

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:

Belšak, Ž., 2016. Ocena kakovosti opazovanj GNSS ob uporabi različnih anten. Diplomski nalogi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Pavlovčič Prešeren, P., somentor Sterle, O.): 35 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5915/>

Datum arhiviranja: 5-10-2016

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:

Belšak, Ž., 2016. Ocena kakovosti opazovanj GNSS ob uporabi različnih anten. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Pavlovčič Prešeren, P., co-supervisor Sterle, O.): 35 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5915/>

Archiving Date: 5-10-2016

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 PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

ŽAN BELŠAK

**OCENA KAKOVOSTI OPAZOVANJ GNSS OB
UPORABI RAZLIČNIH ANTEN**

Diplomska naloga št.: 122/GIG

**QUALITY ASSESSMENT OF GNSS OBSERVATIONS
USING VARIOUS ANTENNAS**

Graduation thesis No.: 122/GIG

Mentorica:

doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren

Somentor:

asist. dr. Oskar Sterle

Ljubljana, 22. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Žan Belšak, vpisna številka 26203493, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: »Ocena kakovosti opazovanj GNSS ob uporabi različnih anten«.

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljani

Datum: 07. 09. 2016

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.28(043.2)
Avtor:	Žan Belšak
Mentorica:	doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren
Somentor:	asist. dr. Oskar Sterle
Naslov:	Ocena kakovosti opazovanj GNSS ob uporabi različnih anten
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	35 str., 31 sl., 5 pregl.
Ključne besede:	GNSS, Javad Triumph-LS, statična metoda, antene, večpotje, ocena kakovosti, modeliranje, program <i>TEQC</i>

Izvleček

V diplomski nalogi smo analizirali kakovost opazovanj GNSS ob uporabi različnih anten. Preizkusili smo anteno, vgrajeno v ohišje instrumenta Javad Triumph-LS, zunanjo anteno in najmanj dovetno anteno za odboj signalov od objektov, ki jo imenujemo antena s kovinskim ohišjem. Po raziskavi in preverjanju kakovosti opazovanj GNSS v programih *TEQC* in *Leica SPIDER QC* smo potrdili postavljeno hipotezo, da nam antena s kovinskim ohišjem zagotovi najboljša opazovanja. V drugem delu smo preverili, ali se s pokritjem kovinske ovire z belo rjuho oz. leseno ploščo zmanjša odboj signala od ovire. Ugotovili smo, da se signal v največji meri odbija od kovine. Obenem smo si prizadevali raziskati, kateri so ostali dejavniki, ki vplivajo na velikost večpotja. Predvsem je potrebno paziti na višinske kote in geometrijo satelitov. Opazovanja GNSS smo na terenu izvedli s statično izmero in smo jih nato naknadno obdelali v programskem paketu Leica Geo Office, kjer smo za določitev položaja točk A in B uporabili navezavo na virtualno referenčno točko in stalno delujočo postajo. S tem smo želeli preveriti vpliv oddaljenosti referenčne točke na kakovostno določitev položaja. Ugotovili smo, da so odstopanja v horizontalni smeri milimetrskega velikostnega reda, v vertikalni smeri pa centimetrskega.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	528.28(043.2)
Author:	Žan Belšak
Supervisor:	Assist. Prof. Polona Pavlovčič Prešeren, Ph. D.
Co-advisor:	Assist. Oskar Sterle, Ph. D.
Title:	Quality assessment of GNSS observations using various antennas
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	35 p., 31 fig., 5 tab.
Keywords:	GNSS, Javad Triumph-LS, static method, antennas, multipath, quality assessment, modeling, program <i>TEQC</i>

Abstract

In the diploma thesis we analysed the quality of GNSS observations when using various antennas. We tested an internal antenna, installed into a Javad Triumph-LS housing, an external antenna and the choke ring antenna, which is the least sensitive to the reflection of signals from objects. After the survey and quality assessment of GNSS observations in programs *TEQC* and *Leica SPIDER QC* we confirmed the presupposed hypothesis that the *choke ring* antenna provides us best observations. In second part we checked whether the coverage of the metal barriers with white sheet or wooden panel reduces signal reflection from obstacles. We concluded that the signal mostly reflects by the metal. At the same time, we also tried to explore other factors affecting multipath size. Mostly, it is necessary to pay attention to the elevation angles and geometry of the satellites. GNSS observations were performed with static method and postprocessed in program package Leica Geo Office, where we determined the positions of points A and B in two modes: virtual reference station (VRS) and permanent station. This way, the influence of distance to reference point on quality position was tested. We concluded that the deviations were of millimeter magnitude in horizontal and of centimeter magnitude in vertical direction.

ZAHVALA

Doc. dr. Polona Pavlovčič Prešeren, asist. dr. Oskar Sterle, Albin Mencin, starši, stari starši, prijatelji,
Haloze Republika, Yolo, Martial.

Hvala Vam!

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Delovne hipoteze	2
1.2 Struktura naloge	2
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	3
2.1 Javad Triumph-LS	3
2.2 Antena <i>choke ring</i>	7
2.3 Statična izmera GNSS	8
2.4 Vpliv večpotja na opazovanja GNSS	8
2.4.1 Lastnosti večpotja	8
2.4.2 Variacije večpotja	10
2.4.3 Odboj signala – koda/faza	12
2.4.4 Reševanje odboja signalov v praksi	14
2.4.5 Modeliranje večpotja	14
2.4.6 Zmanjšanje vpliva večpotja	15
2.5 Program <i>TEQC</i>	16
3 TERENSKO DELO	20
4 OBDELAVA OPAZOVANJ	22
5 REZULTATI	24
5.1 Primerjava koordinat točk glede na referenčno točko	24
5.2 Preverjanje kakovosti opazovanj ob uporabi različnih anten	27
6 ZAKLJUČEK	34
VIRI	35

Kazalo slik

Slika 1: Javad Triumph-LS	3
Slika 2: Izsek nastavitve meritev pri instrumentu Javad Triumph-LS	5
Slika 3: Prikaz zaznavanja motenj	5
Slika 4: Prikaz vizualiziranega okolja.....	6
Slika 5: Prikaz izračuna položaja točk	6
Slika 6: Fotogramterični zajem točk	6
Slika 7: Antena <i>choke ring</i>	7
Slika 8: Odboj signala je odvisen od geometrijske situacije sprejemnik-moteči objekt-satelit	9
Slika 9: Kodna opazovanja, primer kode C/A.....	12
Slika 10: Odboj signala	13
Slika 11: Fazna opazovanja.....	13
Slika 12: Vplivi na signal GNSS.....	15
Slika 13: Vpliv večpotja na nosilno valovanje L_1	18
Slika 14: Višinski koti satelitov v določenem času.....	18
Slika 15: Azimuti satelitov v določenem času	19
Slika 16: Prikaz delovišča na strehi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo: točki A in B	20
Slika 17: Izvajanje opazovanj GNSS ob pokritju kovinske ovire z belo rjuho	21
Slika 18: Izvajanje opazovanj GNSS ob pokritju kovinske ovire z leseno ploščo.....	21
Slika 19: Prikaz zagona programa <i>TEQC</i> v komandnem oknu.....	22
Slika 20: Izpis vseh izhodnih datotek iz programa <i>TEQC</i>	23
Slika 21: Preverjanje kakovosti v programskem paketu <i>Leica SPIDER QC</i>	23
Slika 22: Standardna elipsa pogreškov pri obdelavi točke A s pomočjo stalno delujoče postaje	25
Slika 23: Standardna elipsa pogreškov pri obdelavi točke A s pomočjo virtualne referenčne točke ...	26
Slika 24: Standardna elipsa pogreškov pri obdelavi točke B s pomočjo stalno delujoče postaje	26
Slika 25: Standardna elipsa pogreškov pri obdelavi točke B s pomočjo virtualne referenčne točke ...	27
Slika 26: Izris preverjanja kakovosti enournih GNSS opazovanj ob uporabi notranje antene v prvi seriji.....	28
Slika 27: Izris preverjanja kakovosti enournih GNSS opazovanj ob uporabi notranje antene v drugi seriji.....	29
Slika 28: Izris preverjanja kakovosti enournih GNSS opazovanj ob uporabi antene s kovinskim ohišjem	30
Slika 29: Izris preverjanja kakovosti enournih opazovanj GNSS ob uporabi zunanje antene	31
Slika 30: Izris preverjanja kakovosti enournih opazovanj GNSS ob uporabi not. ant. in bele rjuhe ...	32
Slika 31: Izris preverjanja kakovosti enournih GNSS opazovanj ob uporabi not. ant. in les. plošče ..	33

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Izravnane koordinate točke A iz LGO, ETRS89	24
Preglednica 2: Izravnane koordinate točke A pretvorjene s SitraNet, D96/TM	24
Preglednica 3: Izravnane koordinate točke B iz LGO, ETRS89	25
Preglednica 4: Izravnane koordinate točke B pretvorjene s SitraNet, D96/TM	25
Preglednica 5: Rezultati preverjanja kakovosti enournih opazovanj GNSS s programom <i>TEQC</i>	27

1 UVOD

Življenja brez globalnih navigacijskih satelitskih sistemov GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) si skorajda več ne moremo predstavljati. Njihove uporabnosti se marsikdo verjetno več ne zaveda, saj jih uporabljamo podzavestno in v veliki večini vsak dan. Signale navigacijskih satelitov zaznavajo že najpreprostejši mobilni telefoni, sprejemajo pa jih tudi precej bolj zapleteni navigacijski sistemi zračnih in vodnih plovil.

Geodezija pri tem ni izjema. Uporaba tehnologije GNSS je prevzela pomembno vlogo pri večini smeri v geodeziji (višja, inženirska geodezija, geodetska izmera). Od leta 2008, ko so v zemljiškem katastru sprejeli uvedbo novega koordinatnega sistema D96/TM, geodetska podjetja določajo položaje točk na terenu z izmero GNSS ali s kombinacijo GNSS in klasične terenske izmere.

Na kakovost določitve položaja, pridobljenega s sprejemnikom GNSS, vpliva več dejavnikov. Začnemo lahko pri vplivih na sprejeti signal GNSS. Zelo pomembna je metoda izmere, način obdelave opazovanj in čas trajanja opazovanj. Pomembno vlogo pri končnih rezultatih ima uporaba ustrezne programske opreme za obdelavo opazovanj.

V diplomski nalogi smo se osredotočili na študijo velikosti vpliva odboja signala GNSS od objektov v bližini sprejemnika, ki ga v geodeziji strokovno imenujemo večpotje (angl. *multipath*). Zanimalo nas je, kako se različne vrste anten GNSS odzovejo pri zmanjševanju motnje večpotja. Poizkuse smo naredili z na tržišču novo predstavljenim sprejemnikom Javad Triumph-LS. Sprejemnik so zasnovali tako, da lahko uporabljamo notranjo anteno, vgrajeno v ohišje, ali zunanjo anteno, ki jo lahko opremimo dodatno še s kovinskim ohišjem. Le-to zmanjša možnost, da bi indirektni signal prispel v anteno. Zanimala nas je kakovost signala in posledično zmožnost zmanjšanja vpliva odboja na signal ob uporabi notranje, zunanje in antene s kovinskim ohišjem (angl. *choke ring*).

Poizkus smo zasnovali tako, da smo GNSS-sprejemnik postavili ob kovinsko oviro, saj smo tako povečali možnost za motnjo signala. Nato smo za primerjavo rezultatov kovinsko oviro pokrili z belo rjuho in nato z lesom. S tem smo iskali odgovor na vprašanje, v koliki meri kovinska ovira vpliva na poslabšanje kakovosti opazovanj GNSS.

Na terenu smo izvajali statične meritve v več serijah, ki so trajale po 60 minut. Opazovanja smo obdelali v programskem paketu Leica Geo Office in tako pridobili končne koordinate točk s pripadajočimi natančnostmi.

Velikost vpliva večpotja smo pridobili s pomočjo programa *TEQC*, v katerega uvozimo opazovanja, zapisana v RINEX-datotekah. Kot rezultate pridobimo datoteke s končnicami **.mp1*, **.mp2*, **.azi*, **.ele*, **.adi*, **.sn1*, **.sn2*. Pri študiji odboja signala nas zanimata predvsem datoteki **.mp1* in **.mp2*, ki vključujeta rezultate modeliranega večpotja. Izris in kakovost rezultatov smo preverili v programskem paketu *Leica SPIDER QC*, v katerega smo uvozili RINEX-datoteke pridobljenih opazovanj GNSS.

