obeh lokacijah podobni. Vrednosti popravkov psevdorazdalj, določene za bazni sprejemnik, se posredujejo premičnemu, ki jih nato upošteva pri izračunu svojega končnega položaja. Premičnemu sprejemniku se popravki posredujejo v obliki standarda RTCM (angl. Radio Technical Commission for Maritime Services) ali internega formata proizvajalca v realnem času, zato potrebujemo za izvedbo metode DGNS ustrezen sprejemnik, ki omogoča sprejem podatkov v formatu RTCM in je sposoben izvesti sprotne izračune položaja sprejemnika. Določitev položaja temelji na psevdorazdaljah in popravkih teh razdalj, ki se posredujejo iz baznih sprejemnikov, zato lahko za izvedbo te metode uporabimo tudi cenejše kodne enofrekvenčne sprejemnike. Uporaba enofrekvenčnih sprejemnikov in določitev

položaja na podlagi kodnih psevdorazdalj sta tudi glavni razliki med metodama DGNS in RTK, saj slednjo izvajamo z dvofrekvenčnimi sprejemniki in z uporabo faznih opazovanj. Posledično se metodi razlikujeta tudi v doseženi natančnosti položaja premičnega sprejemnika, ki znaša v primeru DGNS do nekaj metrov in je precej odvisna od oddaljenosti med baznim in premičnim sprejemnikom. Zaradi doseganja slabše natančnosti v primerjavi z RTK-metodo se DGNS v geodeziji uporablja le v primerih, kjer ni zahtevana visoka natančnost, in sicer so to kartografske in izmere GIS, medtem ko uporaba te metode v strogih geodetskih naloga ni primerna (Kozmus, Stopar, 2003).

### 2.6.7 Metoda PPP

S kratico PPP označujemo metodo angl. Precise Point Positioning, ki predstavlja eno izmed novejših metod določanja položaja s tehnologijo GNSS in omogoča zadovoljivo natančnost določitve položaja tudi v zahtevnejših nalogah geodezije. Od uveljavljenih geodetskih metod določanja položaja se ta metoda razlikuje v tem, da položaj določimo le z enim sprejemnikom, torej na absolutni način. Izračun položaja ne temelji na tvorjenju faznih razlik med opazovanji baznega in premičnega sprejemnika na dveh lokacijah kot smo tega vajeni pri drugih metodah, temveč uporabimo le opazovanja, ki jih izvede en sprejemnik. Pri tem moramo več pozornosti nameniti modeliranju vplivov na opazovanja, ki jih pri relativnem določanju položaja izločimo s tvorjenjem faznih razlik. Pri metodi PPP faznih razlik ne moremo tvoriti, saj obravnavamo le opazovanja enega sprejemnika. Četudi so le-ta tako kodna kot tudi fazna, v čemer se metoda PPP razlikuje od klasičnih absolutnih metod s kodnim načinom določanja položaja, ki ne omogočajo doseganja visokih natančnosti. Metoda PPP zahteva natančno obravnavo vplivov na opazovanja, ki jih izločimo z uporabo preciznih efemerid z natančnimi podatki o tirnicah satelitov in satelitovih urah, s kakovostnimi modeli stanja troposfere, s tvorjenjem linearnih kombinacij opazovanj za izločitev vpliva ionosfere, neznano vrednost pogreška sprejemnikove ure pa pridobimo skupaj s koordinatnimi neznankami položaja sprejemnika preko izravnave opazovanj. Prav tako je potrebno izvesti izmero tako, da zmanjšamo morebitne vplive na opazovanja v okolici sprejemnika. Obdelava opazovanj pa mora biti izvedena z ustrezno programsko opremo, ki omogoča določitev položaja z metodo PPP. Kljub temu da izvajamo opazovanja le z enim sprejemnikom, lahko z metodo PPP določimo položaj celo s točnostjo od nekaj cm do 1 cm. Uporabnost te metode je očitna predvsem v primerih, ko nimamo na voljo ustrezne bazne postaje, glede na katero bi lahko določili svoj položaj na relativen način. Je pa metoda odvisna od podatkov referenčnih postaj na celotni Zemlji oziroma v širši okolici sprejemnika GNSS, katerega položaj določamo. V zadnjih letih se uveljavlja tudi uporaba metode PPP z izvedbo obdelave realnem času, s prenosom potrebnih parametrov za obdelavo preko spletne povezave, vendar doseganje najvišjih natančnost v realnem času še ni možno, saj so dovolj kakovostne efemeride satelitov dostopne šele z zamikom nekaj ur do več dni. Slabost metode je predvsem zahtevna obdelava in uporaba kakovostnih modelov vplivov na opazovanja, kakovostnih algoritmov in programske opreme, ki omogoča upoštevanje vseh vplivov na opazovanja.

Prav tako je v primerih, ko je potrebno določiti koordinate več točk na nekem območju, uporaba relativnega načina določanja položaja bolj smotrna, saj lahko s tvorjenjem faznih razlik opazovanj bolj učinkovito odstranimo vplive na opazovanja, ki so podobni na točkah, ki ležijo relativno blizu (King et al., 2002).

### **2.6.8 Primerjava metod**

Metode izmere GNSS se med seboj razlikujejo v natančnosti določitve položaja, ki jo je z metodo možno doseči, v uporabnosti in učinkovitosti, zato se o izbiri metode odločimo glede na zastavljeno geodetsko nalogo. Pogosto se zgodi, da za izvedbo določene naloge uporabimo kar kombinacijo več različnih metod izmere GNSS. Najnatančnejša je statična metoda, ki omogoča določitev položaja od 0,1 ppm do 10 ppm natančno v odvisnosti od dolžine baznega vektorja, zato jo uporabimo v najzahtevnejših nalogah kot je določanje položajev točk temeljne državne geodetske mreže. Slabost statične metode je predvsem trajanje izmere, kajti za izmero več serij je potrebnih več ur izvajanja meritev. Relativno visoko natančnost omogoča psevdo kinematična metoda, kljub temu pa je trajanje izmere precej krajše kot pri statični metodi izmere. Psevdo kinematična metoda zahteva skrbno izdelan plan meritev, saj je potrebno vsako točko izmeriti dvakrat z najmanj enournim časovnim razmikom, kar lahko ob neustreznem planiranju izmere bistveno podaljša čas dela na terenu. Doseganje relativno visoke natančnosti določitve položaja omogoča tudi hitra statična metoda, ki prav tako ne zahteva tako dolgotrajne izmere kot v primeru statične metode, vendar pa je pri hitri statični metodi potrebno za pridobitev ustreznih rezultatov zagotoviti prefinjeno strojno in programsko opremo. Glede na natančnost sledi kinematična metoda z relativno točnostjo od 1,5 ppm do 10 ppm glede na dolžino baznega vektorja. Kinematična metoda omogoča zelo hitro izvedbo meritev, zato lahko v zelo kratkem času izmerimo veliko število točk. Njena slabost je dejstvo, da moramo zagotoviti neprekinjen sprejem signala z najmanj štirih satelitov, preko katerih se stalno določa položaj premičnega sprejemnika. V primeru izgube signala je potrebno ponoviti inicializacijo, s tem pa se prekine stalno določanje položaja, kar je lahko težava v primeru premikajočih objektov (npr. letala, vozila), vendar imamo na razpolago tudi algoritme za določitev neznanega začetnega števila celih valov tudi za premikajoč sprejemnik. Za potrebe katastrske in topografske izmere je ustrezna uporaba RTK-metode, s katero lahko določimo položaj na nekaj centimetrov natančno v absolutnem smislu. Prednost te metode je pridobitev položaja in podatkov o količini ter kakovosti meritev že med izmero na terenu, kajti ostale metode zahtevajo za pridobitev rezultatov naknadno obdelavo v pisarni. Že na terenu pridobljene položaje točk z RTK-metodo lahko nadaljnje uporabimo tudi v drugih metodah izmere, kot je npr. klasična terestrična izmera. Vse bolj se namreč uveljavlja kombiniranje klasičnih in metod izmere GNSS za optimalno izvedbo zastavljene geodetske naloge. Slabost RTK-metode je zahteva po uporabi takšne opreme na strani premikajočega sprejemnika, ki omogoča podatkovno povezavo z referenčno postajo, preko katere pridobimo opazovanja, in tako določitev položaja v realnem času. Prav tako

moramo biti pozorni na stalen sprejem signala najmanj štirih satelitov, v nasprotnem primeru moramo ponovno izvesti inicializacijo. Položaj sprejemnika lahko v realnem času določimo tudi z metodo DGNS, pri kateri se položaj določa le na osnovi kodnih opazovanj, zato je položaj sprejemnika določen z natančnostjo okoli 1 m, kar je slabše kot v primeru metode RTK. Zadovoljivo natančnost je možno doseči tudi z metodo PPP. Prednost te metode v primerjavi z drugimi je neodvisnost od lokacije točk z znanim položajem v omrežju referenčnih postaj, glede na katere določamo položaj sprejemnika v primeru relativnega načina, in je uporabna v predelih, kjer nimamo gosto razvite mreže referenčnih postaj in absolutna vrednost položaja sprejemnika ni bistvena (npr. na naftnih ploščadih v oddaljenih morjih). Slabost metode PPP je v zahtevnosti obdelave, saj je potrebno pridobiti kakovostne modele vplivov na opazovanja in jih nato uporabiti v ustreznih programskih paketih za obdelavo meritev (Stopar et al., 2006; Berber et al., 2012; King et al., 2002).

## 2.7 Obdelava meritev

V tem poglavju se bomo osredotočili na obdelavo meritev v primeru določitve položaja na relativen način z uporabo preciznih efemerid, kot smo to storili v praktičnem delu diplomske naloge pri določevanju majhnih premikov z različnimi metodami izmere GNSS.

### 2.7.1 Pregled in priprava podatkov

Po opravljenih meritvah sledi obdelava opazovanj, ki se lahko izvede že na terenu v primeru obdelave v realnem času ali naknadno po opravljenih vseh meritvah v pisarni. Pri slednjem je potrebno opazovanja najprej prenesti s sprejemnika v okolje z ustrezno strojno in programsko opremo, ki ga običajno sestavlja osebni računalnik in računalniški programi za obdelavo meritev GNSS, ki so bodisi komercialne narave bodisi jih sami izdelamo. Meritve običajno prenesemo s sprejemnika v obliki formata proizvajalca sprejemnika ali RINEX formatu, ki je neodvisen od vrste sprejemnika in zato ne povzroča težav pri nadaljnji obdelavi. V primeru relativnega načina določitve položaja je potrebno poleg podatkov meritev lastnega sprejemnika za obdelavo pridobiti tudi opazovanja iz baznih sprejemnikov, ki so lahko permanentne postaje v omrežju referenčnih postaj ali virtualna referenčna postaja, ki jo generiramo na podlagi podatkov opazovanj v omrežju referenčnih postaj. Vrednosti teh opazovanj pridobimo preko spleta in jih prav tako v RINEX formatu vključimo v obdelavo. Poleg vseh opazovanj je potrebno pred pričetkom obdelave preko spleta pridobiti precizne efemeride, ki omogočajo doseganje natančnejših rezultatov in jih uporabnikom zagotavlja služba IGS. Položaj sprejemnika določamo glede na referenčno točko antene, medtem ko se opazovanja nanašajo na fazni center antene, zato je potrebno preko spleta pridobiti tudi kalibracijske parametre antene, ki določajo razmerje med geometrijskim in faznim centrom antene, in jih upoštevati v obdelavi opazovanj. V fazi priprave podatkov običajno najprej določimo absolutni položaj sprejemnika na osnovi opazovanj,

pridobljenih z enim sprejemnikom preko kodnih opazovanj in podatkov navigacijskega sporočila. Pred obdelavo je potrebno določiti tudi parametre obdelave, ki določajo način obdelave baznih vektorjev in vrsto uporabljenih efemerid, minimalni višinski kot satelitskega signala, model troposfere, algoritem za izračun vrednosti neznanega začetnega števila celih valov, način sestave faznih razlik, določitev kriterijev za izločanje grobih pogreškov v opazovanjih itd.

### **2.7.2 Obdelava baznih vektorjev**

Pri relativnem načinu določitve položaja je potrebno določiti bazne vektorje med točkami, saj določamo položaj novih točk relativno na dane točke. Najprej se določijo približne vrednosti baznih vektorjev na osnovi trojnih faznih razlik. Pri določanju baznih vektorjev je potrebno paziti, da so vektorji med seboj linearno neodvisni. V postopku obdelave se ugotavlja tudi prisotnost morebitnih cycle slipov, t.j. izgube signala med izvajanjem meritev. Sledi izračun baznih vektorjev na osnovi dvojnih faznih razlik brez določitve neznanega začetnega števila celih valov. V tem koraku se neznana vrednost začetnih celih valov določi kot približna vrednost oziroma kot realno število. Nato sledi določitev neznanega števila celih valov kot celo število z uporabo ustreznih algoritmov. Po določitvi začetnega števila celih valov sledi končna določitev baznih vektorjev na osnovi dvojnih faznih razlik. Rezultate obdelave meritev predstavljajo koordinatne komponente baznih vektorjev v izbranem koordinatnem sistemu s pripadajočimi natančnostmi, ki jih določimo preko baznih vektorjev in znanih koordinat referenčnih točk.

V geodetskih nalogah je potrebno za pridobitev centimetske ali boljše natančnosti položaja določiti neznanko vrednosti začetnega števila valov v okviru celih števil («fixed» solution), saj realna rešitev («float» solution) za število valov ni popolna. Napačna vrednost neznanke začetnega števila celih valov se namreč pretvori v slabšo vrednost koordinatne neznanke položaja sprejemnika. Iz študijskega gradiva pri predmetu Višja geodezija II (Stopar, Pavlovčič Prešeren, 2011) lahko razberemo, da je kakovostna določitev neznanega začetnega števila celih valov ključna v procesu določanja položaja za doseganje visokih natančnosti in bistveno vpliva na zanesljivost ter točnost rezultatov izmere. Kakovost določitve začetne vrednosti celih valov je odvisna od zanesljivosti ločevanja geodetskih neznank in neznanih celih valov, velikosti nemoduliranih vplivov na opazovanja, dolžine baznih vektorjev, geometrije med sprejemnikom in sateliti ter kakovosti opravljenih meritev. Neznano začetno vrednost celih valov lahko določimo kot a-priori vrednost, ki jo pridobimo z zaokrožitvijo realne vrednosti na najbližje celo število, lahko uporabimo algoritme iskanja neznank, ki vključujejo iskanje možnih kandidatov in nato izbiro optimalne rešitve, lahko pa uporabimo postopek iskanja rešitve, ki se rešitvi obravnavanega problema najbolje prilega z uporabo statističnega testiranja. Izbira postopka za določitev neznanega začetnega števila celih valov je odvisna od vrste razpoložljivih opazovanj, ali imamo na voljo opazovanja samo na eni frekvenci ali obdelujemo dvofrekvenčne

meritve ali pa preko kombinacije faznih in kodnih opazovanj. Postopki so običajno združeni v algoritme, kot so FARA, LAMBDA, FASF, On-the-fly idr. (Hofmann-Wellenhof et al., 2001).

### **2.7.3 Izravnava baznih vektorjev**

Koordinate novih točk določamo glede na znane koordinate referenčnih točk, ki so preko baznih vektorjev med točkami povezane v geodetsko mrežo. V primeru izmere GNSS obravnavamo bazne vektorje kot opazovanja, koordinate referenčnih točk pa kot konstante v matematičnem modelu. V kolikor imamo za neko točko določenih več baznih vektorjev, kot jih je potrebno za enolično določitev položaja, imamo prisotno nadštevilnost opazovanj v matematičnem modelu, zato je potrebno izvesti izravnavo. Za kakovostno določitev koordinat novih točk je potrebno imeti dobro definiran datum geodetske mreže, ki ga določajo parametri definicije koordinatnega sistema. V primeru danih točk je datum določen z zunanjimi vezmi, kar v primeru izmere GNSS predstavljajo tri koordinate referenčne točke in podatki efemerid satelita (položaj satelita in stanje satelitove ure). Izravnavo nadštevilnih opazovanj izvedemo z uporabo metode najmanjših kvadratov (MNK), ki omogoča pridobitev vrednosti neznank, t.j. koordinat oziroma popravkov približnih vrednosti koordinat novih točk v mreži. Matematični model izravnave temelji na enačbah popravkov posredne izravnave po MNK in je odvisen od vrste opazovanj in načina določitve položaja. Pri relativnem načinu določanja položaja na osnovi faznih opazovanj, ki omogoča doseganje ustreznih natančnosti rezultatov za geodetske naloge, so osnova matematičnega modela dvojne fazne razlike, na podlagi katerih se izvede izravnava. Pri pripravi in obdelavi meritev je potrebno posebno pozornost nameniti odkrivanju in odstranitvi grobih ter sistematičnih pogreškov v opazovanjih. To storimo tako pred izvedbo izravnave s predhodno analizo opazovanj, ko določimo pogoje, ki jim morajo opazovanja zadostiti, kot tudi po izravnavi z oceno rezultatov izravnave, ko preko popravkov opazovanj ocenjujemo kakovost opazovanj in matematičnega modela (Stopar, Pavlovčič Prešeren, 2011).

### **2.7.4 Kakovost opravljene izmere**

Poleg ugotavljanja prisotnosti grobih in sistematičnih pogreškov je potrebno opazovanja in rezultate izravnave pregledati in oceniti njihovo kakovost. Mera za kakovost je odvisna od obravnavane naloge in zahtev, ki jim moramo zadostiti že med izvedbo izmere. V splošnem ločimo dve meri za kakovost, in sicer natančnost in zanesljivost rezultatov. Natančnost rezultatov izravnave je odvisna od natančnosti opazovanih količin in od geometrije geodetske mreže ter nam pove, kolikšen je vpliv le slučajnih pogreškov na opazovanja v geodetski mreži. Ločimo globalne mere natančnosti, ki se nanašajo na celotno geodetsko mrežo, in lokalne mere natančnosti, ki ponazarjajo natančnost posamezne točke ali skupine točk. Zanesljivost predstavlja sposobnost odkrivanja in lociranja grobih ter sistematičnih pogreškov v matematičnem modelu. Opredelimo jo kot zanesljivost posameznih



operacij med izmero in pri obdelavi, kamor sodijo ustrezno delo operaterja, zanesljiva in natančna merska oprema, zanesljiva oblika geodetske mreže, izbira ustreznega merskega postopka in načina obdelave meritev. Kakovost opravljene izmere opišemo s kakovostjo matematičnega modela, ki ga sestavljata funkcionalni in stohastični model, in je odvisna od naloge, ki jo mora matematični model opraviti. V odvisnosti od zastavljene naloge moramo sestaviti matematični model ustrezne kakovosti (Stopar et al., 2006; Stopar, 2012).

## 2.8 Ugotavljanje premikov

Različne geodetske metode in postopki izmere omogočajo ugotavljanje ter spremljanje stabilnosti naravnih ter grajenih objektov na zemeljskem površju. Pri naravnih objektih lahko določamo tako tektonske premike večjih območij zemeljske skorje kot tudi lokalne premike zemeljske površine, kamor uvrščamo plazove, posedanja in ugrezanja zaradi rudarjenja, izsuševanja in črpanja podtalnice. Prav tako lahko ugotavljamo premike grajenih objektov, kamor uvrščamo prometnice, mostove, vodne pregrade in razne strojne konstrukcije. Na podlagi premikov točk lahko izračunamo deformacije na objektih, ki bodisi podajo informacije o konstrukcijah in materialih zgrajenih objektov bodisi zagotovijo informacije o morebitni nevarnosti za okolico objekta. Redno spremljanje in ugotavljanje stanja na objektih zagotavlja varnost in tudi finančni prihranek (Savšek et al., 2010).

Premike značilnih točk na nekem objektu določimo glede na stabilne referenčne točke v okolici objekta. Pri določevanju premikov točk z geodetskimi opazovanji povežemo točke na objektu in referenčne točke v geodetsko mrežo, znotraj katere izvajamo geodetska opazovanja. Za korektno določitev premikov glede na zahtevano natančnost je potrebno opazovanja izvesti s preizkušeno mersko metodo in ustrezno mersko opremo, jih primerno obdelati ter izravnati. Pomemben korak pri obdelavi posamezne izmere je ocena kakovosti mreže in opazovanj v njej, saj je od tega odvisna tudi kakovost premikov, ki jih določimo na podlagi teh opazovanj. Posamezno izvedbo meritev in pridobitev rezultatov izravnave imenujemo terminska izmera, ki predstavlja nek trenutek določitve položajev točk v mreži. Premike točk na objektu določimo s primerjavo položajev identičnih točk v dveh terminskih izmerah. Ker lahko o premikih sklepamo samo na podlagi identičnih točk v mreži, je pomembno, da v vsaki terminski izmeri določimo položaj vseh značilnih točk na objektu, na podlagi katerih lahko pravilno ocenimo dogajanje z objektom med eno in drugo terminsko izmero. Ko izravnamo opazovanja vsake posamezne terminske izmere, lahko na podlagi primerjave rezultatov dveh terminskih izmer ocenimo premike točk in njihove natančnosti. Pri enostavnejših inženirskih nalogah zadošča izračun razlike v položaju točk med dvema terminskima izmerama. Pri zahtevnejših geodinamičnih raziskavah je potrebno izvesti deformacijsko analizo, ki omogoča podrobnejšo in bolj celovito oceno premikov točk. Obravnavani premiki točk na objektu so lahko bodisi veliki bodisi zelo majhni glede na določljivo natančnost, zato je potrebno geodetska opazovanja, oceno natančnosti in

statistično analizo izvesti zelo skrbno in natančno. V nasprotnem primeru lahko na podlagi napačnih izračunov premikov pridemo do napačnih odločitev glede stabilnost točk v geodetski mreži, kar ima lahko hude posledice tako glede predstavitve premikov in dogajanja na objektu kot tudi z vidika nadaljnjih odločitev o ukrepih na objektu (Savšek-Safić, 2003; Savšek et al., 2010).

### 2.8.1 Izračun premika in natančnosti premika

Po izvedbi najmanj dveh terminskih izmer, v katere smo vključili točke na objektu in stabilne točke ob objektu, skrbni obdelavi, izravnavi in oceni kakovosti posamezne terminske izmere sledi izračun morebitnih premikov in njihove natančnosti. Premike ugotavljamo na podlagi primerjave koordinat identičnih točk, in sicer primerjamo koordinate točke T v ravnini v času t iz prve terminske izmere in koordinate iste točke T v ravnini v času t + Δt iz druge terminske izmere. Ker poleg samih koordinat poznamo tudi natančnosti teh koordinat tako v času t kot tudi v času t + Δt, je možno sestaviti kovariančni matriki koordinat za oba trenutka terminske izmere. Položaj točke T v času t je dan s koordinatama T<sub>t</sub> (y<sub>t</sub>, x<sub>t</sub>) in pripadajočo kovariančno matriko Σ<sub>t</sub>, položaj točke T v času t + Δt pa je določen s koordinatama T<sub>t+Δt</sub> (y<sub>t+Δt</sub>, x<sub>t+Δt</sub>) in pripadajočo kovariančno matriko Σ<sub>t+Δt</sub>. Kovariančni matriki vsebujeta varinace in kovarinace koordinat:

$$\Sigma_t = \begin{bmatrix} \sigma_{y_t}^2 & \sigma_{y_t x_t} \\ \sigma_{y_t x_t} & \sigma_{x_t}^2 \end{bmatrix} \quad \Sigma_{t+\Delta t} = \begin{bmatrix} \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2 & \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}} \\ \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}} & \sigma_{x_{t+\Delta t}}^2 \end{bmatrix}$$

Premik točke, ki ga označimo z oznako d, izračunamo preko razlike koordinat:

$$d = \sqrt{(y_{t+\Delta t} - y_t)^2 + (x_{t+\Delta t} - x_t)^2}$$

Natančnost premika določa razpršenost vrednosti premika in jo predstavimo s standardno deviacijo σ<sub>d</sub>, ki pa jo izračunamo preko varinace σ<sub>d</sub><sup>2</sup> z uporabo zakona o prenosu varinac in kovarianc:

$$\sigma_d^2 = J_d \cdot \Sigma_{t+\Delta t} \cdot J_d^T$$

V zgornji enačbi nastopa oznaka J<sub>d</sub>, ki predstavlja Jacobijevo matriko in vsebuje člene, ki določajo odvode funkcijske povezave med koordinatami točke, določenimi v terminu t - T<sub>t</sub> in koordinatami točke v terminu t + Δt - T<sub>t+Δt</sub>, torej odvode razlik koordinat oziroma premika d točke T po posameznih koordinatah. V matrični obliki zapišemo Jacobijevo matriko:

$$J_d = \begin{bmatrix} \frac{\partial d}{\partial y_t} & \frac{\partial d}{\partial x_t} & \frac{\partial d}{\partial y_{t+\Delta t}} & \frac{\partial d}{\partial x_{t+\Delta t}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\Delta y}{d} & -\frac{\Delta x}{d} & \frac{\Delta y}{d} & \frac{\Delta x}{d} \end{bmatrix}$$

V enačbi za izračun premika nastopa tudi oznaka  $\Sigma_{t,t+\Delta t}$ , ki predstavlja skupno variančno-kovariančno matriko spremenljivk v enačbi za premik, torej koordinat točk  $T_t$  in točko  $T_{t+\Delta t}$ . Sestavljajo jo variance koordinat  $x$  in  $y$  iz vsake terminske izmere ter kovariance med koordinatami iste izmere. Ker ni korelacije med koordinatami v času  $t$  in koordinatami v času  $t + \Delta t$ , so na mestih, kjer nastopajo kovariance med koordinatami različnih izmer, vrednosti 0. Skupno variančno-kovariančno matriko zapišemo kot:

$$\Sigma_{t,t+\Delta t} = \begin{bmatrix} \sigma_{y_t}^2 & \sigma_{y_t x_t} & 0 & 0 \\ \sigma_{y_t x_t} & \sigma_{x_t}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{y_{t+\Delta t}}^2 & \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}} \\ 0 & 0 & \sigma_{y_{t+\Delta t} x_{t+\Delta t}} & \sigma_{x_{t+\Delta t}}^2 \end{bmatrix}$$

Preko enačbe za premik in upoštevanjem zakona o prenosu varianc in kovarianc dobimo ocenjeno vrednost premika  $d$  in pripadajočo natančnost premika  $\sigma_d$ , ki je odvisna od natančnosti določitve koordinat v vsaki terminski izmeri (Savšek-Safić, 2003).

## 2.8.2 Testiranje značilnost premika

Na podlagi izračunane vrednosti premika in pripadajoče natančnosti premika je potrebno v naslednjem koraku oceniti, ali se je točka v mreži, katere položaj smo določali v posameznih terminskih izmerah, dejansko premaknila. To lahko storimo s statističnim testiranjem značilnosti premika  $d$ . Zaradi prisotnosti slučajnih pogreškov se položaj identične točke iz vsake terminske izmere nekoliko razlikuje in posledično lahko izračunamo razliko med koordinatami točke, ki smo jo poimenovali premik  $d$ . V primeru, da so v opazovanjih prisotni le slučajni pogreški in da se merjena točka na objektu ni premaknila, bo razlika med položajema oziroma premik  $d$  sorazmerno majhen glede na znano natančnost meritev. V primeru, da se je merjena točka med posameznima terminskima izmerama premaknila, bo vrednost premika  $d$  velika in dejstvo o premiku obravnavane točke bomo lahko razbrali iz vrednosti količine  $d$ . Seveda moramo paziti, da v izračunu uporabimo le opazovanja, ki ne vsebujejo grobih in sistematičnih pogreškov, saj lahko njihova prisotnost vpliva na napačno odločitev glede premika točke med terminskima izmerama. Pri ocenjevanju premikov, ki obsega ugotavljanje, ali se je merjena točka na objektu med dvema terminskima izmerama premaknila, običajno sestavimo testno statistiko  $T$ , ki predstavlja razmerje med vrednostjo premika  $d$  in natančnostjo premika  $\sigma_d$  (Savšek-Safić, 2003):

$$T = \frac{d}{\sigma_d}$$

Vrednost izračunane testne statistike  $T$  primerjamo s kritično vrednostjo  $T_{krit}$  glede na izbrano stopnjo značilnosti testa  $\alpha$ . Pri tem je potrebno upoštevati dejstvo, da je premik možno zanesljivo odkriti le v primeru, da je le-ta večji od njegovega standardnega odklona. To pomeni, da v kolikor ugotavljamo majhne premike, je potrebno opazovanja izvesti z višjo natančnostjo kot v primeru, da v obravnavani nalogi pričakujemo velike premike točk na objektu. V geodetski praksi se pogosto uporabi za kritično vrednost splošno uveljavljeno vrednost 3 ali 5. Iz tega sledi sklep, da se je točka na objektu med terminskima izmerama premaknila, če je velikost premika večja ali enaka od tri- oziroma petkratne vrednosti standardnega odklona premika. Tak način določitve kritične vrednosti je zelo poenostavljen in je primeren za manj zahtevne naloge, saj pri takem načinu ugotavljanja premikov točk ne moremo oceniti stopnje značilnosti testa in verjetnosti, da smo storili napako. Lahko se namreč zgodi, da je prava kritična vrednost od določeni stopnji zaupanja manjša od trikratne vrednosti natančnosti premika. Za natančnejšo določitev kritične vrednosti sestavimo porazdelitveno funkcijo za testno statistiko, iz katere razberemo kritično vrednost (Savšek-Safić, 2003).

### 2.8.3 Deformacijska analiza

Deformacijska analiza predstavlja metode odkrivanja in določanja premikov ter deformacij naravnih in umetnih objektov. Sestavljajo jo postopki, ki na osnovi geodetskih meritev preko metod statistične analize ugotavljajo nastale prostorske premike fizične površine ali zgrajenih objektov na Zemlji. Določanje premikov in deformacij z deformacijsko analizo je običajno zaradi zapletenih matematičnih postopkov zelo zahtevno in kompleksno, zato v praksi pogosto velja za neuporabno. Absolutno določanje premikov temelji na ugotavljanju stabilnosti točk, zato je potrebno v procesu določanja premikov izbrati optimalne metode statistične analize, ki omogočajo, da pridobimo kakovostne rezultate. Danes poznamo različne metode deformacijske analize, kot so Hannover, Delft, Karlsruhe, Fredericton, Ašanin, Mihailovič idr. Metode se med seboj razlikujejo v uporabnosti, racionalnosti in praktičnosti, saj vsaka metoda upošteva drugačne predpostavke, matematični model in statistično analizo. Kljub temu da so v preteklosti poskušali vse metode poenotiti in s tem uveljaviti enoten postopek deformacijske analize, ostajajo še danes v uporabi različni postopki, izbira postopka pa je na strani uporabnika. Ustrezno metodo izberemo glede na obravnavano geodetsko nalogo in želene rezultate (Savšek-Safić, 2002).

### **3 TERENSKA IZMERA**

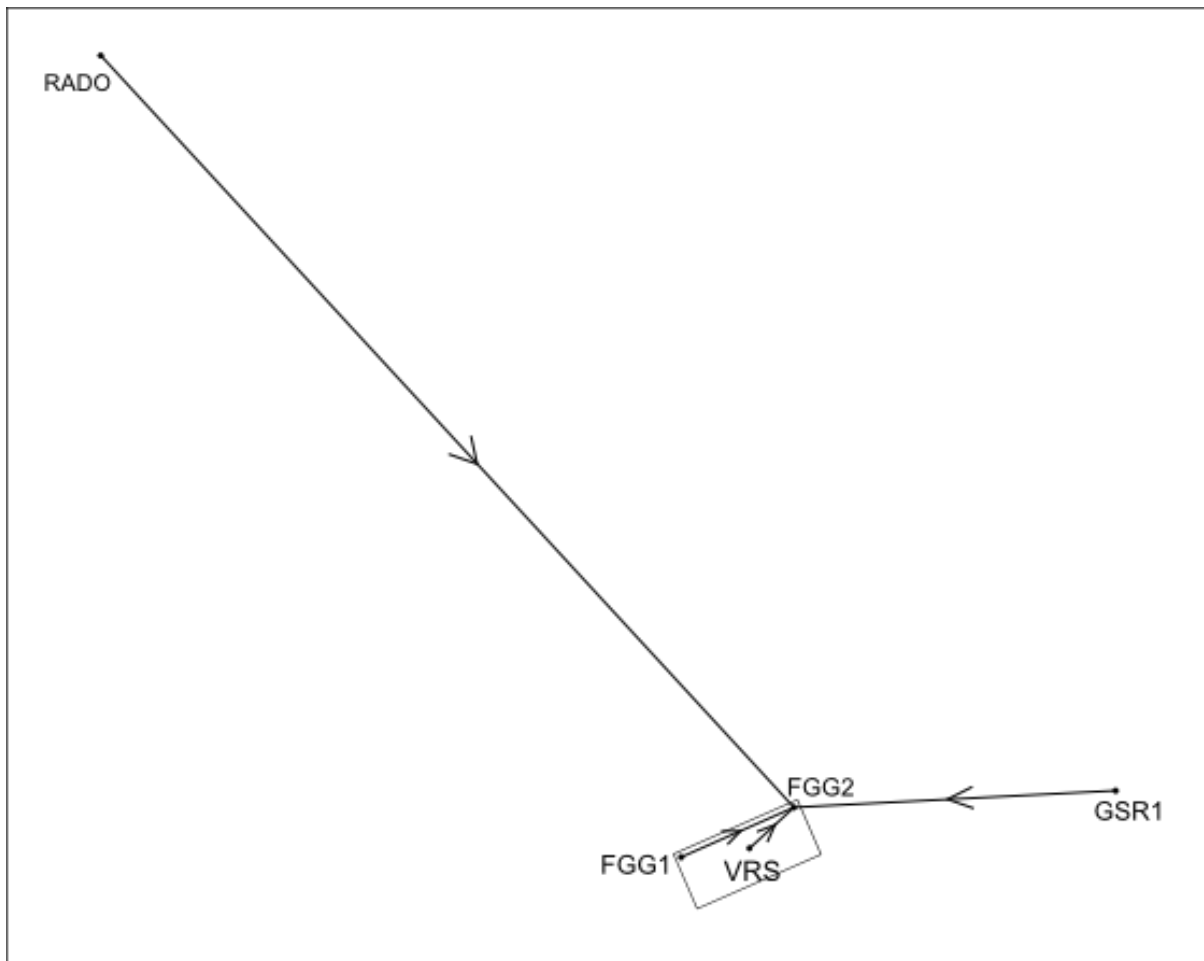
Za praktično primerjavo različnih metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov smo izvedli terensko izmero. Pred samim terenskim delom je bilo potrebno razmisliti o načinu izvedbe meritve in pripraviti plan izmere. V nadaljevanju je opisna uporabljena merska oprema in natančen potek izmere.

#### **3.1 Planiranje izmere**

Ker smo že predhodno vedeli, da želimo primerjati različne metode izmere GNSS, je bilo potrebno razmisliti, katere metode želimo preizkusiti, kakšna bo oblika geodetske mreže, kakšna bo velikost, smer in hitrost premikov in na kakšen način jih bomo izvajali. Prav tako je bilo potrebno razmisliti o izbiri merske opreme, koliko časa bo trajala izmera, kako bomo meritve obdelali in na kakšen način pridobili rezultate.

Odločili smo se, da bomo za določanje majhnih premikov preizkusili statično, kinematično in RTK-metodo izmere. Geodetsko mrežo so sestavljale dve točki na strehi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (točki FGG1 in FGG2) ter dve točki stalno delujočih postaj GNSS v omrežju SIGNAL (točki GSR1 in RADO). Prav tako smo odločili, da bomo dodatno v mrežo vključili tudi virtualno referenčno postajo (VRS) in s tem ugotavljali, ali so se s tem rezultati naše izmere izboljšali. Točka FGG2 je bila izbrana točka v mreži, na kateri smo tekom izmere izvajali znane premike antene sprejemnika. Na sliki 3 je prikazana skica geodetske mreže. Sestavljajo jo točke mreže in bazni vektorji med točko FGG2 ter ostalimi točkami v mreži. Prikazan je tudi tlorisni obris stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, kjer se nahajajo točke FGG1, FGG2 in VRS. Poudariti je potrebno, da zaradi velike oddaljenosti točke RADO velikosti baznih vektorjev niso v pravem razmerju.

V geodetsko mrežo smo hoteli vključiti tudi točko FGG3, ki se nahaja na jugovzhodnem vogalu strehe fakultete in na kateri stoji stalno delujoča postaja GNSS. Zaradi težav s strežnikom v času izmere pa opazovanj na točki FGG3 nismo mogli vključiti v našo geodetsko mrežo.



Slika 3: Skica geodetske mreže

Izmero smo razdelili na dva sklopa, prvega so sestavljali centimetrski premiki, v drugem pa smo izvajali milimetrske premike. Uporabljena merska oprema, trajanje izmere, način obdelave in prikaz rezultatov je opisan v nadaljevanju.

### 3.2 Merska oprema

V izmeri smo uporabili naslednjo mersko opremo:

- dva dvofrekvenčna sprejemnika GNSS Leica Viva GS15/CS10,
- dva srčna vijaka,
- kovinski nosilec,
- merilno uro,
- klinasto merilo,
- merski trak.

Poleg splošno uveljavljenih instrumentov, kot je sprejemnik GNSS, smo pri izvajanju meritev uporabili kovinski nosilec, na katerega smo pritrčili anteno sprejemnika GNSS. Nosilec sestavljajo kovinsko ogrodje in vijak, ki omogoča premikanje antene v izbrani smeri vzdolž ogrodja nosilca. Na nosilec smo pritrčili merilno uro, ki je služila za odčitavanje velikosti premika in je omogočala določitev premika na 0,01 milimetra natančno.



