

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:

Lovenjak, S., 2015. Analiza natančnosti in uporabnosti enofrekvenčnih GNSS-senzorjev. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Stopar, B., somentor Kozmus Trajkovski, K.): 40 str.

Datum arhiviranja: 06-10-2015

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:

Lovenjak, S., 2015. Analiza natančnosti in uporabnosti enofrekvenčnih GNSS-senzorjev. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Stopar, B., co-supervisor Kozmus Trajkovski, K.): 40 pp.

Archiving Date: 06-10-2015

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:

**KLEMEN LOVENJAK**

**ANALIZA NATANČNOSTI IN UPORABNOSTI  
ENOFREKVENČNIH GNSS-SENZORJEV**

Diplomska naloga št.: 107/GIG

**ACCURACY AND APPLICABILITY OF SINGLE-  
FREQUENCY GNSS SENSORS**

Graduation thesis No.: 107/GIG

**Mentor:**

prof. dr. Bojan Stopar

**Somentor:**

asist. dr. Klemen Kozmus Trajkovski

Ljubljana, 24. 09. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

Ta stran je namenoma prazna.

## **IZJAVE**

Podpisani Klemen Lovenjak izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Analiza natančnosti in uporabnosti enofrekvenčnih GNSS-senzorjev«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 21. 9. 2015

Klemen Lovenjak

Ta stran je namenoma prazna.

## BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

<b>UDK:</b>	528.5:629.783(497.4)(043.2)
<b>Avtor:</b>	Klemen Lovenjak
<b>Mentor:</b>	prof. dr. Bojan Stopar
<b>Somentorja:</b>	asist. dr. Klemen Kozmus Trajkovski asist. Gašper Štebe
<b>Naslov:</b>	Analiza natančnosti in uporabnosti enofrekvenčnih GNSS-senzorjev
<b>Tip dokumenta:</b>	diplomska naloga – univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema:</b>	40 str., 29 sl., 17 pregl.
<b>Ključne besede:</b>	natančnost, uporabnost, GNSS, enofrekvenčni sprejemnik, ročni sprejemnik, pametni telefon, GIS sprejemnik, ISO 17123-8, kinematični preizkus

### Izvleček

Ena osnovnih nalog geodezije je natančna določitev položaja (koordinat) v terestričnih koordinatnih sistemih. Zaradi hitrega tehnološkega napredka in razvoja satelitske geodezije lahko danes to nalogo izvajajo tudi uporabniki, ki ne poznajo konceptov satelitskega pozicioniranja. A ne zanima nas le položaj, zelo pomembna je tudi položajna kakovost. Trenutno niti GNSS-sistemi niti GNSS-sprejemniki ne zagotavljajo ustreznih podatkov o kakovosti pridobljenega položaja. Osrednja motivacija za nastanek naloge je ravno pomanjkanje teh podatkov.

V diplomski nalogi so predstavljeni osnovni koncepti kodnih opazovanj GNSS. Opisani so sistemi in podsistemi GNSS, ki se jih poslužujejo enofrekvenčni sprejemniki.

Pripravili smo dva preizkusa položajne kakovosti: statični in kinematični način. Oba smo izvedli v »skoraj popolnih« in zahtevnih razmerah za sprejem satelitskega signala.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

- UDC:** 528.5:629.783(497.4)(043.2)
- Author:** Klemen Lovenjak
- Supervisor:** prof. dr. Bojan Stopar, PhD
- Co-advisors:** asist. dr. Klemen Kozmus Trajkovski, PhD  
asist. Gašper Štebe
- Title:** Accuracy and Applicability of Single-Frequency GNSS Sensors
- Document type:** Graduation Thesis – University studies
- Notes:** 40 p., 29 fig., 17 tab.
- Key words:** accuracy, applicability, GNSS, single-frequency receiver, hand-held receiver, smartphone, GIS receiver, ISO 17123-8, kinematic test

**Abstract**

One of the basic tasks of geodesy is determination of accurate position (coordinates) in terrestrial coordinate systems. Due to a rapid technological and satellite geodesy development, also a common user nowadays is able to find out his position accurately, despite not being familiar with concepts of satellite aided positioning. Besides position itself, the position quality is of great importance. We may stress that nor GNSS nor GNSS-receivers do not provide relevant information regarding quality of acquired position.