1.1 Delovne hipoteze

Tekom naloge smo si postavili dve delovni hipotezi:

- notranja antena instrumenta Javad Triumph-LS je najbolj dovezetna za odboje signalov, sledi zunanja antena, najmanj dovezetna je antena s kovinskih ohišjem,
- vpliv odboja signalov ob kovinski oviri zmanjšamo tako, da jo pokrijemo z belo rjuho oz. leseno ploščo.

1.2 Struktura naloge

Diplomsko nalogo začnemo z uvodom, kjer opisujemo tematiko, s katero smo se ukvarjali tekom raziskave. V prvem izmed petih poglavij podamo teoretična izhodišča, ki so kakorkoli povezana s temo diplomske naloge. Detajlno predstavljamo sprejemnik GNSS, posebno vrsto antene s kovinskim obročem, metodo opazovanj, večpotje in programski paket, s katerim smo izvedli glavnino obdelave za pridobitev rezultatov. V drugem poglavju smo podrobneje opisali delovišče in pogoje, v katerih smo opravljali geodetsko terensko izmero. V poglavje smo vključili slikovno gradivo za lažjo predstavo napisanega besedila. V tretjem poglavju smo opisali postopek in cilje obdelave opazovanj GNSS. V četrtem poglavju podamo rezultate, ki smo jih pridobili z obdelavo GNSS opazovanj. Ob rezultatih smo zapisali lastne komentarje in ugotovitve. V zadnjem poglavju smo preverili hipoteze, zastavljene v uvodnem poglavju. Opisali smo probleme pri raziskavi in ideje za nadaljnje delo.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Javad Triumph-LS

Ashjaee Javad je lastnik enega izmed najbolj uspešnih podjetij v industriji izdelovanja geodetskih instrumentov, predvsem instrumentov GNSS. Podjetje po imenu Javad, s sedežem v Kaliforniji (ZDA), se je med izdelovalci in ponudniki merske opreme pojavilo na slovenskem tržišču najkasneje. Pri prodoru na slovenski trg so se povezali s podjetjem Harpha Sea d.o.o iz Kopra, ki jim pomaga pri reklamiranju in prodaji instrumentov znamke Javad. Kot smo že omenili, je Javad Triumph-LS instrument, ki poleg možnosti uporabe zunanje antene za bolj enostavne merske postopke nudi tudi možnosti uporabe antene, vgrajene v ohišje sprejemnika.

Javad Triumph-LS je predstavnik najnovejše generacije GNSS-sprejemnikov z zelo visoko dosegljivo natančnostjo določitve položaja. Vsebuje najbolj napreden nabor strojne opreme GNSS in temelji na tehnologiji čipa Triumph 2, ki je srce instrumenta. Geodetom na terenu je pomembno delati z instrumentom, ki omogoča čim več funkcij za izvajanje različnih vrst meritev. Ravno pri tem je Javad izvrsten, saj v sprejemniku (majhni škatlici) lahko najdemo vse, kar je potrebno pri izmeri GNSS.



Slika 1: Javad Triumph-LS

(Vir: <https://www.javad.com/jgnss/products/receivers/triumph-ls.html>)

Ustvarjen je bil po načelu vse v enem, kar je vidno tudi iz navedbe osnovnih lastnosti instrumenta. Instrument ima (Oset in Žula, 2015):

- 864 kanalov GNSS,
- enotni sprejemnik s šestimi vzporednimi motorji RTK,
- notranji radio modem,
- dve notranji reži za kartice GSM SIM (podpirajo možnost, da enostavno preklopite med dvema različnima izvoroma referenčne postaje (VRS ali stalno delujoča postaja)),

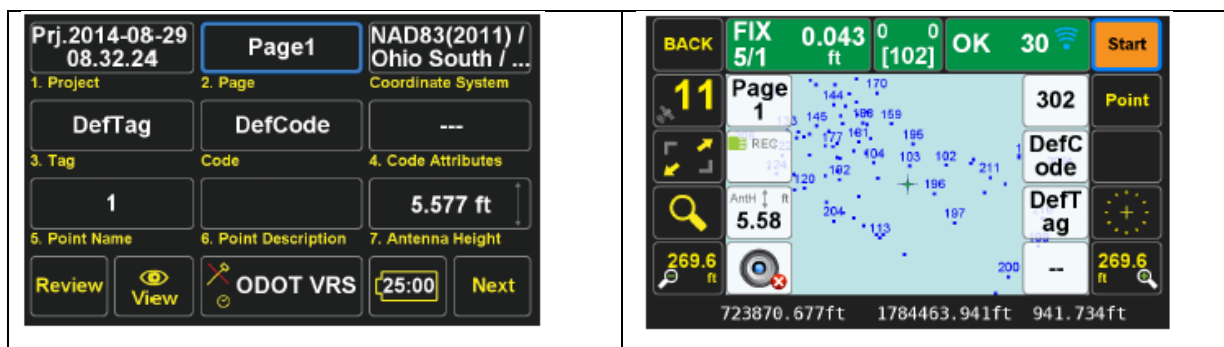
- notranji analizator spektrov (identificira prisotnost motenj signalov GNSS),
- notranji skener UHF,
- dve kameri (ena kaže na nadir in druga naprej),
- notranji kompenzator,
- notranji kompas,
- WiFi, Bluetooth,
- dva vhoda USB, reža za mikro kartico SD,
- svetilko LED,
- notranjo baterijo za 25 ur delovanja s polno osvetljenim zaslonom z enim polnjenjem (2 uri polnjenja zadostujeta za 2 dni opravljanja meritev na terenu),
- celoten sprejemnik tehta le 2,5 kilograma,
- 16 GB notranjega spomina,
- 4,3 palčni kapacitivni zaslon na dotik, ki ga varuje Dragontrail steklo,
- in operacijski sistem Windows Compact 7.

864 kanalov GNSS omogoča sprejemniku sprejemati vsak signal posamezno in sicer (Oset in Žula, 2015):

- GPS C/A, P1, P2, L2C (L+M), L5 (I+Q)
- Galileo E1 (B+C), E5A (I+Q), E5B (I+Q), AltBoc
- GLONASS C/A, L2C, P1, P2, L3 (I+Q)
- QZSS C/A, L1C(I+Q), L2C (L+M), L5 (I+Q), SAIF
- Beidou B1, B2
- SBAS L1, L5

Izmera GNSS: statična in RTK-metoda

Za potrebo diplomske naloge smo izvajali statično izmero GNSS z uporabo različnih anten.



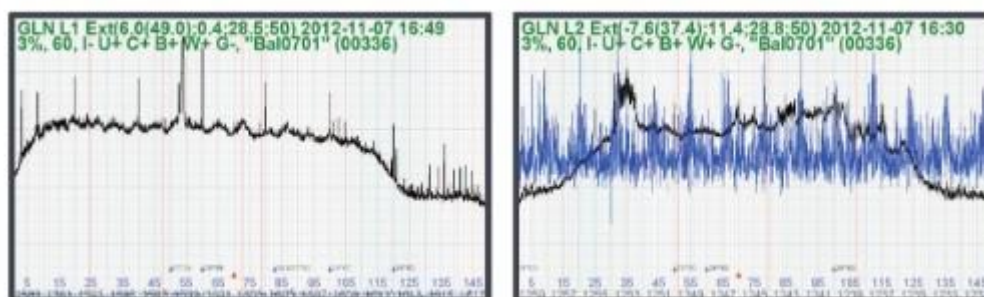
Slika 2: Izsek nastavitve meritev pri instrumentu Javad Triumph-LS

(Vir: <https://www.javad.com/downloads/javadgnss/manuals/hardware/Triumph-LS-Users-Guide.pdf>)

Na sliki 2 prikazujemo nastavitve za izvedbo meritev z instrumentom Javad Triumph-LS. Na zaslonu imamo grafično prikazane točke, katerim smo že določili položaj. Za vzpostavitev položaja novih točk je potrebno najprej opraviti inicializacijo (oznaka *fix*), da dobimo sprejemljivo kakovost izračuna koordinat, ko je fazna nedoločenost izračunana kot celo število. Pri RTK izmeri dobimo koordinate v realnem času, pri statični izmeri pa pridobimo koordinate z naknadno obdelavo.

Prednosti:

Pri instrumentih drugih proizvajalcev lahko pride do situacije, da zaradi namernih motenj ne zmorejo sprejemati opazovanj. Instrumenti proizvajalca Javad vključujejo možnost rešitev problema pred motnjami. Sprejemnik spremlja in poroča motnje grafično in številčno. Več kot 100 kanalov je namenjenih za stalno spremljanje motenj. Zaznavanje motenj je ključno pri izvajanju GNSS-opazovanj. Triumph-LS omogoča tudi varno delovanje GNSS v mestih, vojaških okoljih in na letališčih, saj ima vgrajeno rešitev, da namerne motnje signala GNSS zazna in jih odstrani.



Slika 3: Prikaz zaznavanja motenj

(Vir: https://www.javad.com/downloads/javadgnss/sheets/TRIUMPH-LS_Datasheet.pdf)

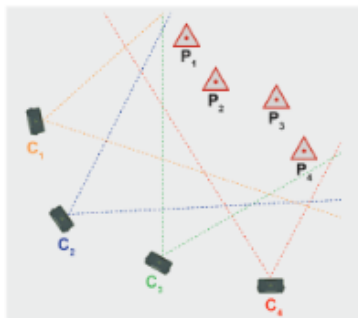
S pomočjo Triumph-VS kamere lahko vizualiziramo okolje, ki nam je v pomoč pri zakoličevanju novih točk. Na ekranu sprejemnika se pokaže zastavica, ki označuje kje v naravi se nahaja točka, ki jo želimo zakoličiti. Nato preklopimo nazaj v osnovni način, kjer lahko izvedemo meritve. Pri točkah si lahko ustvarimo tudi bližnjice, ki nam prikažejo ime točke, opis, vrednosti RMS, višino antene in pripravijo sliko k točki.



Slika 4: Prikaz vizualiziranega okolja

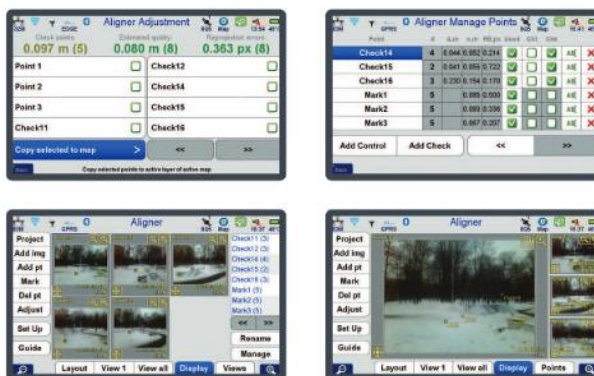
(Vir: https://www.javad.com/downloads/javadgnss/sheets/TRIUMPH-LS_Datasheet.pdf)

Določitev položajev točk lahko poteka tudi posredno s pomočjo fotogrametričnih postopkov, ko na podlagi notranje oz. zunanje kamere izračuna položaje točk.



Slika 5: Prikaz izračuna položaja točk

(Vir: https://www.javad.com/downloads/javadgnss/sheets/TRIUMPH-LS_Datasheet.pdf)



Slika 6: Fotogrametrični zajem točk

Pri faznih opazovanjih GNSS je osnova, da izračunamo število celih valov v faznih enačbah, na podlagi katerih se nadalje izračuna razdalja med satelitom in sprejemnikom. Pri RTK-metodi razrešitev fazne nedoločenosti poteka na začetku opazovanj, kjer rešitev temelji na uporabi dokaj kratkega časovnega intervala opazovanj. Na rezultat določitve fazne nedoločenosti lahko vplivajo tudi zunanji in nemodelirani vplivi na opazovanja. Največji zunanji vpliv je večpotje oziroma odboj signala od drugih objektov, ki povzroči povečanje razdalje od satelita do sprejemnika in vpliva na končno določitev položajev točk.