Slika 4: Kovinski nosilec, na katerem je pritrjena antena sprejemnika GNSS

### 3.3 Potek izmere

Meritve na terenu smo izvedli na strehi stavbe UL FGG. Prvi del meritev smo izvedli 17. aprila 2013, drugega pa 18. aprila 2013. Na strehi fakultete smo vzpostavili geodetsko mrežo, ki sta ju sestavljali dve točki (FGG1, FGG2). Obe točki smo navezali na različno oddaljene referenčne točke omrežja SIGNAL. Na vseh točkah so se hkrati izvajale meritve GNSS z dvofrekvenčnimi sprejemniki. Pri tem so sprejemniki na vseh referenčnih točkah in na točki FGG1 mirovali med celotnim časom izvajanja meritev, medtem ko smo na točki FGG2 premikali anteno sprejemnika GNSS v vnaprej predvidenih trenutkih. Premik sprejemnika je bil po velikosti znan in vnaprej določen. Na točki FGG1 smo sprejemnik preprosto privili na betonski steber s srčnim vijakom. Na točki FGG2 smo na betonski steber najprej s srčnim vijakom stabilizirali kovinski nosilec, na ta nosilec smo nato pritrčili anteno GNSS. Kovinski nosilec z vijakom je omogočal izvajanje natančnih premikov antene v izbrani smeri. Ker je bil nosilec na stebru postavljen horizontalno, smo premike izvajali v vodoravni ravnini. S tem smo poenostavili določanje premikov, predvsem pa smo omogočili doseganje boljših rezultatov, saj vemo, da je natančnost določitve položaja sprejemnika v višinskem smislu slabša. Kovinski nosilec z vijakom, na katerem je pritrjena antena sprejemnika, smo postavili v smer vektorja med točkama FGG1 in FGG2, s čimer smo zagotovili jasno določeno smer premikov. Na začetku smo anteno sprejemnika na točki FGG2 postavili na položaj, ki je bil od začetka nosilca oddaljen točno 1 cm. S

tem smo jasno definirali začetni položaj antene, glede na katerega smo določali premike. Za izvajanje natančnih premikov predvsem v primeru milimetrskih premikov smo si pomagali merilno uro, s katero smo lahko vsak premik določili na 0,01 mm natančno. Kontrolo velikosti premikov smo izvajali s klinastim merilom, s katerim smo po premiku ponovno preverili velikost premika glede na prejšnji položaj. Interval registracije meritev GNSS smo na obeh točkah nastavili na 1 sekundo. Na obeh točkah smo pred začetkom z merskim trakom izmerili višino antene od zgornje točke betonskega stebra do geometrijskega centra antene.



Slika 5: Točka FGG2, na kateri smo preko kovinskega nosilca izvajali premike

V prvem dnevu terenske izmere smo na točki FGG2 izvajali centimetrške premike. Po vzpostavitvi mreže smo najprej približno dve uri izvajali opazovanja GNSS na začetnem položaju. Po dveh urah smo anteno sprejemnika premaknili za 1 cm in na tem novem položaju dve uri izvajali opazovanja GNSS. Po približno dveh urah smo ponovno izvedli premik, in sicer premik za 5 cm. V tem trenutku je bil sprejemnik za 6 cm premaknjen glede na začetni položaj. Ponovno smo na tem položaju dve uri izvajali meritve GNSS. Končni premik smo izvedli za 6 cm v nasprotni smeri prvih dveh premikov, po tem premiku je bil sprejemnik ponovno na začetnem položaju, kjer smo ponovno izvajali približno 2-urna opazovanja. Celotno izmera tega dne je trajala 8 ur in 22 minut.

V drugem dnevu terenske izmere smo na točki FGG2 naprej opravili izmero milimetrskih premikov. Na začetku smo 30 minut izvajali opazovanja GNSS na izhodiščnem položaju. Sledilo je 30 premikov antene sprejemnika, med vsakim premikom je sprejemnik 5 minut miroval. Velikost vsakega od prvih



desetih premikov je znašala 1 mm, drugih deset premikov je bilo velikosti 2 mm, vsak od zadnjih desetih premikov je bil velikosti 3 mm. Po 30 premikih je bila antena sprejemnika od začetnega položaja oddaljena za 6 cm. Na tem položaju smo izvajali opazovanja še nadaljnjih 30 minut. Po tem času smo ponovno izvedli premik, in sicer za 6 cm na začetni položaj. Ko je bila antena sprejemnika ponovno na začetnem mestu, smo na tem položaju izvedli še zadnjih 30 minut izmere GNSS. Celotna izmera milimetrskih premikov je trajala 4 ure in 5 minut.

Po izmeri milimetrskih premikov smo v drugem dnevu terenske izmere izvedli še izmero z RTK-metodo, s katero smo meritve obdelali in pridobili rezultate že na terenu, v času izmere. Z RTK-metodo smo izvedli tako centimetrské kot tudi milimetrské premike, rezultate opazovanj pa smo shranjevali v pomnilnik sprejemnika, da so bila ta na voljo za nadaljnje izračune in primerjave. Položaj sprejemnika smo določili v vsaki sekundi izvajanja izmere. Najprej smo izvedli centimetrské premike, podobno kot v prvem dnevu terenske izmere smo najprej opazovali na začetnem položaju. Po 1 minuti smo sprejemnik premaknili za 1 cm, po naslednjih 60 s je sledil premik za 5 cm in nato po ponovnih 60 s mirovanja sprejemnika smo izvedli zadnji premik za 6 cm na začetni položaj. Tak način izmere smo izvedli na dva načina, v prvem načinu smo inicializacijo izvedli samo na začetku meritev, v drugem načinu pa smo inicializacijo izvedli pred vsakim premikom. Sledila je izmera milimetrskih premikov. Zaradi znanih omejitev RTK-metode glede natančnosti določitve položaja smo se odločili, da bomo s to metodo preizkusili le premike v velikosti 3 mm, zato smo v postopku izmere izvedli deset premikov po 3 mm. Po izvedbi 10 premikov po 3 mm je bila antena sprejemnika na najbolj oddaljenem položaju glede na izhodišče, in sicer 3 cm od začetnega položaja. Tudi v primeru milimetrskih premikov smo izvedli inicializacijo na dva načina. Pri prvem načinu smo inicializacijo opravili samo na začetku izvajanja meritev, na začetnem položaju antene sprejemnika, sledila so opazovanja, ki jih nismo prekinjali za ponovno izvedbo inicializacije. V drugem primeru izvedbe milimetrskih premikov smo inicializacijo izvedli tako na začetku izvajanja meritev kot tudi pred vsakim naslednjim premikom. Podrobnejši potek izvajanja meritev je predstavljen v zapisnikih terenske izmere, ki se nahajajo v prilogi A.

## 4 OBDELAVA MERITEV

Celotno obdelavo meritev smo izvedli v komercialnem računalniškem programu Leica Geo Office (LGO). S tem programom smo se nekoliko spoznali že pri vajah pri predmetu Višja geodezija II, natančnejše pa sem se z njim spoznala tekom izdelave diplomske naloge.

### 4.1 Priprava podatkov

Pred obdelavo je bilo potrebno podatke pripraviti in urediti v ustrezno obliko. Najprej smo pripravili opazovanja z vseh točk v geodetski mreži. Meritve s točk FGG1 in FGG2, ki smo jih med izmero shranjevali v pomnilnik sprejemnika, smo v obliki RINEX formata prenesli na osebni računalnik. Prav tako smo s sprejemnika prenesli že obdelane meritve in rezultate RTK-izmere. Nato smo za oba dneva terenske izmere s spleta pridobili opazovanja referenčnih postaj GSR1 in RADO, ki sta del slovenskega omrežja stalno delujočih postaj GNSS - omrežja SIGNAL. Prav tako smo na spletni strani omrežja SIGNAL generirali opazovanja virtualne referenčne postaje (VRS), na podlagi katere smo določali položaj točke FGG2 v obeh dneh terenske izmere. Položaj točke VRS smo si izbrali približno na sredini strehe fakultete, med točkama FGG1 in FGG2. V postopku generiranja opazovanj na spletni strani omrežja SIGNAL je bilo potrebno določiti zelen položaj virtualne referenčne postaje, zato smo se odločili za naslednje koordinate:  $\varphi = 46^{\circ} 02' 45''$ ,  $\lambda = 14^{\circ} 29' 42''$ ,  $h = 367,540$  m. Vsa opazovanja smo ustrezno uredili in pripravili za uvoz v program za obdelavo meritev. Posebno pozornost smo namenili opazovanjem na točki FGG2, da so bila pripravljena tako za statično obdelavo kot tudi za kinematično. Poleg opazovanj smo pripravili tudi ostale podatke za uspešno obdelavo meritev. S spletne strani ameriške geodetske uprave NGS (angl. National Geodetic Survey) smo pridobili uradne kalibracijske parametre za vse tipe anten, ki so bile uporabljene v terenski izmeri. S spletne strani službe IGS (angl. International GNSS Service) smo pridobili precizne efemeride. Ker smo želeli pridobiti najboljše možne rezultate, smo se odločili za končne precizne efemeride IGS (angl. final ephemerides), ki so najnatančnejše, vendar pa jih lahko pridobimo šele 12-18 dni po opravljeni izmeri.

### 4.2 Obdelava meritev statične metode

Ko smo pripravili vse potrebne podatke, smo se lotili obdelave meritev v programu Leica Geo Office (v nadaljevanju LGO) za statično metodo izmere. Najprej smo obdelali opazovanja terenske izmere prvega dne, s katerimi smo želeli ugotavljati centimetrske premike. V LGO smo uvozili kalibracijske parametre za antene sprejemnikov, ki so bile uporabljene v izmeri. Sledil je uvoz preciznih končnih efemerid službe IGS. Nato smo uvozili še vsa opazovanja prvega dne na točkah FGG1, FGG2, GSR1 in RADO. Ker pri statični metodi določamo položaj sprejemnika na relativen način z obdelavo baznih vektorjev med znano in novo točko, je bilo potrebno pred obdelavo baznih vektorjev nastaviti

parametre obdelave. V programu LGO je bilo potrebno nastaviti minimalni višinski kot satelitov, ki jih bo program upošteval, in sicer smo to vrednost nastavili na 15°. Nastavili smo vrsto uporabljenih efemerid na precizne efemeride. Program omogoča tudi izbiro sistema GNSS, na podlagi katerega se določi položaj, in izbiro vrste rešitve pri določitvi neznanega števila celih valov (krajše NŠCV), ki so bo upoštevala pri izračunu položaja sprejemnika. Pri teh dveh nastavitvah smo uporabili priporočeno možnost, ki določa, da program upošteva vse razpoložljive sisteme GNSS, tako GPS kot GLONASS, v kolikor so ti na voljo, čeprav smo v našem primeru imeli na voljo le GPS meritve, pri določitvi NŠCV pa naj se upošteva najboljša možna rešitev glede na izračun, kar pomeni, da v kolikor je NŠCV možno določiti kot celo število, bo program uporabil to rešitev. Nastavili smo tudi model troposferske refrakcije, kjer smo izbrali model Hopfield. Potrebno je bilo tudi nastaviti status vsake točke, ki določa način obravnave opazovanj na točki v obdelavi baznih vektorjev in v izravnavi. Referenčni točki GSR1 in RADO sta bili določeni kot kontrolni točki, ki imata znane koordinate, ki se v postopku obdelave ne spremenijo. Točki FGG1 in FGG2 pa sta bili merjeni točki, ki se jima koordinate tekom obdelave spremenijo glede na začetno približno vrednost.

Po nastavitvi parametrov obdelave smo se lotili obdelave baznih vektorjev za statično metodo izmere za vsa opazovanja GNSS prvega dne terenske izmere. Ker smo imeli na voljo dve referenčni točki (GSR1 in RADO), smo obdelavo ločili na dva dela, saj imamo lahko v postopku ene obdelave le eno referenčno točko naenkrat, prav tako pa moramo biti pozorni, da so v obdelavo vključeni le linearno neodvisni vektorji. Zato smo najprej obdelali vektorja GSR1-FGG1 in GSR1-FGG2, nato pa še vektorja RADO-FGG1 in RADO-FGG2. Nato smo vse štiri vektorje še izravnali po metodi najmanjših kvadratov in pridobili rezultate, in sicer koordinate točk FGG1 in FGG2, skupaj s pripadajočimi natančnostmi koordinat. Ker statična metoda omogoča določitev položaja na podlagi dalj časa trajajočih opazovanj GNSS, smo iz vseh opazovanj prvega dne izmere pridobili le en niz koordinat za položaj sprejemnika na točki FGG2, ne glede na to, da se je položaj sprejemnika tekom izmere premikal. Na podoben način smo obdelali tudi meritve GNSS z vključitvijo točke VRS, ki smo jo generirali preko spletne strani omrežja SIGNAL in jo v programu LGO označili kot kontrolno točko. Položaja točk FGG1 in FGG2 smo nato določili relativno glede na vse tri obravnavane referenčne točke – GSR1, RADO in VRS.

Ker vemo, da smo sprejemnik med izmero premikali, in poznamo trenutke začetka ter približno trajanje vseh premikov, smo lahko izračunali tudi vmesne položaje sprejemnika med premiki. Celotno izmero prvega dne smo razdelili na štiri intervale, znotraj katerih je sprejemnik na točki FGG2 miroval. Vsak interval opazovanj med posameznima premikoma je trajal približno dve uri, zato je vseboval zadostno količino opravljenih meritev, da smo lahko s statično metodo zanesljivo določili položaje točke FGG2.

Preglednica 1: Intervali izmere GNSS prvega dne

	Čas začetka intervala	Čas konca intervala	Trajanje intervala
1. interval	8:14	10:14	2 uri
2. interval	10:20	12:15	1 ura 55 min
3. interval	12:22	14:18	1 ura 56 min
4. interval	14:23	16:19	1 ura 56 min

Položaj točke FGG2 znotraj vsakega intervala mirovanja sprejemnika smo določili relativno na vse tri referenčne postaje – GSR1, RADO in VRS. Dodatno smo položaj točke FGG2 med posameznimi intervali določili tudi relativno na merjeno točko FGG1, ki smo jo predhodno določili glede na referenčni postaji GSR1 in RADO na podlagi vseh meritev prvega dne terenske izmere.

Prav tako smo z naknadno obdelavo pridobili rezultate statične izmere za meritve drugega dne terenske izmere, ko smo izvajali milimetrške premike. Ker so intervali med premiki trajali le 5 minut, so bili le-ti prekratki, da bi lahko pridobili kakovosten rezultat statične metode za vsak posamezen interval. Statična metoda namreč zahteva dalj časa trajajoče meritve, kar pomeni vsaj 30 minut, zato smo izvedli samo klasično statično obdelavo vseh meritev drugega dne izmere. Položaja točk FGG1 in FGG2 smo tako kot pri prvem dnevu določili glede na vse tri referenčno postaje – GSR1, RADO in VRS.

### 4.3 Obdelava meritev v kinematičnem načinu

V primeru kinematične metode izmere smo prav tako pred obdelavo nastavili vse potrebne parametre obdelave, ki pa so bili enaki kot v primeru statične metode. Uporabili smo precizne končne efemeride, minimalni višinski kot sprejema satelitskega signala smo nastavili na 15°. Pri izbiri vrste uporabljenega sistema GNSS in uporabljene rešitve za fazne nedoločenosti smo prav tako izbrali priporočeno možnost. Za model troposferske refrakcije smo izbrali model Hopfield.

V obdelavi kinematične izmere smo se osredotočili na merjeno točko FGG2, kjer smo izvajali premike. Referenčne točke GSR1, RADO in VRS smo označili kot kontrolne točke, ki imajo znane koordinate. Položaj točke FGG2 smo po principu kinematične metode določili za vsako sekundo izvajanja opazovanj GNSS na tej točki. Izvedli smo tri obdelave kinematičnih opazovanj, prva se je nanašala na referenčno točko GSR1, drugo na točko RADO, zadnja na točko VRS. Rezultat obdelave opazovanj kinematične metode so bili koordinate položaja točke FGG2 za vsako sekundo izvajanja opazovanj.

Na podoben način smo izvedli obdelavo meritev v kinematičnem načinu za drugi dan terenske izmere. Parametri obdelave si bili enaki kot v primeru obdelave meritev prvega dne. Med izmero je sprejemnik opravil registracijo meritev na vsako sekundo, zato smo tudi položaj točke FGG2 določili za vsako sekundo, relativno glede na izbrane referenčne točke, naprej glede na točko GSR1, nato glede na točko RADO in nazadnje glede na točko VRS. Rezultati vseh treh obdelav kinematične metode za drugi dan izmere so bile koordinate točke FGG2 v vsaki sekundi izmere.

#### **4.4 Obdelava meritev RTK-metode**

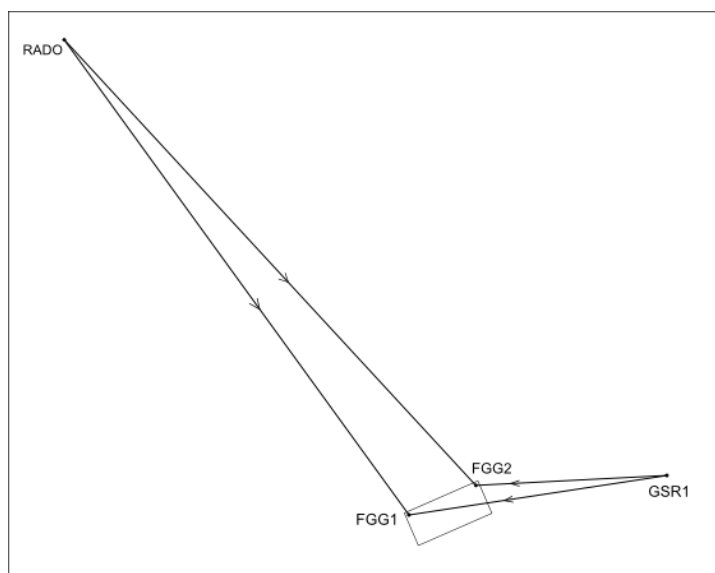
Kot smo že omenili, se obdelava v premeru RTK-metode izvede že na terenu, zato ni bilo potrebno naknadno obdelovati podatkov meritev. Za razliko od statične in kinematične metode so bile v RTK-metodi uporabljene s satelita oddane efemeride (angl. broadcast ephemerides), ki so slabše natančnosti od preciznih efemerid. Izvedbo RTK-metode izmere smo izvedli s pomočjo GSM povezave, preko katere smo pridobili opazovanja z referenčne točke. Z upoštevanjem tako opazovanj GNSS s točke FGG2 kot tudi opazovanj referenčne točke smo lahko tvorili bazne vektorje med referenčno točko GSR1 in točko FGG2, na podlagi katerih se je izračunal položaj našega sprejemnika. Med izmero smo interval registracije opazovanj nastavili na 1 sekundo, zato smo tudi v rezultatih pridobili položaj točke FGG2 s pripadajočimi natančnostmi položaja za vsako sekundo izvajanja meritev.

## 5 REZULTATI OBDELAVE

V tem poglavju bomo predstavili posamezne rezultate obdelav meritev iz programa LGO za vse izvedene metode izmere.

### 5.1 Statična metoda

V prvem delu obdelave meritev statične metode smo obdelali vsa opazovanja skupaj in pridobili koordinate točk FGG1 in FGG2, kot da sta obe točki med celotno izmero mirovali. V poročilu obdelave v programu LGO smo pridobili vrednosti izravnanih koordinat točk FGG1 in FGG2, natančnosti izravnanih koordinat, bazne vektorje med merjenimi in referenčnimi točkami ter popravke baznih vektorjev. Ker smo v programu LGO pridobimo položaj točk v obliki geografskih koordinat ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ), smo le-te pretvorili v pravokotne koordinate ( $n$ ,  $e$ ), elipsoidna višina ( $h$ ) je ostala nespremenjena za nadaljnje izračune. Vse koordinate se nanašajo na geodetski datum D96/TM. Najprej bomo prikazali rezultate statične izmere prvega dne za primer, ko smo v obdelavo vključili le referenčni točki GSR1 in RADO. Skico baznih vektorjev, ki smo jih vključili v obdelavo, lahko vidimo na sliki 6.



Slika 6: Skica baznih vektorjev iz prve obdelave statične izmere

Preglednica 2: Koordinate točk FGG1 in FGG2 iz statične izmere prvega dne brez točke VRS

	$n$ [m]	$e$ [m]	$h$ [m]	$\sigma_n$ [m]	$\sigma_e$ [m]	$\sigma_h$ [m]
<b>FGG1</b>	100784,2210	460878,7878	367,5265	0,0037	0,0027	0,0073
<b>FGG2</b>	100811,6323	460938,1190	367,5261	0,0095	0,0069	0,0188

Statična metoda omogoča doseganje zelo visokih natančnosti določitve položaja točk, kar lahko vidimo v preglednici 2, kjer so vrednosti standardnih odklonov  $\sigma$  zelo majhne in se pri obeh točkah gibljejo pod 1 cm za položajne koordinate ter pod 2 cm v višinskem smislu. Vidimo lahko, da je natančnost koordinat točke FGG2 skoraj trikrat slabša od natančnosti točke FGG1, saj se je sprejemnik na točki FGG2 med izmero premikal. Že v splošnem je znano, da je natančnost določitve višine v primeru izmere GNSS za faktor 2-3 slabša od položajne natančnosti in to lahko vidimo tudi v naših rezultatih. Na podlagi primerjave posameznih vrednosti natančnosti obeh točk lahko sklepamo, da je prišlo na točki FGG2 med izmero do nekega dogajanja (npr. premik točke), saj sta bili obe točki določeni na enak način, z enakim postopkom izmere in obdelave, obe točki smo navezali na iste referenčne točke, prav tako sta se obe točki nahajali na podobnem položaju glede na druge točke v mreži, zato smo predvideli podobne vplive na opazovanja na obeh točkah. Iz tega sledi, da je najverjetneje prišlo do premika na točki FGG2.

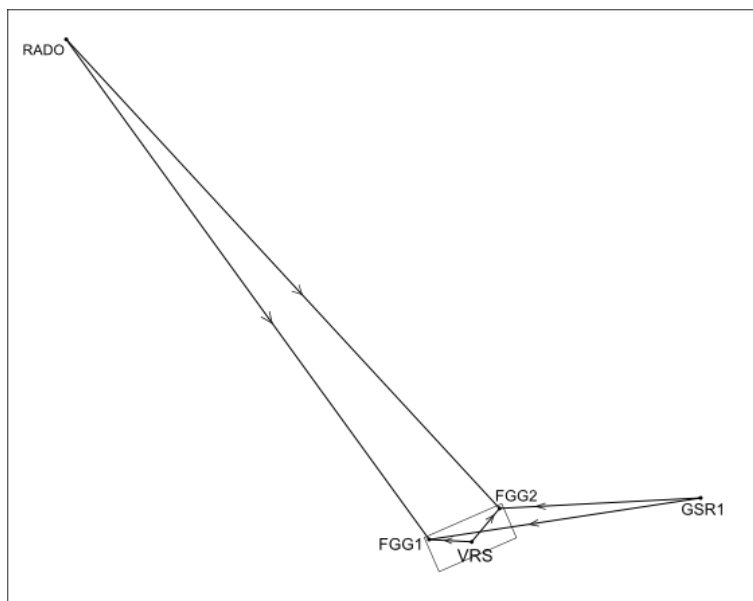
Preglednica 3: Izravnane vrednosti baznih vektorjev iz statične izmere prvega dne brez točke VRS

Referenčna točka	Merjena točka	Izravnana vrednost dolžine vektorja [m]	Absolutna vrednost popravka izr. vrednosti [m]	Relativna vrednost popravka izr. vrednosti [ppm]
GSR1	FGG1	3818,0977	0,0053	1,4
GSR1	FGG2	3757,2107	0,0112	3,0
RADO	FGG1	41463,8401	0,0342	0,8
RADO	FGG2	41477,1268	0,0325	0,8

V preglednici 3 so predstavljene izravnane vrednosti baznih vektorjev, ki smo jih tvorili pri določitvi položaja točk FGG1 in FGG2 pri obdelavi statične metode izmere. Absolutna vrednost popravka izravnane vrednosti dolžine baznega vektorja predstavlja vrednost, ki jo dobijo opazovanja, ki so v primeru statične izmere bazni vektorji, po izravnavi. Vidimo lahko, da imata bazna vektorja, ki vključujeta točko RADO (RADO-FGG1, RADO-FGG2), večji popravek kot bazna vektorja iz referenčne točke GSR1. Razlog za take rezultate je velika oddaljenost točke RADO od merjenih točk FGG1 in FGG2. Če primerjamo absolutne vrednosti popravkov baznih vektorjev GSR1-FGG1 in GSR1-FGG2, lahko vidimo, da je dobil vektor glede na točko FGG2 večji popravek, iz česar lahko sklepamo o premiku točke med izmero. V primeru baznih vektorjev glede na točko RADO se zaradi velike oddaljenosti med točkama absolutni vrednosti popravka vektorjev med seboj ne razlikujeta, zato na podlagi navezave na točko RADO ne moremo ugotavljati premikov merjene točke FGG2. Relativno vrednost popravka izravnane baznega vektorja predstavlja količnik med standardnim odklonom (v [mm]) in dolžino baznega vektorja (v [km]). Relativna vrednost popravka je bolj uporabna za ugotavljanje premikov v primeru, ko se vektor navezuje na točko GSR1, saj dobi vektor do FGG2 večji relativni popravek kot vektor do FGG1, iz česar lahko sklepamo, da je na točki FGG2

prišlo do premika. Točka RADO je zelo oddaljena, zato sta obe absolutni kot tudi obe relativni vrednosti popravkov baznih vektorjev RADO-FGG1 in RADO-FGG2 med seboj enaki, kar ne ustreza dogajanju na terenu in ne omogoča ugotovitve premika.

Nato smo v klasično obdelavo opazovanj statične izmere prvega dne vključili še virtualno referenčno postajo VRS in dobili sledeče rezultate. Skico baznih vektorjev lahko vidimo na sliki 7.



Slika 7: Skica baznih vektorjev iz druge obdelave statične izmere

Preglednica 4: Koordinate točk FGG1 in FGG2 iz statične izmere ob vključitvi točke VRS

	<b>n [m]</b>	<b>e [m]</b>	<b>h [m]</b>	<b><math>\sigma_n</math> [m]</b>	<b><math>\sigma_e</math> [m]</b>	<b><math>\sigma_h</math> [m]</b>
<b>FGG1</b>	100784,2197	460878,7872	367,5284	0,0019	0,0014	0,0038
<b>FGG2</b>	100811,6308	460938,1181	367,5298	0,0054	0,0039	0,0107

V preglednici 4 lahko vidimo koordinate in standardne odklone koordinat točk FGG1 in FGG2. Vidimo lahko, da so vrednosti standardnih odklonov v tem primeru, ko smo točki FGG1 in FGG2 določili relativno na vse tri referenčne postaje – GSR1, RADO in VRS, manjše kot v primeru, ko smo merjeni točki določili relativno le na referenčni postaji GSR1 in RADO. Razlog za to je dejstvo, da se točka VRS nahaja zelo blizu točk FGG1 in FGG2, zato so bazni vektorji relativno kratki in omogočajo zelo natančno določitev položaja novih točk, saj imamo na točkah, ki so položajno blizu, podobne zunanje vplive na opazovanja. Podobno kot v predhodni obdelavi so tudi v tem primeru koordinate točke FGG1 bolje določene kot koordinate točke FGG2, kar lahko razberemo iz vrednosti standardnih odklonov posameznih koordinat točk. Ker sta bili obe točki določeni na enak način, lahko sklepamo, da je vzrok za slabšo natančnost točke FGG2 premikanje te točke med izmero.



Preglednica 5: Izravnane vrednosti baznih vektorjev iz statične izmere ob vključitvi točke VRS

Referenčna točka	Merjena točka	Izravnana vrednost dolžine vektorja [m]	Absolutna vrednost popravka izr. vrednosti [m]	Relativna vrednost popravka izr. vrednosti [ppm]
GSR1	FGG1	3818,0984	0,0031	0,8
GSR1	FGG2	3757,2117	0,0071	1,9
RADO	FGG1	41463,8406	0,0364	0,9
RADO	FGG2	41477,1276	0,0366	0,9
VRS	FGG1	39,7784	0,0021	52,0
VRS	FGG2	27,1398	0,0059	217,4

Preglednica 5 prikazuje podatke o baznih vektorjih v mreži z vključitvijo točke VRS. Če primerjamo dolžine vektorjev, lahko vidimo, da je referenčna točka VRS najbližje merjenima točkama FGG1 in FGG2, nekoliko bolj je oddaljena točka GSR1, zelo oddaljena pa je točka RADO. Absolutne vrednosti popravkov izravnanih vrednosti dolžin baznih vektorjev so v primeru točk VRS in GSR1 majhne, saj znašajo nekaj milimetrov. Če primerjamo absolutne vrednosti popravkov posameznih vektorjev, lahko vidimo, da so ti najmanjši pri vektorjih iz točke VRS, sledijo pri vektorjih iz točke GSR1, največje vrednosti so pri vektorjih glede na referenčno točko RADO. Iz teh vrednosti lahko sklepamo, da je vrednost popravka izravnane vrednosti baznega vektorja zelo odvisna od razdalje med referenčno in merjeno točko v mreži. Iz absolutnih vrednosti popravkov lahko tudi vidimo, da imajo vektorji, ki vključujejo točko FGG2, večje popravke, kar je posledica premikov sprejemnika med izmero. Ker s statično metodo izmere pridobimo le en položaj merjene točke s pripadajočo natančnostjo in eno vrednost baznega vektorja, zato lahko na podlagi vrednosti popravkov izravnane baznega vektorja do te točke le sklepamo o možnem premiku, ne moremo pa pridobiti informacij o velikosti, smeri, hitrosti ali trenutku premika merjene točke. Relativna vrednost popravka je odvisna od razdalje med referenčno in merjeno točko ter absolutne vrednosti popravka izravnane baznega vektorja. V preglednici 5 lahko vidimo, da je razlika med relativnima vrednostma popravkov med točkama FGG1 in FGG2 največja v primeru navezave na točko VRS, saj imamo v tem primeru zelo kratke bazne vektorje. Razlika med relativnimi vrednostmi popravkov med točkama FGG1 in FGG2 je posledica premikov antene sprejemnika na točki FGG2. Ta razlika je opazna tudi pri navezavi na točko GSR1, saj sta bazna vektorja v tem primeru še primerne dolžine, ki omogoča kakovostno določanje položaja merjene točke. V primeru navezave na točko RADO lahko vidimo, da je relativna vrednost popravka zelo majhna in znaša pri obeh točkah enako, saj je točka RADO zelo oddaljena od merjenih točk in posledično ne omogoča, da bi na podlagi teh rezultatov ugotavljali majhne premike.

Na podoben način smo izvedli tudi obdelavo meritev statične metode za drugi dan terenske izmere, ko smo izvajali milimetrške premike. Tudi v tem primeru iz rezultatov nismo pridobili zanesljivih informacij o morebitnih premikih na merjeni točki FGG2, o prisotnosti premikov smo lahko le sklepali iz slabše natančnosti koordinat točke FGG2 v primerjavi z drugo merjeno točko FGG2 in iz večjih popravkov baznih vektorjev med točko FGG2 in referenčnimi postajami. Na osnovi velikosti popravkov dolžine baznih vektorjev med točko FGG2 in referenčnimi točkami ni mogoče sklepati o velikosti premikov točke FGG2 med izmero, saj vrednost popravka ne ustreza dejanski velikosti premika. Rezultati obdelave meritev milimetrskih premikov s statično metodo so zelo podobni centimetrskim, zato jih ne bom posebej predstavljali.

V drugem delu obdelave meritev statične izmere prvega dne smo določali položaj točke FGG2 znotraj vsakega intervala, ko je sprejemnik na tej točki miroval. Položaj točke FGG2 smo določili znotraj štirih intervalov, in sicer najprej glede na referenčno točko GSR1, nato glede na referenčno točko RADO, sledila je določitev glede na virtualno referenčno postajo VRS. Nazadnje smo točko FGG2 določili glede na položaj merjene točke FGG1, ki smo jo predhodno določili glede na referenčni točki GSR1 in RADO.

Preglednica 6: Položaj točke FGG2 med posameznimi intervali glede na točko GSR1

	Točka FGG2		
	n [m]	e [m]	h [m]
1. interval	100811,6394	460938,1298	367,5368
2. interval	100811,6320	460938,1244	367,5330
3. interval	100811,6140	460938,0804	367,5389
4. interval	100811,6390	460938,1308	367,5337

Preglednica 7: Položaj točke FGG2 med posameznimi intervali glede na točko RADO

	Točka FGG2		
	n [m]	e [m]	h [m]
1. interval	100811,6544	460938,1395	367,5009
2. interval	100811,6437	460938,1324	367,4887
3. interval	100811,6298	460938,0844	367,4893
4. interval	100811,6541	460938,1398	367,4949

Preglednica 8: Položaj točke FGG2 med posameznimi intervali glede na točko VRS

	Točka FGG2		
	n [m]	e [m]	h [m]
1. interval	100811,6390	460938,1315	367,5327
2. interval	100811,6323	460938,1244	367,5330
3. interval	100811,6137	460938,0782	367,5354
4. interval	100811,6394	460938,1302	367,5345

Preglednica 9: Položaj točke FGG2 med posameznimi intervali glede na točko FGG1

	Točka FGG2		
	n [m]	e [m]	h [m]
1. interval	100811,6403	460938,1326	367,5294
2. interval	100811,6363	460938,1237	367,5314
3. interval	100811,6159	460938,0787	367,5289
4. interval	100811,6409	460938,1332	367,5312

Posamezen niz koordinat, ki določa položaj točke FGG2 v nekem trenutku, je določen na podlagi enolične določitve položaja, zato izravnava teh meritev ni bila mogoča. Zaradi tega tudi ni mogoče določiti natančnosti izračunanih položajev in jih zato prevzamemo kot absolutno točne tudi za nadaljnje izračune premikov.

## 5.2 Kinematična metoda

Z obdelavo meritev kinematične metode smo pridobili položaje točke FGG2 za vsako trenutek registracije opazovanj GNSS v terenski izmeri. V obeh dneh izmere smo s sprejemnikom opazovanja registrirali v vsaki sekundi izvajanja meritev, zato smo z obdelavo dobili v vsaki sekundi nekoliko drugačen položaj točke FGG2. Razlike v vrednostih koordinat točke FGG2 v posameznih trenutkih registracije so posledica slučajnih pogreškov in premikov antene sprejemnika med izmero. Rezultat obdelave v programu LGO so bile geografske koordinate  $\varphi$ ,  $\lambda$  in  $h$ , ki smo jih za potrebe nadaljnjih izračunov pretvorili v pravokotne koordinate  $n$ ,  $e$ , elipsoidna višina  $h$  je ostala nespremenjena. Končen rezultat obdelave so bili položaji točke FGG2 v vsaki sekundi izvajanja meritev, določeni relativno glede na tri referenčne postaje – GSR1, RADO in VRS. Tovrstne rezultate smo pridobili tako za prvi dan izmere, ko smo izvajali centimeterske premike, kot za drugi dan izmere, ko smo izvajali milimeterske premike. Vrednosti koordinat točke FGG2, ki smo jih pridobili z obdelavo meritev v kinematičnem načinu, bodo natančneje prikazani v naslednjem poglavju z izračunom premikov.

### 5.3 RTK-metoda

V drugem dnevu izmere smo izvedli tudi izmero premikov z RTK-metodo, in sicer smo izvedli tako centimetske kot tudi milimetske premike. Obdelava meritev se je izvedla že na terenu, rezultat obdelave pa so bili položaji sprejemnika na točki FGG2, določeni relativno za vsako sekundo izvajanja meritev. Podobno kot pri statični in kinematični metodi smo tudi pri RTK-metodi z obdelavo pridobili geografske koordinate  $(\varphi, \lambda)$ , ki smo jih nato pretvorili v pravokotne koordinate  $n$  in  $e$ , elipsoidna višina  $h$  je ostala nespremenjena. Vrednosti koordinat položaja točke FGG2 za vsako sekundo izvajanja meritev bodo prikazane v naslednjem poglavju, ko bomo podrobneje prikazali premike sprejemnika na merjeni točki in spremembe vrednosti koordinat točke FGG2.

## 6 IZRAČUN PREMIKOV

### 6.1 Izračun premikov glede na začetni položaj

#### 6.1.1 Statična metoda

Z obdelavo vseh meritev statične metode izmere smo pridobili niz koordinat za merjeni točki FGG1 in FGG2. Ker so rezultati sestavljali samo eno vrednost koordinat za vsako merjeno točko, ni bilo mogoče na podlagi teh vrednosti nadaljnje ugotavljati morebitnih premikov točke med izmero. Lahko smo le analizirali vrednosti standardnih odklonov za posamezno koordinato in popravke baznih vektorjev ter te vrednosti primerjali med obema merjenima točkama, saj vemo, da je sprejemnik na točki FGG1 med izmero miroval, na točki FGG2 pa smo izvajali premike. Na podlagi vrednosti standardnih odklonov koordinat smo lahko sklepali, da je na točki FGG2 prišlo do premikov, kajti koordinate točke FGG2 so imele slabšo natančnost kot koordinate točke FGG1. Čeprav smo iz rezultatov razbrali, da je točka FGG2 slabše določena, nismo mogli določiti velikosti, smeri in hitrosti premika ter kdaj se premik zgodil. O prisotnosti premika točke FGG2 smo lahko sklepali iz višjih vrednosti popravkov izravnane vrednosti baznega vektorja v primeru točke FGG2 v primerjavi s popravki baznih vektorjev pri točki FGG1.

Ker skupna obdelava vseh meritev statične izmere ni omogočala ugotavljanja premikov, smo se odločili, da bomo za meritve prvega dne terenske izmere določili položaj točke FGG2 znotraj intervalov, ko je sprejemnik na tej točki miroval. V prvem dnevu izmere smo imeli na voljo dovolj dolge intervale, znotraj katerih je sprejemnik miroval, da je bilo mogoče opazovanja v posameznem intervalov obdelati, kot to zahteva statična metoda. V drugem dnevu izmere so bili intervali, ko je sprejemnik na točki FGG2 miroval, dolgi le 5 minut, izjema sta začetni in končni položaj, ki sta bila dolga 30 minut. Ker smo imeli v drugem dnevu krajša obdobja mirovanja sprejemnika, teh opazovanj ni bilo mogoče obdelati na enak način kot opazovanja prvega dne, saj 5-minutni intervali ne vsebujejo zadostnega števila opazovanj GNSS za obdelavo meritev po statični metodi izmere. V izračunu premikov statične izmere smo tako uporabili samo meritve prvega dne terenske izmere, ko smo izvajali centimetrske premike. Za vsak interval meritev, znotraj katerega je sprejemnik na točki FGG2 miroval, smo določili en niz koordinat točke FGG2. Premik točke FGG2 smo izračunali s tvorjenjem razlik med zaporednimi položaji točke FGG2, ki smo jih določili relativno na tri referenčne točke, in sicer GSR1, RADO in VRS ter relativno na drugo merjeno točko FGG1, ki smo jo predhodno določili glede na referenčni točki GSR1 in RADO. Premik točke FGG2 smo izračunali na tri načine, in sicer:

- na podlagi razlike v posameznih koordinatnih komponentah (n, e, h),
- kot 2D premik na osnovi vsote kvadratov razlik položajnih koordinat (n, e),
- kot 3D premik na podlagi vsote kvadratov razlik vseh treh koordinat (n, e, h).