Absence of relevant information about positioning quality was the motivation for our testing of few GNSS sensors, available in present-day single-frequency GNSS receivers. GNSS and supporting systems, used by single-frequency GNSS receivers are also described.

Two tests were set up for testing position quality: static and kinematic mode. Both were conducted in »near perfect« and difficult conditions. for the reception of satellite signal.



## ZAHVALA

Mentorju prof. dr. Bojanu Stoparju ter somentorjema asist. dr. Klemnu Kozmusu Trajkovskemu in Gašperju Štebetu se zahvaljujem za pomoč in podporo pri nastajanju diplomske naloge.

Za posojene sprejemnike se zahvaljujem doc. dr. Dušanu Petroviču, Leonu Kogelniku, Alenu Šraju in Biotehniški fakulteti, ki mi je omogočila testiranje sprejemnika GIS. Zahvaljujem se tudi g. Alojzu Škvarči, ki mi je pomagal pri delu s tem sprejemnikom.

Posebna zahvala gre Urošu Hekiću za pomoč pri izdelavi aplikacije za beleženje koordinat v mobilnem operacijskem sistemu Windows Phone 8.1.

Zahvaljujem se tudi g. Albinu Mencinu, Leonu Kogelniku in Alenu Šraju za pomoč pri izvedbi preizkusov.

Ob zaključku dodiplomskega študija se zahvaljujem štipenditorju, podjetju Merilo d. o. o., za finančno podporo.

**KAZALO VSEBINE**

Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	V
Bibliographic-documentalistic information and abstract	VI
Zahvala	VII
Kazalo vsebine	VIII
Kazalo slik	IX
Kazalo preglednic	X
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 TEORETIČNE OSNOVE</b> .....	<b>2</b>
2.1 Koordinatni sistemi in časovni sistemi	2
2.2 GNSS	3
2.3 Signal GPS	4
2.4 Princip določitve položaja v GNSS	5
2.5 Vplivi na opazovanja GNSS	7
2.6 Podporni sistemi GNSS	9
<b>3 PREIZKUŠANI INSTRUMENTI</b> .....	<b>11</b>
3.1 Qstarz BT-Q1000P in BT-Q1300S	11
3.2 i-gotU GT-800 Pro, GT-820 Pro in GT-900	12
3.3 Apple iPhone 5s	14
3.4 Nokia Lumia 620	15
3.5 LG Optimus G E975	16
3.6 Leica Zeno 10	17
<b>4 PREIZKUS</b> .....	<b>18</b>
4.1 Statični preizkus	18
4.2 Kinematični preizkus	22
4.3 Delovišča	23
4.4 Težave pri praktični izvedbi	25
<b>5 REZULTATI</b> .....	<b>26</b>
5.1 Qstarz BT-Q1000 in BT-Q1300S	27
5.2 i-gotU GT-800 pro, GT-820 pro in GT-900	28
5.3 Apple iPhone 5s, Nokia Lumia 620 in LG Optimus G E975	32
5.4 Leica Zeno 10	34
<b>6 ANALIZA</b> .....	<b>35</b>
6.1 Statični preizkus	35
6.2 Kinematični preizkus	36
6.3 Povzetek	36
<b>7 ZAKLJUČEK</b> .....	<b>37</b>
<b>VIRI</b> .....	<b>38</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Segmenti GNSS	3
Slika 2: Princip trilateracije	5
Slika 3: Izračun razdalje satelit-sprejemnik	5
Slika 4: Plasti atmosfere	7
Slika 5: Vpliv večpotja	7
Slika 6: Volumen tetraedra med sateliti se povezuje z DOP faktorji	8
Slika 7: Vpliv geometrije satelitov	8
Slika 8: Omrežja SBAS	9
Slika 9: Omrežje zemeljskih postaj EGNOS	10
Slika 10: Shema delovanja A-GPS	10
Slika 11: Qstarz BT-Q1000P	11
Slika 12: Qstarz BT-Q1300S	11
Slika 13: i-gotU GT-820 Pro	12
Slika 14: i-gotU GT-800 Pro	12
Slika 15: i-gotU GT-900	13
Slika 16: Uporabniški vmesnik aplikacije gpsRecorder	14
Slika 17: Apple iPhone 5s	14
Slika 18: Nokia Lumia 620	15
Slika 19: Uporabniški vmesnik zasnovane aplikacije	15
Slika 20: LG Optimus G E975	16
Slika 21: Uporabniški vmesnik aplikacije GPS NMEA Logger	16
Slika 22: Dlančnik Leica Viva CS10	17
Slika 24: Testna baza po ISO 17123-8	18
Slika 24: Izvajanje kinematičnega preizkusa	22
Slika 25: Sistem SmartPole	22
Slika 26: Pritrditev sprejemnikov na ravno nosilno ploskev	22
Slika 27: Steber FGG1	23
Slika 28: Steber FGG4	23
Slika 29: Testna baza pri statičnem preizkusu v parku Tivoli	24