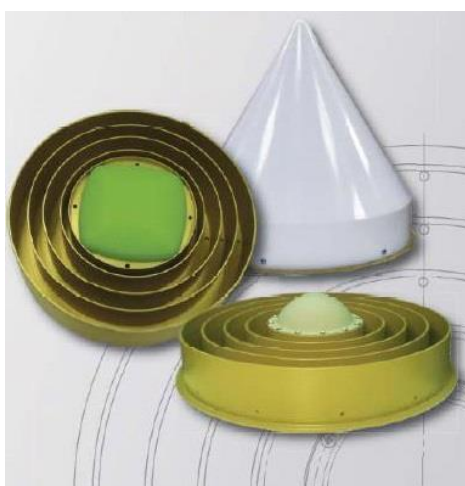
Triumph-LS vključuje strojno opremo, ki loči med direktnimi in indirektnimi signali, ki jih generirajo motilniki signalov GNSS. Vendar to ne velja za primer odboja signala od objektov. Drugi pomemben faktor pri določitvi celega števila valov v faznih enačbah je jakost signala GNSS. Pri tem je Javad naredil velik korak naprej in razvil programsko opremo po imenu J-Field, ki zazna tudi najšibkejši signal GNSS.

2.1.3 Slabosti:

Pri Javadu do sedaj še niso odkrili veliko slabosti. Največja pomanjkljivost, ki smo jo zaznali med meritvami je, da je zaslon zelo občutljiv in lahko že najmanjši dotik zunanega faktorja pomeni vklop nezaželene funkcije. Velja omeniti tudi to, da ima Javad v ohišje vgrajen inklinometer, ki ima slabost, da ga je potrebno vnaprej preizkusiti, če želimo govoriti o povsem kakovostni določitvi položaja.

2.2 Antena *choke ring*

Antena *choke-ring* je posebna oblika vsesmerne antene s kovinskim ohišjem, ki jo splošno uporabljamo pri meritvah z visokimi frekvencami. Sestavljena je iz več prevodnih koncentričnih valjev okrog osrednje antene, kar je vidno na sliki 7. Zaradi občutljive konstrukcije jo pogosto ob meritvah v naravi zaščitimo z zaščitnim pokrovom. Prednost anten je, da obroči onemogočajo sprejem od objektov odbitih signalov GNSS. Te vrste anten imajo nameščene stalne postaje GNSS oziroma jih uporabljamo pri izvedbi statične izmere GNSS, medtem ko so pri RTK-metodi izmere antene prevelike in nepraktične, da bi z njimi določali položaj.



Slika 7: Antena *choke ring* (Vir:

<https://surveyinstrumentsales.com/media/catalog/product/cache/1/image/512x512/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/i/ringant-g3t.png>)

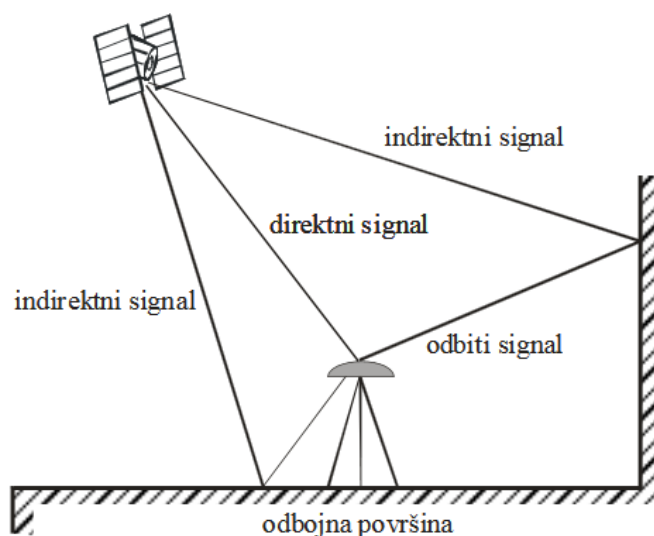
2.3 Statična izmera GNSS

Pri meritvah za namen diplomske naloge smo opravljali statično izmero, ki je najboljša metoda za določanje relativnega položaja. Opazovanja pri statični metodi so dolga med 30 in 120 minut in so odvisna od spremembe geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj (Stopar in Kogoj, 2005). Metodo lahko izvedemo v več serijah, če imamo na voljo manjše število sprejemnikov od števila točk, katerim določamo položaj. Število sprejemnikov, točk in število neodvisnih izmer posamezne točke nam narekuje število serij, potrebnih za izmero. Potrebno se je držati pravila, da vsako točko neodvisno opazujemo vsaj dvakrat, bolje je trikrat. Kot rezultat obdelave faznih opazovanj statične izmere pridobimo bazne vektorje med pari točk. S pomočjo matematičnih modelov v primerih modeliranja ionosferske refrakcije ter zanesljivih algoritmov za določitev neznanega števila celih valov, lahko ob izvedbi statičnih GNSS opazovanj pridobimo bazne vektorje dolžin d , ki so relativne natančnosti do $10^{-6} * d$, kar pa lahko ob uporabi preciznih efemerid satelitov izboljšamo tudi do $10^{-7} * d$. H končni visoki točnosti poleg že vseh opisanih elementov sodi tudi ustrezna obdelava opazovanj. Ko izravnamo bazne vektorje v mreži GNSS, lahko govorimo o končnih rezultatih statične izmere.

2.4 Vpliv večpotja na opazovanja GNSS

2.4.1 Lastnosti večpotja

Večpotje je pojav, ki nastane zaradi odboja satelitskih signalov od objektov in tal v bližini antene. Vpliv večpotja je največji v primerih, ko zraven točke, ki ji določamo položaj, najdemo kovinske konstrukcije ali vodo. S tem, ko se nekateri signali sprva odbijejo od ovire ter tako popačijo ostale, ki so bili sprejeti neposredno v sprejemnik, se poslabša tudi kakovost kodnih in faznih opazovanj. Izmerjena razdalja med satelitom in sprejemnikom je zaradi večpotja daljša od dejanske. Pri kodnih opazovanjih lahko govorimo o vplivu večpotja za polovico dolžine kode (150 m pri C/A kodi in 15 m pri P kodi). Fazna opazovanja so za razliko od kodnih precej manj obremenjena s pogreškom večpotja. Največja vrednost pogreška pri faznih opazovanjih znaša $\frac{1}{4}$ valovne dolžine, kar pri nosilnem valovanju L1 zavzame vrednost 4,8 cm (El-Rabbany, 2002). Vpliv večpotja spada med sistematične vplive, kar pomeni, da ga je pri absolutni določitvi položaja in RTK-meritvah zelo težko modelirati.



Slika 8: Odboj signala je odvisen od geometrijske situacije sprejemnik-moteči objekt-satelit

(Vir: http://drugg.fgg.uni-lj.si/782/1/GED_0203_KozmusTrajkovski.pdf)

V nadaljevanju predstavljamo linearni kombinaciji $MP1$ in $MP2$, ki vsebujeta kodna opazovanja P_1 , P_2 in nosilni valovanji na frekvencah L_1 in L_2 (fazna opazovanja), s pomočjo katerih lahko modeliramo in odstranimo vpliv napake satelitovih in sprejemnikovih ur ter troposferske in ionosferske refrakcije. Efektivni vrednosti $MP1$ in $MP2$ linearnih kombinacij nam v dolžinski enoti povesta, kolikšno odstopanje povzroči večpotje na opazovanje posamezne frekvence. Pri izračunu efektivne vrednosti v obliki korena srednjega kvadratnega pogreška RMS (angl. root mean square) se upošteva vsak satelit posebej in srednja vrednost vseh satelitov skupaj. V $MP1$ in $MP2$ lahko tako najdemo kodni šum (< 25 cm), fazno večpotje (< 7 cm) in fazni šum (< 2 mm), ki so precej manjši v primerjavi s kodnim večpotjem. Le-ta lahko znaša 10 do 15 m in ga v spodnjih enačbah ne najdemo (Jin in sod., 2014).

Linearni kombinaciji za $MP1$ in $MP2$ zapišemo kot (Jin in sod., 2014):

$$MP1 = P_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha-1}\right)L_1 + \left(\frac{2}{\alpha-1}\right)L_2 = M_1 + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha-1}\right)m_1 + \left(\frac{2}{\alpha-1}\right)m_2 \quad (1)$$

$$MP2 = P_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha-1}\right)L_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha-1} - 1\right)L_2 = M_2 + B_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha-1}\right)m_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha-1} - 1\right)m_2 \quad (2)$$

Pri čemer so:

$$B_1 = -\left(1 + \frac{2}{\alpha-1}\right)\eta_1\lambda_1 + \left(\frac{2}{\alpha-1}\right)\eta_2\lambda_2, \quad \alpha = \frac{f_1^2}{f_2^2} \quad (3)$$

$$B_2 = -\left(\frac{2\alpha}{\alpha-1}\right)\eta_1\lambda_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha-1} - 1\right)\eta_2\lambda_2, \quad \alpha = \frac{f_1^2}{f_2^2} \quad (4)$$

P_1, P_2 – kodna opazovanja,

L_1, L_2 – nosilni valovanji faznih opazovanj in

m_1, m_2 – fazno večpotje na frekvenci L_1 oziroma L_2 .

2.4.2 Variacije večpotja

Velikost odboja signala se spreminja glede na štiri parametre:

- dolžino valovne dolžine (λ),
- razmerja amplitude vala neposredno in posredno sprejetega signala (α),
- višinskega kota satelitov (ε) in
- višine antene (H).

Odvisnost od parametrov je predstavljena z enačbo:

$$\delta\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\alpha \sin(4\pi \frac{H}{\lambda} \sin \varepsilon)}{1 + \alpha \cos(4\pi \frac{H}{\lambda} \sin \varepsilon)} \right) = \delta\phi(\lambda, \alpha, \varepsilon, H) \quad (5)$$

A) Variacija večpotja glede na višinski kot satelitov

V splošnem že vemo, da se velikost odboja signala veča z nižjimi višinskimi koti satelitov. To lahko matematično opišemo z enačbo:

$$\delta\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\alpha \sin(M \sin \varepsilon)}{1 + \alpha \cos(M \sin \varepsilon)} \right) = \delta\phi(\alpha, M, \varepsilon) \quad (6)$$

pri čemer z M označimo parameter, ki je odvisen od višine antene in valovne dolžine.

$$M = 4\pi \frac{H}{\lambda}. \quad (7)$$

Kadar se višina antene (H) med meritvami ne spreminja, tudi parameter M ostaja nespremenjen. Zato je velikost večpotja takrat odvisna le od višinskega kota satelitov, kar lahko zapišemo z izrazom (Jin, in sod., 2014):

$$\frac{V_{\delta\phi}}{V_{\varepsilon}} = \frac{d\delta\phi/dt}{d\varepsilon/dt} = \frac{d\delta\phi}{d\varepsilon} = \frac{\frac{d}{d\varepsilon} \left(\frac{\alpha \sin(M \sin \varepsilon)}{1 + \alpha \cos(M \sin \varepsilon)} \right)}{1 + \left(\frac{\alpha \sin(M \sin \varepsilon)}{1 + \alpha \cos(M \sin \varepsilon)} \right)^2} \quad (8)$$

Enačbo lahko poenostavimo:

$$\frac{V_{\delta\phi}}{V_{\varepsilon}} = \frac{d\delta\phi}{d\varepsilon} = M\alpha \frac{\alpha \cos \varepsilon + \cos \varepsilon \cos(M \sin \varepsilon)}{((1+\alpha \cos(M \sin \varepsilon))^2)} \quad (9)$$

Iz zgornjih enačb lahko razberemo, da je funkcija večpotja signala na osnovi višinskega kota satelitov (ε) močno odvisna od višine antene (H), pri čemer je parameter M funkcija višine antene (H).