Izračune smo izvedli preko sledečih enačb:

- izračun premika glede na razlike v posameznih koordinatah:

$$\Delta n = n_{i+1} - n_i$$

$$\Delta e = e_{i+1} - e_i$$

$$\Delta h = h_{i+1} - h_i$$

- izračun 2D premika:

$$d_{2D} = \sqrt{\Delta n^2 + \Delta e^2}$$

- izračun 3D premika:

$$d_{3D} = \sqrt{\Delta n^2 + \Delta e^2 + \Delta h^2}$$

V primeru meritev statične izmere prvega dne smo položaj točke FGG2 določili v vsakem intervalu, ko je sprejemnik na točki miroval. Ker so bili bazni vektorji znotraj posameznih intervalov enolično določeni, smo se odločili, da bomo vrednosti koordinat obravnavali kot absolutno točne. Ker smo izhajali iz točnih koordinat, so bili tudi premiki, izračunani iz teh koordinat, obravnavani kot točni. V nadaljevanju bomo predstavili rezultate izračuna premikov točke FGG2 na podlagi rezultatov obdelave meritev statične izmere in jih primerjali z znanimi vrednostmi premikov, ki smo jih dejansko izvedli med izmero.

Preglednica 10: Premiki točke FGG2 iz statične izmere glede na točko GSR1

Št. premika	Dejanski premik Velikost [cm]	Merjeni premik				
		$\Delta n$ [cm]	$\Delta e$ [cm]	$\Delta h$ [cm]	$d_{2D}$ [cm]	$d_{3D}$ [cm]
1	1,00	-0,74	-0,54	-0,38	0,92	0,99
2	5,00	-1,80	-4,40	0,59	4,75	4,79
3	6,00	2,50	5,04	-0,52	5,63	5,65

Rezultati iz preglednice 10 kažejo premike, ki smo jih izračunali na podlagi določitve položaja točke FGG2 glede na referenčno točko GSR1. Ker poznamo dejanske velikosti premikov, ki smo jih izvedli med izmero, lahko ugotovljamo, kako se ti premiki pokažejo v rezultatih obdelave. Vidimo lahko vrednosti koordinatnih razlik premika po vseh treh komponentah ( $\Delta n$ ,  $\Delta e$ ,  $\Delta h$ ). Skupno velikost premika v 2D smislu lahko razberemo iz stolpca  $d_{2D}$ , ki ponazarja skupno spremembo položaja sprejemnika vzdolž koordinatnih osi  $n$  in  $e$ . Ker vemo, da smo sprejemnik premikali le v horizontalni smeri, bi morale biti vrednosti v stolpcu  $d_{2D}$  enake dejanskim velikostim premikov. Iz preglednice lahko razberemo, da vrednosti  $d_{2D}$  dokaj dobro ustrezajo velikostim dejanskih premikov. Prvi premik je znašal 1,00 cm, rezultati izmere pa so pokazali vrednost 0,92 cm, kar je le za 0,08 cm slabše od dejanske vrednosti. Dejanska velikost drugega premika je bila 5,00 cm, na osnovi opazovanj GNSS

smo določili vrednost 4,75 cm, razlika med dejansko in merjeno vrednostjo znaša 0,25 cm. Zadnji premik, katerega dejanska velikost je bila 6,00 cm, smo določili kot 5,63 cm, kar znaša 0,37 cm manj od dejanske vrednosti. Če primerjamo dejanski in merjen premik v 2D smislu, lahko vidimo, da so vrednosti pri vseh treh premikih zelo podobne, nekoliko večja je razlika je le pri zadnjem premiku. Menim, da je razlog za tak rezultat slabša določitev položaja točke FGG2 glede na točko GSR1 v zadnjem intervalu, ki je verjetno nastala zaradi slabše geometrije satelitov, slabših pogojev v atmosferi ali drugih vplivov na opazovanja na referenčni točki. Da je bila izmera in izvedba premikov na točki FGG2 izvedena ustrezno, bomo videli iz rezultatov v nadaljevanju, ko smo na podlagi istih opazovanj določili premike merjene točke tudi glede na druge referenčne točke in dobili boljše rezultate kot v tem primeru. Prav tako ne moremo razloga za nekoliko večjo razliko med merjeno in dejansko vrednostjo iskati v slabši natančnosti statične metode, saj lahko v preglednici 10 vidimo, da sta merjeni vrednosti prvega in drugega premika zelo podobni vrednostma dejanskih premikov. Zadnji stolpec preglednice prikazuje skupni premik sprejemnika v 3D prostoru, kjer smo pri izračunu poleg spremembe položajnih koordinat upoštevali tudi spremembo višine sprejemnika. Ker smo premike izvajali le v horizontalni ravnini, bi morale biti vrednosti 2D premika in 3D premika enake oziroma glede na razliko med vrednostma 2D in 3D premika lahko sklepamo, kolikšen je prispevek spremembe višine v celotno vrednost premika. Kot vidimo, so razlike med 2D in 3D premikom pri vseh treh premikih zelo podobne, saj se pri prvem premiku razlikujeta za 0,07 cm, pri drugem za 0,04 cm in pri tretjem za 0,02 cm. Ker so razlike zelo majhne, lahko rečemo, da je bila sprememba višine med vsemi tremi premiki zanemarljivo majhna, kar pa lahko vidimo tudi iz stolpca  $\Delta h$ , ki prikazuje izračunano spremembo višine ob premiku.

Premike sprejemnika na točki FGG2 na podlagi meritev statične izmere smo določili tudi glede na referenčno točko RADO.

Preglednica 11: Premiki točke FGG2 iz statične izmere glede na točko RADO

Št. premika	Dejanski premik Velikost [cm]	Merjeni premik				
		$\Delta n$ [cm]	$\Delta e$ [cm]	$\Delta h$ [cm]	$d_{2D}$ [cm]	$d_{3D}$ [cm]
1	1,00	-1,07	-0,71	-1,22	1,28	1,77
2	5,00	-1,39	-4,80	0,06	5,00	5,00
3	6,00	2,43	5,54	0,06	6,05	6,08

Iz preglednice 11 lahko preberemo vrednosti merjenih premikov po posameznih koordinatnih komponentah in izračune 2D ter 3D premike, ki jih bomo primerjali z dejanskimi premiki. Vrednosti 2D premika nam pokažejo premik v horizontalni ravnini, ki smo ga izračunali na podlagi sprememb položajnih koordinat ( $\Delta n$ ,  $\Delta e$ ). Če te premike primerjamo z dejanskimi, lahko vidimo, da se prvi

merjeni premik nekoliko razlikuje od dejanskega, saj znaša ta razlika 0,28 cm. Medtem ko sta vrednosti drugega in tretjega merjenega premika zelo podobni vrednostim dejanskih premikov. Razlog za večjo razliko med dejansko in merjeno vrednostjo pri prvem premiku je verjetno slabše določen položaj točke FGG2 v prvem intervalu, ki je nastal zaradi velike oddaljenosti točke RADO od merjene točke FGG2. Drugi in tretji premik sta bila izmerjena zelo natančno, saj je razlika med dejansko in izmerjeno vrednostjo 0,00 cm oziroma 0,05 cm. Iz vrednosti 3D premika lahko razberemo skupno spremembo vseh treh koordinat med premikom. Glede na to, da smo sprejemnik premikali v horizontalni ravnini, bi morala višina sprejemnika ostati enaka med celotno izmero in posledično bi morali biti velikosti 2D premika in 3D premika enaki. Iz rezultatov izračuna premikov lahko vidimo, da se je pri prvem premiku višina spremenila in je vrednost 3D premika različna od 2D premika. Razlog za take rezultate je verjetno slabo določen položaj točke FGG2 med prvim intervalom, posebej v višinskem smislu, saj bi v primeru dejanske spremembe višine sprejemnika med izmero to spremembo zaznali tudi iz rezultatov v primeru navezave na referenčno točko GSR1. Slabše rezultate v primeru prvega premika točke FGG2 glede na točko RADO smo najverjetneje dobili zaradi velike oddaljenosti med točkama RADO in FGG2, predvsem se ta oddaljenost pozna pri določitvi višine sprejemnika. Na drugi stani pa sta bila drugi in tretji premik zelo dobro določena, tako v položajnem kot tudi v višinskem smislu, saj se vrednosti 2D in 3D premika ne razlikujeta oziroma je razlika zelo majhna. V primerjavi z navezavo na točko GSR1 smo v primeru navezave na RADO dobili pri drugem in tretjem premiku celo boljše rezultate, iz česar lahko sklepamo, da lahko v nekaterih primerih s statično metodo izmere določimo položaj merjene točke tudi relativno na precej oddaljeno točko. Kljub temu je treba poudariti, da je za pridobitev zanesljivih rezultatov potrebno določiti položaj merjene točke z navezavo na bližnjo referenčno točko, saj se s tem izognemo slabši določitvi položaja, kot je se nam to zgodilo v primeru prvega premika.

Preglednica 12: Premiki točke FGG2 iz statične izmere glede na točko FGG1

Št. premika	Dejanski premik Velikost [cm]	Merjeni premik				
		$\Delta n$ [cm]	$\Delta e$ [cm]	$\Delta h$ [cm]	$d_{2D}$ [cm]	$d_{3D}$ [cm]
1	1,00	-0,40	-0,89	0,20	0,98	1,00
2	5,00	-2,04	-4,50	-0,25	4,94	4,95
3	6,00	2,50	5,45	0,23	6,00	6,00

V preglednici 12 so izpisani rezultati izračuna premikov točke FGG2 iz statične metode izmere, ki smo jih izračunali glede na merjeno točko FGG1. Iz vrednosti 2D premika lahko vidimo, da so izmerjene vrednosti premika zelo podobne vrednostim dejanskih premikov. Razlike med izmerjeno in dejansko vrednostjo so zelo majhne, saj znašajo pri prvem premiku 0,02 cm, pri drugem 0,06 cm in pri tretjem 0,00 cm. Če te vrednosti primerjamo z rezultati iz prejšnjih dveh primerov, lahko vidimo, da



smo v tem primeru dobili najboljše rezultate, saj so razlike med izmerjeno in dejansko vrednostjo najmanjše. Dobili smo zelo dobre rezultate, sploh če upoštevamo, da smo premike točke FGG2 določili glede na merjeno točko FGG1, ki smo jo predhodno določili s statično metodo izmere glede na referenčni točki GSR1 in RADO. Četudi so bili premiki določeni relativno na merjeno točko FGG1, ki je bila predhodno določena relativno na referenčni postaji GSR1 in RADO, smo dobili boljše rezultate izračuna premikov kot v primeru izračuna premikov iz položajev, določenih z navezavo na referenčni postaji GSR1 in RADO. Merjena točka FGG1 je namreč bližje točki FGG2 kot referenčni točki GSR1 in RADO, zato so bili bazni vektorji krajši in jih je bilo mogoče bolj natančno določiti, obenem pa smo imeli zaradi bližine obeh točk lahko podobne zunanje vplive na meritve, ki so se eliminirali z relativnim načinom določanja položaja. Posledično je bilo mogoče tudi premike glede na točko FGG1 izračunati bolj natančno. Če primerjamo vrednosti 2D in 3D premika, lahko pri vseh treh premikih vidimo, da vrednosti zelo malo odstopajo, pri prvem premiku 0,02 cm, pri drugem 0,01 cm in pri tretjem 0,00 cm. Na podlagi te primerjave in tudi iz vrednosti spremembe višine pri posameznem premiku lahko vidimo, da se višina sprejemnika med izmero ni spreminjala oziroma je bila ta sprememba zanemarljivo majhna. V izračunu sicer vrednost  $\Delta h$  ni enaka nič, vendar lahko na podlagi poznavanja delovanja tehnologije GNSS rečemo, da so izračunane vrednosti sprememb višine sprejemnika posledica slabše natančnosti določitve višine v izmeri GNSS v primerjavi s položajnimi koordinatami. Na podlagi rezultatov iz preglednice 12 lahko rečemo, da statična metoda izmere omogoča določevanje majhnih premikov in da v primeru navezave na točko, ki je dovolj blizu, lahko učinkovito ugotavljamo centimetske premike.

Preglednica 13: Premiki točke FGG2 iz statične izmere glede na točko VRS

Št. premika	Dejanski premik	Merjeni premik				
		Velikost [cm]	$\Delta n$ [cm]	$\Delta e$ [cm]	$\Delta h$ [cm]	$d_{2D}$ [cm]
1	1,00	-0,67	-0,71	0,03	0,98	0,98
2	5,00	-1,86	-4,62	0,24	4,98	4,99
3	6,00	2,57	5,20	-0,09	5,80	5,80

V preglednici 13 lahko vidimo rezultate premikov točke FGG2 iz meritev statične metode izmere glede na posamezne intervale, znotraj katerih je sprejemnik na merjeni točki miroval. Položaj točke FGG2 smo določili relativno na virtualno referenčno postajo VRS. S primerjavo merjenega 2D premika in dejanskega premika lahko ugotovimo, da sta vrednosti zelo podobni, predvsem pri prvem in drugem premiku, saj znašata razliki med dejanskim in merjenim premikom le 0,02 cm. Nekoliko večja je razlika pri tretjem premiku, saj znaša 0,20 cm, vendar je tudi ta vrednost še precej majhna. Razlog za večje odstopanje izmerjene vrednosti premika od dejanske pri tretjem premiku gre najverjetneje iskati v nekoliko slabših opazovanjih iz točke VRS, ki se generirajo na podlagi

opazovanj sosednjih referenčnih postaj v omrežju SIGNAL. Podoben slučaj se nam je zgodil pri izračunu premikov iz statične izmere glede na točko GSR1, ki so prikazani v preglednici 10, saj smo tudi pri navezavi na GSR1 dobili pri zadnjem premiku slabše rezultate. Če primerjamo vrednosti 2D in 3D premika lahko opazimo, da so vrednosti pri vseh treh premikih enake oziroma se razlikujejo le za 0,01 cm. Iz tega lahko sklepamo, da se je višina sprejemnika med celotno izmero zelo malo spreminjala, kar nam potrjuje tudi vrednosti spremembe višine ( $\Delta h$ ), ki so pri vseh treh premikih zelo majhne. Vrednosti  $\Delta h$  so različne od nič zaradi vpliva slučajnih pogreškov in večje razpršenosti vrednosti višine okoli prave vrednosti med celotno izmero. Če rezultate izračuna premikov pri navezavi na VRS primerjamo z rezultati iz prejšnjih primerov izračunov premikov iz opazovanj statične izmere, lahko ugotovimo, da smo dobili pri navezavi na VRS zelo podobne rezultate kot pri navezavi na točko FGG1, saj sta obe točki zelo blizu merjene točke FGG2, zato so bazni vektorji zelo kratki in posledično jih je mogoče določiti zelo natančno. Poleg tega je razlog za boljše rezultate tudi dejstvo, da so vplivi na opazovanja na bližnjih točkah zelo podobni in se v postopku relativnega določanja položaja med seboj eliminirajo.

### 6.1.2 Kinematična metoda

Na podlagi obdelanih meritev v kinematičnem načinu smo na osnovi izračunanih koordinat točke FGG2 izračunali premike, ki smo jih izvajali med izmero. V prvem izračunu smo premike izračunali tako, da smo vsak položaj točke FGG2 primerjali z začetnim položajem te točke, ki smo ga določili s statično metode v prvem dnevu izmere. Sprejemnik na merjeni točki je bil v prvih dveh urah prvega dne terenske izmere na začetnem položaju, na katerem je izvedel zadostno število opazovanj GNSS, da jih je bilo mogoče obdelati po postopkih statične metode in tako kakovostno določiti začetni položaj sprejemnika. Vrednosti koordinat začetnega položaja znašajo:

$$n = 100811,6394 \text{ m}$$

$$e = 460938,1298 \text{ m}$$

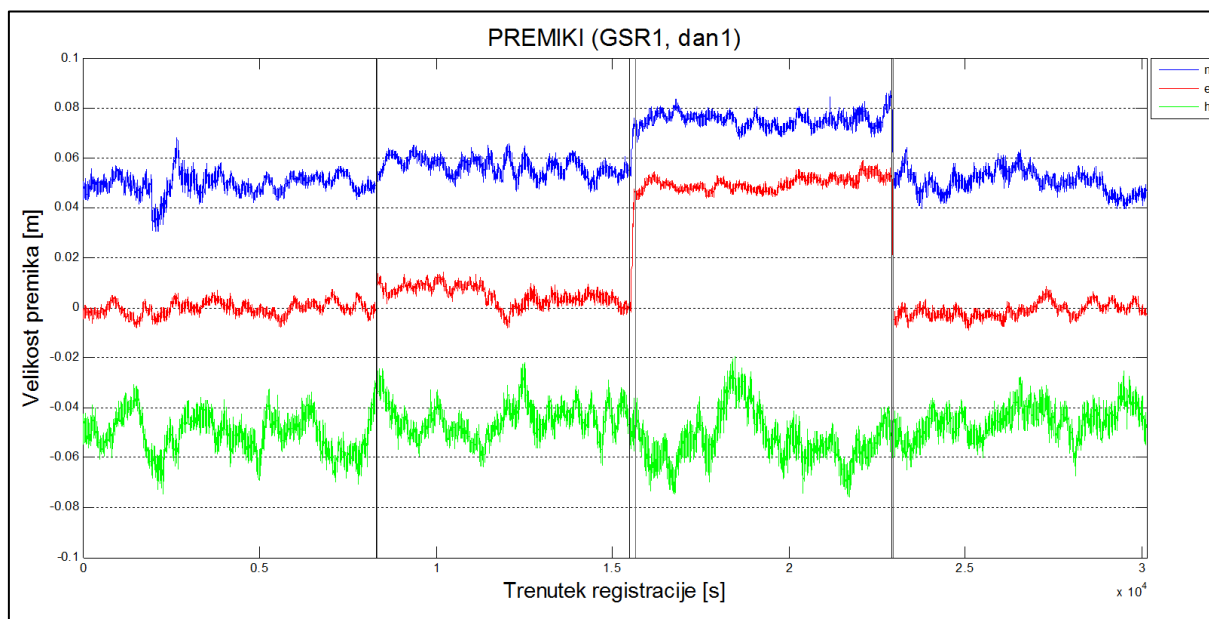
$$h = 367,5368 \text{ m}$$

Ker smo začetni položaj izračunali preko postopkov statične metode, ki omogoča natančnejšo določitev položaja kot s kinematično metodo, smo položajne koordinate začetnega položaja označili kot absolutno natančne z vrednostjo standardne deviacije  $\sigma_n = \sigma_e = \sigma_h = 0,0000 \text{ m}$ . Zaradi velikega števila položajev točke FGG2 smo razlike med začetnim položajem sprejemnika iz statične izmere in vsemi položaji iz kinematične izmere prikazali v obliki grafikonov. V postopku obdelave meritev kinematične metode smo položaj točke FGG2 določili glede na različne referenčne točke, zato smo tudi premike izračunali glede na različne referenčne točke, in sicer GSR1, RADO in VRS. Izračunane premike bomo podobno kot v primeru statične izmere prikazali glede na spremembe posameznih koordinatnih komponent točke FGG2, kot 2D premik glede na skupno spremembo položajnih

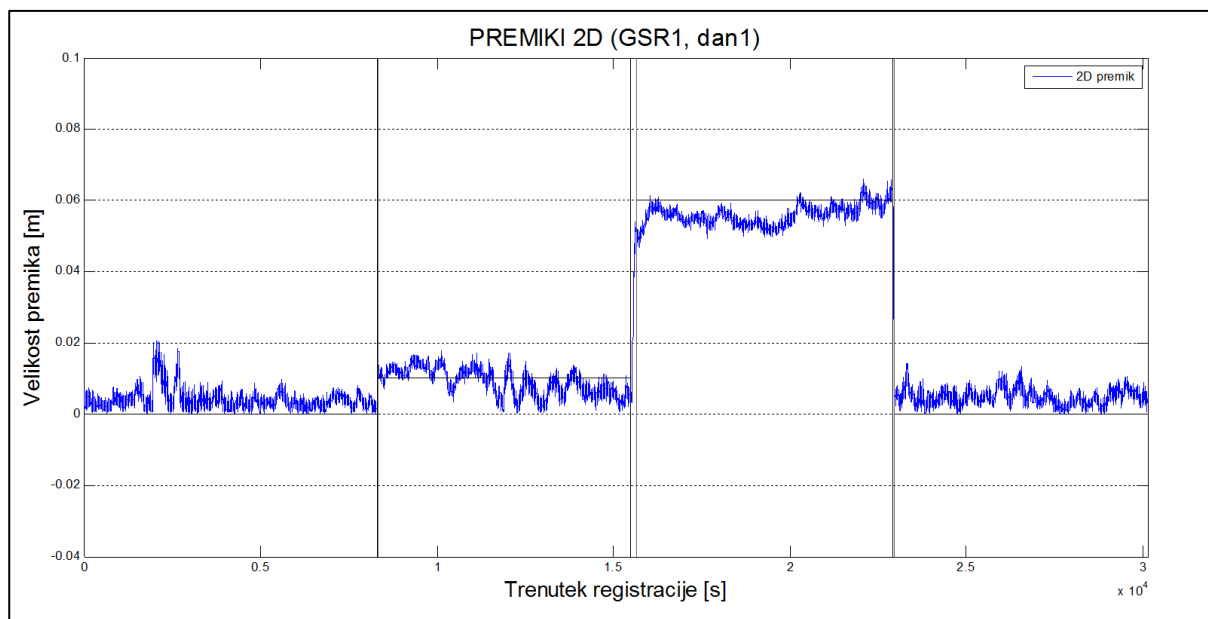
koordinat in kot 3D premik glede na skupno spremembo vseh treh koordinat točke FGG2. V grafikonih, ki prikazujejo vrednosti posameznih koordinat točke FGG2, smo izračunane vrednosti priredili tako, da je mogoče vse tri koordinate prikazati znotraj enega grafikona, in sicer smo vsem koordinatam n prišteli 5 cm in vsem vrednostim višine h odšteli 5 cm. V grafikonih so z barvnimi linijami prikazani posamezni izračunani položaji točke FGG2 med izmero, z navpičnimi oznakami so označeni trenutki, ko smo na merjeni točki začeli in končali izvajanje premika sprejemnika, vodoravne linije med premiki v grafikonih z 2D in 3D položaji označujejo dejansko vrednost položaj točke FGG2. Najprej bomo prikazali centimetske premike prvega dne izmere, nato pa še milimetske premike iz drugega dne izmere.

### Centimetrski premiki

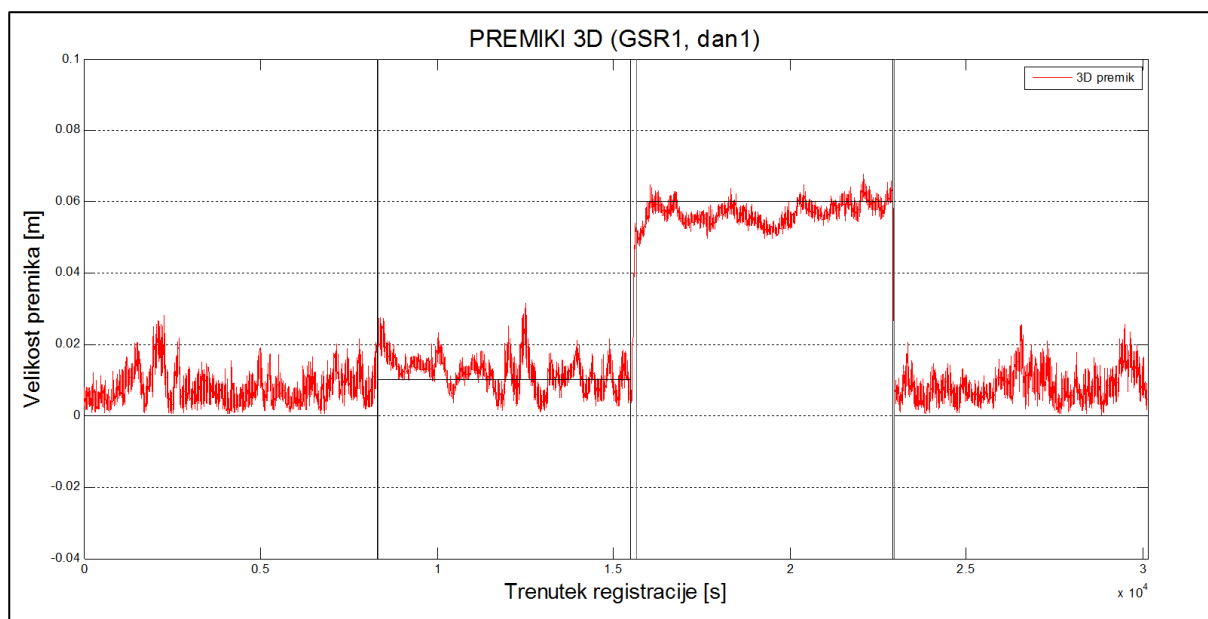
Centimetrske premike iz prvega dne izmere smo najprej izračunali glede na referenčno točko GSR1.



Grafikon 1: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere prvega dne glede na GSR1



Grafikon 2: 2D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na GSR1

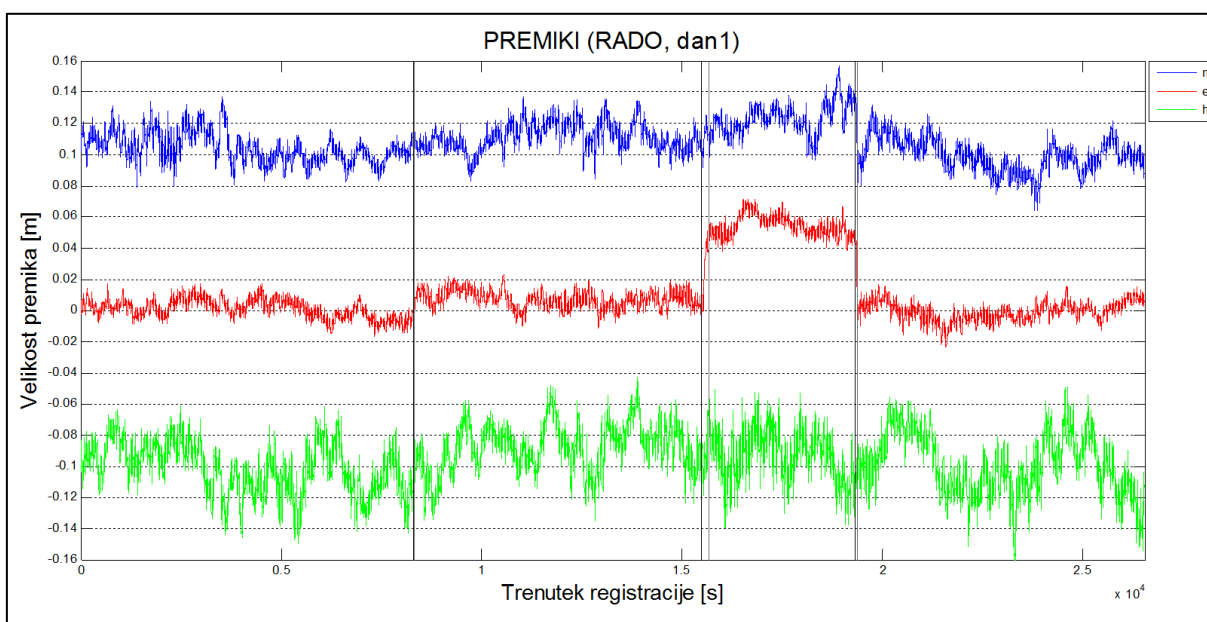


Grafikon 3: 3D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na GSR1

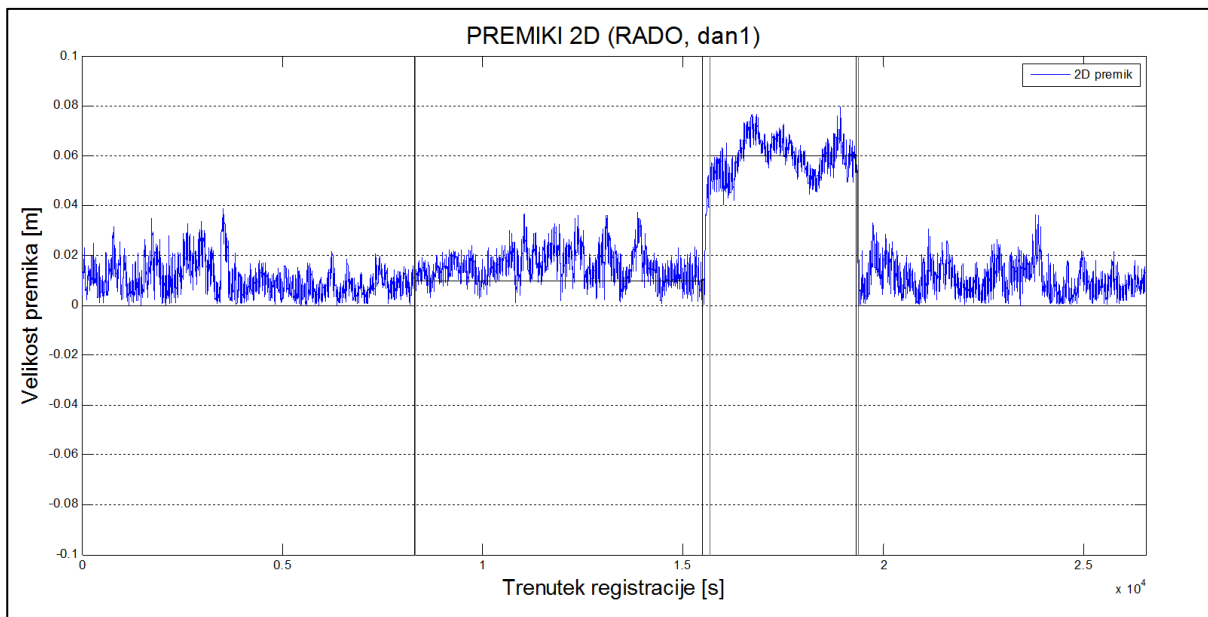
Iz grafikona 1 lahko razberemo, kako so se spreminjale vrednosti posameznih koordinat točke FGG2. Z navpičnimi črtami so označeni trenutki premikov. Prvi premik je znašal v skupni velikosti 1 cm, drugi 5 cm in zadnji 6 cm, ki smo ga izvedli v nasprotni smeri prvih dveh premikov in s tem postavili sprejemnik ponovno na začetni položaj. Zaradi preglednejšega prikaza so vse vrednosti koordinate n povečane za 5 cm, vse višine h pa zmanjšane za 5 cm. Vsak premik ima označen začetek in konec premika, vendar sta pri prvem in tretjem premiku zaradi hitrega premika in velikega števila vseh meritev obe oznaki zelo skupaj in zato slabše vidni. Iz sprememb vrednosti koordinat lahko zaznamo premik na točki FGG2, predvsem je to očitno pri položajnih koordinatah n in e. Vrednost višine h bi

moralo biti med celotno izmero enaka, vendar se njena vrednost zaradi slabše natančnosti določitve višine med izmero nekoliko spreminja. V splošnem lahko iz grafikona 1 razberemo, da sta se med izmero spreminjali predvsem vrednosti položajnih koordinat, višina točke pa se ni spreminjala. Iz grafikona 2 lahko razberemo 2D položaje sprejemnika glede na začetni položaj. Razvidni so vsi trije premiki, najmanj je jasno določljiv premik za 1cm, premik za 5 cm in premik nazaj na začetni položaj sta dobro vidna. Prav tako lahko vidimo, da linija, ki prikazuje 2D položaj sprejemnika, med posameznimi premiki ni povsem gladka, saj se izračunani položaji med posameznimi premiki med sabo nekoliko razlikujejo. Razlike med zaporednimi položaji nastanejo zaradi omejitev zanesljivosti kinematične metode pri določanju položaja sprejemnika in so velike približno 1 cm. Iz tega lahko sklepamo, da če bi izvedli zelo kratko serijo opazovanj, med katero bi se zgodil premik za 1 cm, ga mogoče z izvedbo kinematične metode izmere ne bi zaznali. V kolikor je izmera daljša, kot je bila v našem primeru, je mogoče zaznati tudi premik za 1 cm glede na premik celotne linije položaja. S primerjavo grafikona 2 in grafikona 3, ki prikazuje 3D položaj sprejemnika, lahko vidimo, kolikšen je vpliv spremembe višine na 3D položaj. Linija, ki prikazuje položaj sprejemnika, je pri 3D položaju še bolj nazobčana zaradi večji razlik med zaporednimi položaji med premiki, kar pomeni, da je v tem primeru zanesljivosti ugotavljanja premikov še manjša kot pri 2D položaju. V praksi je bolj verjeten 3D premik, zato je bolje, če se pri izbiri metode zanašamo na zmožnosti določene metode za ugotavljanje 3D premikov.

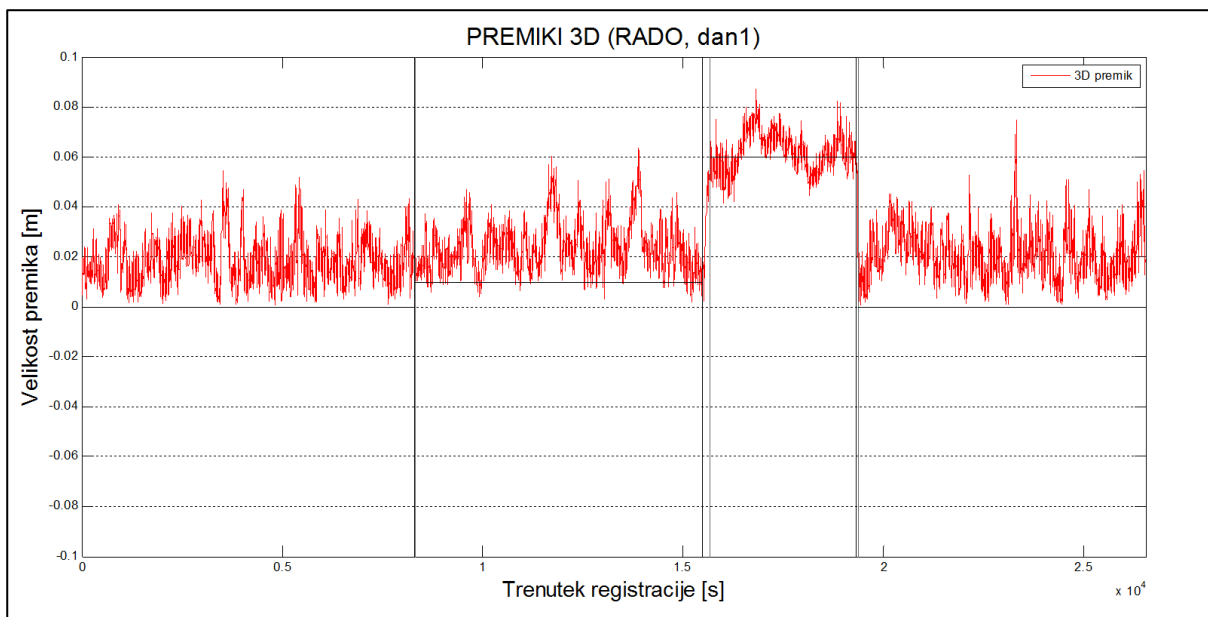
Sledil je izračun premikov točke FGG2 iz meritev kinematične metode izmere glede na točko RADO.