---

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Tehnične in druge lastnosti sprejemnikov BT-Q1000P in BT-Q1300S	11
Preglednica 2: Tehnične in druge lastnosti sprejemnikov GT-800 Pro in GT-820 Pro	12
Preglednica 3: Tehnične in druge lastnosti sprejemnika GT-900	13
Preglednica 4: Tehnične in druge lastnosti pametnega telefona iPhone 5s	14
Preglednica 5: Tehnične in druge lastnosti pametnega telefona Lumia 620	15
Preglednica 6: Tehnične in druge lastnosti pametnega telefona LG Optimus G E975	16
Preglednica 7: Tehnične in druge lastnosti GIS sprejemnika Zeno 10	17
Preglednica 8: Koordinate uporabljenih stebrov v državnem koordinatnem sistemu D96/TM24	
Preglednica 9: Koordinate baznih točk v parku Tivoli v državnem koordinatnem sistemu D96/TM	24
Preglednica 10: Shematični prikaz cenilk pri statičnem preizkusu	26
Preglednica 11: Shematični prikaz cenilk pri kinematičnem preizkusu.	26
Preglednica 12: Rezultati preizkusov BT-Q1000 in BT-Q1300S v »skoraj popolnih« pogojih	27
Preglednica 13: Rezultati preizkusov GT-800 pro, GT-820 pro in GT-900 v »skoraj popolnih« pogojih	28
Preglednica 14: Rezultati preizkusov GT-820 pro in GT-900 v oteženih pogojih	29
Preglednica 15: Rezultati preizkusov iPhone 5s, Lumia 620 in Optimus G E975 v »skoraj popolnih« pogojih	32
Preglednica 16: Rezultati preizkusov iPhone 5s, Lumia 620 in Optimus G E975 v oteženih pogojih	32
Preglednica 17: Rezultati statičnega preizkusa Leica Zeno 10	34

## 1 UVOD

F. R. Helmert je geodezijo definiral kot vedo o izmeri in kartiranju zemeljske površine. Z napredkom znanosti je geodezija sčasoma prerasla svoje prvotne okvirje in se specializirala za izvajanje specifičnih nalog.

Danes med temeljne probleme geodezije uvrščamo:

- določitev natančnih globalnih, regionalnih in lokalnih tridimenzionalnih koordinat točk
- določitev težnostnega polje Zemlje in funkcij tega
- merjenje in modeliranje geodinamičnih pojavov. (Seeber, 2003)

Pojav satelitske geodezije je v geodeziji povzročil pravo revolucijo. Satelitska geodezija in radionavigacija sta sicer povzročili radikalne spremembe na številnih drugih področjih, zato se z njima srečujemo tudi v vsakdanjem življenju. Danes lahko nezahtevni uporabnik globalne koordinate zelo preprosto določi z namenskimi GNSS-sprejemniki, običajno pa tudi s pomočjo pametnega telefona. Hiter razvoj metod satelitske geodezije v navezi z razmahom elektronike zagotavlja vedno natančnejše in cenovno dostopnejše sprejemnike.