Ko je višinski kot satelita enak 0° ali $\frac{\pi}{2}$, velja:

$$\varepsilon = 0 \rightarrow \frac{d\delta\phi}{d\varepsilon} = M\alpha \frac{\alpha+1}{(1+\alpha)^2} = \frac{M\alpha}{1+\alpha} \quad (10)$$

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2} \rightarrow \frac{d\delta\phi}{d\varepsilon} = 0 \quad (11)$$

B) Variacije večpotja glede na višino antene

Spreminjanje velikosti večpotja glede na višino antene lahko zapišemo z enačbo (Jin in sod., 2014):

$$\frac{V_{\delta\phi}}{V_H} = \frac{d\delta\phi/dt}{dH/dt} = \frac{d\delta\phi}{dH} = \frac{\frac{d}{dH} \left(\frac{\alpha \sin(NH)}{1+\alpha \cos(NH)} \right)}{1 + \left(\frac{\alpha \sin(NH)}{1+\alpha \cos(NH)} \right)^2}, \quad (12)$$

kjer je N definiran, kot funkcija višinskega kota satelitov ε :

$$N = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \varepsilon. \quad (13)$$

Poenostavljeno zvezo med večpotjem in višino antene H lahko predstavimo kot:

$$\frac{V_{\delta\phi}}{V_H} = \frac{d\delta\phi}{dH} = N\alpha \frac{(\cos(NH)+\alpha)}{(\alpha+\cos(NH))^2 + \sin^2(NH)} \quad (14)$$

Kadar je višina antene enaka 0 m ($H = 0$), velja:

$$\frac{d\delta\phi}{dH} = N \frac{\alpha}{1+\alpha} \quad (15)$$

Velikost večpotja glede na odvisnost od višine antene bo enaka 0, kadar bo višinski kot satelitov enak:

$$\frac{d\delta\phi}{dH} = 0 \rightarrow N\alpha(\cos(NH) + \alpha) = 0 \rightarrow \begin{cases} \varepsilon = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{8H} \right) \\ \varepsilon = \sin^{-1} \left(\frac{3\lambda}{16H} \right) \end{cases} \quad (16)$$

2.4.3 Odboj signala – koda/faza

Ionosfersko refrakcijo lahko odstranimo z uporabo linearne kombinacije opazovanj GNSS, pri tem ostane le vpliv odboja signala od objekta. Pogrešek je odvisen od položaja satelita, objekta in opazovališča. Fazna in kodna opazovanja se glede na pojav odboja signala GNSS ločita in sicer:

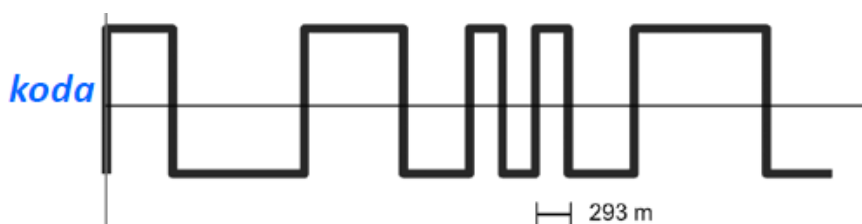
- vpliv na fazna opazovanja je za dve stopnji manjši od vpliva na kodna,
- lahko ima pozitiven ali negativen predznak ter
- tipična oblika večpotja ima sinusno obliko z amplitudo 9 m v času trajanja 6 – 10 minut.

Frekvenca večpotja je podana z enačbo:

$$f_{\text{večpotje}} = \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} = \frac{2h}{\lambda} \cos(\beta) \frac{d\beta}{dt} \quad (17)$$

A) Koda

Kodna opazovanja GNSS temeljijo na času potovanja signala od satelita do sprejemnika, ki ga določimo na podlagi avtokorelacije dveh kod (slika 9). Prvo kodo odda satelit, druga se generira v sprejemniku. Pri idealnem primeru bi bili vrednosti zamaknjeni le za čas potovanja signala, žal pa je ta čas obremenjen tudi z napakama satelitovih in sprejemnikove ure. Ti napaki ključno vplivata na geometrijsko razdaljo, ki jo imenujemo psevdorazdalja. Na vrednost psevdorazdalje vpliva tudi medij razširjanja signala in druge fizične ovire.



Slika 9: Kodna opazovanja, primer kode C/A
(Vir: Stopar, 2015)

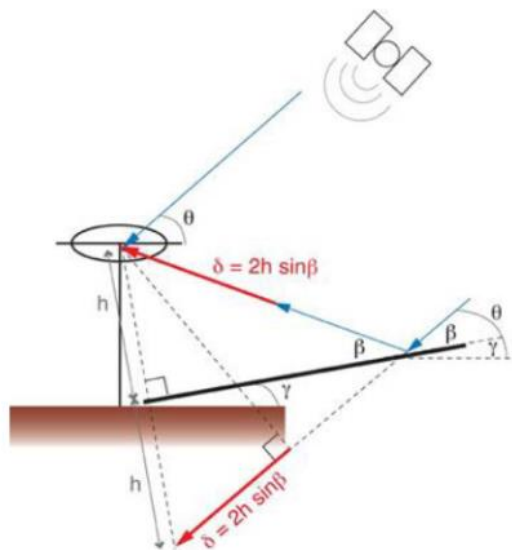
Eden izmed dejavnikov podaljšanja psevdorazdalje je odboj signala, kar prikazujemo na sliki 10. Podaljšanje poti razširjanja signala GNSS zaradi odboja lahko predstavimo z enačbo (Stopar, 2015):

$$\delta = 2h \cdot \sin(\beta), \quad (18)$$

kjer sta:

h – višina antene

β – naklon odbojne ploskve

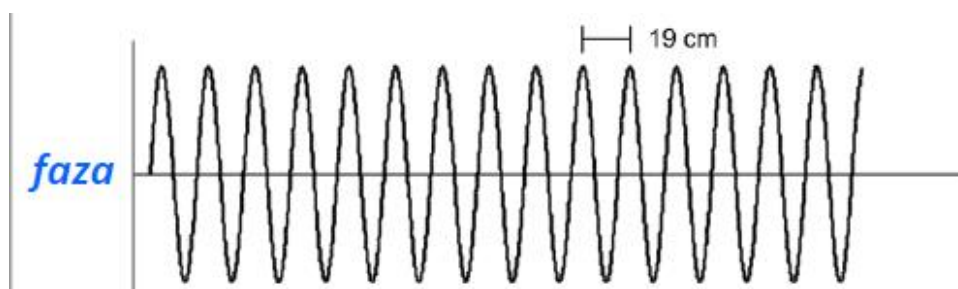


Slika 10: Odboj signala
(Vir: Stopar, 2015)

Največja vrednost večpotja pri kodnih opazovanjih znaša $\frac{1}{2}\lambda$, kar znaša pri C/A kodi 150 m in pri P kodi 15 m.

B) Faza

Fazna opazovanja (slika 11) delujejo na principu merjenja razlike faze dveh valovanj. Tako kot pri kodnih opazovanjih prvo odda satelit, drugo pa generira sprejemnik. Valovanji v osnovi veljata za identični. Ker poznamo tudi spremembo razdalje med satelitom in sprejemnikom, lahko določimo fazno razliko. V samem začetku ne moremo določiti vrednosti števila celih valov med satelitom in sprejemnikom, zato je potrebna naknadna obdelava opazovanj.



Slika 11: Fazna opazovanja
(Vir: Stopar, 2015)

Za izračun razdalje potrebujemo podatke o valovni dolžini valovanja, številu celih valov v začetni fazi opazovanj, fazi sprejetega in generiranega valovanja v sprejemniku. Na koncu pa seveda ne smemo pozabiti na pogoške in vplive, ki jih je potrebno upoštevati pri obdelavi faznih opazovanj.

Pri faznih opazovanjih je potrebno enačbo za odboj signala, ki jo najdemo pri kodnih opazovanjih, preoblikovati v enote valovne dolžine, kar v strokovnem jeziku imenujemo fazni zamik:

$$\Delta\varphi = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2h \cdot \sin(\beta)}{\lambda} \quad (19)$$

Skica odboja signala je enaka, kot pri kodnih opazovanjih (slika 22). Razlika je, le v tem, da sta ob predpostavki, da je instrument ves čas na istem mestu in na isti višini, pri faznih opazovanjih drugačni ključni količini:

- λ – valovna dolžina valovanja in
- β – vpadli kot indirektno prispelega signala GNSS.

Največji vpliv večpotja na fazna opazovanja znaša $\frac{1}{4}\lambda$, kar pomeni v praksi 4,8 cm pri L_1 -faznih opazovanjih.

2.4.4 Reševanje odboja signalov v praksi

Geodeti moramo na terenu delati ekonomično in strokovno. Na terenu pri izmerah velikokrat izvajamo RTK-metodo, pri kateri odboja signala ne moremo odstraniti enako kot pri obdelavi statičnih opazovanj, ki trajajo dlje časa od časovnega intervala trajanja odboja signala GNSS. Največje težave imamo pri kratkih baznih vektorjih, predvsem v času izvedbe inicializacije med izračunom fazne nedoločenosti. V tem primeru se pri RTK-metodi poslužimo trikratne neodvisne določitve položaja. Sprejemnik je potrebno vsakokrat inicializirati, med meritvami pa je dobro, da preteče več časa, kot traja odboj signala. V standardu ISO 17123-8 (ISO 17123-8, 2007) priporočajo ponovno določitev položaja po preteku od 20 do 25 minut.

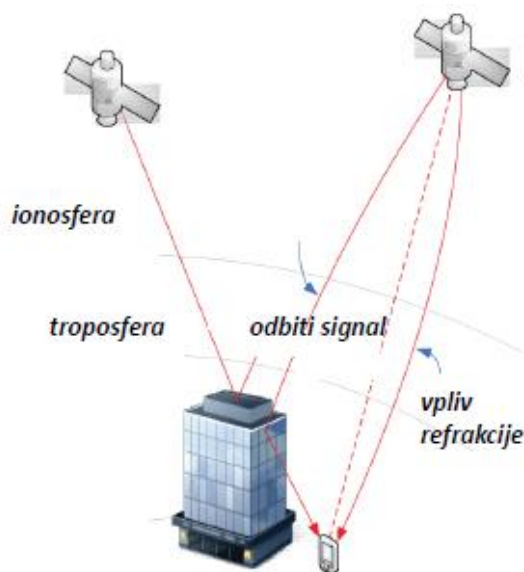
2.4.5 Modeliranje večpotja

Modeliranje večpotja lahko primerjamo z napovedjo rezultata nogometne tekme. Slutimo končen rezultat, žal pa ga z gotovostjo zaradi specifičnosti vsake posamezne tekme ne moremo napovedati. Tako tudi splošnega modela za pojav odboja signala GNSS ne poznamo. Z obdelavo opazovanj daljše časovne vrste pa ga lahko zaznamo in ocenimo. Pri oceni si pomagamo z obdelavo kodnih in faznih opazovanj na več frekvencah.

Hkrati moramo pri oceni velikosti pogreška večpotja predpostaviti, da:

- sta pogreška troposferske refrakcije in urinih tekov (sateliti, sprejemniki) enakega velikostnega reda za kodna in fazna opazovanja,
- sta vpliv odboja signala in ionosferske refrakcije odvisna od frekvence nosilnega valovanja.

Na sliki 12 shematično prikazujemo, da je modeliranje večpotja težavno, saj so signali GNSS obremenjeni tudi z drugimi vplivi.



Slika 12: Vplivi na signal GNSS
(Vir: Stopar, 2015)

2.4.6 Zmanjšanje vpliva večpotja

Velikost večpotja je odvisna od:

- ovir v bližini točke (poskrbimo, da v bližini ni kovinske ovire ali vode),
- višinskega kota satelitov (želimo odstraniti sprejem signalov nizkoletečih satelitov),
- azimuta satelitov (ustrezna geometrija satelitov),
- izbire ustrezne antene (izstopata antena s krožnikom, imenovana *ground plane* in antena *choke ring*),
- uporabe sprejemnika (nekateri sprejemniki omogočajo odstranitev pogreška večpotja, velja za fazna opazovanja)

- vrste opazovanj GNSS (statična metoda izmere >> kinematična metoda izmere),
- časa trajanja opazovanj (daljši kot je čas opazovanj, manjši je vpliv večpotja (statična izmera)),
- neodvisne določitve položaja iste točke (pri RTK izmeri se v praksi poslužimo trikratne neodvisne določitve položaja točke) in
- načina obdelave (uporaba ustreznih programskih paketov).

Pri statični izmeri GNSS se pogrešek večpotja pri obdelavi prenese v popravke opazovanj in neznanke, saj še ga žal ne znamo modelirati.

Kinematična izmera se pri obravnavi pogreška precej razlikuje od statične. Tukaj se pogrešek večpotja hitreje prenese v določitev koordinat točke, zato je potrebno izvesti večkratno neodvisno izmero na točkah.