Grafikon 4: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere prvega dne glede na RADO



Grafikon 5: 2D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na RADO

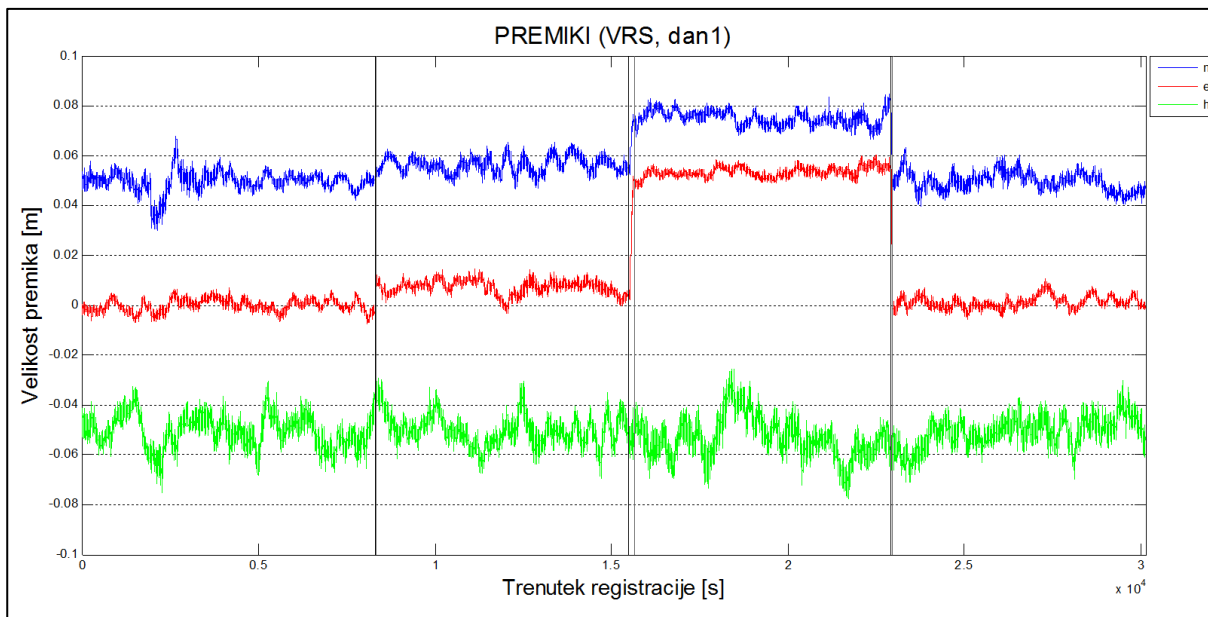


Grafikon 6: 3D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na RADO

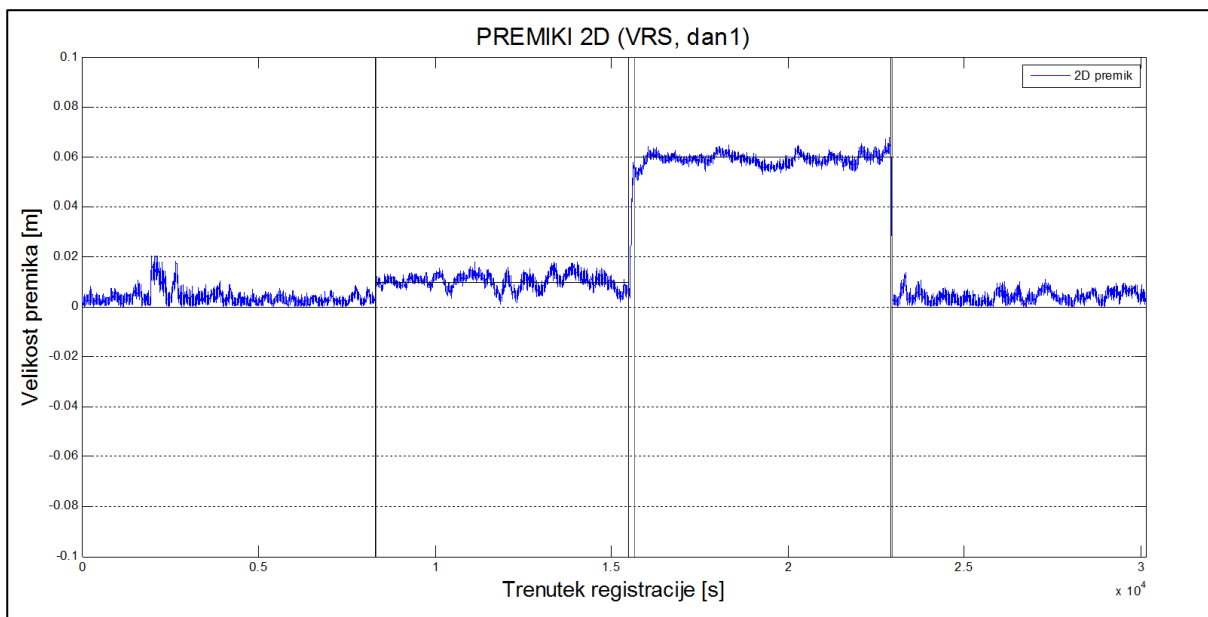
Grafikon 4 prikazuje vrednosti koordinatnih razlik točke FGG2 glede na začetno stanje. Vidimo lahko, da so vrednosti koordinat zelo razpršene, kar se kaže v velikih skokih linije med zaporednimi trenutki registracije meritev. Zaradi slabše natančnosti višine v izmeri GNSS so tudi razlike med zaporednimi položaji pri višini največje. Liniji, ki prikazujeta položajni koordinati, sta nekoliko manj nazobčani, kar je posledica boljše natančnosti določitve položajnih koordinat. Ob oznakah v grafikonu, ki označujejo premik, lahko jasno vidimo, da se je na točki FGG2 med izmero zgodil premik. V grafikonu 5 so premiki še jasneje vidni, predvsem drugi premik za 5 cm in tretji premik na začetni položaj. Pri izračunu 2D premika smo upoštevali samo položajni koordinati. Ker smo premike izvajali

samo v horizontalni ravnini, se celoten premik pokaže le v izračunani spremembi položaja v 2D smislu. V grafikonu 6 so prikazani 3D premiki, ki vključujejo spremembe vseh treh koordinat. Če primerjamo vrednosti 2D premika in 3D premika, lahko vidimo, kolikšen je prispevek spremembe višine med celotno izmero. Opazimo lahko, da se vrednosti izračunane višine med izmero močno spreminjajo, kar je posledica slabše natančnosti določitve višine in se izraža tudi v vrednosti 3D premika, saj se vrednosti močno spreminjajo tudi v trenutkih med premiki, ko je sprejemnik na merjeni točki miroval. Če primerjamo rezultate premikov, izračunane glede na točko GSR1, in premike glede na točko RADO, lahko vidimo, da so vse linije v grafikonih, ki se navezujejo na točko GSR1, bolj gladke. Premiki glede na točko GSR1 so določeni bolj natančno, zato so razlike med vrednostmi koordinat zaporednih položajev manjše. Prav tako lahko vidimo, da se v primeru 3D premikov glede na točko RADO bolj izraža vpliv vrednosti višine, saj je v tem primeru višina slabše določena in to se kaže tudi v izračunu 3D premika. V primeru navezave na točko RADO je težje določili manjši premik, če imamo na voljo malo meritev, saj se vrednosti izračunanega položaja med premiki, ko je sprejemnik miroval, med seboj razlikujejo tudi nekaj centimetrov. Če imamo na voljo zadostno število meritev, pa je mogoče zaznati tudi manjše premike, saj so izračunane vrednosti premikov razpršene okoli srednje vrednosti in je mogoče pravilneje določiti srednja vrednost položaja sprejemnika. Vsekakor pa je določanje manjših premikov v vseh pogledih precej lažje pri navezavi na točko GSR1, saj se le-ta nahaja zelo blizu merjene točke v primerjavi s točko RADO. Zaradi velike oddaljenosti točke RADO so izračunani položaji in posledično tudi premiki točke FGG2 manj natančno določeni, kar se izraža v večji razpršenosti vrednosti koordinat in razlikami med zaporednimi položaji, ko je sprejemnik na točki miroval. Ker so položaji merjene točke z navezavo na točko RADO manj natančno določeni kot pri navezavi na točko GSR1, so manj primerni za ugotavljanje majhnih premikov.

Nato smo iz položajev kinematične metode iz prvega dne meritev izračunali še premike točke FGG2 z navezavo na virtualno referenčno postajo VRS glede na znan začetni položaj sprejemnika.

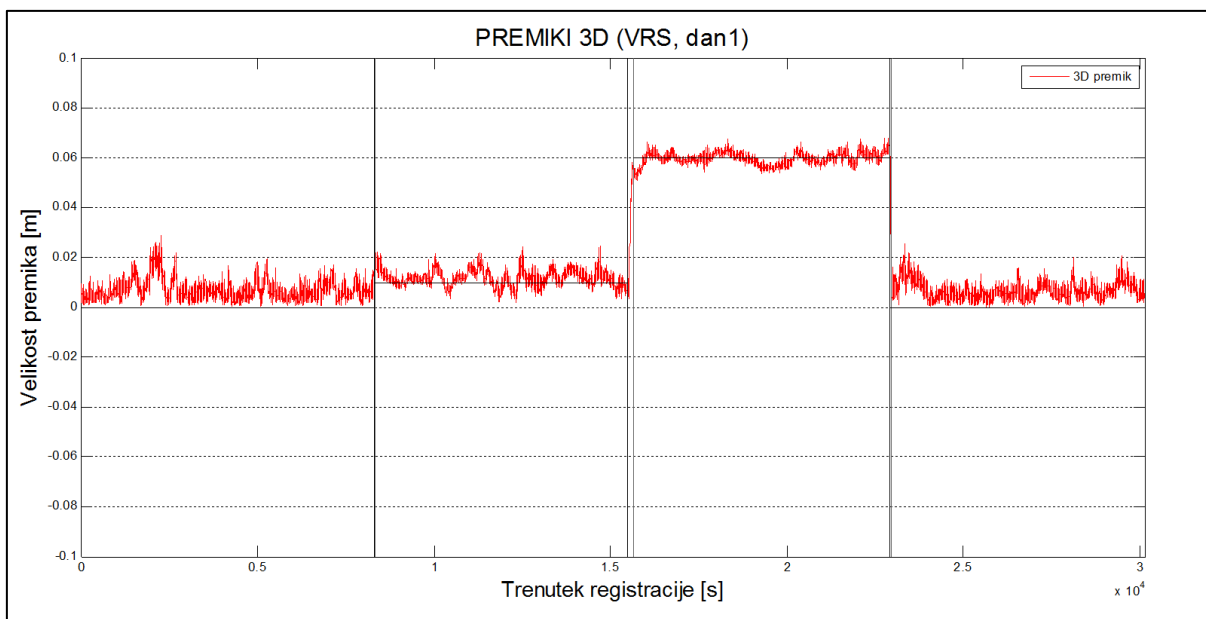


Grafikon 7: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere prvega dne glede na VRS



Grafikon 8: 2D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na VRS



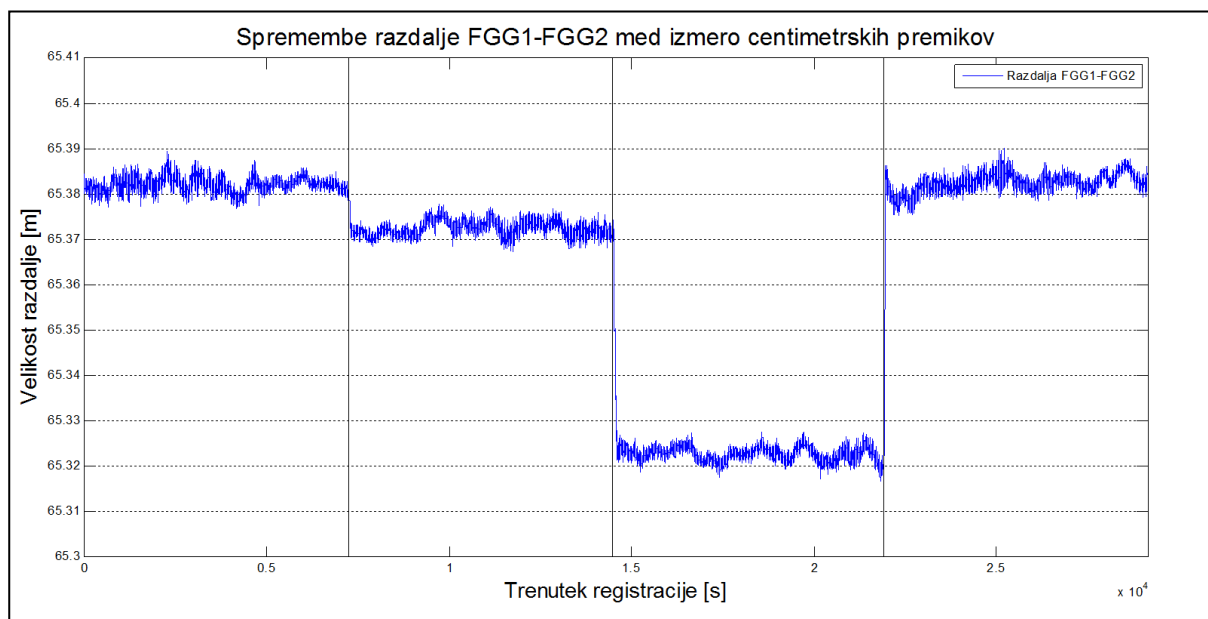


Grafikon 9: 3D premiki iz kinematične izmere prvega dne glede na VRS

V grafikonu 7 so prikazane koordinatne razlike točke FGG2 glede na referenčno točko VRS. Iz vrednosti položajnih koordinat  $n$  in  $e$  lahko opazimo premike sprejemnika, ki smo jih izvedli med izmero. Vidimo lahko, da so te vrednosti v primerjavi z višino manj razpršene okoli srednje vrednosti, kar je posledica dejstva, da smo položaj točke VRS izbrali zelo blizu merjeni točki. V nekaterih primerih, kot je to vidno pri koordinati  $n$  med začetkom izmere in prvim premikom, lahko opazimo, da se je izračunan položaj sprejemnika nekoliko spremenil, četudi je sprejemnik na točki miroval. Razlog za te spremembe v položaju so najverjetneje šumi v opazovanjih virtualne referenčne postaje VRS. V kolikor imamo na voljo dovolj dolgo serijo opazovanj, lahko iz rezultatov razberemo premike sprejemnika. Če nimamo zadostnega števila opazovanj, lahko spremembo v vrednosti koordinat zaradi šuma obravnavamo kot premik, četudi je sprejemnik miroval. V grafikonu 7 lahko vidimo, da so vrednosti sprememb višine razvrščene okoli iste vrednosti oziroma okoli vrednosti  $-0,05$  m, saj so vse višine v grafikonu zmanjšanje za 5 cm. Ker vemo, da smo sprejemnik premikali le v horizontalni ravnini, bi morala biti višina med celotno izmero enaka. Razlike med zaporednimi položaji so posledica slučajnih vplivov na opazovanja, ki so v primeru višine večji kot pri položajnih koordinatah. V grafikonu 8 so prikazani 2D premiki na točki FGG2 glede na spremembe položajnih koordinat  $n$  in  $e$ . Vrednosti zaporednih položajev se med seboj ne razlikujejo zelo, saj je natančnost izračunanih položajev zelo dobra, zato so vrednosti manj razpršene okoli srednje vrednosti kot so bile v primeru navezave na GSR1 in RADO. Vsi trije premiki so v grafikonu jasno vidni, zato lahko ocenimo, kdaj se je zgodil premik. Premiki so v primeru navezave na točko VRS še lažje določljivi kot pri navezavi na točki GSR1 in RADO. Iz tega lahko sklepamo, da je zelo pomembna izbira prave referenčne postaje, ki ni preveč oddaljena od točke, na kateri ugotavljamo premike. V grafikonu 9 so prikazani 3D premiki. Če te premike primerjamo z 2D premiki, lahko ugotovimo, kolikšna je bil izračunana

sprememba višine med izmero. Ker se je višina spreminjala le zaradi slučajnih vplivov, lahko tudi iz grafikona 3D premikov razberemo vse tri horizontalne premike sprejemnika na točki FGG2. Razlika med vrednostmi 2D premikov in 3D premikov je v večji razpršenosti položajev pri 3D premikih, ki je nastala zaradi slabše natančnosti izračuna višine. V primeru navezave na točko VRS smo dobili zelo dobre rezultate, ki so omogočali ugotavljanje centimetrskih premikov. Rezultati so bili boljši kot v primeru navezave na točko GSR1 ali točko RADO, saj se točka VRS nahaja bližje merjeni točki FGG2 in zato je možno natančneje določiti položaj sprejemnika.

Položaj točke FGG2 iz meritev prvega dne, ko smo izvajali centimetske premike, bomo prikazali tudi glede na točko FGG1. Med izmero smo kovinski nosilec na točki FGG2, s pomočjo katerega smo izvajali premike, usmerili proti točki FGG. Premike smo nato izvajali v smeri prot točki FGG1. V grafikonu bomo prikazali spremembe dolžine med točkama FGG1 in FGG2, ki so posledica premikov na točki FGG2. Trenutke dejanskih premikov smo v grafikonu označili z črnimi navpičnimi oznakami.



Grafikon 10: Spremembe razdalje med FGG1 in FGG2 med meritvami centimetrskih premikov

V grafikonu 10 lahko na podlagi sprememb vrednosti razdalje med FGG1 in FGG2 ocenimo, kdaj se je zgodil premik in koliko znaša velikost premika. Vsi trije premiki so dobri vidni in jih je mogoče ugotoviti. Rezultati so zelo dobri, saj je v primeru kratkih dolžin baznih vektorjev, kot jih imamo v primeru med točkama FGG1 in FGG2, mogoče zelo natančno določiti relativne spremembe med točkama.

## Milimetrski premiki

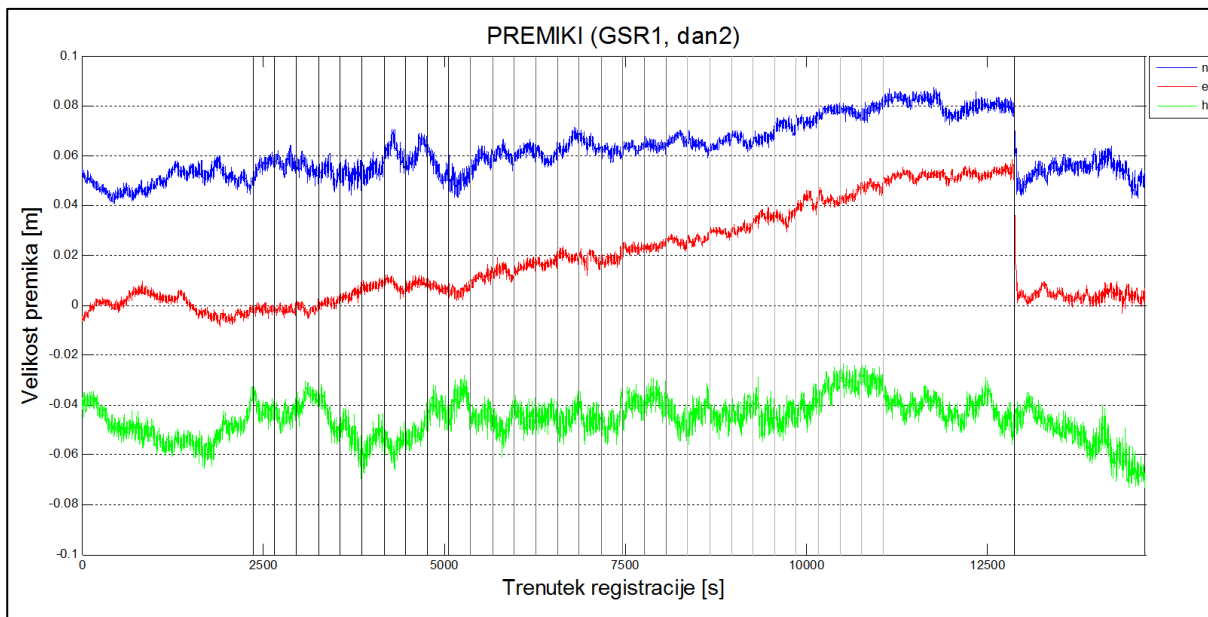
Na podlagi rezultatov obdelave meritev v kinematičnem načinu izmere drugega dne, ko smo na točki FGG2 izvajali milimetrske premike, smo izračunali premike sprejemnika glede na začetni položaj. Tudi v meritvah drugega dne smo premike določili relativno na različne referenčne točke, in sicer najprej glede na točko GSR1, nato glede na točko RADO in nazadnje glede na virtualno referenčno postajo VRS, ki smo jo generirali na spletni strani omrežja SIGNAL. Premik točke smo določili glede na začetni položaj sprejemnika, ki smo ga določili v prvih dveh urah statične izmere prvega dne meritev, ko je sprejemnik miroval na izhodiščnem položaju. V drugem dnevu terenske izmere smo na začetnem položaju izvajali opazovanja le prvih in zadnjih 30 minut izmere, zato smo se odločili, da za začetni položaj vzamemo položaj prvega dne izmere, ko smo opazovanja na izhodišču izvajali dalj časa. Koordinate izhodiščnega položaja znašajo:

$$n = 100811,6394 \text{ m}$$

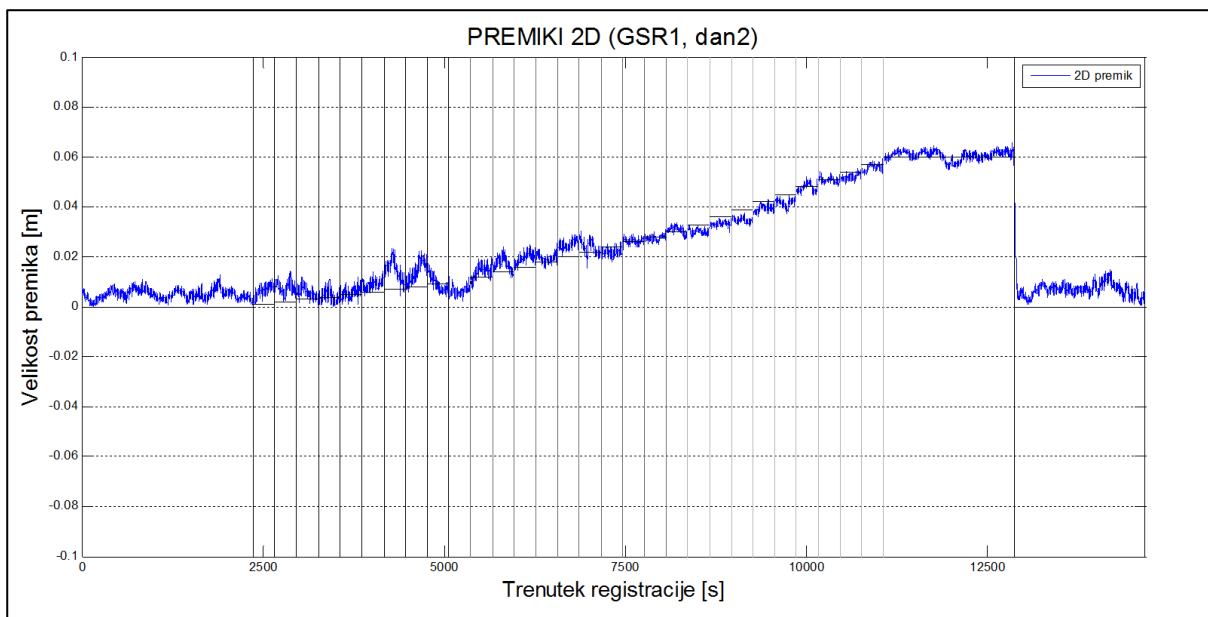
$$e = 460938,1298 \text{ m}$$

$$h = 367,5368 \text{ m}$$

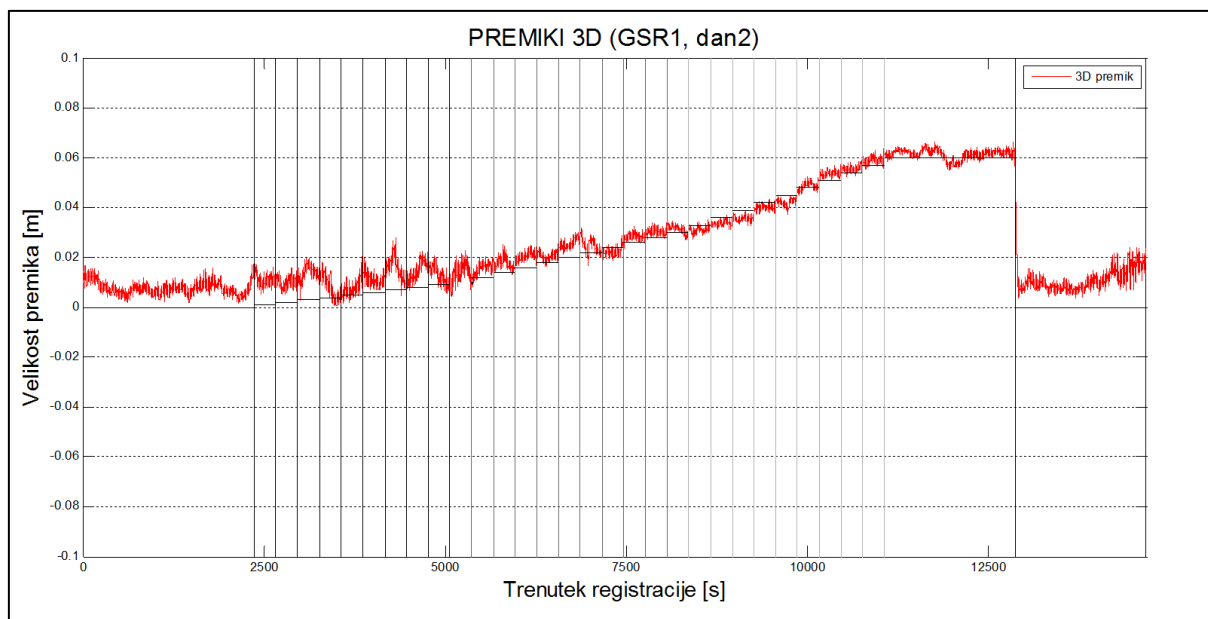
Po začetnem 30-minutnem opazovanju na začetnem položaju smo izvedli deset premikov po 1 mm, sledilo je deset premikov po 2 mm in nato še deset premikov po 3 mm. Med vsakim premikom je sprejemnik miroval 5 minut. Po skupno tridesetih premikih smo sprejemnik ponovno premaknili na začetni položaj, kjer smo opazovali še 30 minut. Premike bomo prikazali v grafikonih, najprej po posameznih koordinatnih komponentah, nato še v 2D in 3D smislu. Vsak premik je v grafikonu označen s sivo črto, in sicer se odtenki sivih oznak med seboj razlikujejo glede na to, kako velik premik označujejo, najtemnejše črte ponazarjajo premike za 1 mm, malo svetlejše črte označujejo premike za 2 mm, najsvetlejše so oznake za premike za 3 mm. Vodoravne linije med premiki označujejo dejansko vrednost položaja točke FGG2. Zaradi nazornejšega prikaza so v grafikonih vse vrednosti koordinate n povečane za 0,05 m, vse vrednosti višine h so zmanjšane za 0,05 m.



Grafikon 11: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere drugega dne glede na GSR1



Grafikon 12: 2D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na GSR1

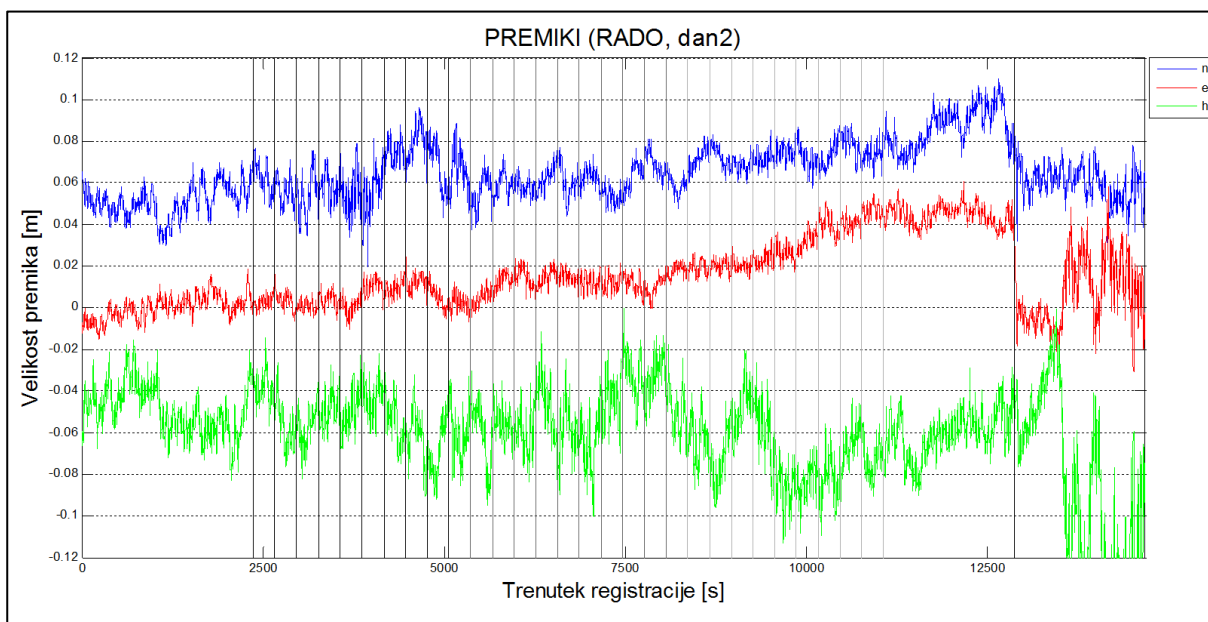


Grafikon 13: 3D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na GSR1

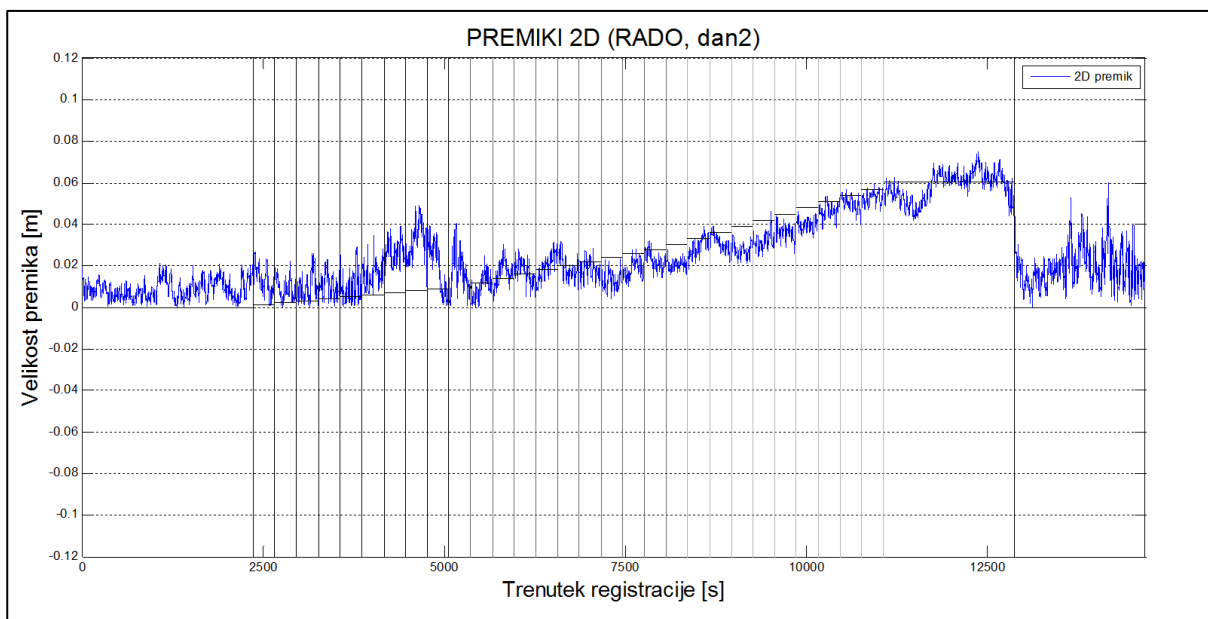
Grafikon 11 prikazuje vrednosti koordinat po posameznih komponentah, iz katerih lahko razberemo tudi premike sprejemnika. Podobno kot v rezultatih izmere prvega dne so tudi v tem primeru položajne koordinate izračunane bolj natančno kot višina, kar lahko v grafikonu vidimo kot večjo razpršenost višin okoli srednje vrednosti. Iz potekov linij, ki prikazujejo vrednosti posamezne koordinate, lahko vidimo, da se vrednosti koordinat v določenih trenutkih spremenijo, kljub temu da je takrat sprejemnik miroval. Spremembe v izračunanem položaju nastanejo zaradi šumov in zunanjih vplivov na opazovanja. V kolikor imamo na voljo zadostno število opazovanj, lahko tovrstne spremembe v izračunanih položajih zaznamo in jih ne interpretiramo kot premik sprejemnika. V grafikonu 12 so prikazani 2D premiki sprejemnika, kjer so bile upoštewane le razlike položajnih koordinat. Vidimo lahko, da prvih desetih premikov po 1 mm ne moremo zanesljivo določiti. Majhne spremembe v položaju so vidne, opazna je predvsem skupna sprememba položaja po desetih premikih, ki znaša 1 cm, ne moremo pa zanesljivo določiti posameznega premika po 1 mm. Dodatno težavo pri ugotavljanju teh premikov so povzročili šumi v opazovanjih, ki jih lahko opazimo med sedmim in devetim premikom. Vsak od drugih desetih premikov je znašal 2 mm. Te premike je ob pozornem pregledu linije v grafikonu 2D premikov možno opaziti, vendar kljub temu ne moremo z gotovostjo trditi, da bi vsak tak premik, ki se je zgodil med izmero, opazili, saj je 2 mm zelo majhna sprememba v položaju. Jasno je vidna skupna sprememba položaja sprejemnika, ki znaša 2 cm. Naslednjih deset premikov je bilo velikosti 3 mm in jih je mogoče v grafikonu že precej jasno opaziti. Seveda je zelo opazna tudi skupna sprememba položaja za 3 cm. Končni premik na začetni položaj za 6 cm je zaradi svoje velikosti zelo jasno viden. V grafikonu 13 so prikazani 3D premiki glede na spremembe vseh treh koordinat. Linija je v primeru 3D premika precej bolj nazobčana kot pri 2D premikih, saj je višina izračunana s slabšo natančnostjo in to vpliva na slabšo natančnost 3D premika. V splošnem lahko

vidimo, da višina ne vpliva na prikaz izvedenih premikov, saj sta v tem smislu grafikona za 2D in 3D premikov zelo podobna. Tudi v grafikonu 3D premika lahko vidimo, da je premike po 1 mm težko določiti, premike po 2 mm lahko deloma opazimo, premiki po 3 mm pa so večinoma vidni.

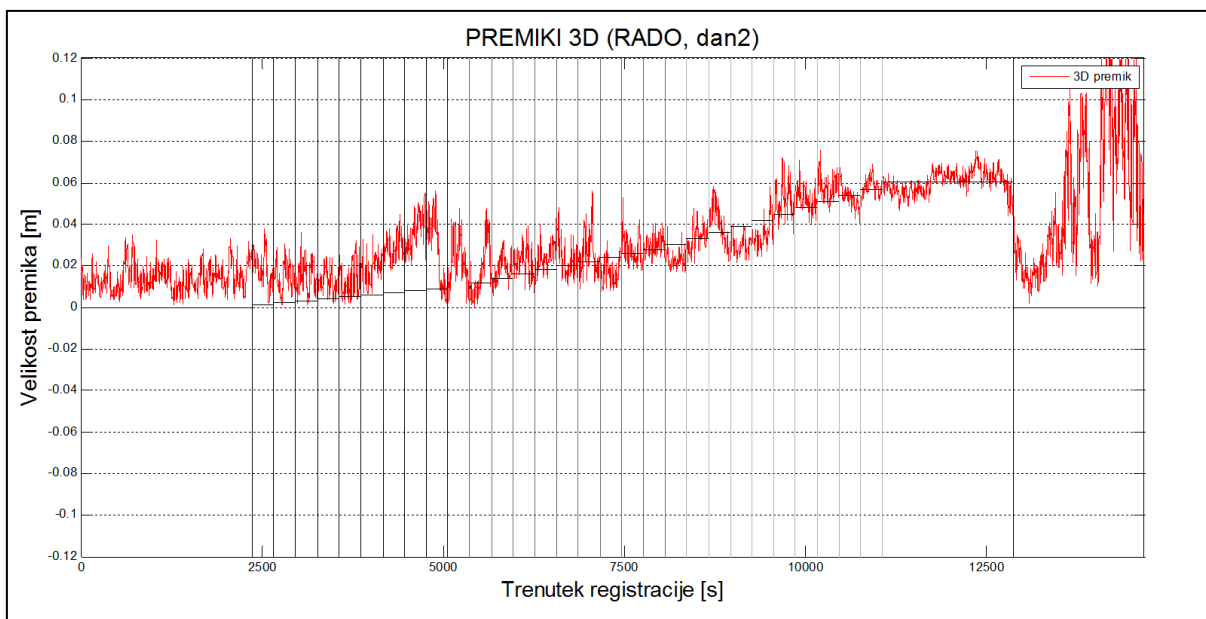
Sledil je izračun premikov drugega dne kinematične izmere glede na točko RADO.



Grafikon 14: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere drugega dne glede na RADO



Grafikon 15: 2D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na RADO

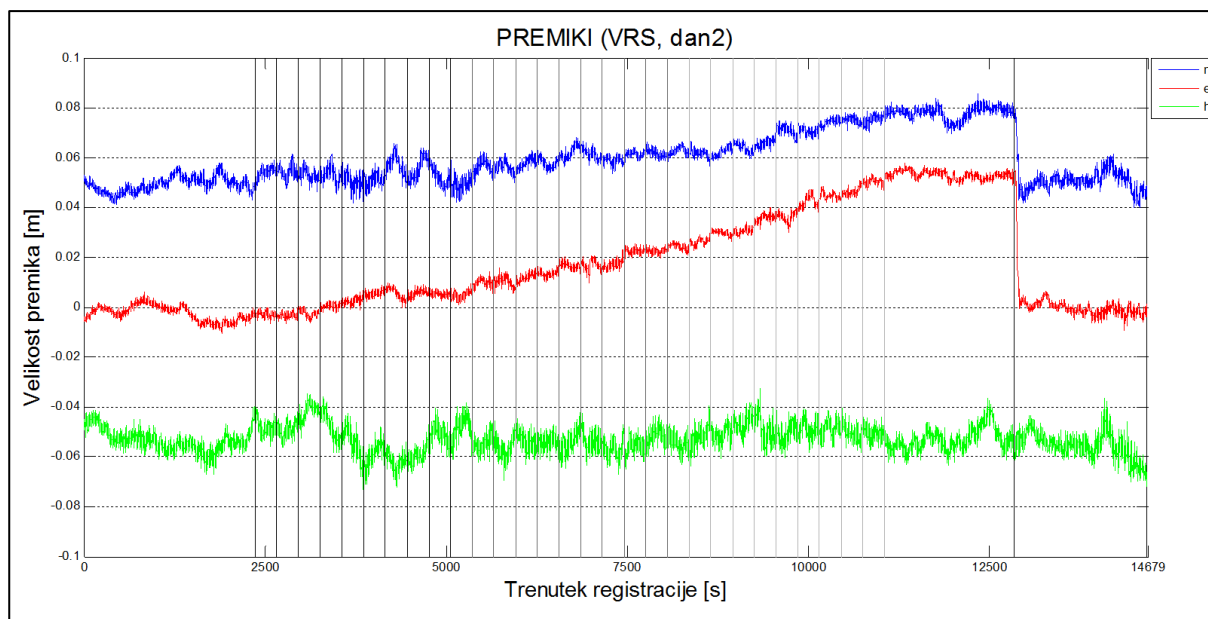


Grafikon 16: 3D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na RADO

Iz rezultatov izračuna premikov točke FGG2 z navezavo na točko RADO vidimo, da so pridobljeni rezultati precej bolj razpršeni kot so bili pri navezavi na točko GSR1. Razlog za večjo razpršenost je večja oddaljenost točke RADO od merjene točke v primerjavi s točko GSR1. Iz grafikona 14, kjer so pokazane razlike glede na začetni položaj po posameznih komponentah, lahko razberemo, da je višina slabše določena kot položajni koordinati, kar smo opazili že v preteklih primerih določanja položaja in je posledica značilnosti delovanja tehnologije GNSS. V primeru navezave na točko RADO imamo v rezultatih večja nihanja med zaporednimi položaji, ki so nastali zaradi različnih zunanjih vplivov na opazovanja, ki jih ni bilo mogoče odstraniti. Posebno velika napaka v izračunu vseh treh koordinat je opazna v zadnjem delu izmere, predvsem pri višini lahko vidimo zelo velika nihanja v vrednostih. V grafikonu 15 so prikazani 2D premiki oziroma spremembe položaja sprejemnika v horizontalni ravnini. Vidimo lahko, da so zaradi velike oddaljenosti točke RADO rezultati bolj razpršeni okoli srednje vrednosti položaja kot v primeru navezave na GSR1. Na izračunan položaj so vplivali tudi šumi, ki so najbolj opazni med prvimi desetimi premiki in v zadnjih 30 minutah izmere, ko je sprejemnik spet miroval na izhodiščnem položaju. Zaradi slabše natančnosti izračunanih položajev merjene točke so vsi premiki sprejemnika slabše vidni, predvsem prvih deset premikov po 1 mm je nemogoče identificirati. Med drugimi desetimi premiki, ki so znašali 2 mm, lahko deloma ocenimo nekatere premike. Zadnjih deset premikov, katerih velikost je znašala 3 mm, je bolj razvidnih in jih je v večini mogoče oceniti, kljub temu pa nismo vsi premiki jasno izraženi, zato ne moremo z gotovostjo trditi, da bo tovrsten način pokazal vse premike sprejemnika v velikosti 3 mm na merjeni točki. Premik iz skrajne točke nazaj na začetni položaj za 6 cm je zaradi zadostne velikosti jasno viden in ga je mogoče določiti. V grafikonu 16 so prikazani 3D premiki merjene točke, kjer je poleg položajnih koordinat vključena tudi sprememba višine sprejemnika med izmero. Zaradi slabše natančnosti višine

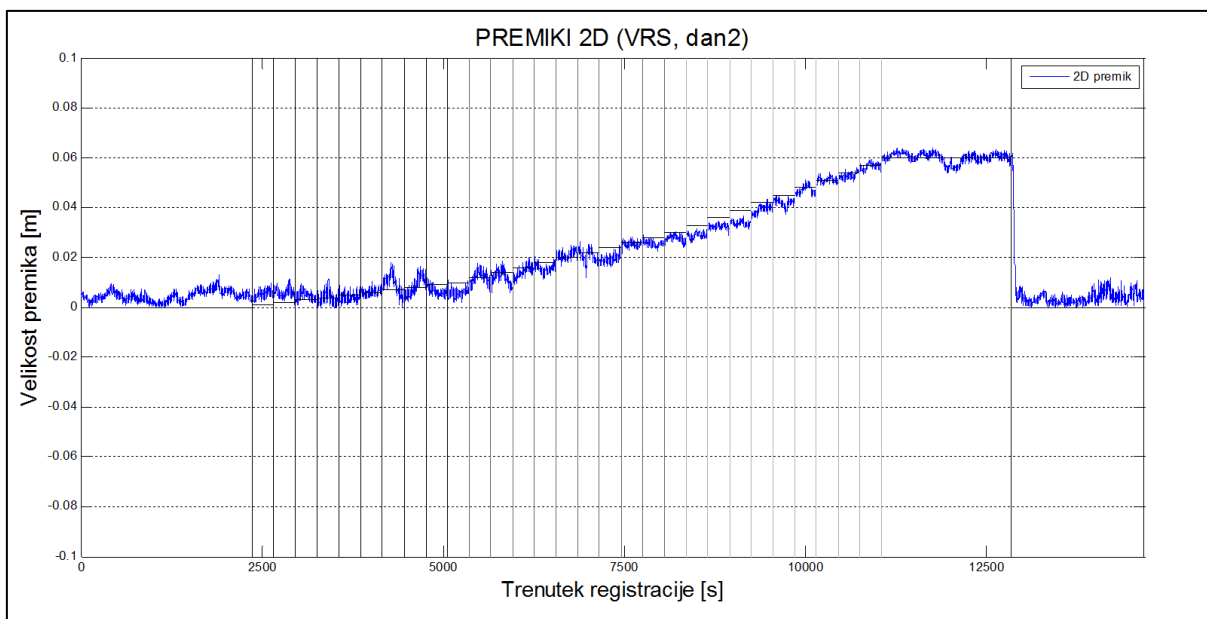
je slabša tudi natančnost izračunanega 3D položaja, kar se kaže v večji razpršenosti položajev sprejemnika in posledično so tudi 3D premiki težje določljivi. V primerjavi z 2D premiki so 3D premiki v primeru navezave na točko RADO pri izmeri milimetrskih premikov še težje določljivi oziroma jih je zaradi slabše natančnosti izračunanega položaja skoraj nemogoče ugotoviti. V vseh grafikonih, ki prikazujejo izračunane premike z navezavo na točko RADO, lahko vidimo, da so rezultati v primerjavi z navezavo na točko GSR1 precej slabši in ne omogočajo zanesljivega ugotavljanja milimetrskih premikov merjene točke. Tudi šumi in zunanji vplivi na opazovanja so večji in bolj pogosti kot v primeru navezave na GSR1, kar je ponovno posledica večje oddaljenosti referenčne postaje RADO od FGG2. Zaradi prevelike oddaljenosti med referenčno in merjeno točko so opazovanja slabše natančnosti in manj primerna za precizno določanje majhnih sprememb položaja sprejemnika.

Milimetre premike kinematične metode izmere drugega dne smo nato izračunali še glede na virtualno referenčno postajo VRS.

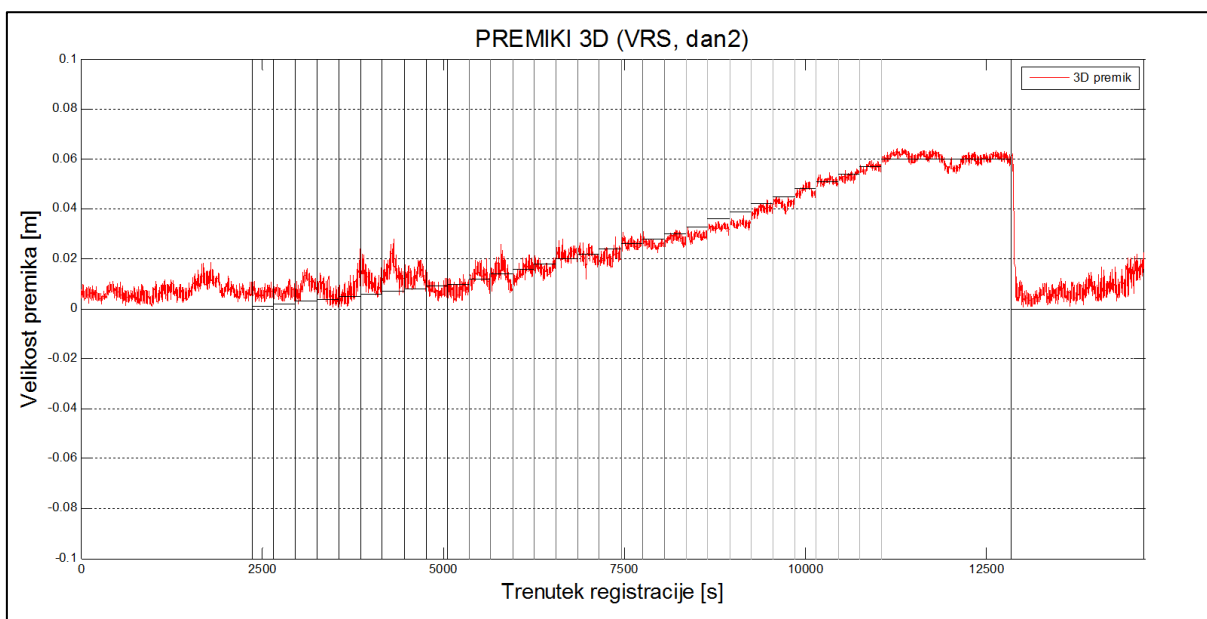


Grafikon 17: Razlike koordinat točke FGG2 iz kinematične izmere drugega dne glede na VRS





Grafikon 18: 2D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na VRS



Grafikon 19: 3D premiki iz kinematične izmere drugega dne glede na VRS

Najprej smo v grafikonu 17 prikazali razlike vseh treh koordinat glede na začetni položaj točke FGG2. Tudi pri navezavi na VRS so položajne koordinate določene bolj natančno kot višina, kar vidimo kot manjšo razpršenost vrednosti položajnih koordinat. V prvem delu izvajanja premikov so predvsem pri koordinati n prisotni šumi, ki slabšajo kakovost rezultatov. V grafikonu 18 so prikazani 2D premiki glede na horizontalno ravnino. Prvih deset premikov, ki so znašali 1 mm, ni mogoče določiti, čeprav zaznamo skupen premik sprejemnika po desetih premikih za 1 cm glede na izhodišče. Drugih deset premikov, ki so znašali 2 mm, že lahko opazimo v grafikonu 18, čeprav so nekateri izmed njih slabo vidni. V zadnjem delu smo izvedli deset premikov po 3 mm, ki jih iz grafikonov lahko identificiramo.

Zelo očitno je v grafikonu prikazan premik za šest centimetrov iz skrajne lege sprejemnika nazaj na izhodišče. Grafikon 19 prikazuje 3D spremembe položaja. Opazimo lahko večjo razpršenost izračunanih razlik zaradi slabše natančnosti višine. Ker v izračunu upoštevamo spremembe vseh treh koordinat, so bolj očitno pokažejo tudi napake zaradi različnih vplivov na opazovanja, ki jih ni bilo mogoče odstraniti. Iz grafikona s 3D premiki je tako možno oceniti le premike za 3 mm, medtem ko je manjše premike težje ali celo nemogoče določiti. Natančnost izračunanih razlik in posledično tudi natančnost 2D ter 3D premikov pri navezavi na VRS je podobna ali celo nekoliko boljša kot v primeru navezave na GSR1 in precej boljša kot pri navezavi na RADO. Napake zaradi zunanjih vplivov so pri VRS podobne kot pri GSR1 in bistveno manjše kot pri navezavi na RADO. Iz tega lahko sklepamo, da sta natančnost in število napak zaradi zunanjih vplivov močno povezani z oddaljenostjo referenčne točke, glede na katero določamo položaj merjene točke. Ker sta točki GSR1 in VRS zelo blizu merjeni točki, dobimo boljše rezultate kot pri navezavi na točko RADO, ki je zelo oddaljena od FGG2. Iz tega sledi, da je pri ugotavljanju majhnih premikov s kinematično metodo zelo pomembno, da položaj merjene točke določimo relativno na referenčno točko, ki se nahaja dovolj blizu merjeni točki.

### 6.1.3 RTK-metoda

Obdelava meritev RTK-izmere se je izvedla že na terenu, in sicer izračun položaja sprejemnika v vsakem trenutku registracije meritev relativno glede na referenčno postajo GSR1. Premike smo izračunali glede na izhodiščni položaj, ki smo ga privzeli iz meritev statične izmere, ko je sprejemnik prvi dve uri miroval na začetnem položaju. Koordinate izhodiščnega položaja merjene točke FGG2:

$$n = 100811,6394 \text{ m}$$

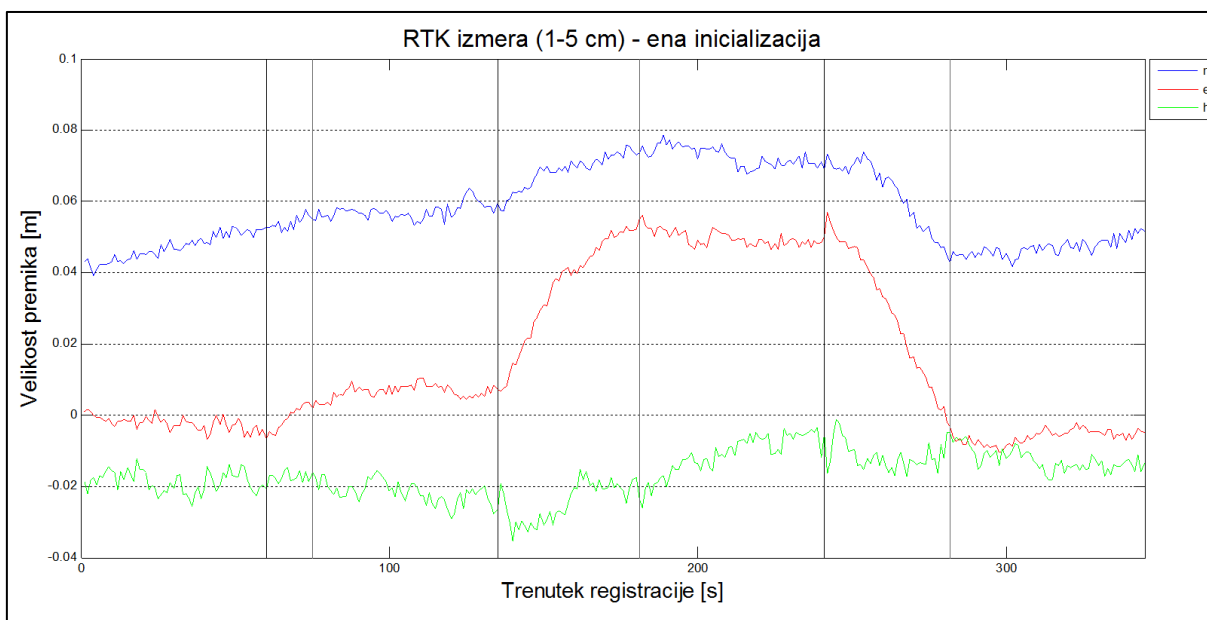
$$e = 460938,1298 \text{ m}$$

$$h = 367,5368 \text{ m}$$

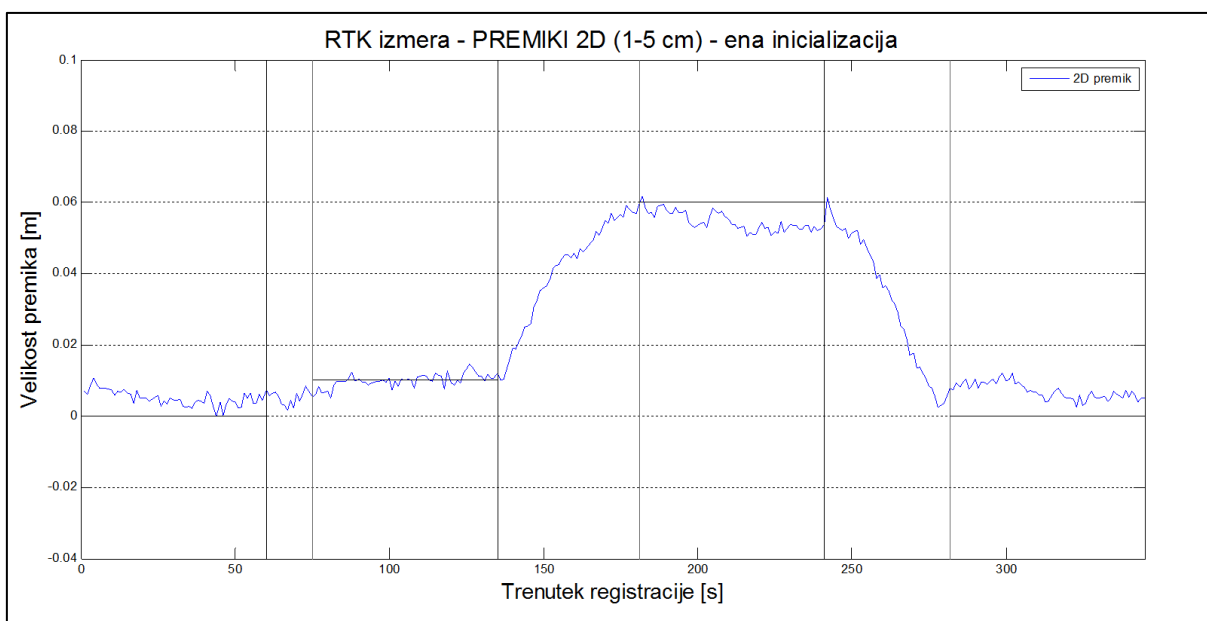
Vsi rezultati izračuna premikov iz meritev RTK-izmere so prikazani v obliki grafikonov. Premiki točke FGG2 bodo prikazani po vrednostih vseh treh koordinatnih komponent, kot 2D premiki z upoštevanjem položajnih koordinat in kot 3D premiki z upoštevanjem vseh treh koordinat. Zaradi nazornejšega prikaza smo v primerih, ko smo prikazali posamezne koordinatne komponente, vse vrednosti koordinate  $n$  povečali za 5 cm in vse vrednosti višine  $h$  zmanjšali za 5 cm. Barvne linije prikazujejo izračunane vrednosti položaj točke FGG2, vodoravne črne linije v grafikonih za 2D in 3D premik prikazujejo dejansko vrednost položaja FGG2, navpične oznake označujejo začetek izvajanja premika, siva oznaka pa določa konec premika.

## Centimetrski premiki

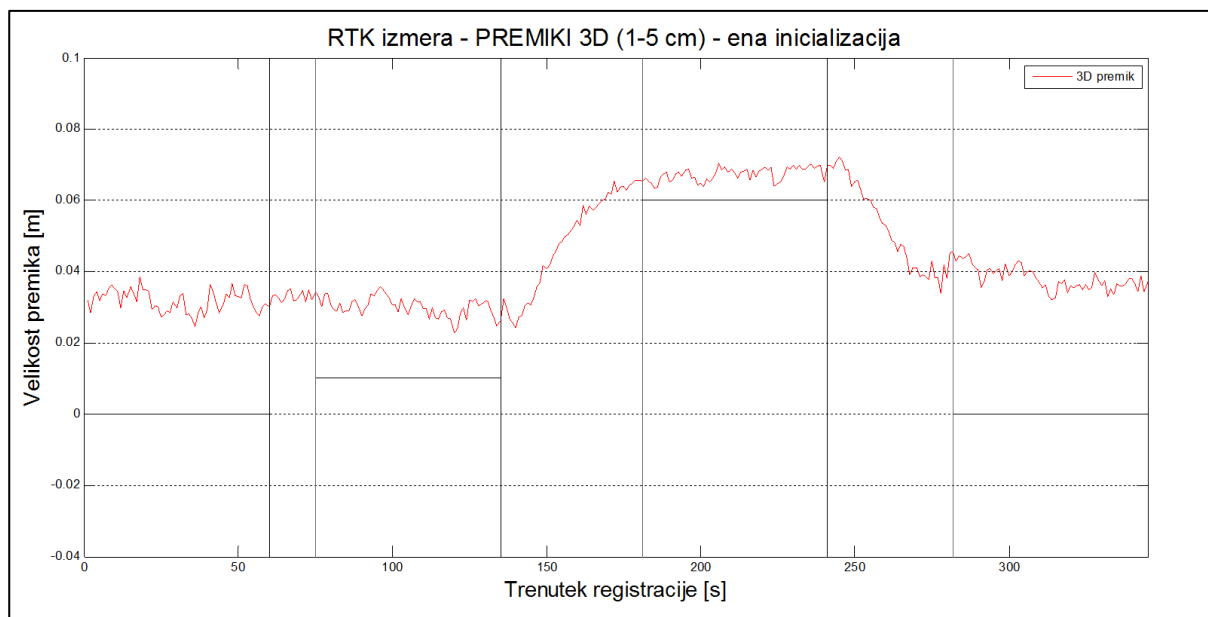
Najprej bomo prikazali centimetrske premike točke FGG2 z izvedeno eno inicializacijo na začetku izvajanja opazovanj.



Grafikon 20: Koordinatne razlike točke FGG2 glede na začetni položaj iz RTK-izmere centimetrskih premikov z eno inicializacijo



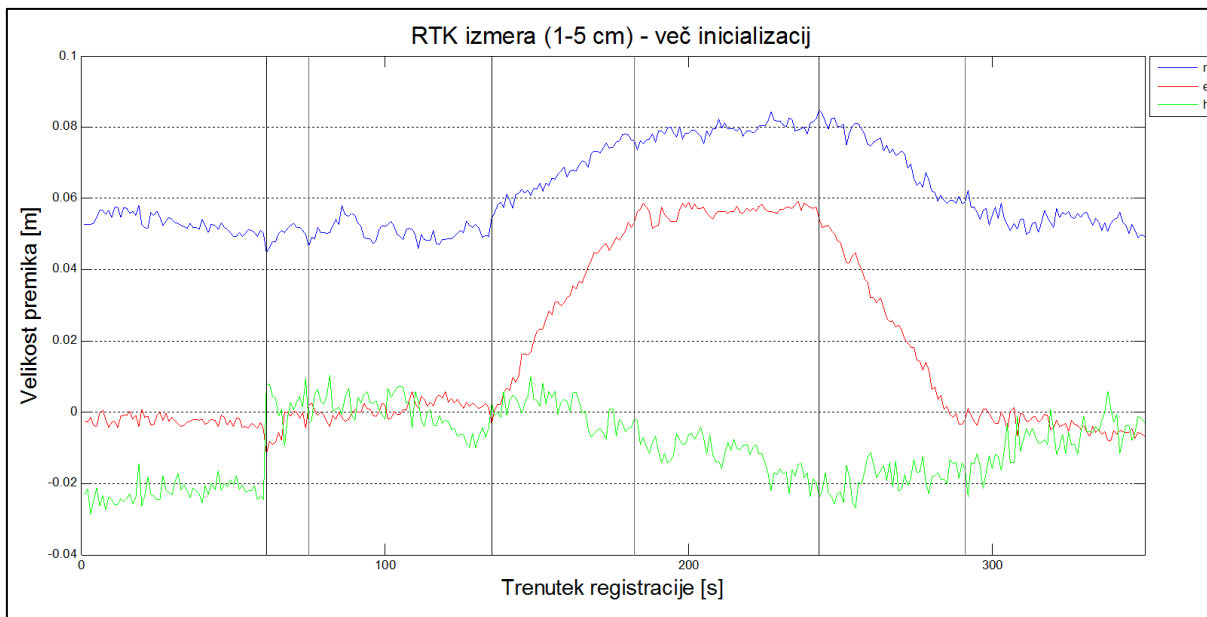
Grafikon 21: 2D premiki iz RTK-izmere centimetrskih premikov z eno inicializacijo



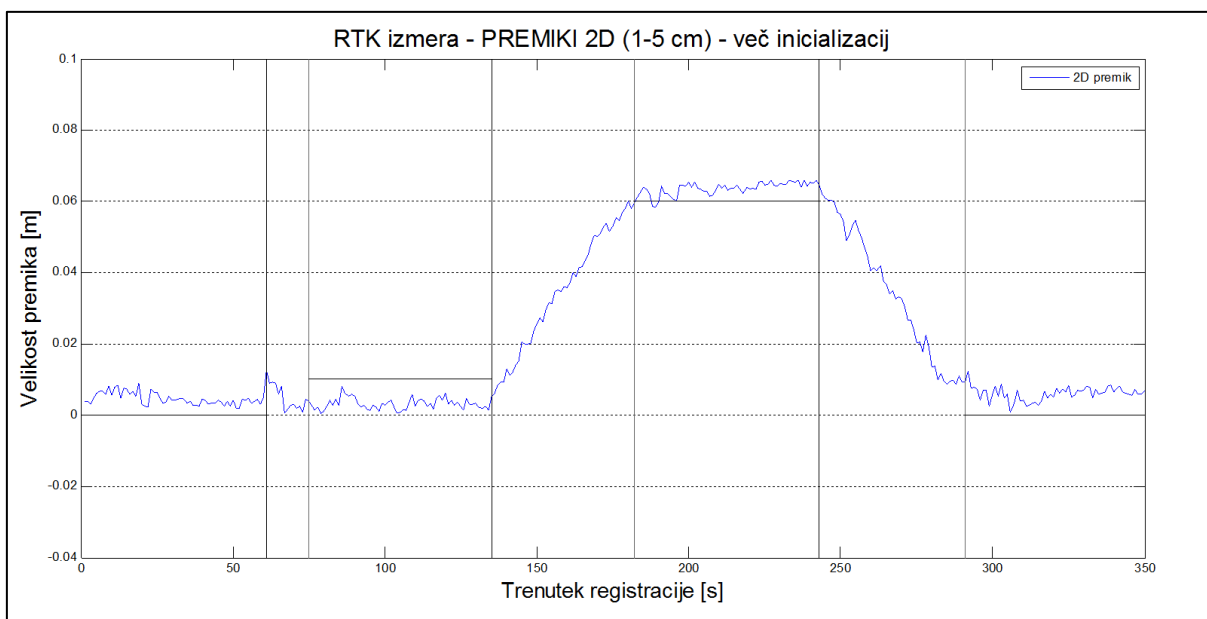
Grafikon 22: 3D premiki iz RTK-izmere centimetrskih premikov z eno inicializacijo

Grafikon 20 prikazuje vrednosti posameznih koordinatnih komponent položajev točke FGG2. Vidimo lahko, da so vrednosti položajnih koordinat manj razpršene, medtem ko so vrednosti višine bolj razpršene okoli srednje vrednosti. Zaradi različnih šumov se vrednost izračunanega položaja v določenem trenutku nekoliko spremeni, četudi je takrat sprejemnik med izmero miroval. Večje spremembe med zaporednimi izračunanimi vrednostmi so opazne pri višini, saj je le-ta določena manj natančno in zato bolj dovzetna za odklone od srednje vrednosti položaja. V grafikonu 21 so prikazani izračunani 2D premiki v horizontalni ravnini. Posamezni premiki so opazni, predvsem drugi premik za 5 cm in tretji za 6 cm. Prvi premik je opazen, vendar zaradi nihanja v izračunanem položaju ne moremo z gotovostjo določiti velikosti tega premika. Izračunan položaj med mirovanjem sprejemnika se spreminja za približno 1 cm, kar je enako velikosti prvega premika, zato je ta premik težje določiti. Grafikon 22 prikazuje 3D premike sprejemnika. V tem primeru je prvi premik še težje določljiv oziroma ga ni mogoče identificirati, saj slabša natančnosti višine zelo poslabša izračunan 3D položaj točke FGG2 in posledično tudi natančnost izračunanega premika. Drugi premik, ki je znašal 5 cm, je v grafikonu dobro viden, vendar je težko določiti njegovo velikost, saj položaj sprejemnika med mirovanjem precej niha. Tretji premik je mogoče zaznati, vendar njegova velikost ne ustreza dejanski velikosti izvedenega premika. Dejanski premik je namreč znašal 6 cm, izračunana vrednost, ki jo razberemo iz grafikona 22, pa je okoli 4 cm.

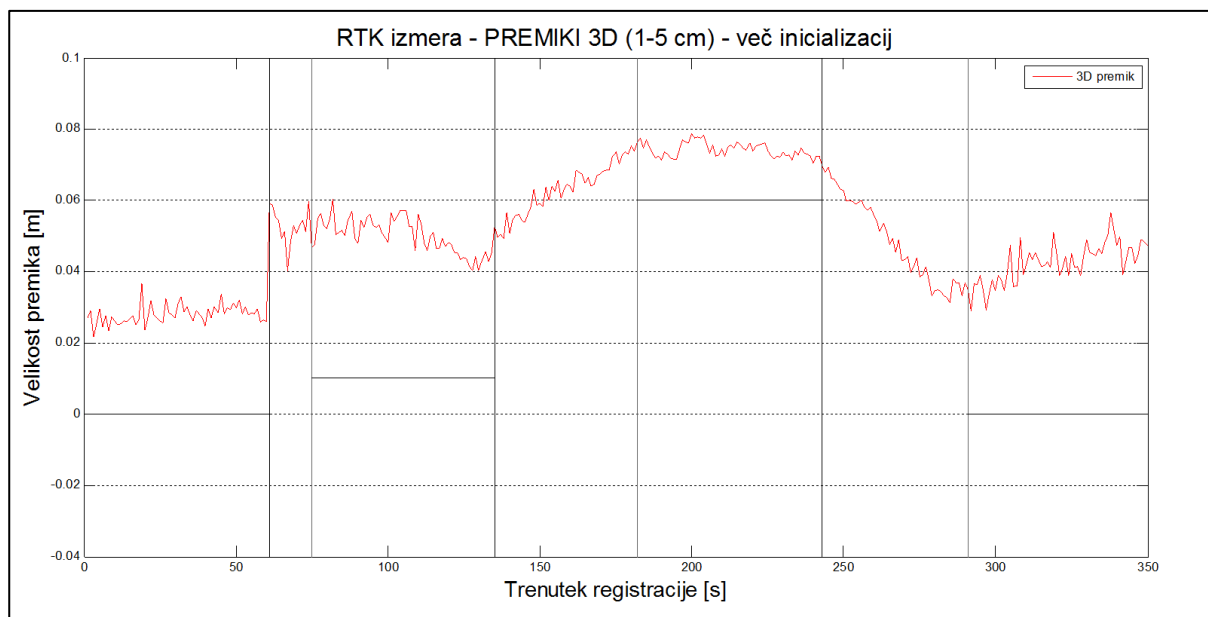
Centimtrske premike sprejemnika smo izračunali tudi iz meritev RTK-metode, pri katerih smo inicializacijo izvedli pred vsakim premikom.



Grafikon 23: Koordinatne razlike točke FGG2 glede na začetni položaj iz RTK-izmere centimetrskih premikov z več inicializacijami



Grafikon 24: 2D premiki iz RTK-izmere centimetrskih premikov z več inicializacijami



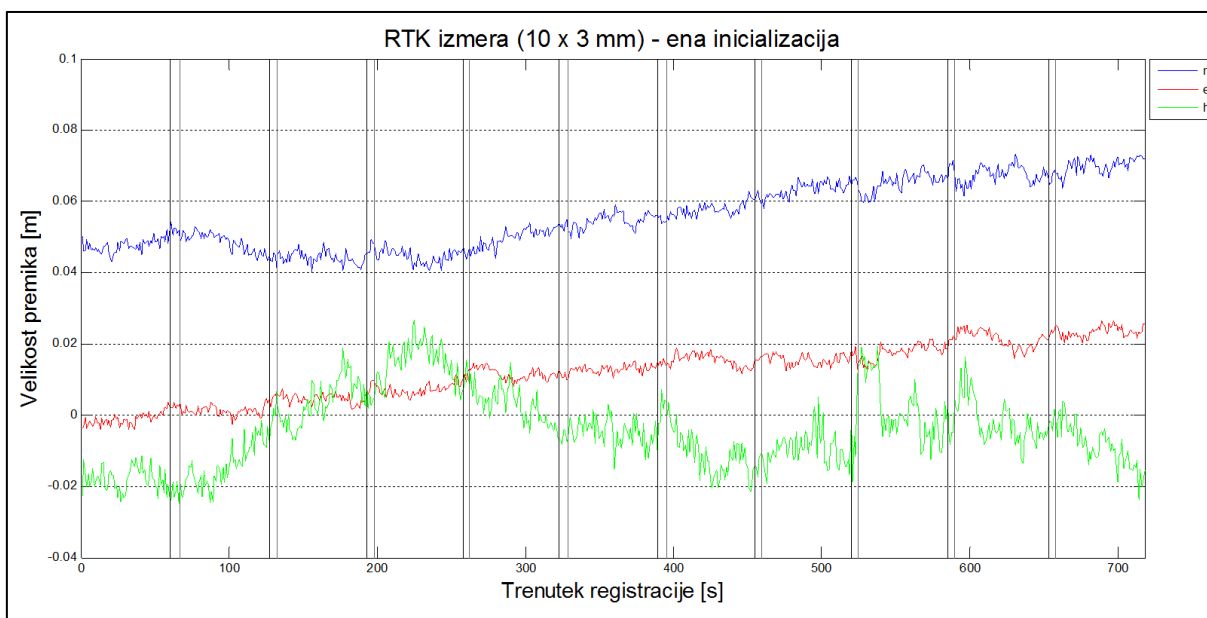
Grafikon 25: 3D premiki iz RTK-izmere centimetrskih premikov z več inicializacijami

V grafikonu 23 lahko vidimo razlike koordinat glede na začetni položaj iz RTK-izmere centimetrskih premikov. Pred vsakim premikom smo izvedli inicializacijo, ki je povzročila, da se je položaj sprejemnika izračunal kot nekoliko drugačna vrednost glede na prejšnjo. Največji vpliv inicializacije je opazen pri določanju višine, saj se je le-ta najbolj spremenila po inicializaciji. Pri položajnih koordinatah je ta vpliv manjši, vseeno pa lahko v grafikonu 23 opazimo manjši skok v vrednosti koordinate po inicializaciji. V grafikonu 24 so prikazani 2D premiki sprejemnika. Zaradi inicializacije lahko opazimo manjše skoke v vrednostih med zaporednimi položaji. Prvi premik za 1 cm je zaradi slabše natančnosti RTK-metode težko določiti, saj se vrednost položaja sprejemnika po premiku skoraj ne spremeni v primerjavi z začetnim stanjem. Drugi premik za 5 cm je mogoče opaziti, kljub temu pa velikost izračunanega premika ni skladna z dejanskim premikom, saj je izračunan premik večji od dejanskega. Tretji premik je prav tako mogoče ugotoviti, možna je tudi pravilna določitev velikosti premika, saj je le-ta skladna z dejanskim premikom, ki je znašal 6 cm. Grafikon 25 prikazuje 3D premike. Zaradi slabše natančnosti višine so 3D premiki slabše določljivi. Možno je sklepati, da je v trenutku, ko je v grafikonu označen začetek premika, na merjeni točki prišlo do položajnih sprememb, vendar pa ni mogoče določiti prave velikosti premika. V vseh treh grafikonih, ki prikazujejo premike z vmesnimi inicializacijami, lahko vidimo, da inicializacija povzroči, da je nov izračunan položaj nekoliko drugačen od predhodnega, saj se nanaša na novo vrednost neznanega začetnega števila celih valov. Če rezultate z vmesnimi inicializacijami primerjamo z rezultati, ko smo izvedli le eno inicializacijo na začetku meritev, lahko rečemo, da vmesna inicializacija povzroči začetno spremembo v izračunanem položaju. Po nekaj trenutkih registracije meritev se vrednost položaja ustali. V primeru ene inicializacije so bili vsi položaji, ki smo jih določili v nadaljevanju, zvezni, saj so bili določeni glede na isto začetno vrednost celih valov. Ko pa smo imeli vmesne inicializacije, se je vrednost

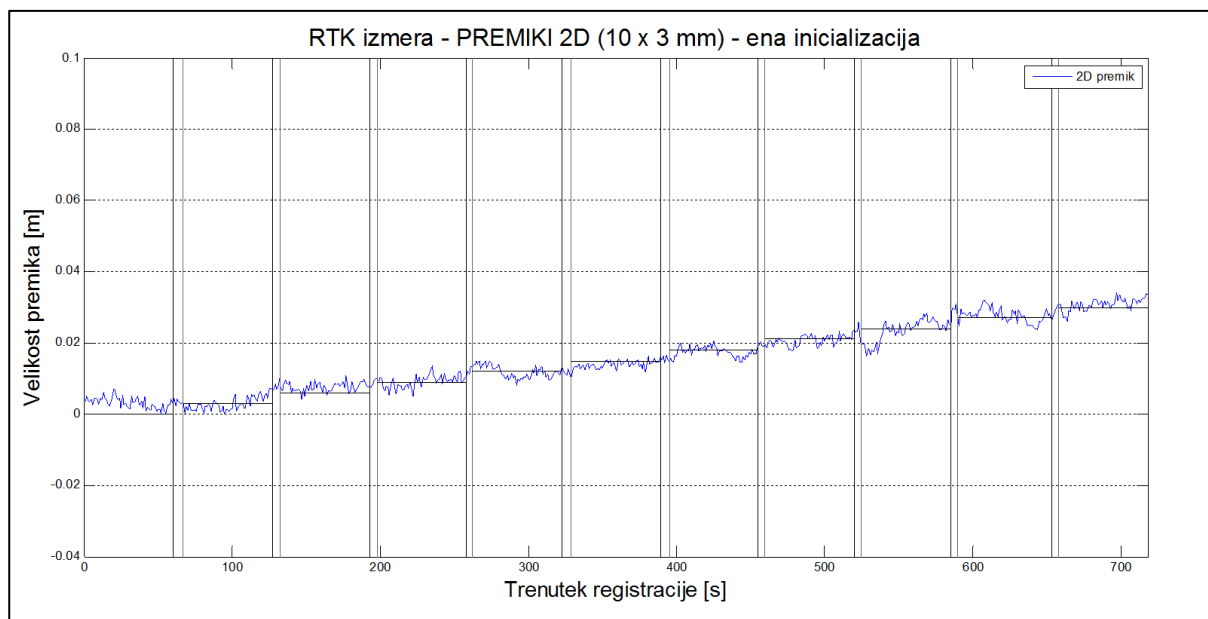
koordinat položaja točke FGG2 na novo določila, na novo izračunan položaj pa se je nekoliko razlikoval od položaja, ki je bil predhodno določen s prejšnjo vrednostjo začetnega števila celih valov. Ker smo takoj po inicializaciji izvedli še premik, se ta ni skladal z dejanskim premikom, saj smo ga izračunali glede na prejšnje položaje. V kolikor je začetna inicializacija pravilno izvedena in je začetno število celih valov dobro določeno, je v primeru krajših opazovanj ugotavljanje premikov boljše le ob začetni inicializaciji. V primeru daljšega izvajanja meritev se zaradi neodstranih vplivov na opazovanja ne moremo zanašati le na eno inicializacijo, ki jo izvedemo na začetku meritev. Predvsem pri določanju položaja mirujočih točk je potrebno izbrano točko izmeriti večkrat, in sicer v določenih časovnih razmikih, vsakič z novo inicializacijo, saj je lahko katera od inicializacij slabše določena.

### Milimetrski premiki

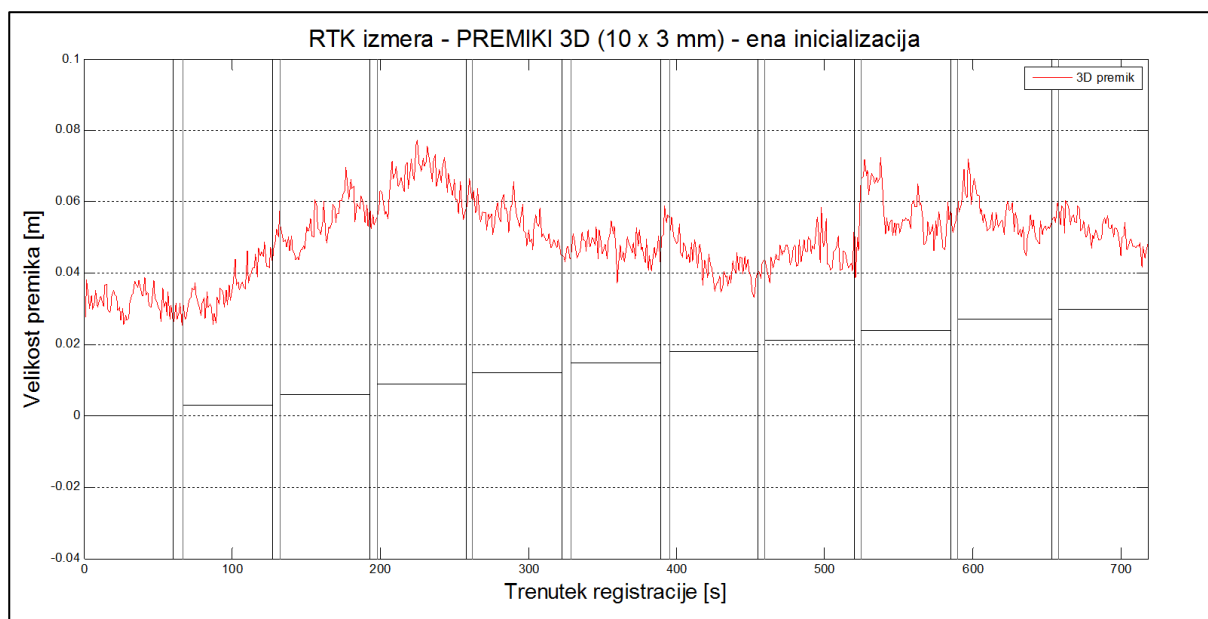
Z RTK-metodo smo skušali določiti tudi milimetre premike, in sicer smo izvedli deset premikov po 3 mm. Najprej bomo prikazali izračunane premike iz meritev, pri katerih smo inicializacijo izvedli le na začetku izvajanja meritev. Sledili bodo rezultati izračuna premikov, kjer smo inicializacijo izvedli pred vsakim premikom. V obeh primerih smo položaj sprejemnika na FGG2 določili relativno glede na točko GSR1.