2.5 Program *TEQC*

Program *TEQC* so razvili in ga vzdržujejo znanstveniki konzorcija UNAVCO (angl. University Navstar Consortium) v ZDA. Služi za reševanje težav z GPS, GLONASS in SBAS datotek pred obdelavo. V reševanje težav spada prevajanje, urejanje in preverjanje kakovosti datotek. Nas je najbolj zanimalo preverjanje kakovosti (angl. *quality check*), kjer smo pridobili podatke o velikosti odboja signala (večpotje) pri opazovanju z različnimi vrstami anten in ugotavljali, kateri dejavniki najbolj vplivajo na velikost večpotja. Kakovost lahko preverjamo pri statičnih in kinematičnih dvo-frekvenčnih opazovanjih. S pomočjo linearne kombinacije kodnih in faznih opazovanj lahko na nosilnem valovanju L_1 izračunamo pogrešek večpotja za kodi C/A in P, na nosilnem valovanju L_2 pogrešek večpotja P-kode, geometrijski popravek, ki zmanjša vpliv ionosferske refrakcije na opazovanja in ionosferski popravek, ki ugotavlja prisotnost nenadnih skokov signala (angl. *cycle slips*) v opazovanjih (Ogaja in Hedfors, 2007).

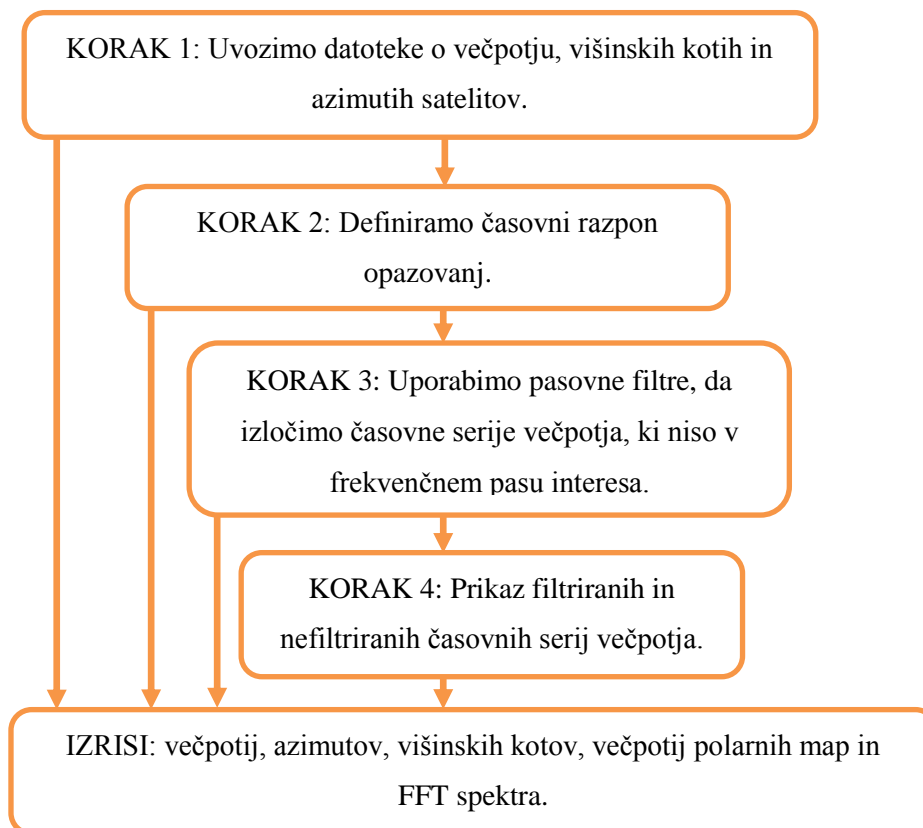
V izhodnih datotekah lahko najdemo informacije o efektivnih vrednostih večpotja (**.mp1*, **.mp2*), o razmerju šuma proti signalu (**.sn1*, **.sn2*), zamudi potovanja signala skozi ionosfero (**.ion*), odvodu zamude potovanja signala skozi ionosfero (**.iod*), različnih višinskih kotih satelitov (**.ele*), azimutih satelitov (**.azi*) in ostale uporabne parametre in statistike.

Datoteke iz vseh GNSS-sprejemnikov lahko kakovostno preverimo, če jih imamo shranjene v formatu RINEX (angl. *Receiver Independent Exchange*) ali v katerem izmed različnih binarnih formatov, ki so značilni za posameznega izdelovalca sprejemnikov GNSS.

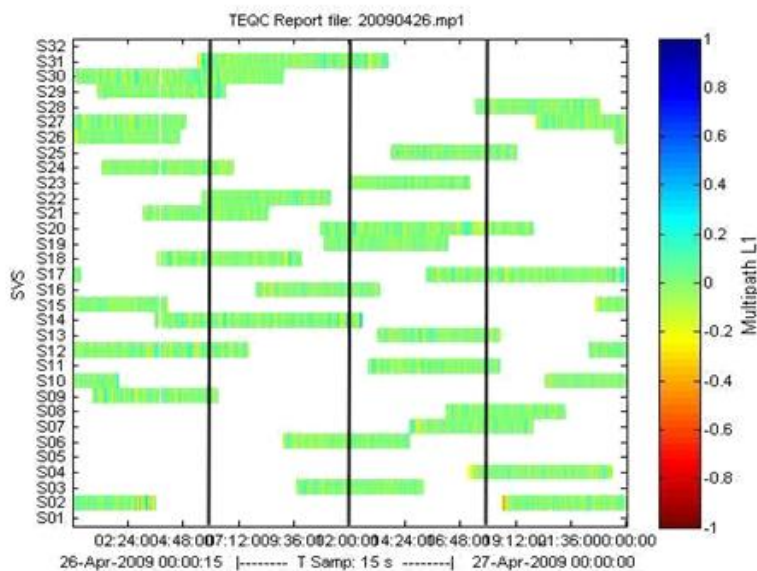
Izhodne datoteke, ki jih dobimo s pomočjo programa *TEQC*, si lahko ogledamo s programom *QCVIEW* v sistemu DOS (pridobimo ga lahko s spletne strani UNAVCO) in številnih ostalih programih, ki so nam manj znani (Hilla 2002, 2004, GT v UNIX sistemu). Programi omogočajo, da preverimo kakovost, ko smo na terenu ali v času odločanja izbire lokacije meritev. Poročilo o večpotju in razmerju šuma proti signalu je še posebej pomembno za posamezne lokacije, kjer zaradi okolja oz. instrumenta hitro pride do slabih rezultatov določitve položaja.

Poznavanje, kateri satelit GNSS povzroči največja nihanja v velikosti večpotja, je pomembna informacija pri razumevanju optimalne geometrije satelitov na neki lokaciji. UNAVCO je zato napisal programsko kodo po imenu *TEQCSPEC*, ki nam pomaga pri analizi dejavnikov, ki vplivajo na večpotje. V diplomski nalogi smo uporabljali podoben program *TEQCSPEC*-u po imenu *Leica SPIDER QC*.

Postopek analize je sestavljen iz štirih korakov:

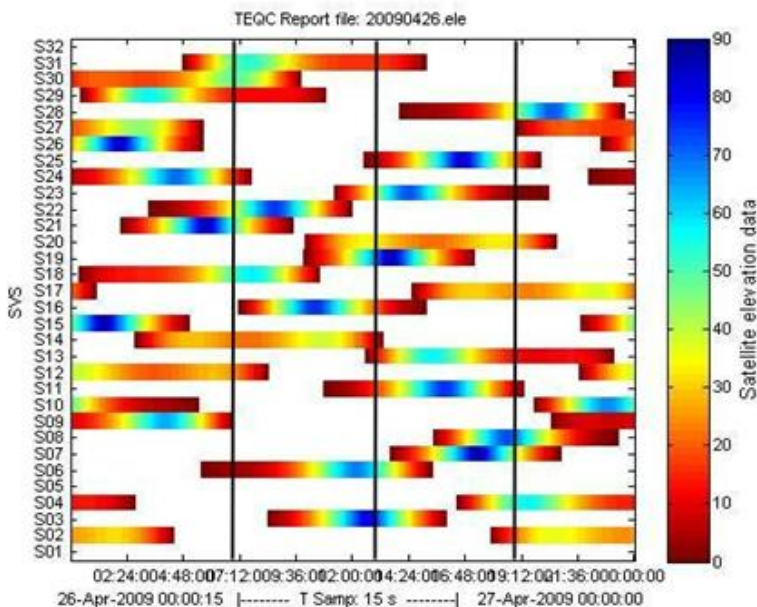


Na slikah 13 do 15 prikazujemo nekaj primerov izrisov s pomočjo programa, napisanega v Matlabu, ki ga nudi UNAVCO.



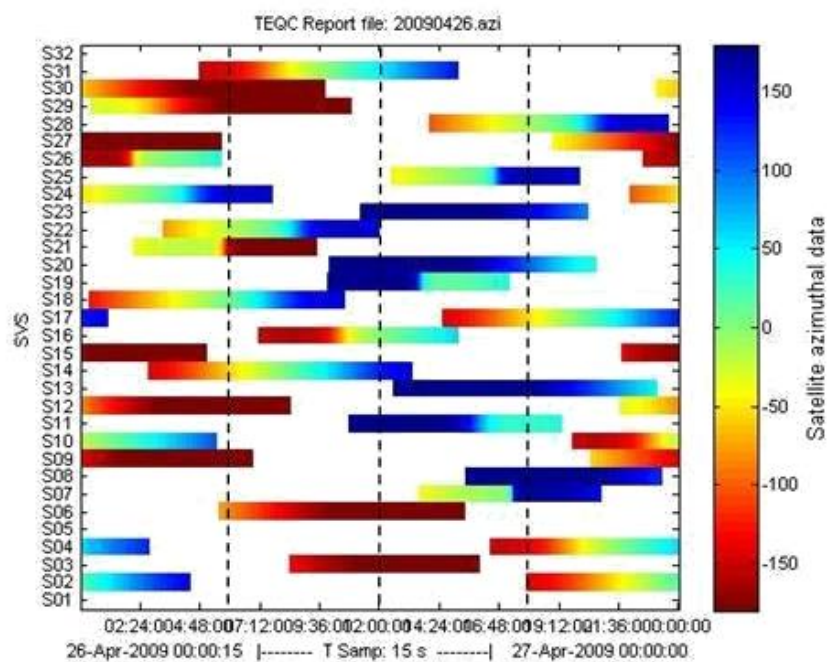
Slika 13: Vpliv večpotja na nosilno valovanje L_1
(Vir: Ogaja in Hedfors, 2007)

Tukaj je prikazan vpliv večpotja na nosilno valovanje L_1 za vsak satelit z barvo, ki ji pripada glede na barvno lestvico (enote so metri).



Slika 14: Višinski koti satelitov v določenem času
(Vir: Ogaja in Hedfors, 2007)

Na sliki 14 prikazujemo izris, kjer so glede na barvo v legendi predstavljeni višinski koti satelitov v določenem času.



Slika 15: Azimuti satelitov v določenem času

(Vir: Ogaja in Hedfors, 2007)

Na sliki 15 vidimo, da lahko grafično predstavimo tudi azimute posameznih satelitov.

3 TERENSKO DELO

Za delovišče smo izbrali streho Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Točki na strehi smo poimenovali A in B ter ju določili blizu kovinske ovire, ki naj bi motila sprejem signala GNSS in bi lahko bila vzrok za odboj signala GNSS (slika 16). Predpostavili smo, da odboj signala GNSS od tal ne bi smel vplivati na končne rezultate, saj smo v vseh primerih uporabili isto podlago pod točkami. Meritve smo izvajali 3 dni s sprejemnikom Javad Triumph-LS, v podobnih vremenskih pogojih in približno ob istih časih.

Prva opazovanja GNSS, pri katerih smo preverjali kakovost, smo pridobili 29. 2. 2016. Pri tem smo uporabili tri različne vrste anten. V 1. seriji smo na točki A uporabili notranjo anteno instrumenta Javad Triumph-LS, na točki B pa anteno s kovinskim ohišjem (*choke ring*), za katero smo predpostavili, da je najmanj občutljiva glede odboja signala od ovire. V 2. seriji smo anteno s kovinskim ohišjem zamenjali z zunanjo anteno in tako preverili, ali dobimo rezultate boljše kakovosti glede na prejšnji dve situaciji.



Slika 16: Prikaz delovišča na strehi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo: točki A in B

Drugič smo terenske meritve naredili 2. 3. 2016, ko smo pridobili opazovanja z notranjo anteno sprejemnika Javad Triumph-LS. Instrument smo postavili na točko A in odboj signala omilili s tem, da smo kovinsko oviro pokrili z rjuho.