Grafikon 26: Koordinatne razlike točke FGG2 glede na začetni položaj iz RTK-izmere milimetrov z eno inicializacijo



Grafikon 27: 2D premiki iz RTK-izmere milimetrovskih premikov z eno inicializacijo



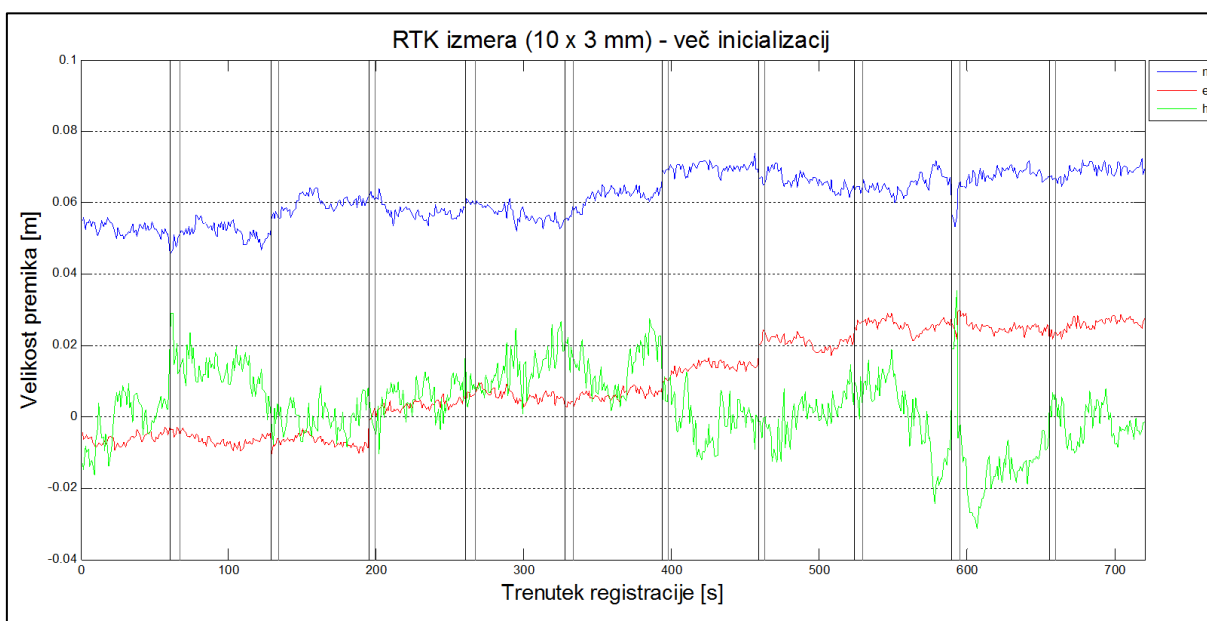
Grafikon 28: 3D premiki iz RTK-izmere milimetrovskih premikov z eno inicializacijo

V grafikonu 26, kjer so prikazani milimetrovski premiki po posameznih koordinatah, lahko vidimo, da se položajne koordinate spreminjajo v skladu z izvedenimi premiki, čeprav ne moremo jasno določiti trenutka in velikosti premika, ker se vrednost razlike glede na začetni položaj spreminja tudi med premiki, ko je sprejemnik na točki miroval. Pri vrednostih višine lahko opazimo velika odstopanja od srednje vrednosti, čeprav se dejanska višina sprejemnika med celotno izmero ni spreminjala. Podobno kot v prejšnjih primerih izračuna premikov je tudi v tem primeru višina slabše določena kot položajni koordinati, zaradi krajšega intervala opazovanj pri RTK-metodi je določitev višine v tem primeru še bolj podvržena različnim vplivom na opazovanja, ki se v izračunanih vrednostih višine  $h$  kažejo kot

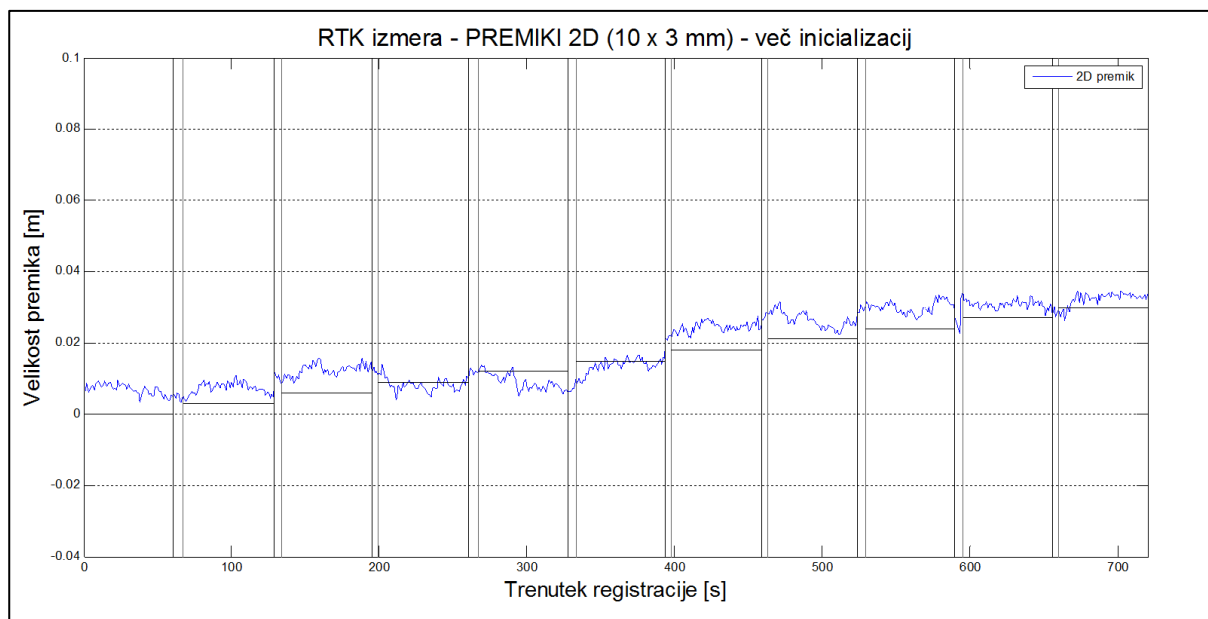


velika odstopanja od prave vrednosti. V grafikonu 27 so prikazani 2D premiki v horizontalni ravnini. Prvi premik je nekoliko slabše viden, nadaljnji pa so bolj opazni, čeprav je razlika med dvema zaporednima premikoma zelo majhna. V kolikor v grafikonu ne bi bilo oznak za začetek in konec premika, bi težko ocenili točen trenutek za vsak posamezen premik, saj so premiki po 3 mm zelo majhni. Opazimo lahko tudi nihanje položaja sprejemnika tudi med premiki, ko je sprejemnik na točki miroval. Zaradi tovrstnih nihanj bi se lahko zgodilo, da bi neko spremembo v vrednosti položaja zaradi slabše natančnosti RTK-metode obravnavali kot majhen premik, četudi se sprejemnik v tistem trenutku ni premaknil. Skupna sprememba položaja po desetih premikih je znašala 3 cm in jo v grafikonu lahko opazimo. Grafikon 28 prikazuje 3D premike sprejemnika. Zaradi slabe natančnosti višine je 3D položaj sprejemnika zelo slabo določen, posledično iz rezultatov ne moremo določiti premikov, ki smo jih izvedli na terenu. Ker je bila inicializacija izvedena samo na začetku meritev, se položaj sprejemnika med izmero zvezno spreminja, saj je določen na podlagi istega začetnega števila celih valov.

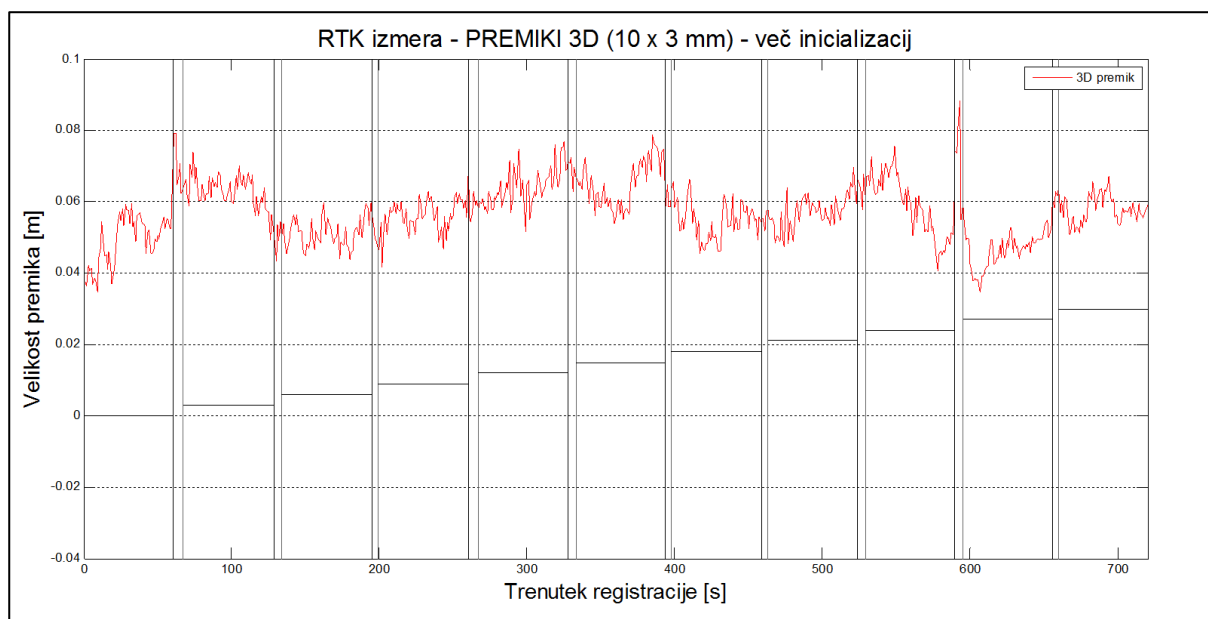
Sledijo rezultati RTK-izmere milimetrskih premikov, ko smo inicializacijo izvedli pred vsakim premikom.



Grafikon 29: Koordinate razlike točke FGG2 glede na začetni položaj iz RTK-izmere milimetrskih premikov z več inicializacijami



Grafikon 30: 2D premiki iz RTK-izmere milimetrovskih premikov z več inicializacijami



Grafikon 31: 3D premiki iz RTK-izmere milimetrovskih premikov z več inicializacijami

V grafikonu 29 lahko vidimo, kako se je med izmero spreminjal položaj sprejemnika po posameznih koordinatah. Zaradi vmesnih inicializacij pred vsakim premikom lahko opazimo manjše skoke v vrednostih koordinat ob premiku, ki so najbolj opazni pri položajnih koordinatah. Zaradi lastnosti položaja, določenega s tehnologijo GNSS, je tudi v tem primeru višina manj natančno določena od položajnih koordinat, poleg večje razpršenosti okoli srednje vrednosti lahko v grafikonu opazimo tudi dodatna večja nihanja višine sprejemnika, čeprav smo premike izvajali le v horizontalni ravnini. V grafikonu 30 so prikazane vrednosti 2D premikov oziroma razlike 2D položaja merjene točke glede na izhodišče. Opazimo lahko spremembe 2D položaja zaradi premikov, očitna je skupna sprememba med

začetnim in končnim položajem, vsak posamezen premik pa je težje določljiv, saj so velikosti premikov zelo majhne. Zaradi inicializacije pred vsakim premikom nastane majhen skok v vrednosti položaja, kar lahko vidimo pri nekaterih premikih. Po določenem obdobju izvajanja opazovanj se izračunana vrednost stabilizira okoli predvidene vrednosti položaja sprejemnika, iz česar izhaja, da je nekaj trenutkov po inicializaciji potrebno zagotoviti, da sprejemnik miruje in med tem določi pravi položaj. Med posameznimi premiki lahko vidimo nihanja v vrednosti položaja, ki so posledica slučajnih in drugih vplivov na opazovanja (npr. slabša geometrija satelitov). Pomembno je, da zagotovimo zadostno število opazovanj, iz katerih lahko določimo srednjo vrednost izračunanega položaja in tako določimo prave razlike med položaji, na podlagi katerih ugotavljamo morebitne premike. V primeru, da imamo na voljo malo opazovanj, se lahko zgodi, da določeno spremembo v vrednosti položaja identificiramo kot premik, čeprav je sprejemnik takrat miroval. V grafikonu 31 lahko vidimo 3D premike. Zaradi slabe natančnosti višine ni mogoče ugotoviti izvedenih premikov. Premiki, velikosti 3 mm, so bili manjši od natančnosti določitve 3D položaja sprejemnika z RTK-metodo, zato na osnovi opravljenih meritev trdimo, da ta metoda ne omogoča zanesljivega ugotavljanja milimetrskih premikov.

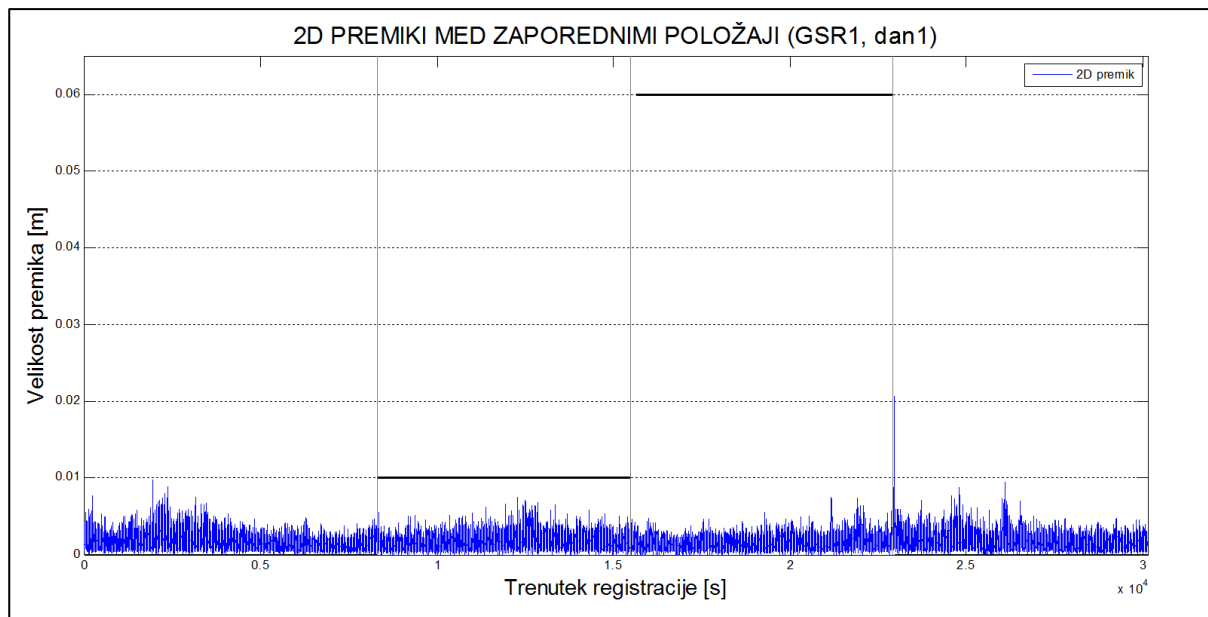
## **6.2 Izračun premikov med zaporednimi položaji**

V prvem izračunu smo premike izračunali glede na izhodiščni položaj, ki smo ga določili v prvih dveh urah meritev s statično metodo v prvem dnevu terenske izmere. Nato smo se odločili, da bomo izračunali še premike med zaporednimi položaji sprejemnika iz kinematične in RTK-metode izmere. Sprejemnik je med izmero vsako sekundo beležil opazovanja, zato smo lahko z obdelavo opazovanj kinematične in RTK-metode za vsako sekundo izmere pridobili položaj merjene točke FGG2. Sledil je izračun razlik med koordinatami zaporednih položajev merjene točke. Ker smo med izmero izvajali le 2D premike v horizontalni ravnini, bomo v nadaljevanju prikazali le rezultate izračuna 2D premikov na podlagi razlik med položajnimi koordinatami. Vse rezultate bomo prikazali v obliki grafikonov. Za lažjo primerjavo med dejansko izvedenimi in izračunanimi premiki smo trenutke izvedenih premikov označili z navpičnimi oznakami na osi x, z vodoravnimi linijami med premiki smo pa označili dejanske premike sprejemnika.

### **6.2.1 Kinematična metoda**

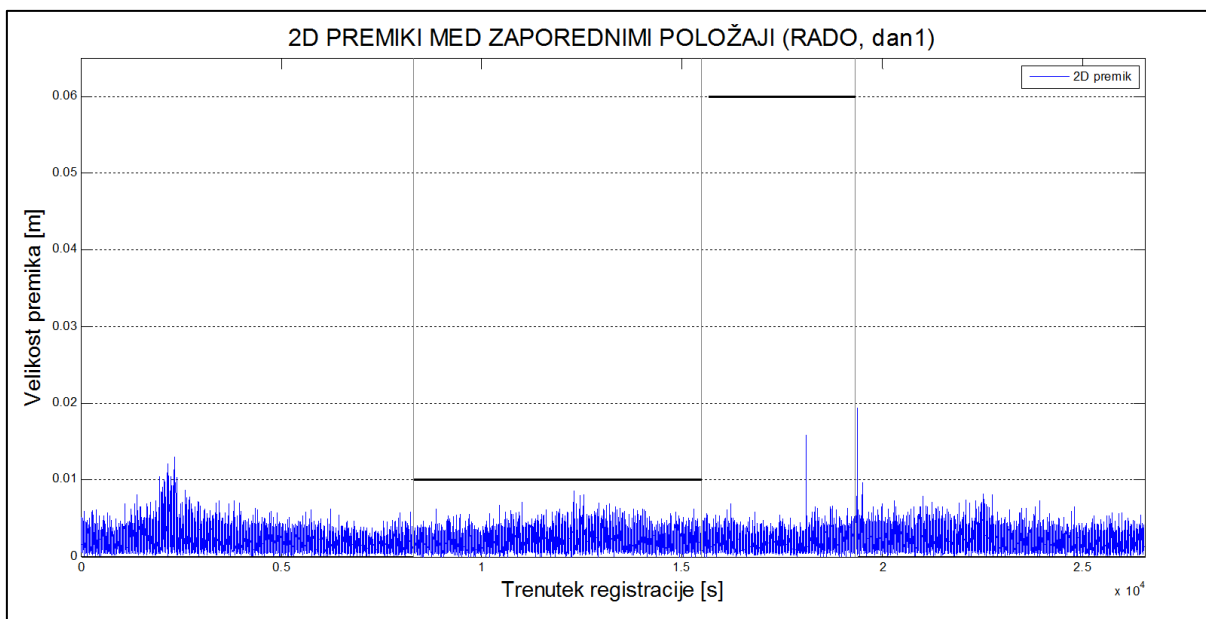
Premike med zaporednimi položaji smo najprej izračunali iz meritev v kinematičnem načinu, kjer smo položaj sprejemnika določili glede na tri različne referenčne točke, in sicer GSR1, RADO in VRS. Najprej bodo prikazani centimetrski premiki, sledili bodo rezultati izmere milimetrskih premikov.

## Centimetrski premiki



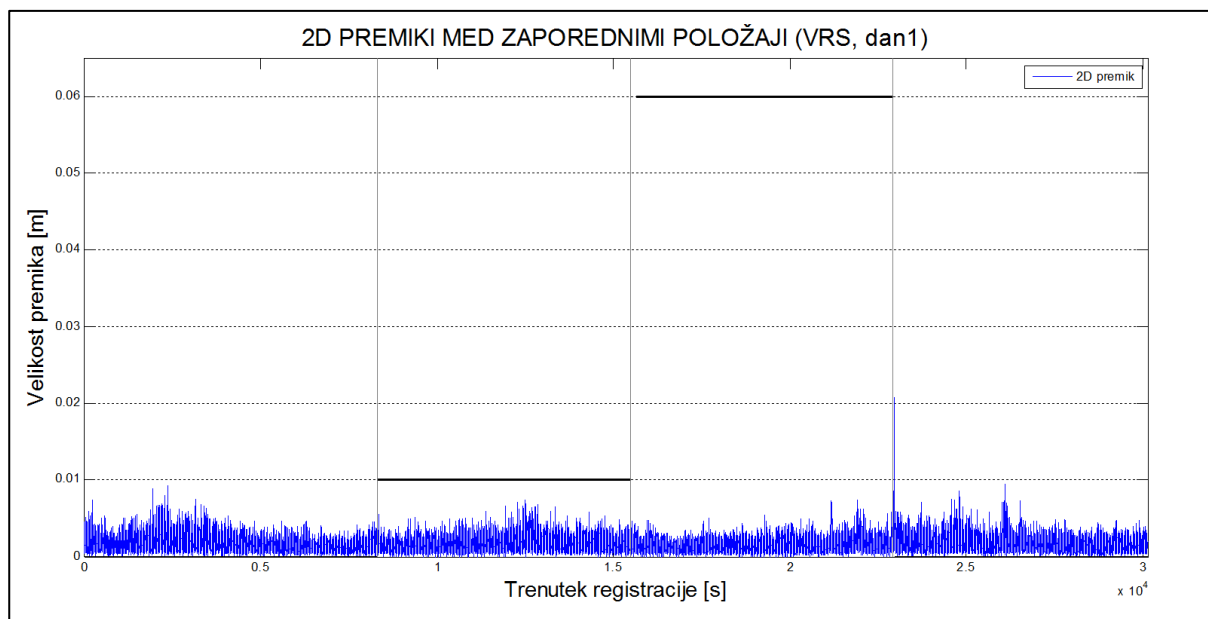
Grafikon 32: Razlike med zaporednimi položaji glede na GSR1 v izmeri centimetrskih premikov

V grafikonu 32 so prikazani rezultati meritev centimetrskih premikov glede na razlike med zaporednimi položaji pri navezavi na referenčno točko GSR1. Vidimo lahko, da so razlike med zaporednimi 2D položaji zelo majhne, povečini so razlike manjše od 5 mm. Največjo razliko lahko opazimo ob tretjem premiku, kjer je izračunana razlika med zaporednima položajema nekaj več kot 2 cm, čeprav je dejanska velikost tretjega premika znašala 6 cm, kar pomeni, da se izračunana vrednost ne sklada z dejansko velikostjo premika. Pri prvem premiku je izračunana razlika glede na sosednje nekoliko večja, medtem ko pri drugem premiku ne moremo zaznati večje razlike v primerjavi s sosednjimi vrednostmi. Opazimo tudi lahko, da so v nekaterih delih razlike med zaporednimi položaji večje kot v povprečju, čeprav je takrat sprejemnik miroval. Razlog za to so različni šumi in zunanji vplivi na opazovanja, ki povzročijo večje razlike med zaporednimi položaji. V rezultatih se premiki niso jasno pokazali, ker smo le-te izvajali počasneje od 1 s in je posamezen premik trajal več sekund, zato je en dejanski premik porazdeljen med več izračunanih razlik med zaporednimi položaji.



Grafikon 33: Razlike med zaporednimi položaji glede na RADO v izmeri centimetrskih premikov

V grafikonu 33 lahko vidimo, da so razlike med zaporednimi položaji, ki so bili določeni relativno na točko RADO, malo večje kot v primeru navezave na točko GSR1, saj so položaji v primeru navezave na RADO določeni s slabšo natančnostjo. To pomeni, da so položaji merjene točke FGG2 glede na RADO bolj razpršeni okoli prave vrednosti, posledično so razlike med zaporednimi položaji nekoliko večje. Vidimo lahko, da je večina razlik med zaporednimi položaji velikostnega reda okoli 5-6 mm. Rezultati so z vidika ugotavljanja premikov v primeru navezave na točko RADO zelo podobni rezultatom v primeru navezave na točko GSR1, saj je večja razlika opazna le pri tretjem premiku. Pri prvem in drugem opaznejše razlike ni, zato premika ne moremo ugotoviti. Prav tako lahko vidimo, da so se pokazale večje razlike med premiki, ko je sprejemnik miroval, kar je posledica neodstranjenih vplivov na opazovanja. Tudi v tem primeru ne moremo ugotoviti dejanskih premikov, ker smo le-te izvedli počasneje kot v 1 s, zato se dejanski premiki porazdelijo na več sosednjih izračunanih razlik med zaporednimi položaji.

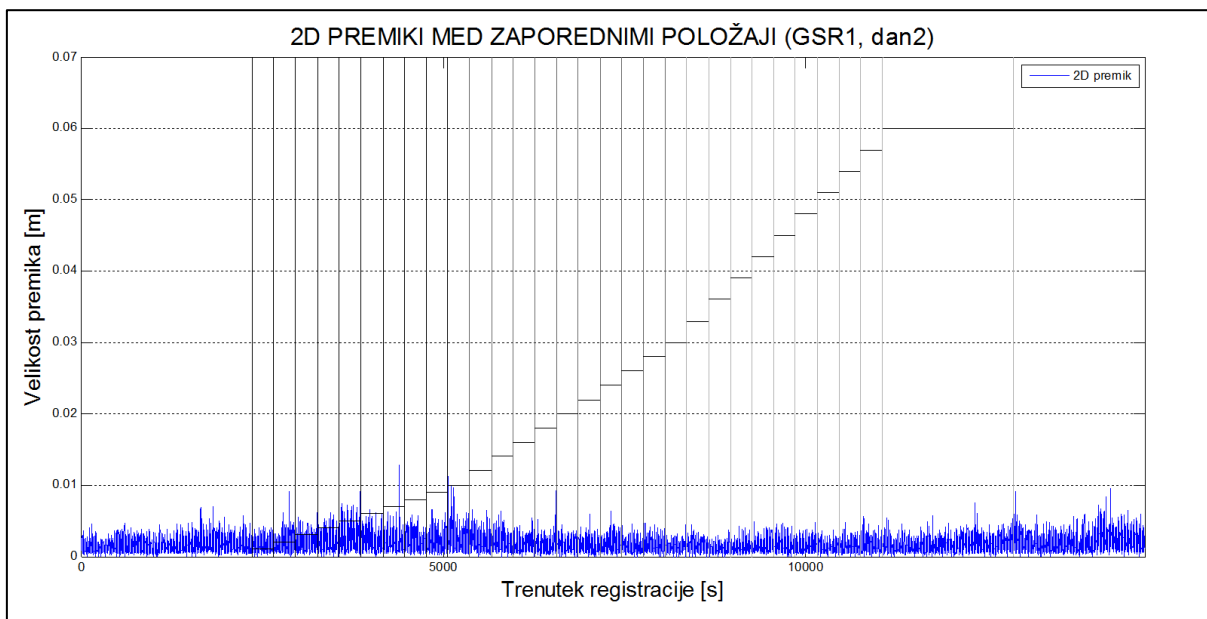


Grafikon 34: Razlike med zaporednimi položaji glede na VRS v izmeri centimetrskih premikov

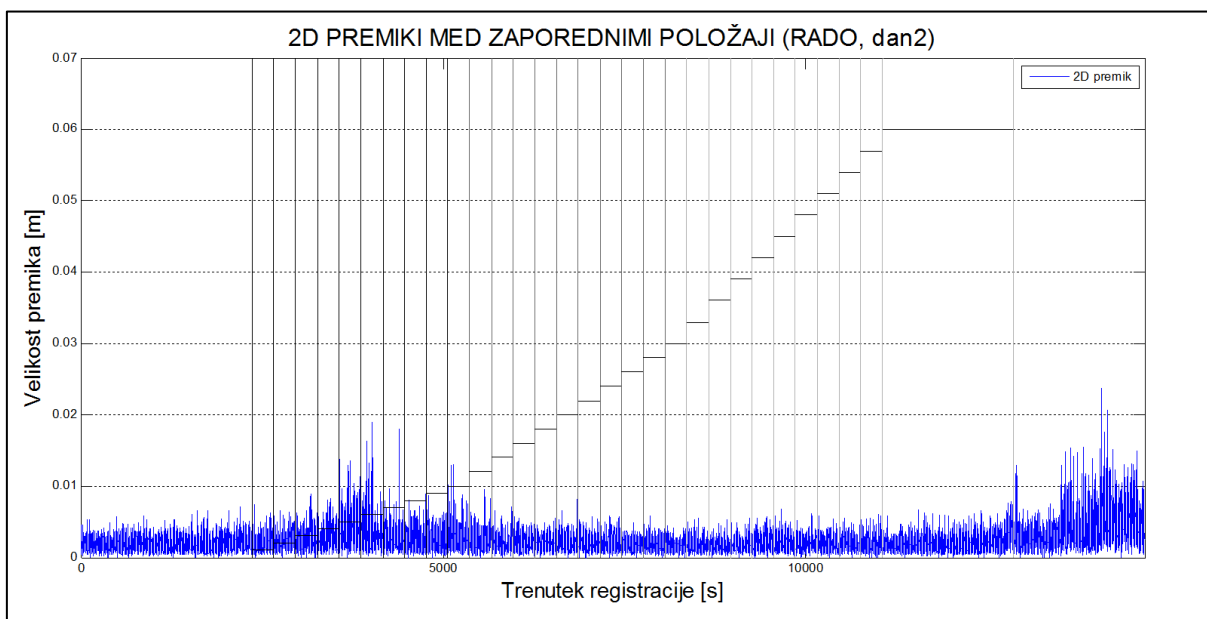
V grafikonu 34 lahko vidimo razlike med zaporednimi položaji, določene relativno glede na točko VRS. Podobno kot v primeru navezave na GSR1 lahko jasno vidimo tretji premik, prvi premik je le nakazan, drugi premik pa ni viden. V splošnem znašajo razlike med posameznimi položaji pod 5 mm, razen v določenih delih, ko lahko opazimo večje spremembe zaradi šumov in zunanjih vplivov. Ker so premiki trajali dalje od 1 s, ne moremo jasno določiti, kdaj so bili premiki izvedeni in kolikšna je bila njihova velikost. Ker vemo, da je en premik trajal med 4 s in 15 s, bi bilo potrebno za točnejše ugotavljanje premikov med zaporednimi položaji določiti položaj sprejemnika vsakih 20 s in nato izračunati razliko med temi položaji. V takem primeru bi verjetno razlike med zaporednimi položaji pokazale dejanske vrednosti premikov sprejemnika na merjeni točki.

## Milimetrski premiki

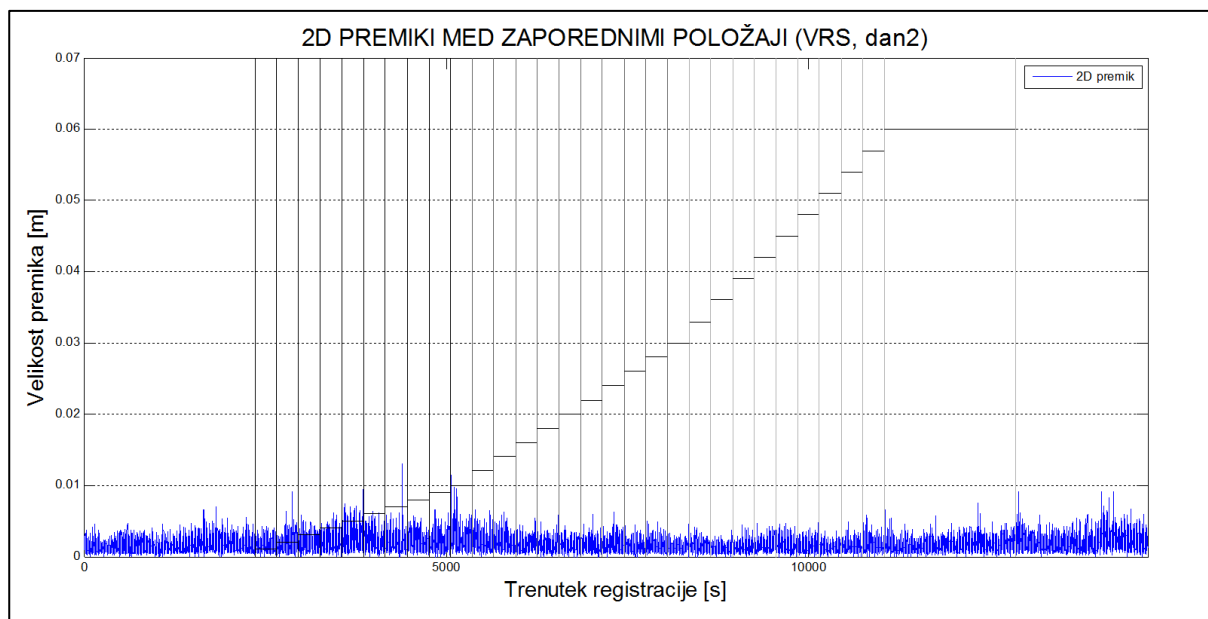
Premike med zaporednimi položaji smo izračunali tudi za opazovanja drugega dne izmere, ko smo izvajali milimetrske premike. Najprej bomo prikazali rezultate, ki smo jih izračunali iz položajev, določenih glede na točko GSR1, sledijo rezultati izračuna premikov glede na točko RADO in nazadnje rezultati za premike med zaporednimi položaji glede na točko VRS.



Grafikon 35: Razlike med zaporednimi položaji glede na GSR1 v izmeri milimetrskih premikov



Grafikon 36: Razlike med zaporednimi položaji glede na RADO v izmeri milimetrskih premikov



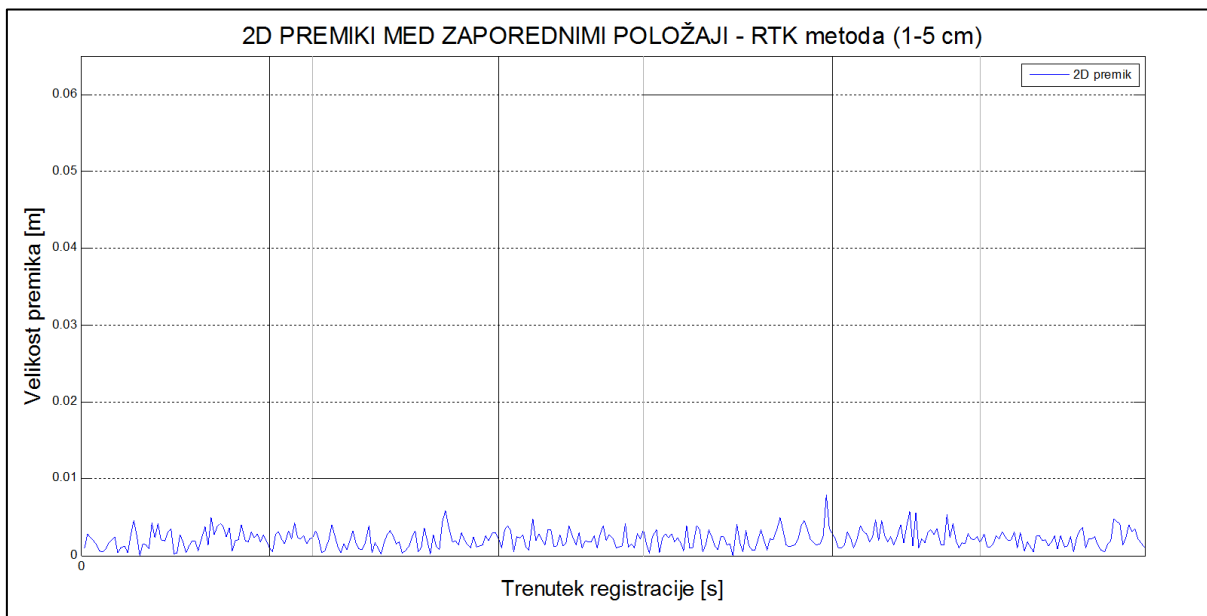
Grafikon 37: Razlike med zaporednimi položaji glede na VRS v izmeri milimetrskih premikov

V grafikonih 35, 36 in 37 so prikazane razlike med zaporednimi 2D položaji sprejemnika med izmero milimetrskih premikov. Vidimo lahko, da milimetrski premiki v grafikonih niso razvidni, saj so razlike med položaji premajhne glede na natančnost koordinat, določenih s kinematično metodo. V vseh treh grafikonih lahko v nekaterih delih izmere opazimo večje razlike, vendar te niso posledica izvedenih premikov, temveč razlik v položajih točke FGG2 zaradi neodstranjenih vplivov na opazovanja. Največje vplive na opazovanja, ki jih nismo mogli odstraniti, imamo v primeru navezave na točko RADO, saj je ta najbolj oddaljena od merjene točke FGG2. Vplivi na opazovanja so najbolj opazni v prvi tretjini in v zadnjem delu izmere, ko se vrednosti razlik povečajo, kljub temu da je sprejemnik takrat miroval oziroma smo ga premikali le za 1 mm. Za določanje milimetrskih premikov s kinematično metodo bi bilo bolj smiselno izračunati razliko med povprečnima položajema dveh časovnih obdobj, znotraj katerih je sprejemnik miroval, med obema časovnjema obdobjema pa se je zgodil premik. Tovrsten izračun smo med obdelavo tudi izvedli in ga bomo predstavili v nadaljevanju.

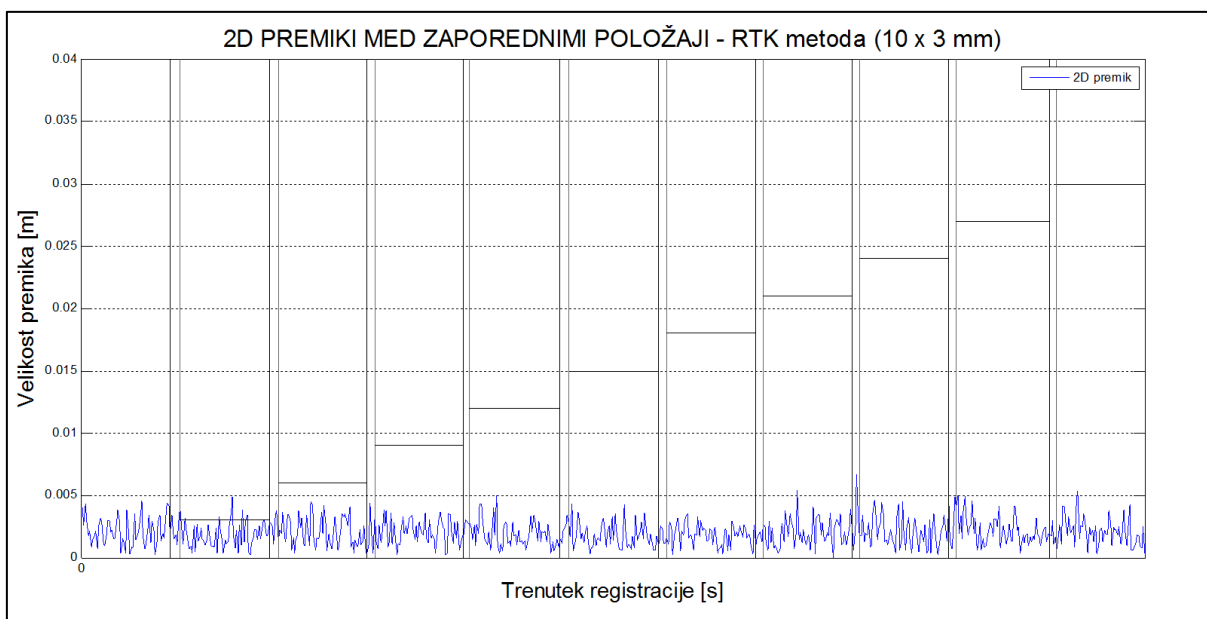
## 6.2.2 RTK-metoda

Razlike med zaporednimi položaji smo izračunali tudi iz položajev, ki smo jih določili z RTK-metodo izmere. Prikazali bomo le rezultate iz izmere centimetrskih in milimetrskih premikov, pri katerih smo inicializacijo izvedli le enkrat na začetku izvajanja meritev, saj smo v primeru izračuna razlik med zaporednimi položaji pri meritvah, kjer smo inicializacijo izvedli pred vsakim premikom, dobili zelo podobne rezultate. V grafikonih smo z vodoravnimi linijami označili dejanske premike oziroma položaj sprejemnika glede na izhodiščni položaj. Z navpičnimi linijami smo označili začetek in konec izvajanja premika, in sicer s črno linijo začetek, s sivo pa konec izvajanja premika.