Slika 17: Izvajanje opazovanj GNSS ob pokritju kovinske ovire z belo rjuho

Meritve z dne 8. 3. 2016 smo izvedli na točki A ob uporabi notranje antene sprejemnika Javad Triumph-LS. V tem primeru smo spremenili le to, da smo kovinsko oviro pokrili z lesom in tako preverili, kako pomaga les pri omilitvi odboja signala.



Slika 18: Izvajanje opazovanj GNSS ob pokritju kovinske ovire z leseno ploščo

4 OBDELAVA OPAZOVANJ

Na terenu smo z instrumentom Javad Triumph-LS izvedli statična opazovanja, ki so trajala različno dolgo. Ker smo želeli pridobiti rezultate, ki bi jih lahko med seboj primerjali, smo vsa opazovanja s pomočjo programa *WinTEQC* skrajšali na 1 uro.

Nato je sledila obdelava statičnih opazovanj v programskem paketu LGO. Cilj obdelave je bil, da pridobimo koordinate točk A in B na podlagi obdelave faznih opazovanj do določitev baznih vektorjev in nadalje koordinat točk. Sprva smo bazne vektorje računali glede na navezavo na stalno postajo omrežja SIGNAL v Ljubljani (GSR1) in drugič z navezavo na VRS (angl. *Virtual Reference Station*), katera opazovanja nam je generiralo omrežje stalnih postaj SIGNAL. Iz teorije že vemo, da so opazovanja, ki so vezana na fizično postavljeno bazno stojišče bolj obremenjena s pogreškom večpotja kot opazovanja, vezana na VRS točko. S končnimi rezultati smo tako pridobili dejanske vrednosti in ocenili, koliko metoda obdelave opazovanj vpliva na zmanjšanje pogreška večpotja.

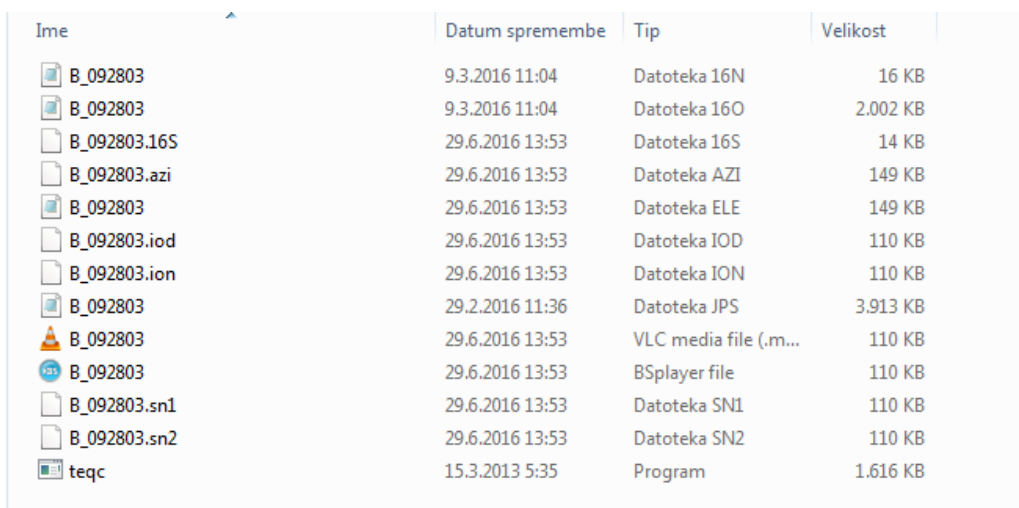
Tretji programski paket, ki smo ga uporabili v nalogi, je že prej natančneje predstavljeni *TEQC*. Ta nam je pomagal pri preverjanju kakovosti opazovanj GNSS. Kot rezultate nam je posređoval izhodne datoteke, v katerih so bile zapisane efektivne vrednosti večpotja **.mp1* in **.mp2*, ki so nam služile kot glavni kriterij pri razlikovanju kakovosti GNSS opazovanj ob uporabi različnih anten. Primer uporabe programa predstavljamo na sliki 19.



```
Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Use pravice pridržane.
C:\Users\Uporabnik>cd C:\diploma\choke ring 29_2
C:\diploma\choke ring 29_2>teqc +qc B_092803.16o
```

Slika 19: Prikaz zagona programa *TEQC* v komandnem oknu

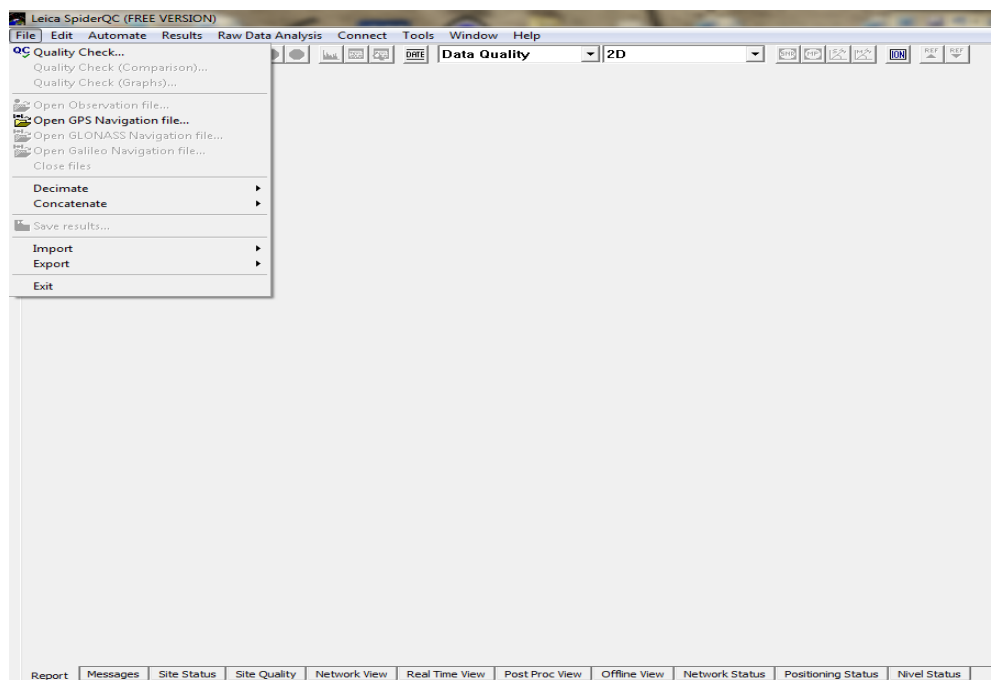
Nato se nam med drugim tudi v komandnem oknu izpišeta efektivni vrednosti *MP1* in *MP2*. V mapi, kjer smo imeli shranjeno datoteko RINEX se nam pojavijo nove datoteke (tudi **.mp1* in **.mp2*) (slika 20).



Ime	Datum spremembe	Tip	Velikost
B_092803	9.3.2016 11:04	Datoteka 16N	16 KB
B_092803	9.3.2016 11:04	Datoteka 16O	2.002 KB
B_092803.16S	29.6.2016 13:53	Datoteka 16S	14 KB
B_092803.azi	29.6.2016 13:53	Datoteka AZI	149 KB
B_092803	29.6.2016 13:53	Datoteka ELE	149 KB
B_092803.iod	29.6.2016 13:53	Datoteka IOD	110 KB
B_092803.ion	29.6.2016 13:53	Datoteka ION	110 KB
B_092803	29.2.2016 11:36	Datoteka JPS	3.913 KB
B_092803	29.6.2016 13:53	VLC media file (.m...	110 KB
B_092803	29.6.2016 13:53	BSplayer file	110 KB
B_092803.sn1	29.6.2016 13:53	Datoteka SN1	110 KB
B_092803.sn2	29.6.2016 13:53	Datoteka SN2	110 KB
teqc	15.3.2013 5:35	Program	1.616 KB

Slika 20: Izpis vseh izhodnih datotek iz programa *TEQC*

Sledil je izris rezultatov preverjanja kakovosti, ki smo ga naredili v programskem paketu *Leica SPIDER QC*, kar prikazujemo na sliki 21. Uvozili smo enourne datoteke opazovanj v formatu RINEX, s katerimi je program izdelal poročilo kakovosti.



Slika 21: Preverjanje kakovosti v programskem paketu *Leica SPIDER QC*

5 REZULTATI

5.1 Primerjava koordinat točk glede na referenčno točko

A) Primerjava koordinat točke A glede na referenčno točko

V preglednici 1 podajamo koordinate točke A glede na dve različni referenčni točki, ki smo jo dobili z obdelavo statičnih opazovanj GNSS. Za izračun koordinat točke A smo uporabili opazovanja z dne 8. 3. 2016, ko smo kovinsko oviro pokrili z leseno ploščo in izvedli meritve z notranjo anteno. Rezultate smo pridobili s pomočjo obdelave v programskem paketu LGO.

GSR1 – stalno delujoča postaja v Ljubljani

VRS – virtualna referenčna točka

Preglednica 1: Koordinate točke A iz LGO, ETRS89

Referenčna točka	φ	λ	h [m]
GSR1	46° 02' 44,344935" S	14° 29' 41,302685" V	366,250
VRS	46° 02' 44,344948" S	14° 29' 41,302726" V	366,264

V preglednici 2 najdemo izravnane koordinate pretvorjene s programom *SiTraNet*, v D96/TM koordinatnem sistemu.

Preglednica 2: Izravnane koordinate točke A pretvorjene s *SiTraNet*, D96/TM

Referenčna točka	n [m]	e [m]	H [m]
GSR1	100.774,129	460.902,155	319,835
VRS	100.774,130	460.902,155	319,849

Normalno ortometrično višino (H) pridobimo iz elipsoidne ob uporabi modela SLOG2000 (Pribečević, 2000).

Medtem, ko smo v horizontalnem položaju pridobili skoraj identične rezultate, smo pri uporabi opazovanj s fizične stalno delujoče postaje GSR1 oziroma virtualne postaje VRS v višinskem smislu dobili rezultate, ki so se razlikovali za 1,5 cm.

B) Primerjava koordinat točke B glede na referenčno točko

Tako kot v preglednici 1 tudi v preglednici 3 podajamo koordinate točke B, ki smo jih dobili z obdelavo statičnih opazovanj GNSS. Za izračun koordinat točke B smo uporabili opazovanja, pridobljena 29. 2. 2016, ko smo meritve izvedli z anteno s kovinskim ohišjem. Obdelava je prav tako potekala v programskem paketu LGO.

Preglednica 3: Izravnane koordinate točke B iz LGO, ETRS89

Referenčna točka	φ	λ	h [m]
GSR1	46° 02' 44.387881" S	14° 29' 41,433648" V	366,056
VRS	46° 02' 44.387972" S	14° 29' 41,433799" V	366,071

Preglednica 4: Izravnane koordinate točke B pretvorjene s SitraNet, D96/TM

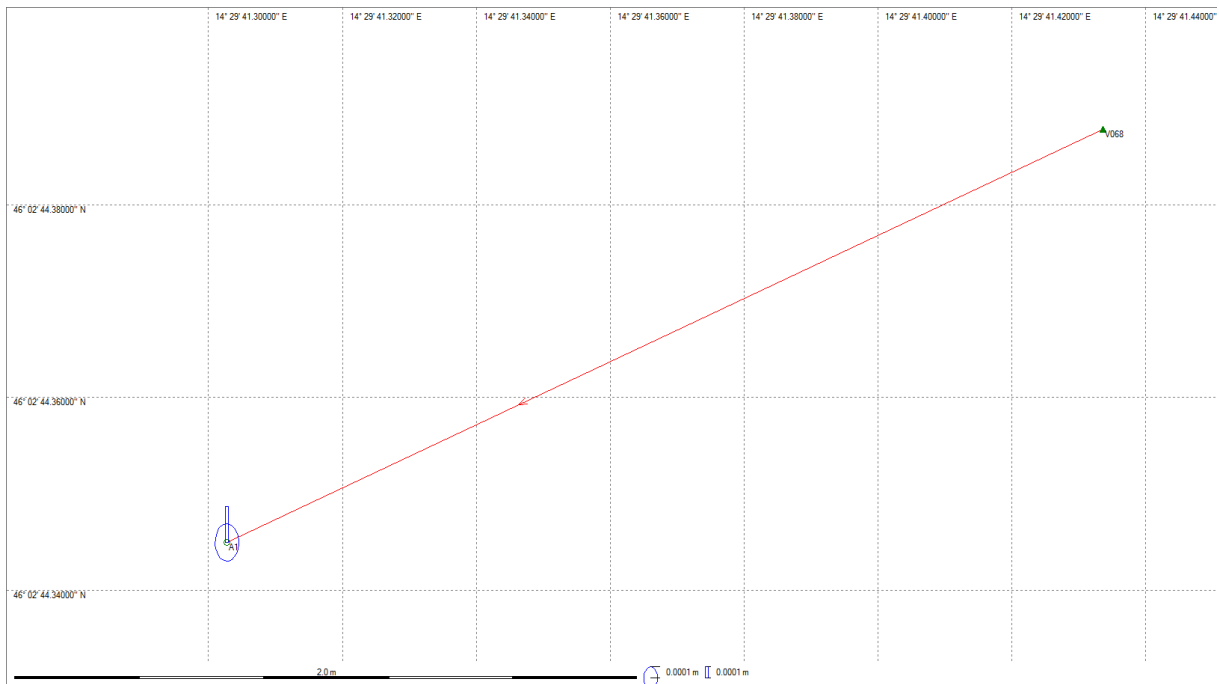
Referenčna točka	n [m]	e [m]	H [m]
GSR1	100775.437	460.904,977	319,641
VRS	100775.438	460.904,981	319,656

Iz rezultatov lahko vidimo, da so položajna odstopanja koordinat točk A in B v horizontalnih smereh ob uporabi različnih referenčnih točk zelo majhna ($\Delta \leq 4\text{mm}$). Pri višinski komponenti so odstopanja v rangu 1,5 cm. Kot boljše rezultate štejemo tiste, pridobljene s pomočjo stalno delujoče postaje, saj se naša stalno delujoča postaja v Ljubljani (GSR1) nahaja dovolj blizu (20 km) Fakultete za gradbeništvo in geodezijo ter tako omogoča kakovostno obdelavo opazovanj. Pri virtualni referenčni točki (VRS) nastane težava pri modeliranju troposferske refrakcije, kar prinese prej predstavljeno razliko v rezultatih.

Na spodnjih slikah lahko vidite standardne elipse pogreškov, ki povedo, da so rezultati v horizontalni smeri podani z natančnostjo desetinke milimetra. Ker bi bilo v ravnini težko podati natančnosti za vse komponente hkrati, je natančnost (desetinke milimetra) višinske komponente podana z vertikalno črto.



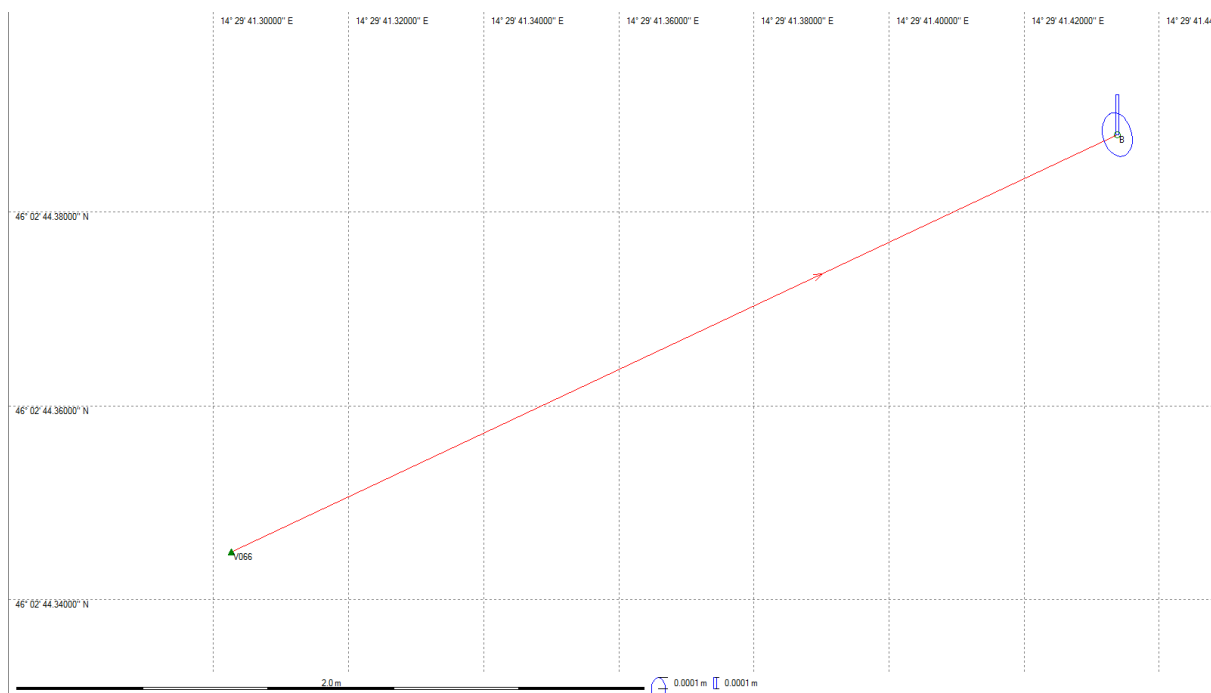
Slika 22: Standardna elipsa pogreškov pri obdelavi točke A s pomočjo stalno delujoče postaje



Slika 23: Standardna elipsa pogreškov pri obdelavi točke A s pomočjo virtualne referenčne točke



Slika 24: Standardna elipsa pogreškov pri obdelavi točke B s pomočjo stalno delujoče postaje



Slika 25: Standardna elipsa pogreškov pri obdelavi točke B s pomočjo virtualne referenčne točke

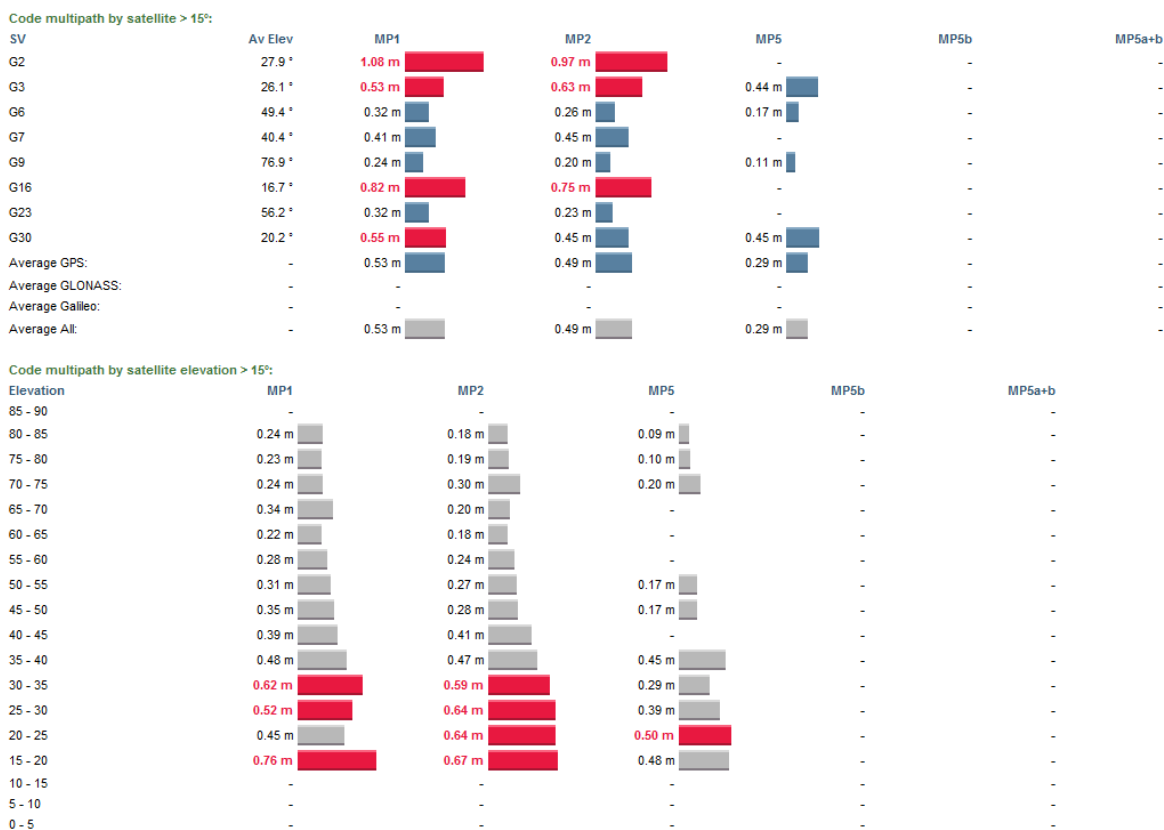
5.2 Preverjanje kakovosti opazovanj ob uporabi različnih anten

V preglednici 5 podajamo rezultate pregleda enournih opazovanj GNSS ob uporabi različnih anten, pridobljene s programom *TEQC*.

Preglednica 5: Rezultati preverjanja kakovosti enournih opazovanj GNSS s programom *TEQC*

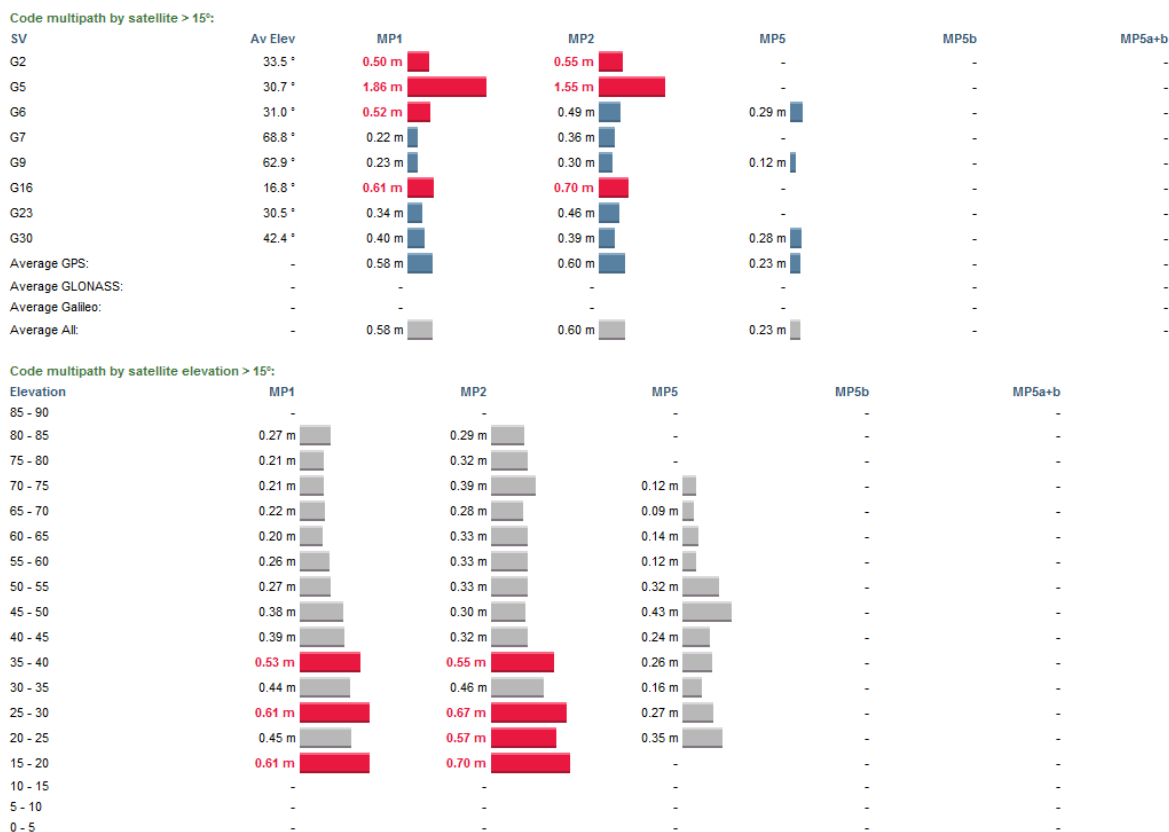
Antena	MP1 [m]	MP2 [m]	MP5 [m]	Št. satelitov GPS	Interval registracije [s]
Notranja antena 1. serija	0,53	0,49	0,29	10	5
Notranja antena 2. serija	0,58	0,60	0,23	9	1
Antena s kovinskim ohišjem	0,46	0,44	0,17	9	5
Zunanja antena	0,47	0,42	0,34	8	5
Notranja-rjuha	0,41	0,45	0,40	7	5
Notranja-les	0,47	0,47	0,22	8	5

Na spodnjih slikah so prikazani izrisi preverjanja kakovosti enournih opazovanj GNSS ob uporabi različnih anten v programskem paketu *Leica SPIDER QC*. Vidimo lahko koliko večpotja so prinesli sateliti na različnih višinskih kotih. Vrednosti, ki so obarvane v rdečo, izstopajo v negativno smer in so večje od povprečne vrednosti, ravno obratno pa velja za vrednosti v modri oz. sivi barvi.