Grafikon 38: Razlike med zaporednimi položaji iz RTK-izmere centimetrskih premikov



Grafikon 39: Razlike med zaporednimi položaji iz RTK-izmere milimetrskih premikov

V grafikonu 38 so prikazane razlike med zaporednimi položaji pri izmeri centimetrskih premikov z RTK-metodo. Vrednosti razlik med zaporednimi položaji znašajo med celotno izmero med 0 in 1 cm, kar ne ustreza vrednostim dejanskih premikov, kot smo jih izvedli na terenu, zato premikov ni mogoče ugotoviti. Podobne rezultate smo dobili tudi v primeru meritev milimetrskih premikov z RTK-metodo, ki so prikazani v grafikonu 39. V izračunu milimetrskih premikov so razlike med zaporednimi položaji še manjše kot pri centimetrskih premikih, saj razen v enem primeru znašajo pod 5 mm. Če rezultate izračuna primerjamo z dejanskimi premiki, ki so označeni s črnimi vodoravnimi oznakami, vidimo, da

tudi v primeru milimetrskih premikov ni mogoče ugotoviti dejanskih premikov, ki smo jih izvedli med izmero. Razlog za take rezultate je dejstvo, da smo položaj sprejemnika določili za vsako sekundo izvajanja meritev, posamezen premik pa je trajal več sekund, zato se je celotna sprememba položaja, ki je bila posledica premika sprejemnika, porazdelila med več sosednjih razlik med položaji. Kot vidimo, iz rezultatov obdelave meritev RTK-metode ne moremo ugotavljati premikov točk na podlagi razlik med zaporednimi položaji.

### 6.3 Izračun premikov iz povprečnih položajev med premiki

V tem delu bomo predstavili premike točke FGG2, ki smo jih izračunali iz povprečnih položajev med premiki, ki smo jih določili iz meritev kinematične metode izmere. Ker vemo, kdaj smo na terenu dejansko izvedli premike, lahko določimo položaje med premiki, ko je sprejemnik miroval. Iz vrednosti položajev med premiki smo izračunali povprečno vrednost in nato izračunali razlike med temi povprečnimi vrednostmi. Tovrsten izračun smo izvedli za centimetske in milimetske premike. Ker smo položaj točke FGG2 določili relativno glede na tri različne referenčne postaje (GSR1, RADO, VRS), smo tudi premike na podlagi razlik med povprečnimi položaji določili glede na te tri referenčne postaje. Rezultati za centimetske premike so prikazani v preglednicah, za milimetske premike pa v grafikonu.

#### Centimetrski premiki

Preglednica 14: Premiki iz povprečnih položajev kinematične izmere glede na GSR1

Št. premika	Dejanski premik Velikost [cm]	Merjeni premik				
		$\Delta n$ [cm]	$\Delta e$ [cm]	$\Delta h$ [cm]	$d_{2D}$ [cm]	$d_{3D}$ [cm]
1	1,00	-0,70	-0,53	-0,54	0,88	1,03
2	5,00	-1,86	-4,50	0,77	4,87	4,93
3	6,00	2,45	5,09	-0,76	5,65	5,70

V preglednici 14 vidimo, da se vrednosti merjenega 2D premika malo razlikujejo od velikosti dejanskega premika, in sicer pri prvem premiku za 0,12 cm, pri drugem za 0,13 cm in pri tretjem za 0,35 cm. Ker so razlike majhne, lahko rečemo, da je mogoče na podlagi zadostnega števila položajev iz kinematične izmere pridobiti precej zanesljive podatke o položaju sprejemnika med posameznimi premiki. Premike iz povprečnih položajev je mogoče določiti na nekaj milimetrov natančno. V primeru 3D premika so razlike med dejansko in merjeno vrednostjo celo manjše, saj tudi sprememba višine nekoliko prispeva v končni 3D položaj. Iz tega bi lahko sklepali, da posamezen premik ni bil izveden popolnoma v horizontalni ravnini. Vendar razlika med 2D in 3D premikom ni velika, zato

lahko rečemo, da je prispevek višine v vrednost 3D premika zelo majhen. Ker je referenčna točka GSR1 dokaj blizu merjeni točki, so rezultati zelo dobri in precej podobni rezultatom izračuna centimetrskih premikov, ki smo jih določili iz meritev statične izmere med intervali, ko je sprejemnik na točki miroval (glej preglednico 10).

Preglednica 15: Premiki iz povprečnih položajev kinematične izmere glede na RADO

Št. premika	Dejanski premik	Merjen premik				
		Velikost [cm]	$\Delta n$ [cm]	$\Delta e$ [cm]	$\Delta h$ [cm]	$d_{2D}$ [cm]
1	1,00	-0,73	-0,59	-1,39	0,94	1,67
2	5,00	-1,15	-4,80	0,48	4,93	4,96
3	6,00	2,33	5,57	0,67	6,05	6,09

Tudi v preglednici 15 lahko vidimo, da se vrednosti merjenega 2D premika zelo skladajo z vrednostmi dejanskih premikov. Razlike pri 2D premiku znašajo med 0,05 cm in 0,07 cm, kar je celo boljše kot v primeru navezave na točko GSR1, kar pomeni, da so bila opazovanja z referenčne točke v položajnem smislu zelo dobra. V višinskem smislu so rezultati nekoliko slabši, saj je natančnost višine slaba in se to odraža tudi v izračunu 3D premika. To je najbolj vidno pri prvem premiku, kjer je razlika med dejansko in merjeno vrednostjo 0,67 cm. Razlog za slabšo natančnost izračunanega položaja je velika oddaljenost referenčne točke RADO od merjene točke FGG2. Pri drugih dveh premikih je vpliv višine manjši, zato je razlika med 2D in 3D premikom manjša. Podobne rezultate smo dobili tudi v statični izmeri, ko smo računali razlike med položaji sprejemnika med posameznimi intervali, ko je sprejemnik miroval, in jih lahko vidimo v preglednici 11.

Preglednica 16: Premiki iz povprečnih položajev kinematične izmere glede na VRS

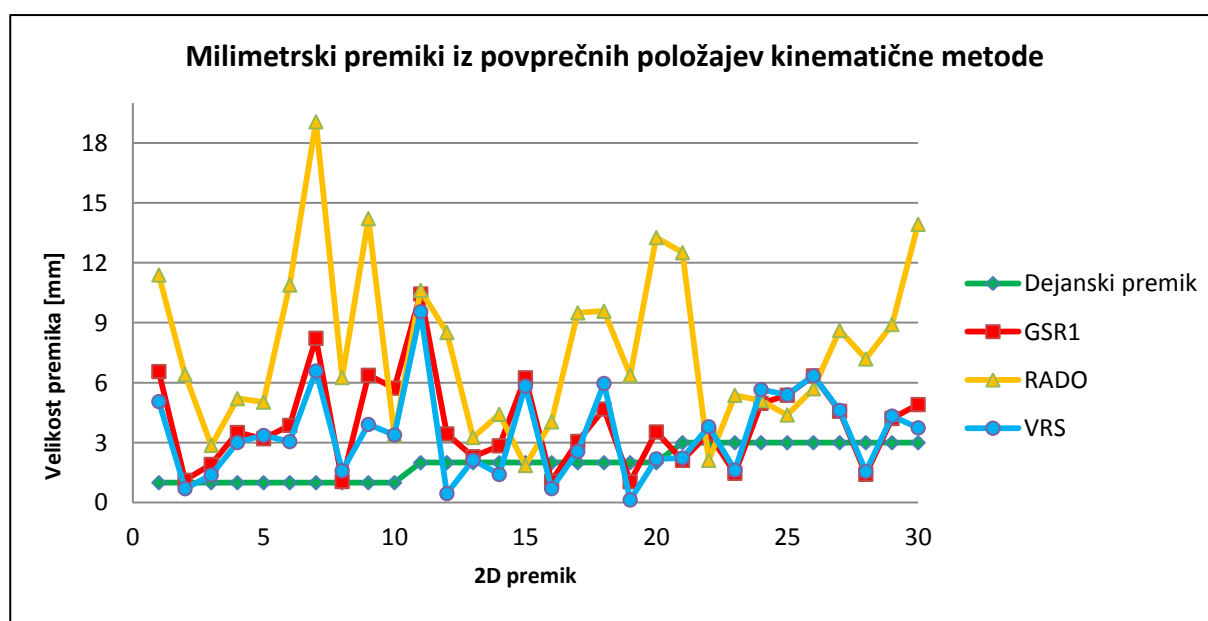
Št. premika	Dejanski premik	Merjeni premik				
		Velikost [cm]	$\Delta n$ [cm]	$\Delta e$ [cm]	$\Delta h$ [cm]	$d_{2D}$ [cm]
1	1,00	-0,68	-0,73	-0,02	1,00	1,00
2	5,00	-1,86	-4,63	0,27	4,99	5,00
3	6,00	2,52	5,22	-0,26	5,80	5,80

V preglednici 16 vidimo izračunane premike, ki smo jih dobili iz razlik med povprečnimi položaji točke FGG2, ki so bili določeni relativno na referenčno postajo VRS. Tudi v tem primeru smo dobili zelo dobre rezultate, saj je tako pri 2D kot pri 3D premiku velikost merjenega premika zelo podobna dejanskemu premiku. Prvi in drugi premik sta določena zelo dobro, saj je razlika med dejansko in merjeno vrednostjo 0,00 cm oziroma 0,01 cm. Pri tretjem premiku je razlika 0,20 cm, kar je sicer nekoliko več, vendar je kljub večji razliki premik mogoče določiti. Razlike med 2D in 3D premikom

so majhne oziroma jih ni, kar pomeni, da med izmero ni prišlo do spremembe višine. Rezultati so zelo podobni primeru navezave na točko GSR1, kjer je prav tako slabše določen tretji premik. Razlog za take rezultate so najverjetneje slabša opazovanja oziroma kombinacije opazovanj z referenčnih točk GSR1 in VRS, saj smo v primeru točke RADO prav pri tretjem premiku dobili zelo dobre rezultate, iz česar lahko sklepamo, da smo ta premik na terenu izvedli ustrezno. Če rezultate izračuna povprečnih položajev iz kinematične izmere primerjamo z rezultati izračuna centimetrskih premikov iz statične izmere med posameznimi intervali, ko je sprejemnik miroval, vidimo, da smo v obeh primerih dobili zelo podobne rezultate. V splošnem velja, da so statične meritve zaradi daljšega izvajanja opazovanj bolj natančne. Ker smo tudi v izračunu povprečnih položajev iz kinematične metode izmere dobili podobne rezultate, lahko rečemo, da so položaji, ki smo jih določili s kinematično metodo, enakomerno razpršeni okoli prave vrednosti, saj je njihova povprečna vrednost skladna s položajem, ki smo ga dobili s statično izmero.

### Milimetrski premiki

Podoben izračun premikov med povprečnimi položaji iz kinematične izmere smo izvedli tudi za drugi dan meritev, ko smo izvajali milimetrske premike. Najprej smo določili povprečne vrednosti položaja točke FGG2 med posameznimi premiki, nato smo izračunali razlike med povprečnimi položaji in jih primerjali z dejanskimi premiki. Prikazali bomo le 2D premike med povprečnimi položaji, saj smo premike izvajali le v horizontalni ravnini, zato smo predpostavili, da višina ne vpliva na končno vrednost premika. Vseh trideset premikov smo določili glede na referenčne postaje GSR1, RADO in VRS ter jih primerjali z dejanskimi premiki. Rezultati so prikazani v grafikonu 40.



Grafikon 40: Milimetrski premiki iz povprečnih položajev kinematične metode

V grafikonu 40 lahko vidimo, da na podlagi razlik med povprečnimi položaji ne moremo določiti prave vrednosti premikov, saj vrednosti izračunanih premikov niso skladne z dejansko izvedenimi premiki. Nekatero vrednosti premikov so izračunane kot prevelike, druge pa kot premajhne. Vidimo lahko, da so odstopanja nekoliko večja v primeru navezave na točko RADO, kar je posledica večje razpršenosti položajev točke FGG2 glede na referenčno postajo RADO. Rezultati glede na točki GSR1 in VRS so si med seboj zelo podobni. Zaradi boljše preglednosti grafikona 40 končnega premika iz skrajne točke premikanja sprejemnika nazaj na izhodišče v grafikonu nismo prikazali, saj je znašal dejanski premik 6,00 cm in bil bistveno večji od ostalih premikov. V izračunu zadnjega premika pa smo dobili sledeče rezultate. Premik v 2D smislu glede na točko GSR1 je znašal 5,51 cm, glede na točko RADO 4,70 cm in glede na točko VRS pa 6,02 cm. Iz tega lahko vidimo, da smo dobili najboljše rezultate v primeru navezave na točko VRS, nekoliko slabše glede na GSR1 in najslabše glede na točko RADO. To potrjuje dejstvo, da je kakovost ugotavljanja premikov zelo odvisna od oddaljenosti referenčne postaje. V primeru milimetrskih premikov so bili povprečni položaji določeni za obdobja med premiki, ko je sprejemnik miroval in so trajala 5 minut. Ker so bila obdobja mirovanja sprejemnika bistveno krajša kot v primeru centimetrskih premikov, so bili povprečni položaji določeni na osnovi manjšega števila opazovanj, kar pomeni, da so slabše določeni položaji bolj vplivali na izračunano povprečno vrednost.

#### **6.4 Izračun natančnosti premikov in testne statistike T**

Pri ugotavljanju premikov ima pomembno vlogo natančnost določitve premika, ki je odvisna od natančnosti določitve položaja točke. Od tega, kako natančno lahko določimo položaj točke, je odvisno, ali bo morebiten premik točke mogoče ugotoviti. Položaj točke je potrebno določiti z višjo natančnostjo od pričakovane velikosti premika. Poleg natančnosti izračunanih premikov smo izračunali tudi vrednosti testne statistike T, na podlagi katere bi bilo mogoče ugotavljati premike merjene točke. Zanimale so nas vrednosti standardnih odklonov premikov, ki smo jih določili glede na različne referenčne postaje, in ali je mogoče preko vrednosti izbrane testne statistike ugotavljati izvedene premike. Standardne odklone izračunanih premikov in vrednosti testne statistike T smo izračunali za premike, izmerjene v kinematičnem načinu in izračunane glede na začetni položaj sprejemnika, ki so predstavljeni v poglavju 6.1.2. Za te premike smo se odločili zato, ker smo v tem primeru izmerili premike različnih velikosti, od 1 mm do nekaj centimetrov, kar omogoča primerjavo med premiki različnih velikosti. Poleg tega smo v izračunu premikov glede na začetni položaj le-te določili relativno glede na tri različne referenčne postaje – GSR1, RADO in VRS, kar omogoča primerjavo med standardnimi odkloni premikov in testnimi statistikami za premike, določene relativno glede na različne referenčne postaje.

## Natančnost premikov

Natančnost oziroma standardne odklone premikov  $\sigma_d$  smo izračunali z uporabo zakona o prenosu varianc in kovarianc preko natančnosti koordinat posameznih položajev merjene točke FGG2, ki smo jih pridobili z obdelavo v programu LGO. Izhodiščni položaj sprejemnika, glede na katerega smo določali premike, smo prevzeli kot absolutno točen z vrednostjo standardnega odklona nič ( $\sigma_n = \sigma_e = \sigma_h = 0,000$  m). S tem smo pridobili natančnosti premikov točke FGG2 za vsako sekundo izvajanja izmere. Predpostavili smo, da se med izmero natančnost izmerjenega premika ne spreminja, zato smo izračunali povprečno vrednost standardnega odklona za posamezno izmero premikov. V nadaljevanju bomo v preglednici predstavili povprečne vrednosti standardnih odklonov za centimetrške in milimetrške premike, v odvisnosti glede na katero referenčno postajo so bili premiki določeni. Predstavili bomo standardne odklone tako za izračunane 2D kot tudi 3D premike.

Preglednica 17: Povprečne vrednosti standardnih odklonov izračunanih premikov glede na izhodiščni položaj sprejemnika iz kinematičnega načina izmere

Referenčna postaja	Povprečna vrednost standardnega odklona pri centimetrskih premikih		Povprečna vrednost standardnega odklona pri milimetrskih premikih	
	$\sigma_{2D}$ [mm]	$\sigma_{3D}$ [mm]	$\sigma_{2D}$ [mm]	$\sigma_{3D}$ [mm]
<b>GSR1</b>	2,5	3,8	2,5	3,2
<b>RADO</b>	6,8	12,6	7,5	12,9
<b>VRS</b>	2,4	3,5	2,2	2,7

V preglednici 17 lahko vidimo, da so bili tako centimetrskih kot milimetrskih premiki, ki smo jih izračunali relativno na isto referenčno postajo, določeni s podobno natančnostjo, saj smo obe izmeri izvedli na isti lokaciji na terenu, z isto metodo in mersko opremo, meritve je izvedel isti operater, pravo tako je bila identična obdelava meritev in postopek izračuna premikov ter standardnih odklonov premikov. Manjše razlike v vrednostih standardnih odklonov so posledica različnih zunanjih vplivov na opazovanja, kot je na primer različna geometrija satelitov. Pričakovano so vrednosti standardnih odklonov manjše v primeru 2D premikov, saj vključitev višine v izračuna 3D premika poslabša natančnost določitve premika. Če primerjamo vrednosti standardnih odklonov glede na različne referenčne postaje, lahko vidimo, da so premiki, ki smo jih določili relativno glede na točki GSR1 in VRS, izračunani natančneje kot premiki, določeni relativno na točko RADO. To je bil pričakovan rezultat, saj smo lahko že v rezultatih izračuna premikov videli, da so vrednosti premikov glede na točko RADO bolj razpršene kot vrednosti premikov glede na točki GSR1 in VRS, saj sta ti dve referenčni postaji bližje merjeni točki FGG2 in omogočata natančnejšo določitev položaja ter posledično natančnejši izračun premika. Pri vrednotenju rezultatov izračuna natančnosti premikov je potrebno upoštevati, da je bil premik določen glede na začetni položaj, za katerega smo predpostavili,

da je bil določen kot absolutno točen, čeprav vemo, da to v praksi ni mogoče. Prav tako moramo upoštevati dejstvo, da je potrebno za zanesljivo ugotavljanje premikov le-te določiti z nekajkrat višjo natančnostjo kot znaša velikost premika. V našem primeru velja, da je v primeru navezave na točki GSR1 in VRS mogoče ugotavljati premike v velikosti okoli 1 cm, da jih je lahko zanesljivo ugotovimo. V primeru navezave na referenčno postajo RADO pa premikov, ki so manjši od 1 cm, ni mogoče zanesljivo določiti, saj je vednost standardnega odklona premika večja od 1 cm.

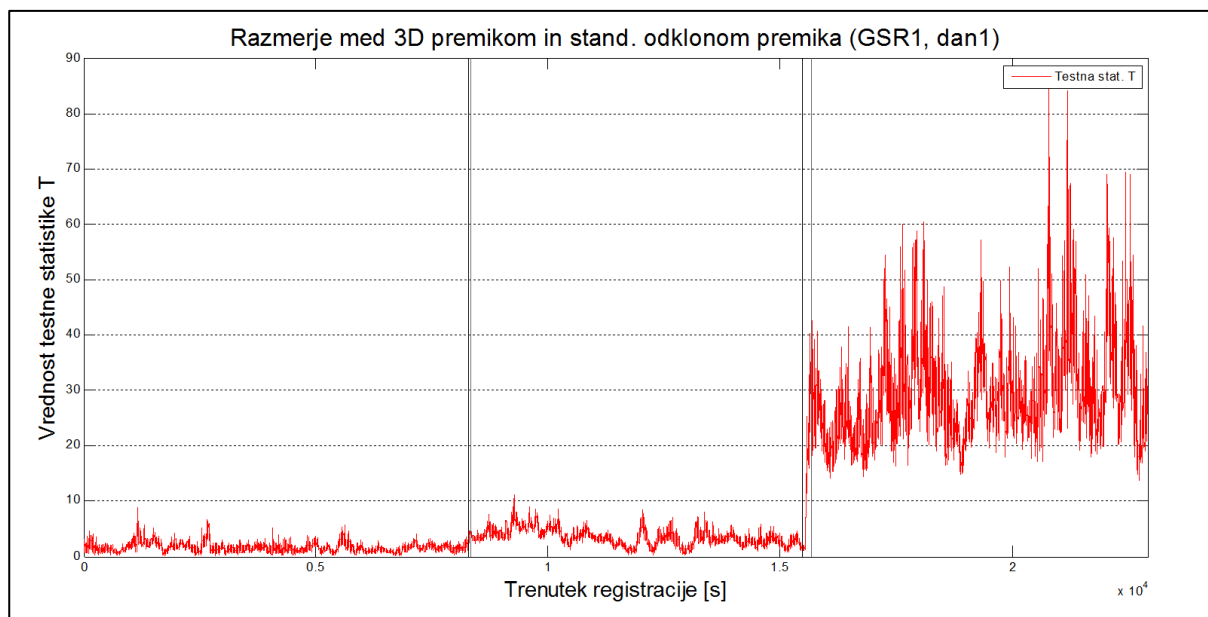
Za zahtevnejše analize ugotavljanja premikov se uporablja statistično testiranje premikov. V nadaljevanju bomo prikazali možno testno statistiko za tovrstno statistično testiranje in poskušali ugotoviti, ali je mogoče iz same vrednosti testne statistike ugotoviti dejanski premik točke. V izračunu smo privzeli statistiko, ki jo za statistično testiranje premikov uporablja Savšek-Safić (2003). Vrednost testne statistike  $T$  predstavlja razmerje med velikostjo premika in njegovim standardnim odklonom:

$$T = \frac{d}{\sigma_d}$$

Tudi v tem primeru smo vzeli premike, določene glede na izhodiščni položaj iz kinematičnega načina izmere, in sicer tako za centimetske kot tudi milimetske premike, glede na tri različne referenčne postaje – GSR1, RADO in VRS. Rezultati izračuna testne statistike bodo prikazali le za 3D premike, saj smo ugotovili, da ni bistvenih razlik med vrednostmi testne statistike za 2D in 3D premike, kar pomeni, da je razmerje med premikom in pripadajočo natančnostjo v obeh primerih podobno. Rezultati izračuna bomo prikazani v obliki grafikonov, vsak grafikon bo vseboval tudi navpične oznake na abscisni osi, ki označujejo trenutek izvedenega premika.

### **Testna statistika $T$ za centimetske premike**

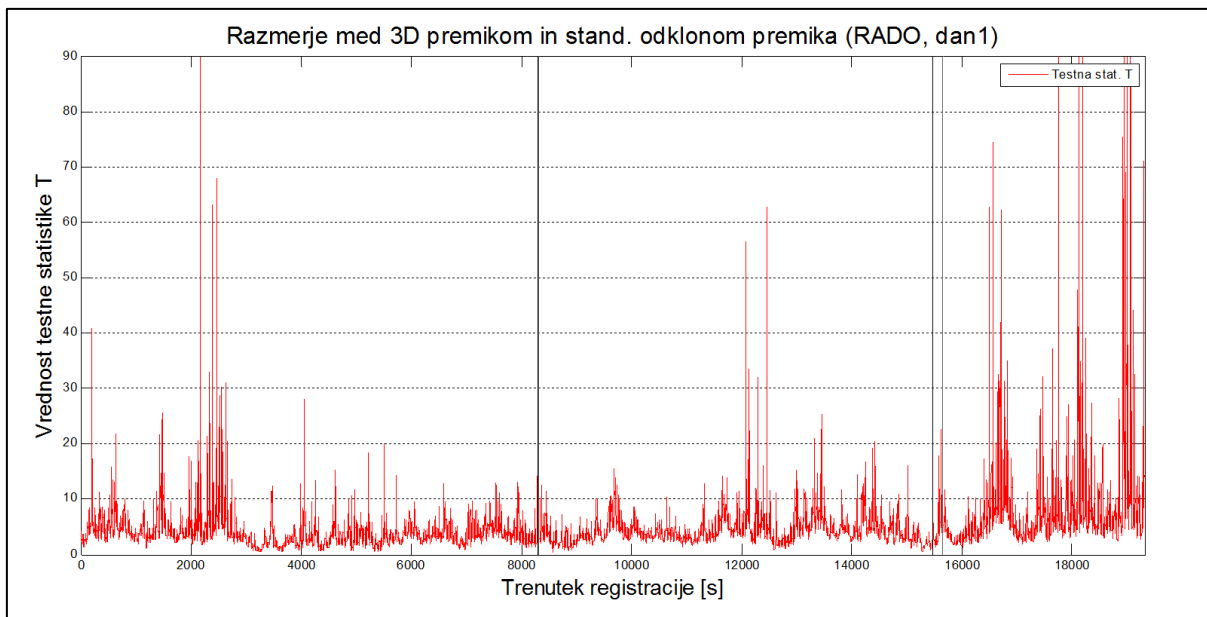
V prvem delu bomo prikazali rezultate izračuna testne statistike  $T$  za centimetske premike glede na začetni položaj. Ker smo premike določili glede na izhodiščni položaj, smo v izračunu testne statistike uporabili le meritve, ko smo premike izvajali v smeri proti FGG1, torej premik za 1 cm in premik za 5 cm. Zadnjega premika za 6 cm iz končne točke nazaj na izhodišče v rezultatih izračuna testne statistike ne bomo prikazali, saj je bil premik izračunan kot razlika glede na izhodiščni položaj in so vrednosti položaja točke FGG2 po premiku v tem primeru blizu nič, posledično so tudi vrednosti testne statistike blizu nič, kar ne odraža dejanskega dogajanja na terenu. Najprej bomo prikazali vrednosti testne statistike glede na referenčno postajo GSR1, sledijo rezultati glede na točko RADO, nazadnje bomo prikazali rezultate izračuna glede na virtualno referenčno postajo VRS.



Grafikon 41: Testna statistika T glede na GSR1 pri izmeri centimetrskih premikov

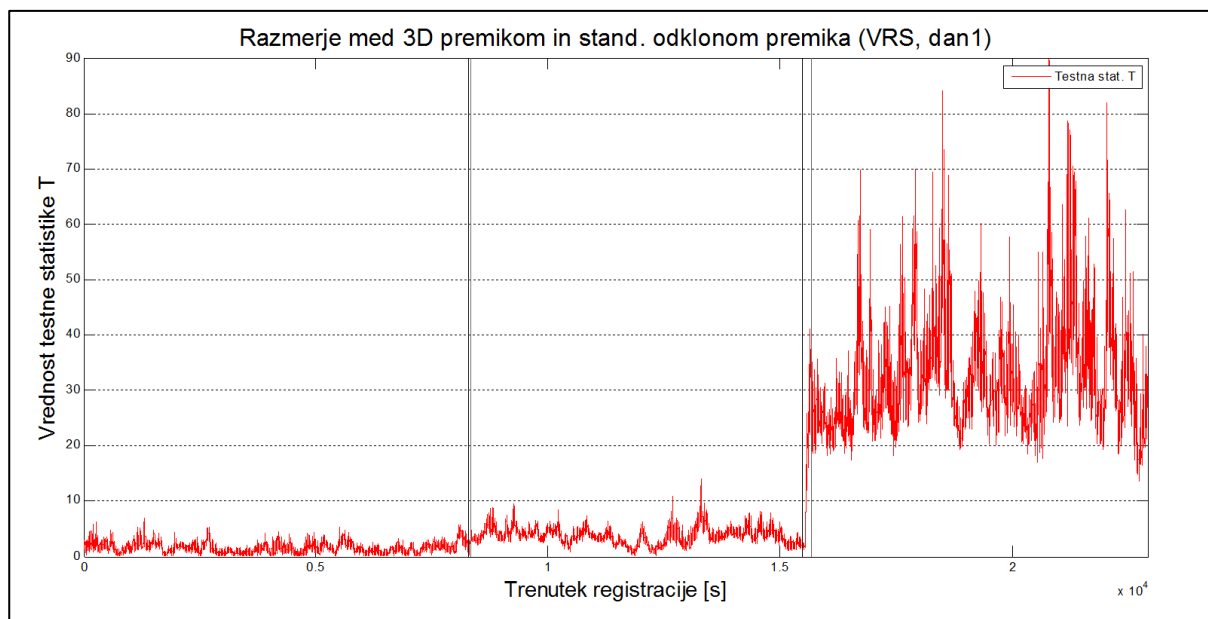
V grafikonu 41 lahko vidimo, kako se vrednost testne statistike spreminja tekom izmere. Velikost statistike T je odvisna od velikosti premika in njegove natančnosti. Prvi premik je znašal 1 cm, kar je razmeroma malo, zato je sprememba v vrednosti statistike T manjša. Pri drugem premiku, ki je znašal 5 cm, se vrednost količine T precej poveča, zato je ta premik zelo lahko ugotoviti. Vidimo lahko, da so med drugim in tretjim premikom razlike med zaporednimi vrednostmi T večje, kar je posledica dejstva, da je bil položaj točke FGG2 med drugim in tretjim premikom določen z boljšo in bolj homogeno natančnostjo, kar lahko vidimo tudi v manjši razpršenosti premikov v tem delu izmere, ki so prikazani v grafikonu 3. Ker je natančnost premik v tem delu boljša, se razlike med zaporednimi vrednostmi položaja oziroma velikostmi premika bolj izrazijo v vrednosti testne statistike T. Razlog za boljšo natančnost je najverjetneje ugodnejša geometrija satelitov, saj smo v vseh primerih izračuna premikov opazili, da so vrednosti premikov najmanj razpršene prav med drugim in tretjim premikom.





Grafikon 42: Testna statistika T glede na RADO pri izmeri centimetrovskih premikov

V grafikonu 42 lahko vidimo rezultate izračuna testne statistike T za centimetrovske premike točke FGG2, določene relativno na točko RADO. Vidimo lahko, da se posamezni premiki slabše izrazijo v vrednosti testne statistike kot v primeru navezave na točko GSR1. Po drugem premiku je bil sprejemnik najbolj oddaljen od izhodišča, zato so v tem delu vrednosti testne statistike večje v primerjavi z drugimi deli izmere, ko je bil sprejemnik bližje izhodišču. Sprememba v vrednosti testne statistike v prvem delu izmere je nastala zaradi slabše natančnosti položaja, ki je posledica velike oddaljenosti točke RADO od merjene točke. V splošnem so rezultati izračuna testne statistike T iz premikov z navezavo na točko RADO slabši kot v primeru navezave na GSR1, ker je točka RADO preveč oddaljena od točke FGG2, na kateri smo ugotavljali premike. Zaradi velike oddaljenosti točke RADO ne moremo na podlagi vrednosti testne statistike T ugotoviti premikov, ki smo jih dejansko izvedli na merjeni točki FGG2.

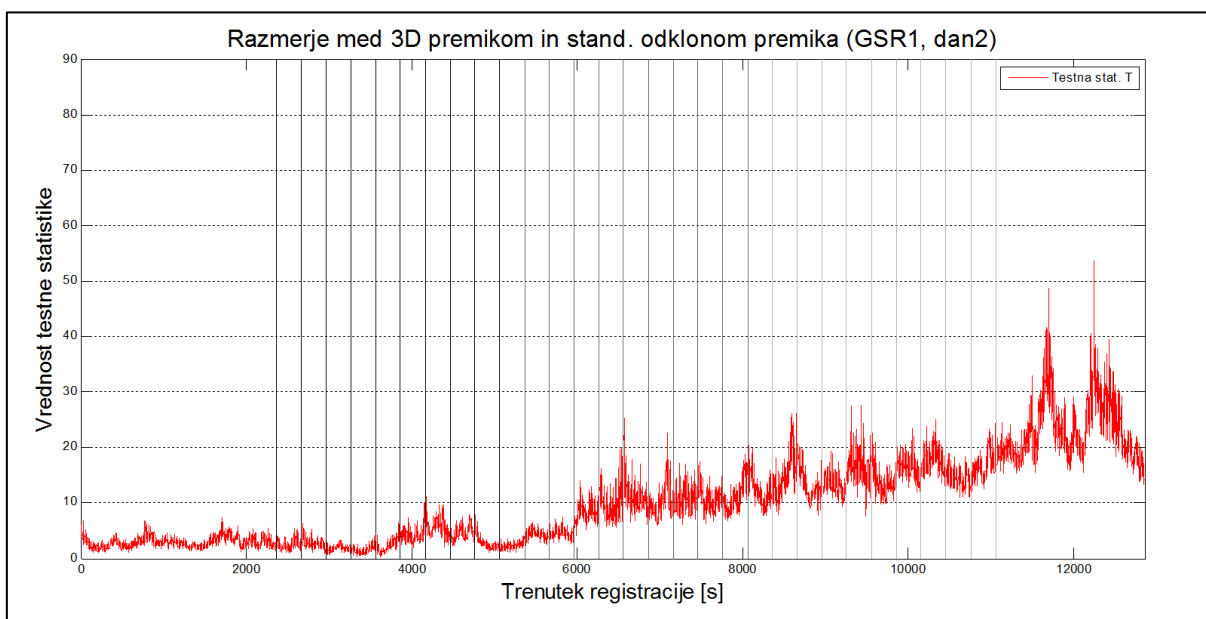


Grafikon 43: Testna statistika T glede na VRS pri izmeri centimetrskih premikov

Grafikon 43 prikazuje vrednosti testne statistike za 3D premike glede na točko VRS, ki so zelo podobne vrednostim testne statistike z navezavo na točko GSR1, saj sta obe referenčni točki zelo blizu točki FGG2, kjer smo izvajali premike, zato so natančnosti izračunanih položajev zelo dobre. Zaradi krajše dolžine baznega vektorja med referenčno in merjeno točko je mogoče položaj sprejemnika določiti z visoko natančnostjo skozi celotno izmero, zato je vrednost testne statistike bolj odvisna od velikosti premika. V grafikonu 43 lahko vidimo, da je vse premike možno precej zanesljivo ugotoviti in določiti trenutek, ko se je zgodil premik. Pri prvem premiku je sprememba vrednosti statistike T manjša, vendar je opazna. Pri drugem premiku je sprememba vrednosti očitna, zato lahko zanesljivo določimo premik. Po drugem premiku lahko opazimo večja nihanja v vrednosti testne statistike, ki so posledica boljše natančnosti razlike glede na izhodiščni položaj, zato se nihanje v vrednosti premika bolj izraža v različnih vrednostih testne statistike T. Če primerjamo rezultate izračuna testne statistike za centimetrske premike glede na vse tri referenčne točke, lahko rečemo, da je pri izračunu položaja merjene točke, za katero ugotavljamo premike, navezava na točki GSR1 in VRS primerna za ugotavljanje premikov, točka RADO pa je preveč oddaljena, zato ne omogoča zanesljive določitve premikov. Za uspešno ugotavljanje premikov je seveda potrebno zagotoviti primerne pogoje in izbrati ustrezen način izmere premikov na terenu, da dobimo pravilne rezultate. V kolikor premike ocenjujemo na podlagi statističnega testiranja, je potrebno izbrati kritično vrednost testne statistike, ki bo določala, ali se je premik zgodil ali ne. Kritično vrednost določimo iz porazdelitvene funkcije testne statistike na podlagi izbrane stopnje zaupanja statističnega testa. V primeru, da izračunana testna statistika preseže kritično vrednost, lahko z izbrano stopnjo zaupanja statističnega testa ugotovimo premik merjene točke.

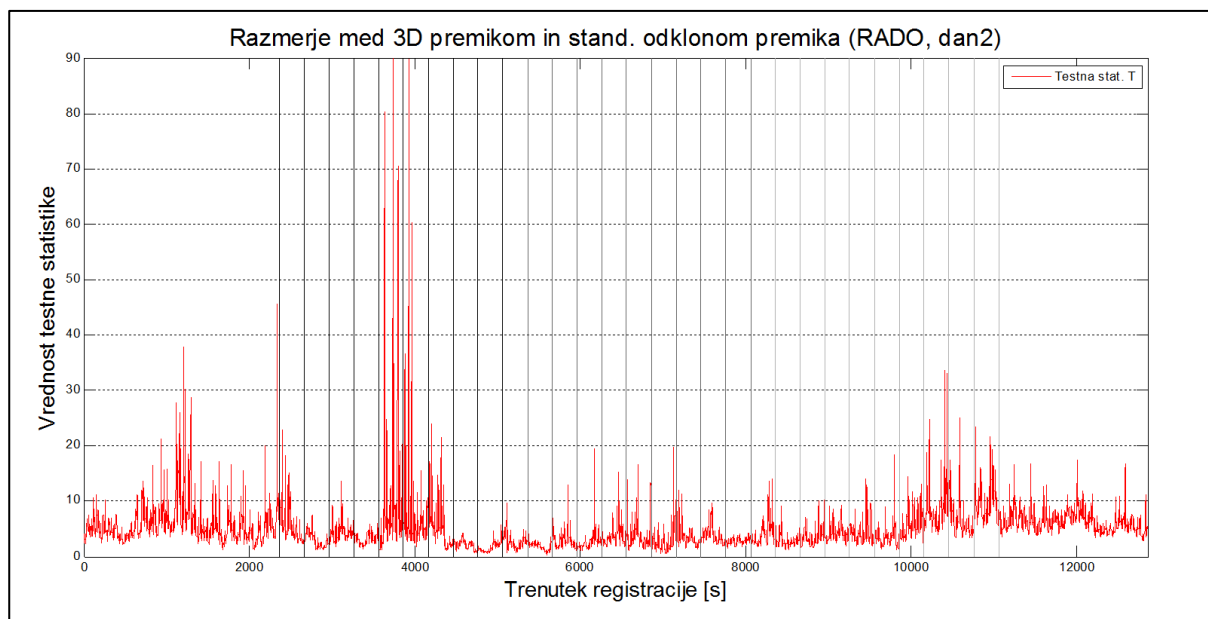
## Testna statistika T za milimetrške premike

Sledil je izračun testne statistike T za milimetrške premike. Tudi v tem primeru smo izračun izvedli glede na navezavo na točke GSR1, RADO in VRS, prikazana testna statistika je bila izračunana za 3D premike točke FGG2 glede na začetni položaj, ki smo jih prikazali v poglavju 6.1.2. Prikazane bodo spremembe vrednosti testne statistike T za trideset milimetrskih premikov, in sicer prvih deset premikov po 1 mm, drugih deset po 2 mm in zadnjih deset po 3 mm. Trenutki premikov so v grafikonu označeni z navpičnimi oznakami.