Slika 26: Izris preverjanja kakovosti enournih GNSS opazovanj ob uporabi notranje antene v prvi seriji

Na sliki 26 prikazujemo preverjanje kakovostni opazovanj GNSS ob uporabi notranje antene v 1. seriji meritev. Največji doprinos k skupni vrednosti večpotja pri uporabi notranje antene v 1. seriji, če ne upoštevamo satelitov z višinskimi koti pod 15°, je prinesel satelit G2, ki se je povprečno nahajal na višinskem kotu 27,9°. Vidimo lahko, da je največja povprečna vrednost večpotja zapisana pri MP1, sledi MP2 in kot zadnji MP5. Z druge preglednice se da zelo lepo razbrati, kako se manjšajo vrednosti večpotja z večanjem višinskih kotov satelitov.



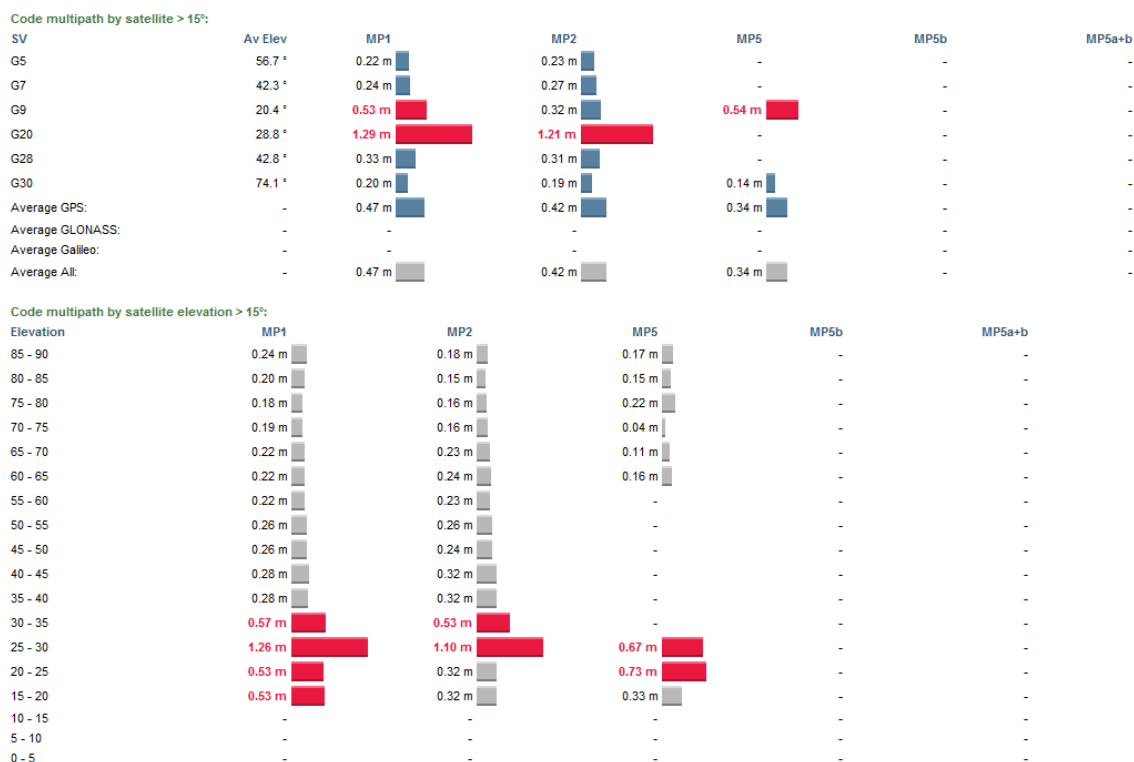
Slika 27: Izris preverjanja kakovosti enournih GNSS opazovanj ob uporabi notranje antene v drugi seriji

Na sliki 27 prikazujemo preverjanje kakovostni opazovanj GNSS ob uporabi notranje antene v 2. seriji meritev. V dani situaciji izstopa satelit G5, ki je povzročil kar za 1 m večjo večpotje od ostalih satelitov. Zanimivo je, da je tukaj za razliko od prve serije, kjer je bila največja povprečna vrednost zapisana pri MP1, v ospredju povprečna vrednost MP2. Po preverjanju kakovosti vseh opazovanj lahko opazimo, da so nam opazovanja z notranjo anteno v 2. seriji dala najslabši rezultat.



Slika 28: Izris preverjanja kakovosti enournih GNSS opazovanj ob uporabi antene s kovinskim ohišjem

Na sliki 28 prikazujemo rezultate preverjanja kakovosti opazovanj GNSS, ko smo uporabili anteno s kovinskim ohišjem. Izstopajo visoke vrednosti večpotja pri satelitih G5 in G16. Ostale povprečne vrednosti pri uporabi različnih anten so skupno najnižje in so potrdile hipotezo, da se antena s kovinskim ohišjem najbolje obnese pri odstranjevanju signala, ki se odbija od objektov. Tudi pri anteni s kovinskim ohišjem se vrednosti večpotja z večanjem višinskega kota satelitov sorazmerno manjšajo.



Slika 29: Izris preverjanja kakovosti enournih opazovanj GNSS ob uporabi zunanje antene

Na sliki 29 prikazujemo rezultate preverjanja kakovosti opazovanj ob uporabi zunanje antene GNSS. Uporaba zunanje antene bi bila odlična možnost, če se ne bi pojavilo veliko večpotje pri sprejemu signala s satelita G20. Zanimivost pri zunanji anteni je ta, da so največjo večpotje povzročili sateliti, ki so se nahajali na višinskem kotu med 25° in 30°, kar ni bilo značilno za nobeno drugo anteno. Rezultati pri zunanji anteni ne zaostajajo bistveno za anteno s kovinskim ohišjem, so pa precej boljši od rezultatov pri dveh serijah z notranjo anteno.



Slika 30: Izris preverjanja kakovosti enournih opazovanj GNSS ob uporabi not. ant. in bele rjuhe

Na sliki 30 prikazujemo rezultate preverjanja kakovosti opazovanj GNSS ob uporabi notranje antene instrumenta. Pri pokritju kovinske ovire z belo rjuho vidimo, da sta v rdečem območju satelita G9 in G14. Gre pa to rdečo območje v precej manjši ekstrem, kot pri opazovanjih, kadar kovinska ovira ni bila zaščitena. V spodnji preglednici je prikazano, da so vse do višinskega kota 35° vrednosti večpotja *MP1* in *MP2* v rdečem, neželenem območju.



Slika 31: Izris preverjanja kakovosti enournih GNSS opazovanj ob uporabi not. ant. in les. plošče

Iz izrisov na sliki 31 vidimo, da tudi, ko smo kovinsko oviro pokrili z leseno ploščo vrednost večpotja ni nikjer preseгла 1 m. Za največjo težavo se je izkazal satelit G13, ki se je povprečno nahajal na višinskem kotu 29°. Tako kot pri pokritju kovinske ovire z belo rjuho so tudi tukaj povprečne vrednosti večpotja precej manjše od vrednosti, ko kovinske ovire nismo zaščitili. S tema dvema preizkusoma smo dokazali, da se za izboljšanje kakovosti določitve položaja točke splača vsako oviro, ki bi lahko motila sprejem signala zaščititi z nevtralnimi materialom.

Kot lahko vidimo, so pričakovano najslabši rezultati pri obeh serijah meritev z notranjo anteno. Antena s kovinskim ohišjem je opravičila sloves najboljšje izmed izbranih anten glede filtriranja signala, ob primerjanju rezultatov pa ji je zelo blizu tudi zunanja antena. Zelo pomemben podatek je, da sta rezultata, ko smo kovinsko oviro pokrili z belo rjuho oz. leseno ploščo precej boljše od tistih dveh kadar tega nismo storili. V izrisih lahko zelo lepo vidimo, kako na velikost večpotja vpliva višinski kot satelitov. Optimalno bi bilo, da bi pri opazovanjih GNSS uporabili, le satelite z velikim višinskim kotom.

6 ZAKLJUČEK

Pri prvi postavljeni hipotezi smo preverili kakovost opazovanj GNSS, če meritve izvajamo z antenami različnih kakovosti. Tekom dela smo prišli do zaključka, da z uporabo boljših anten res lahko zmanjšamo vpliv odboja signala od objektov. Kot je predstavljeno v rezultatih, smo opazovanja najboljše kakovosti pridobili z uporabo antene s kovinskim ohišjem, sledila je zunanja antena in potem notranja antena instrumenta Javad Triumph-LS. Prva hipoteza je tako prestala preizkus in jo lahko potrdimo.

V drugi hipotezi smo preverjali, če se vpliv odboja signala od objekta zmanjša, kadar kovinsko ovoje pokrijemo z belo rjuho oz. leseno ploščo. Tudi to hipotezo lahko brez večjih težav potrdimo.

Smo pa hkrati ob obeh preizkusih glede hipotez preverili tudi druge dejavnike, ki vplivajo na končni rezultat določitve položaja točke. Tako smo ugotovili, da uporaba virtualne referenčne točke pri obdelavi v našem primeru ne prinese boljših rezultatov od navezave na fizično postavljeno stalno delujočo postajo. Med rezultati lahko zaznamo, kako zelo pomemben je višinski kot satelitov oziroma geometrija razporeditve satelitov na obzorju pri vplivu odboja signala od objekta. Potrebno je poskrbeti, da pri opazovanjih izberemo satelite z višinskim kotom večjim od 15° . V želji po še boljših rezultatih lahko kot povečamo.

Tekom naloge smo dobili precej idej za nadaljnje delo v smeri preverjanja kakovosti opazovanj GNSS v odvisnosti od uporabe različnih anten. Predlagali bi, da se naslednjič izvedejo opazovanja GNSS na različnih lokacijah istočasno. Nam je žal to preprečilo pomanjkanje instrumentarija. Hkrati bi bilo zanimivo preveriti, kako delujejo instrumenti različnih proizvajalcev pri istem preizkusu, v različnih delih dneva, z različnimi časovnimi intervali serij, v različnih vremenskih pogojih. Veljalo bi tudi preveriti, ali višina antene in usmerjenost le-te vpliva na velikost odboja signala od objekta.

V zaključni misli lahko vse napisano strnemo in ugotovimo, da je na področju tehnologije GNSS potrebno izvesti še precej raziskav ugotavljanja vplivov na opazovanja in istočasno iskati rešitve za zmanjšanje vplivov, ki jih ne moremo enostavno modelirati.

VIRI

El-Rabbany, A. 2002. Introduction to GPS: the Global Positioning System. Boston, London, Artech House: 176 str.

Javad Triumph.- LS. 2016. Data Sheet.

https://www.javad.com/downloads/javadgnss/sheets/TRIUMPH-LS_Datasheet.pdf (Pridobljeno 14.8.2016)

Jin, S., Cardellach, E., Xie, F. 2014. GNSS Remote Sensing.- Theory, Methods and Applications. Springer, Dodrecht, Heidelberg, New York, London: str. 25-28.

Mednarodni standard ISO 17123-8, 2007. Optic and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments. Part 8: GNSS field measurement systems in real time kinematic (RTK). ISO 17123-8: 2007.

Ogaja, C., Hedfors, J. 2007. TEQC multipath metrics in MATLAB. GPS Solutions, Vol.11, Nr. 3: str. 215-222.

Oset, K., Žula, B., 2015. Predstavitev delovanja novega instrumenta GNSS Javad. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 5 str.

Stopar, B. 2015. GNSS v geodeziji. Ljubljana, Univerzitetni študij, geodezija in geoinformatika, del študijskega gradiva: loč. pag.

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