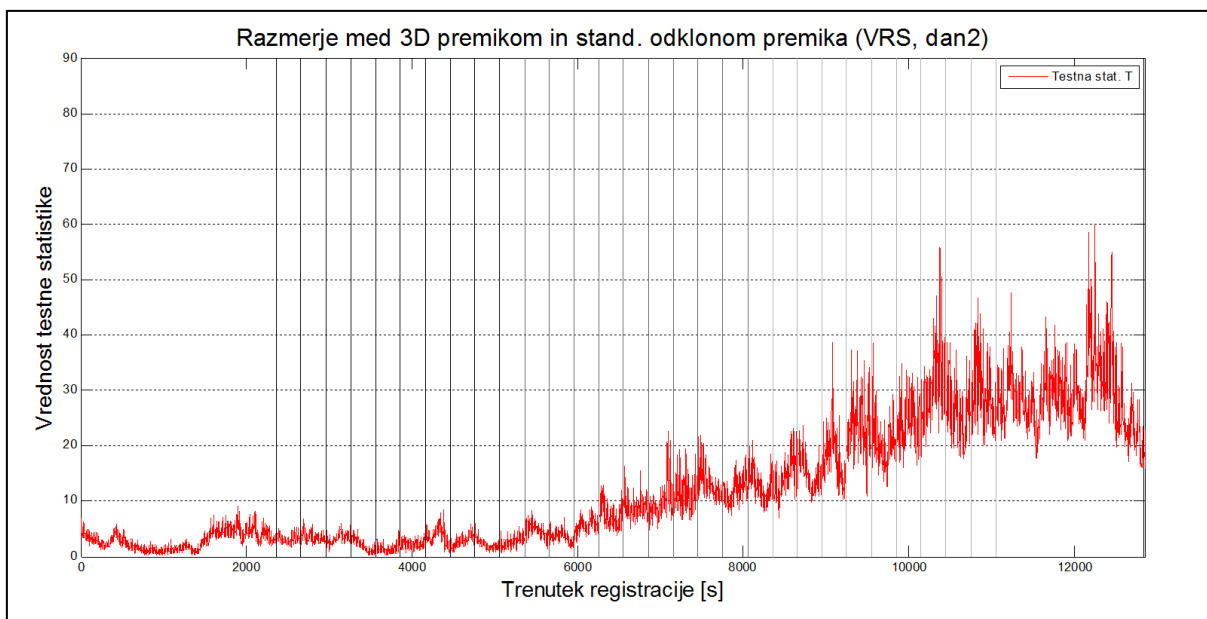
Grafikon 44: Testna statistika T glede na GSR1 pri izmeri milimetrskih premikov

Iz rezultatov v grafikonu 44 lahko vidimo, da je vrednost testne statistike v prvem delu izmere manjša, nato se postopoma povečuje, kot so se povečevali premiki oziroma razlika med izhodiščem in trenutnim položajem sprejemnika. V prvem delu so vrednosti manj razpršene, ker imamo tako pri vrednostih premika kot pri vrednostih natančnosti premika podobna nihanja, zato je skupna razpršenost manjša. V drugem delu se natančnost položaja izboljša, kar lahko vidimo tudi v grafikonu 13 z rezultati premikov kinematične izmere, razpršenost vrednosti premikov ostaja enaka, zato je razpršenost testne statistike večja. V prvem delu so razlike v vrednostih testne statistike manjše, ker so spremembe v položaju sprejemnika manjše kot v nadaljevanju. V drugem delu izmere so premiki vidni, večja kot je oddaljenost od začetnega položaja, večja je vrednost testne statistike in lažje je ugotoviti premik sprejemnika. Eden od razlogov za boljšo natančnost položaja točke FGG2 v drugem delu izmere bi lahko bila boljša geometrija satelitov, ki je omogočala natančnejšo določitev položaja merjene točke v primerjavi s prvim delom izmere.



Grafikon 45: Testna statistika T glede na RADO pri izmeri milimetrskih premikov

V grafikonu 45 lahko vidimo, da so vrednosti testne statistike skozi celotno izmero podobne. Le v prvem delu izmere lahko vidimo, da se vrednost testne statistike v nekaterih trenutkih zelo poveča, kar je posledica slabše natančnosti premika in je vidna tudi v rezultatih izračuna premikov v grafikonu 16. V drugih delih izmere pa so vrednosti testne statistike zelo podobne. Razlog za to je slabša natančnost položaja, ki smo ga določili relativno na točko RADO. Zaradi velike oddaljenosti referenčne točke RADO se milimetrski premiki ne morejo ugotoviti iz vrednosti testne statistike, saj je natančnost določitve posameznega položaja slabša kot v primeru navezave na GSR1. Ker je natančnost položaja slabša, so vrednosti testne statistike manjše kot pri točki GSR1. Predvsem je to opazno v drugem delu izmere, ko so bili premiki večji in smo jih pri navezavi na točko GSR1 lahko razbrali iz večje vrednosti testne statistike. Pri točki RADO se zaradi slabše natančnosti premika vrednost testne statistike tekom izmere ne povečuje, kar bi lahko pričakovali glede na postopoma večjo vrednost premika. Ker so vse vrednosti testne statistike podobne oziroma so enako razpršene in se med izmero ne povečujejo, kljub temu da so bili milimetrski premiki izvedeni, premikov ni mogoče ugotoviti. Taki rezultati ne bi bili primerni za statistično ugotavljanje premikov, saj je težko določiti kritično vrednost testne statistike T, na podlagi katere bi lahko ugotavljali premike.



Grafikon 46: Testna statistika T glede na VRS pri izmeri milimetrskih premikov

Pri milimetrskih premikih glede na točko VRS so rezultati izračuna testne statistike zelo podobni rezultatom navezave na točko GSR1. V obeh primerih je referenčna točka dovolj blizu, da je mogoče položaj merjene točke določiti dovolj natančno za ugotavljanje majhnih premikov, saj so vplivi na točkah, ki so razmeroma blizu, podobni in se z relativnim načinom določitve položaja eliminirajo. Ker je natančnost položaja in posledično tudi natančnost premika dobra med celotno izmero, je vrednost testne statistike bolj odvisna od velikosti premika. Večji je premik, večja je vrednost testne statistike T. To lahko vidimo tudi v grafikonu 46, kjer se velikost premikov oziroma razlika glede na izhodiščni položaj povečuje, zato se povečuje tudi vrednost statistike T. V kolikor bi želeli na podlagi testne statistike in statističnega testiranja ugotavljati premike, bi bilo potrebno testno statistiko izračunati na podlagi razlike med položaji pred in po premiku, da bi dobili pravo vrednost testne statistike za obravnavan premik. V grafikonu 46 lahko tudi vidimo, da so vrednosti testne statistike T pri večjih premikih bolj razpršene, kar je najverjetneje posledica boljše geometrije satelitov v drugem delu izmere, ki je omogočila natančnejšo določitev položaja sprejemnika. To lahko vidimo tudi v grafikonu 18, kjer so prikazani rezultati izračuna premikov, saj so vrednosti pri premikih za 3 mm manj razpršene kot pri premikih za 1 mm. Sama vrednost testne statistike T je v primeru manjših premikov manjša, pri večjih premikih pa večja, saj je vrednost testne statistike neposredno povezana z velikostjo premika. Za uspešno ugotavljanje majhnih premikov preko statističnega testiranja je potrebno premike izmeriti z višjo natančnostjo, kot znaša red velikosti predvidenih premikov. Tudi v grafikonu 46 lahko vidimo, da so v primeru milimetrskih premikov vrednosti testne statistike zelo majhne, zato je premik težje ugotoviti, saj je potrebno položaj sprejemnika določiti natančneje kot znaša velikost premika.

## 7 KONČNE UGOTOVITVE

Na podlagi rezultatov v diplomski nalogi smo prišli do končnih ugotovitev o uporabnosti in zanesljivosti različnih metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov. Pri tem smo ugotavljali premike tako po posameznih koordinatnih komponentah kot v 2D in 3D smislu, primerjali smo določitev položaja glede na različne referenčne postaje in preizkušali različne pristope izračuna premika merjene točke. V nalogi smo uporabili tri različne metode izmere, in sicer statično, kinematično in RTK-metodo. Vsaka izmed teh metod ima svoje prednosti in slabosti.

Iz rezultatov obdelave in izračuna premikov lahko sklepamo, da je statična metoda najnatančnejša in najzanesljivejša metoda za določanje položaja točke izmed treh uporabljenih, s čimer potrdimo trditve iz teoretičnega dela diplomske naloge. Dalj časa trajajoča opazovanja omogočajo zelo natančno določitev položaja merjene točke, saj imamo na voljo veliko število meritev. To nam omogoča, da lahko v postopku obdelave meritev morebitna slaba opazovanja izločimo in kljub temu določimo položaj zelo natančno. Ker pri statični metodi trajajo opazovanja daljše časovno obdobje, se med izmero spremeni geometrija razporeditve satelitov, kar omogoča odstranitev vplivov na opazovanja, ki nastanejo zaradi slabe medsebojne lege satelitov in sprejemnika ter vplivov multipatha. Z odstranitvijo vplivov na opazovanja in z uporabo preciznih efemerid v obdelavi se poveča zanesljivost končnih rezultatov. Slabost statične izmere je, da opazovanja trajajo zelo dolgo, zato ne moremo hitro pridobiti rezultatov. Če je potrebno določiti položaj velikega števila točk, je uporaba statične metode zelo zamudna in posledično dražja. Druga pomanjkljivost statične izmere je dejstvo, da z obdelavo vseh meritev določimo le en položaj merjene točke. V kolikor se je premik zgodil med izvajanjem izmere, se le-ta prenese v skupen končni položaj. O prisotnosti premika med izmero lahko le sklepamo na podlagi slabše natančnosti izračunanega položaja, kot smo pričakovali, prave informacije o trenutku, velikosti ali hitrosti premika ne dobimo. S statično metodo lahko spremembo položaja točke identificiramo v primeru, ko izvedemo dve ali več terminskih izmer, ki so časovno relativno dovolj narazen glede na trajanje ene izmere, in ugotavljamo premik točke med dvema terminskima izmerama. Primer take izmere bi bilo vsakoletno periodično merjenje stabilnosti izbranega naravnega ali grajenega objekta. Vsako leto bi na istih točkah izvedli statično metodo izmere. Na podlagi razlik med položaji iz posameznih terminskih izmer bi določili, ali se je določena točka na objektu premaknila ali ne. Za podrobnejšo analizo dogajanja z objektom bi bilo potrebno izvesti statistično testiranje v sklopu deformacijske analize. V tovrstnih nalogah geodezije bi bilo mogoče zanesljivo ugotavljati tudi premike v velikosti nekaj milimetrov. Seveda bi bilo potrebno pri vsaki izmeri zagotoviti optimalne pogoje izvedbe izmere in ustrezno obdelati opazovanja.

Pri kinematični metodi trajajo opazovanja krajši čas, zato so tudi rezultati manj natančni kot pri statični metodi. Zaradi manjšega števila opazovanj je končni položaj merjene točke izpostavljen

večjemu vplivu morebitne slabe geometrije satelitov in zunanjih vplivov na opazovanja. Posledično so položaji merjene točke bolj razpršeni okoli prave vrednosti, kar pomeni, da so slabše natančnosti. V kolikor je natančnost merjene točke slaba, se poslabša tudi zanesljivost ugotavljanja premikov točke. Kako majhne premike je še mogoče ugotoviti, je odvisno predvsem od natančnosti določitve položaja točke, ki jo z izbrano metodo lahko dosežemo. V rezultatih smo lahko videli, da je bilo premike v velikosti 1 mm nemogoče določiti. Pri premikih, ki so znašali 3 mm, je bilo mogoče določiti ne trend spremembe položaja, posebej v primerih, ko je bilo izvedenih več zaporednih premikov. Centimetrski premiki so bili s kinematično metodo lažje določljivi, predvsem premiki za več centimetrov. Prednost kinematične metode je dejstvo, da hitro pridobimo položaj merjene točke. Uporabnost metode se pokaže pri določanju položaja med premikanjem sprejemnika vzdolž trajektorije, saj lahko določimo položaj sprejemnika za vsak trenutek registracije meritev. To nam omogoča, da zaznamo tudi premik, ki se je zgodil med izvajanjem izmere, in ne samo spremembe položaja merjene točke, ki so je zgodila med več zaporednimi terminskimi izmerami. Ker položaj točke določimo zelo hitro, lahko v krajšem obdobju izmerimo večje število točk kot pri statični metodi. V rezultatih izračuna premikov smo lahko videli, da v primeru, če določimo povprečno vrednost več zaporednih položajev, določenih s kinematično izmero, in izračunamo razlike med povprečnimi položaji, dobimo zelo dobre rezultate. Prav v primeru centimetrskih premikov, ko smo imeli na voljo veliko število meritev, smo dobili zelo dobre rezultate. Pri tem je potrebno poudariti, da smo izmero izvajali v zelo dobrih pogojih, saj je izmera točke FGG2 na strehi fakultete omogočala zelo dobro vidljivost satelitov, v bližini merjene točke razen tal ni bilo ravnih površin, ki bi povzročile večpotje (angl. multipath) in posledično slabše rezultate. V izmeri milimetrskih premikov smo povprečne položaje računali glede na manjše število opazovanj, zato rezultati niso omogočali ugotavljanja tako majhnih premikov, kar predstavlja omejitev kinematične metode.

RTK-metoda omogoča pridobitev položaja točke že med izmero, saj se obdelava meritev izvede že na terenu. Ta metoda je zelo uporabna, saj omogoča, da že med delom na terenu pridobimo položaj merjene točke in kakovost določitve položaja. Podobno kot pri kinematični metodi tudi pri tej metodi sama izmera ne traja dolgo in lahko v zelo kratkem času izmerimo večje število točk. Pomanjkljivost metode je dejstvo, da za izmero potrebujemo sprejemnik, ki omogoča obdelavo meritev v realnem času. Pri ugotavljanju premikov se je kot pomanjkljivost izkazala slabša zanesljivost položaja, ki smo ga določili z RTK-metodo v primerjavi s statično in kinematično metodo, saj so pri določitvi položaja uporabljene s satelita oddane efemeride in merjena točka je določena na podlagi majhnega števila opazovanj, zato RTK-metoda ni primerna za ugotavljanje zelo majhnih premikov. Tudi v rezultatih lahko vidimo, da milimetrskih premikov ni bilo mogoče jasno določiti. V primeru ugotavljanja centimetrskih premikov pa so bili rezultati že bolj zanesljivi, saj smo le-te lahko določili. Pri izmeri z RTK-metodo je potrebno za pridobitev kakovostnih rezultatov dobro predvideti različne dejavnike, ki vplivajo na slabše končne rezultate, kot je slaba geometrija satelitov ali odboj satelitskega signala. V

našem primeru smo izmero izvajali v zelo dobrih pogojih, saj v bližini točke ni bilo prisotnih fizičnih ovir, ki bi zmanjševale vidnost satelitov. Prav tako ob merjeni točki razen tal ni bilo večjih ravnih površin, ki bi povzročile odboj signala in s tem slabše rezultate.

Pri meritvah premikov z RTK-metodo smo preizkušali tudi pomen inicializacije na vrednost opazovanj in vpliv na končne rezultate. Ko smo izvedli inicializacijo le na začetku izvajanja meritev, so se nadaljnje vrednosti izračunanega položaja nanašale na prvotno določeno začetno vrednost celih valov. Nato smo izvedli več vmesnih inicializacij, in sicer pred vsakim premikom, zato je bilo število celih valov večkrat določeno. V prvem primeru so se vrednosti položaja merjene točke tekom izmere bolj gladko spreminjale, brez večjih nihanj. V drugem primeru pa so se ob vsaki ponovni inicializaciji vrednosti izračunanega položaja nekoliko spremenile zaradi novega števila celih valov, po določenem obdobju se je izračunan položaj merjene točke »umiril« in se nato ponovno enakomerno razpršil okoli prave vrednosti položaja. Iz teh rezultatov lahko sklepamo, da inicializacija povzroči skok v vrednosti položaja merjene točke, ki se nato ustali okoli prave vrednosti. V kolikor se zgodi premik takoj po inicializaciji, je izračunana vrednost premika različna od dejanske, kar ne omogoča učinkovitega določanja premikov, zato se poskušamo takim situacijam izogibati. V primeru, da izvedemo inicializacijo samo na začetku, se lahko zgodi, da so vsi nadaljnji položaji obremenjeni s kakovostjo te inicializacije. V kolikor ne predvidimo premikov točke med izmero, je zagotovo bolje, da meritve z RTK-metodo na izbrani točki opravimo večkrat, vsakič z novo inicializacijo.

Z obdelavo opazovanj v programu Leica Geo Office smo dobili položaj merjene točke FGG2, določen z vrednostmi posameznih koordinatnih komponent. Če med seboj primerjamo vse tri koordinate ali vrednosti izračunanih premikov po posameznih komponentah vidimo, da sta položajni koordinati  $n$  in  $e$  določeni bolj natančno od višine  $h$ . To je posledica značilnosti delovanja tehnologije GNSS, saj razporeditev satelitov in njihova medsebojna geometrija ne omogoča določevanja višine z enako natančnostjo kot določitev položajnih koordinat. Poleg vseh dejavnikov, ki vplivajo na slabšo določitev koordinat tako v položajnem kot v višinskem smislu, je določitev višinske komponente slabša zaradi dejstva, da so sateliti razporejeni le v delu nad točko v višinskem smislu. Natančneje bi višino določili z opazovanjem satelitov pod horizontom, kar pa praktično ni izvedljivo, saj satelitski signal ne potuje skozi fizično površino Zemlje. V vseh izračunih je bila natančnost višine slabša od položajne natančnosti, kar lahko vidimo kot večjo razpršenost izračunanih vrednosti okoli srednje vrednosti. Ker smo dejanske premike izvajali samo v horizontalni ravnini, smo premike izračunali v 2D prostoru, z upoštevanjem le položajnih koordinat. S tem smo lahko bolj nazorno primerjali izračunane premike z dejansko izvedenimi, brez da bi slabše določena višina vplivala na rezultate izračuna. Določili smo tudi 3D premike, ki so poleg položaja vključevali tudi višinsko komponento, ki pa je pričakovano poslabšala natančnost izračunanih premikov. Zaradi slabše natančnosti višine je bolj smiselno položajne koordinate točke obravnavati ločeno od njene višine.



Kljub temu da smo premike določali z različnimi metodami, so vse tri uporabljene metode določile položaj sprejemnika relativno glede na izbrano referenčno postajo oziroma točko. Pri statični in kinematični metodi smo uporabili tri različne referenčne točke, in sicer GSR1, RADO in VRS. Točka GSR1, ki je del slovenskega omrežja permanentnih postaj GNSS SIGNAL, se nahaja v Ljubljani in je približno 3,7 km oddaljena od merjene točke FGG2. Ker se točka GSR1 nahaja relativno blizu merjeni točki, smo v vseh primerih dobili zadovoljive rezultate, ki so bili skladni z zmogljivostjo uporabljene metode. V kolikor je bilo z metodo mogoče ugotoviti premike določene velikosti, smo jih v primeru navezave na točko GSR1 vedno ugotovili. V primeru, da metoda ni omogoča ugotavljanja premikov, kot na primer pri ugotavljanju premikov velikosti 1 mm z uporabo kinematične metode, teh premikov tudi pri navezavi na točko GSR1 nismo ugotovili. Tudi druga uporabljena referenčna točka – točka RADO je del omrežja SIGNAL. Točka se nahaja v Radovljici in je od točke FGG2 oddaljena nekaj manj kot 41,5 km. Rezultati izračunov, kjer smo položaj oziroma premik merjene točke določili glede na točko RADO, so bili slabše natančnosti v primerjavi z rezultati, ki smo jih dobili z navezavo na drugi dve referenčni točki. Slabši rezultati izračuna premikov v primeru navezave na točko RADO so posledica slabše natančnosti izračunanih položajev, ki se kaže kot večja razpršenost zaporednih položajev merjene točke, večje spremembe v vrednostih koordinat tudi v času, ko je sprejemnik miroval, in nezmožnost določitve trenutka ter velikosti premika, ko smo sprejemnik dejansko premaknili. Razlog za take rezultate je prav prevelika oddaljenost med referenčno in merjeno točko, kajti opazovanja, ki jih izvedemo na dveh med seboj zelo oddaljenih točkah, so obremenjena z različnimi vplivi, predvsem so to vplivi z izvorom v okolju. Ker so vplivi na opazovanja vsake posamezne točke med seboj različni, se ne eliminirajo ob določitvi položaja na relativen način s tvorjenjem faznih razlik, temveč se prenesejo v rezultate obdelave in posledično v manj natančno določen položaj merjene točke. Z navezavo na tako oddaljeno točko so rezultati izračuna premikov slabše kakovosti, zato taka referenčna točka ni primerna za uporabo pri ugotavljanju zelo majhnih premikov. Poleg dveh permanentnih postaj iz omrežja SIGNAL smo premike določali tudi glede na virtualno referenčno postajo (VRS), ki smo jo umestili v bližino merjene točke FGG2. S tem smo želeli preizkusiti, ali referenčna točka v neposredni bližini merjene točke bistveno izboljša kakovost končnih rezultatov. Kot smo lahko videli v rezultatih, smo dobili v primeru navezave na točko VRS zelo dobre rezultate, natančnost izračunanega položaja točke FGG2 je bila zelo dobra, dejanske premike smo lahko določili v vseh primerih, kjer je uporabljena metoda to omogočala. Vendar v primerjavi s točko GSR1, ki je bila nekoliko bolj oddaljena od merjene točke, v primeru navezave na VRS nismo dobili izrazito boljših rezultatov, le v nekaterih primerih so bili rezultati malo boljši. Iz tega lahko sklepamo, da četudi je točka VRS precej bližje merjeni točki kot GSR1, končni rezultati niso bistveno bolj zanesljivi. Podobno kot v primeru GSR1 so tudi v primeru točke VRS rezultati boljši kot pri navezavi na točko RADO. To pomeni, da je pri ugotavljanju majhnih premikov zelo pomembno, da položaj točke, na kateri ugotavljamo premike, določimo relativno na referenčno točko,

ki ni preveč oddaljena, kar v praksi pomeni, da je referenčna točka lahko največ 10-15 km oddaljena od merjene točke. V kolikor v tolikšni oddaljenosti ni permanentne postaje GNSS, je potrebno generirati lastno virtualno referenčno postajo. V primeru statične metode smo položaj točke FGG2 določili tudi relativno na drugo merjeno točko FGG1, ki smo jo predhodno določili relativno na referenčni postaji GSRI in RADO. Ugotavljali smo centimetske premike glede na razlike med položaji, ki smo jih določili znotraj intervalov, ko je sprejemnik na točki miroval. Rezultati te obdelave so bili zelo dobri, kar potrjuje ugotovitev, da mora biti referenčna točka dovolj blizu merjeni, saj se tako eliminirajo vplivi na opazovanja, ki so na bližnjih točkah precej podobni.

Premike sprejemnika na merjeni točki smo izračunali na različne načine. Pri statični metodi z upoštevanjem vseh opazovanj nismo mogli določiti dejanskih premikov, lahko smo le skleпали o premikih na podlagi slabše natančnosti točke FGG2 v primerjavi z drugo merjeno točko FGG1, zato smo premike računali glede na razlike med položaji iz posameznih intervalov, ko je sprejemnik na točki miroval. Na podlagi teh rezultati smo lahko določili centimetske premike, saj so bili intervali med premiki dovolj dolgi za obdelavo meritev statične metode, milimetrskih premikov na ta način zaradi prekratkih vmesnih intervalov ni bilo mogoče določiti. Slabost takega izračuna je, da je potrebno poznati trenutek dejanskega premika, da lahko določimo vmesne intervale. Podoben izračun smo izvedli z meritvami kinematične metode, z izračunom povprečnega položaja med premiki. Tudi v tem primeru smo dobili zelo dobre rezultate za centimetske premike, določitev milimetrskih premikov pa ni bila uspešna. Premike iz meritev kinematične in RTK-metode smo določili tudi glede na izhodiščni položaj. Rezultati so bili v tem primeru zelo dobri, saj smo lahko določili tako centimetske premike kot tudi v nekaterih primerih milimetrske. Dobra lastnost tovrstnega izračuna je to, da smo vse položaje določali glede na isto vrednost in je bila tako mogoča medsebojna primerjava vseh meritev. Premike iz kinematične in RTK-metode smo določili tudi na podlagi razlik med zaporednimi položaji sprejemnika. Iz rezultatov lahko vidimo, da s tem izračunom premikov ni bilo mogoče določiti. Razlog za take rezultate je dejstvo, da so bili položaji določeni za vsako sekundo izvajanja opazovanj, premiki pa so trajali več sekund, zato se je dejanski premik porazdelil med več izračunanih premikov med zaporednimi položaji. Tak izračun premikov bi bil učinkovit, če bi pri izvajanju meritev izbrali daljši interval med dvema določitvama položaja sprejemnika, med posameznimi določitvami položaja pa bi se zgodil dejanski premik. Podoben pristop bi bilo potrebno upoštevati tudi pri nadaljnjem izračunu testne statistike, določene kot razmerje med premikom in pripadajočo natančnostjo, da bi lahko na podlagi statističnega testiranja zanesljivo ugotavljali premike.

## 8 ZAKLJUČEK

Tehnologija GNSS nudi široke možnosti v nalogah za ugotavljanje premikov, saj lahko na podlagi kakovostno izvedenih opazovanj in ustrezne obdelave dobimo pravo sliko o premikih. Pri vsaki obravnavani geodetski nalogi je potrebno pred izvedbo izmere razmisliti, katero metodo bomo uporabili za pridobitev rezultatov, da bomo dobili prave informacije o dogajanju na terenu. Pri izbiri metode izmere je pomembno predvideti, kako velike premike pričakujemo, saj je od velikosti premika odvisno, kako natančno moramo določiti položaj merjene točke. Natančnost določitve položaja merjene točke in posledično natančnost izračunanega premika mora biti boljša oziroma mora predstavljati manjšo vrednost kot je pričakovana oziroma dejanska velikost premika, da lahko zanesljivo ugotovimo morebiten premik merjene točke. Statična metoda izmere omogoča najnatančnejšo določitev položaja, zato je primerna za ugotavljanje najmanjših premikov, v velikosti do nekaj milimetrov. Pri tem je potrebno poudariti, da je s statično metodo mogoče določiti le premike, ki se zgodijo med dvema terminskima izmerama, saj ni mogoče določiti premika, ki se zgodi v času izmere. Kinematična metoda omogoča določanje premikov tudi med izmero, saj se položaj merjene točke določi za vsak trenutek registracije meritev. Zaradi krajšega trajanja opazovanj je natančnost določitve položaja merjene točke nekoliko slabša kot pri statični metodi, še vedno pa je bilo mogoče ugotoviti premik v velikosti 1 cm ali celo manjše. RTK-metoda temelji na določitvi položaja merjene točke po principu kinematične metode, pri čemer se meritve obdelajo že v realnem času na terenu. Posledično so rezultati RTK-metode slabše natančnosti kot pri kinematični metodi, saj so v izračunu uporabljene s satelita oddane efemeride, ki so slabše natančnosti. Z RTK-metodo smo lahko na podlagi meritev določili premike, ki so znašali od 1 cm do nekaj centimetrov. Razlog za tako dobre rezultate so predvsem zelo dobri pogoji med izmero, ki so omogočali zelo dobro določitev položaja merjene točke in posledično tudi izračun premikov, saj v okolici merjene točke ni bilo fizičnih ovir, ki bi zmanjševale vidnost satelitov nad obzorjem ali povzročale odboj signala. Položaj točke FGG2, kjer smo izvajali premike, smo določili relativno na različne referenčne točke. V rezultatih smo videli, da je pomembno, da referenčna točka ni preveč oddaljena od merjene, saj zaradi prevelike oddaljenosti ne dobimo dovolj kakovostnih rezultatov. V splošnem velja, da je lahko oddaljenost med merjeno točko in referenčno postajo največ 10-15 km, kar pomeni, da v kolikor v taki oddaljenosti ni permanentne postaje, je potrebno znotraj omrežja stalno delujočih GNSS postaj generirati virtualno referenčno postajo, relativno na katero nato določimo položaj merjene točke. Premike smo ugotavljali na podlagi različnih izračunov. Najbolj zanesljivo smo lahko določili premike pri izračunu razlik med položaji iz posameznih intervalov, ko je sprejemnik na točki miroval. Pomanjkljivost tega izračuna je dejstvo, da je potrebno poznati trenutek, ko se je zgodil premik, da lahko določimo obdobja, ko je sprejemnik miroval. Precej učinkovito smo lahko določili tudi premike z izračunom položajnih razlik glede na začetni položaj točke FGG2. Izračun premikov na podlagi razlik med zaporednimi položaji sprejemnika pa v večini primerov ni omogočal učinkovite določitve

dejanskega premika, saj je posamezen dejanski premik trajal dalj časa od 1 s, zato se je porazdelil med več zaporednih izračunanih sprememb položaja sprejemnika. Kompleksnejša obravnava zahteva, da premike ugotavljamo s statističnim testiranjem. V našem primeru smo izračunali in predstavili eno od možnih testnih statistik, ki bi jo v nadaljevanju lahko uporabili v statističnem testiranju premikov. Predstavljena testna statistika je bila določena kot razmerje med velikostjo premika in njegovo pripadajočim standardnim odklonom ter je omogočala precej učinkovito ugotavljanje premikov, predvsem v primerih navezave na referenčno točko, ki ni bila preveč oddaljena.

V nadaljevanju bi lahko raziskovanje uporabnosti metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov razširili tako, da bi premike ugotavljali tudi z drugimi metodami izmere GNSS, ki jih v nalogo trenutno nismo vključili. Predvsem bi bilo zanimivo v primerjavo vključiti metodo PPP in metodo DGNSS, saj se obe nekoliko razlikujeta od splošno uveljavljenih metod GNSS, ki jih uporabljamo v geodeziji. V nadaljnjem delu primerjave uporabnosti posameznih metod izmere GNSS za ugotavljanje majhnih premikov bi bilo zanimivo, da bi premike določali na več različnih točkah, ki se med seboj razlikujejo po vrsti terena, kjer se posamezna točka nahaja, npr. v mestu med zgradbami, v naravi v bližini gozda, v ozki dolini. Tako bi lahko primerjali rezultate premikov na točki, ki se nahaja na lokaciji z dobrimi pogoji za izmero, kot so bili na strehi fakultete, in rezultate, ki bi jih dobili z izmero premikov na lokacijah, kjer so pogoji za izmero oteženi zaradi fizičnih ovir, ki zmanjšujejo vidnost satelitov. Prav tako menim, da bi bilo zanimivo med seboj primerjati rezultate izmere premikov z metodami GNSS in rezultate, ki bi jih dobili z drugimi geodetskimi metodami, kot sta klasična terestrična izmera ali metoda terestričnega laserskega skeniranja.

## **VIRI**

### **Uporabljeni viri**

Berber, M., Ustun, A., Yetkin, M. 2012. Comparison of accuracy of GPS techniques. *Measurement* 45, 7: 1742-1746.

Blewitt, G. 2007. *GPS and Space-Based Geodetic Methods*.  
[http://www.nbmng.unr.edu/staff/pdfs/blewitt\\_treatise.pdf](http://www.nbmng.unr.edu/staff/pdfs/blewitt_treatise.pdf) (Pridobljeno 6. 11. 2013.)

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. 2001. *Global Positioning System: Theory and Practice*. Dunaj, Springer-Verlag: 382 str.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. 2008. *GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more*. Dunaj, Springer-Verlag: 516 str.

Kozmus, K., Stopar, B. 2003. Načini določanja položaja s satelitskimi tehnikami. *Geodetski vestnik* 47, 4: 404-413.

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

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

Savšek, S., Ambrožič, T., Kogoj, D., Koler, B., Sterle, O., Stopar, B. 2010. Geodezija v geotehniki. *Geodetski vestnik* 54, 1: 31-45.

Savšek-Safić, S. 2002. Ugotavljanje premikov z metodami deformacijske analize. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002, zbornik referatov.  
<http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2002/Savsek2002.pdf> (Pridobljeno 8. 12. 2013.)

Savšek-Safić, S. 2003. Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži s simulacijami. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2003, zbornik referatov.  
[http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG\\_04\\_Savsek.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Savsek.pdf) (Pridobljeno 27. 6. 2013.)

Seeber, G. 1993. *Satellite Geodesy*. Berlin, New York, W. de Gruyter: 531 str.

Omrežje SIGNAL, Služba za GPS. 2013.

<http://www.gu-signal.si/> (Pridobljeno 30. 5. 2013.)

Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P., Kozmus, K. 2006. GPS v geodetski praksi: študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 50 str.

Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. 2011. Višja geodezija II, univerzitetni študij geodezije, neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Stopar, B. 2012. Izravnalni račun III, univerzitetni študij geodezije, neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Wanninger, L. 2002. Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning. <http://wasoft.de/lit/ion02f36.pdf> (Pridobljeno 10. 11. 2013.)

#### **Ostali viri**

IGS – International GNSS Service. 2013. IGS Data and Products.

<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html> (Pridobljeno 7. 5. 2013.)

Leica Geo Office, Online Help. Ver. 8.0. Leica Geosystems. 2013.

[http://www.surveyequipment.com/PDFs/LGO\\_80\\_Help\\_en.pdf](http://www.surveyequipment.com/PDFs/LGO_80_Help_en.pdf) (Pridobljeno 15. 4. 2013.)

NGS – National Geodetic Survey. 2013. Individual Absolute Calibration.

<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/> (Pridobljeno 9. 5. 2013.)

## **PRILOGA A: ZAPISNIKI TERENSKIH IZMER**

### **ZAPISNIK IZMERE PREMIKOV - centimetrski premiki**

Opazovalec: Urška Drešček  
Opazovališče: Streha FGG, tč. FGG2

Datum: 17. 4. 2013  
Instrument: Leica Viva GS15/CS10  
Višina antene: 20,3 cm (do ARP)

Začetek opazovanj: 8:59  
Konec opazovanj: 17:21

<b>Št. premika</b>	<b>Začetek premika</b>	<b>Konec premika</b>	<b>Trajanje</b>	<b>Velikost</b>	<b>Opomba</b>
1	11:16	11:17	1 min	1 cm	Premik v smeri FGG1
2	13:16	13:19	3 min	5 cm	
3	15:20	15:21	1 min	6 cm	Premik na izhodišče

Opomba: čas je zapisan v obliki UTM+2h

**ZAPISNIK IZMERE PREMIKOV - milimetrski premiki**

Opazovalec: Urška Drešček

Datum: 18. 4. 2013

Opazovališče: Streha FGG, tč. FGG2

Instrument: Leica Viva GS15/CS10

Višina antene: 20,3 cm (do ARP)

Začetek opazovanj: 8:26

Konec opazovanj: 12:31

Št. premika	Začetek premika	Trajanje	Velikost	Opomba
1	9:06	8 s	1 mm	
2	9:11	6 s	1 mm	
3	9:16	5 s	1 mm	
4	9:21	5 s	1 mm	
5	9:26	5 s	1 mm	
6	9:31	4 s	1 mm	
7	9:36	4 s	1 mm	
8	9:41	4 s	1 mm	
9	9:46	5 s	1 mm	
10	9:51	4 s	1 mm	
11	9:56	15 s	2 mm	
12	10:01	8 s	2 mm	
13	10:06	7 s	2 mm	
14	10:11	7 s	2 mm	
15	10:16	8 s	2 mm	
16	10:21	30 s	2 mm	
17	10:26	7 s	2 mm	
18	10:31	7s	2 mm	
19	10:36	7s	2 mm	
20	10:41	7s	2 mm	
21	10:46	15 s	3 mm	
22	10:51	11 s	3 mm	
23	10:56	12 s	3 mm	
24	11:01	11 s	3 mm	
25	11:06	10 s	3 mm	
26	11:11	8 s	3 mm	
27	11:16	10 s	3 mm	
28	11:21	11 s	3 mm	
29	11:26	13 s	3 mm	
30	11:31	16 s	3 mm	
31	12:01	2 min	60 mm	Premik nazaj na izhodišče

Opomba: čas je zapisan v obliki UTM+2h



## ZAPISNIK IZMERE PREMIKOV - RTK izmera

Opazovalec: Urška Drešček

Datum: 18. 4. 2013

Opazovališče: Streha FGG, tč. FGG2

Instrument: Leica Viva GS15/CS10

Višina antene: 20,3 cm (do ARP)

1. izmera: centimetrski premiki, inicializacija samo na začetku (A001-A345)

Št. premika	Oznaka začetka premika	Oznaka konca premika	Velikost premika	Opomba
1	A060	A075	1 cm	
2	A135	A181	5 cm	
3	A241	A286	6 cm	

2. izmera: centimetrski premiki, več vmesnih inicializacij

Št. premika	Oznaka začetka merjenja	Trajanje premika	Velikost premika	Oznaka konca merjenja	Opomba
1	B001	/	/	B061	Določitev začetnega položaja
2	C001	15 s	1 cm	C074	
3	E001	48 s	5 cm	E109	
4	F001	49 s	6 cm	F108	Premik na začetno točko

3. izmera: milimetrski premiki, inicializacija samo na začetku (A001-A719)

Št. premika	Oznaka začetka premika	Oznaka konca premika	Velikost premika	Opomba
1	A060	A067	3 mm	
2	A127	A133	3 mm	
3	A193	A198	3 mm	
4	A258	A262	3 mm	
5	A323	A329	3 mm	
6	A389	A395	3 mm	
7	A455	A460	3 mm	
8	A520	A525	3 mm	
9	A585	A590	3 mm	
10	A653	A658	3 mm	

4. izmera: milimetrski premiki, več vmesnih inicializacij

Št. premika	Oznaka začetka merjenja	Trajanje premika	Velikost premika	Oznaka konca merjenja	Opomba
1	B001	/	/	B060	Določitev začetnega položaja
2	C001	5 s	3 mm	C070	
3	D001	5 s	3 mm	D067	
4	E001	4 s	3 mm	E066	
5	F001	7 s	3 mm	F069	
6	G001	5 s	3 mm	G066	
7	H001	4 s	3 mm	H065	
8	I001	4 s	3 mm	I065	
9	J001	5 s	3 mm	J066	
10	K001	5 s	3 mm	K066	
11	L001	4 s	3 mm	L065	