A enostavnost določanja koordinat prinaša tudi nekatere težave. Povprečni uporabnik je s koncepti satelitske geodezije slabo seznanjen, zato težko ovrednoti kakovost pridobljenih koordinat. Problem predstavlja tudi pomanjkljiva tehnična dokumentacija sprejemnikov GNSS. Proizvajalci pametnih telefonov ne navajajo podatkov o natančnostih GNSS-senzorjev, marveč le naštevajo sisteme, katerih signal uporabljajo. Zavajajoči so tudi podatki proizvajalcev o natančnosti koordinat, ki je običajno višja od dejanske. Nekritični uporabnik zato pogosto uporabi ta zapisan podatek kot dejansko natančnost koordinat.

Omenjene težave so bile glavno vodilo za izdelavo te diplomske naloge. Naš cilj je bil ovrednotenje natančnosti nekaterih enofrekvenčnih GNSS-senzorjev, s katerimi se danes srečujejo nezahtevni uporabniki.

V raziskavi smo obravnavali 9 GNSS-senzorjev: 5 sprejemnikov, namenjenih za prostočasne aktivnosti, 3 pametne telefone in 1 sprejemnik GIS. Slednjih se pri svojem delu poslužujejo ustanove, ki pridobivajo podatke o položaju v različnih aplikacijah GIS: gozdarska, komunalna podjetja ipd.

V diplomski nalogi so najprej predstavljeni nekateri teoretični pojmi, ki jih potrebujemo za celovito predstavitev tematike. Sledijo predstavitve instrumentov in opravljenih preizkusov. V sklepnem delu analiziramo rezultate testiranj.

## 2 TEORETIČNE OSNOVE

### 2.1 Koordinatni sistemi in časovni sistemi

Koordinate predstavlja  $n$ -terica števil, ki določajo položaj točk v  $n$ -razsežnostnem prostoru. S koordinatami podajamo položaj točke v prostoru.

Koordinatni sistem je množica (matematičnih) pravil, ki definira, kako se bodo koordinate dodelile posameznim točkam (Kuhar, 2014).

Za geodezijo je eden najpomembnejših koordinatnih sistemov *ITRS* (International Terrestrial Reference System). Izhodišče ima v masnem središču Zemlje, orientacija osi pa je usklajena z orientacijo sistema BIH (Bureau International de l'Heure) za epoko 1984. Za časovne spremembe je podana zahteva, da je vsota vseh rotacij tektonskih plošč na Zemeljski obli enaka 0. (IERS, 2015a) *ITRS* realizirajo različice *ITRF* (International Terrestrial Reference Frame). Realizacija poteka preko referenčnih postaj (geodetskih observatorijev), na katerih so upoštevani vsi znani vplivi (tektonika litosferskih plošč, gibanje polov, plimovanje trdne Zemlje...) na položaj. Trenutno je aktualna različica *ITRF08* iz leta 2008 (IERS, 2015b).

Matični referenčni sistem GPS je *WGS-84* (World Geodetic System 1984). Izhodišče ima v težišču Zemlje,  $z$ -os predstavlja smer dogovorjenega Zemeljskega pola CTP (Conventional Terrestrial Pole), ki ga je definiral BIH (fr. Bureau International de l'Heure, ang. International Time Bureau).  $X$ -os je usmerjena proti presečišču BIH začetnega meridiana in ravnine ekvatorja,  $y$ -os pa je izbrana tako, da je sistem desnosučen. Definicijo dopolnjuje *WGS-84* referenčni elipsoid. Zadnja realizacija sistema je *WGS-84 (G1674)*, realizacija stanja na dan 1.1.2012. Ta sovпада s sestavo *ITRF2008* z ocenjeno natančnostjo pod 1 cm (Kuhar, 2014).

Obravnavani GNSS sprejemniki so večinoma podajali geodetske (elipsoidne) koordinate ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) v koordinatnem sistemu *WGS-84*. A te koordinate so neuporabne za potrebe preizkusa, zato smo jih preračunali v državni ravninski koordinatni sistem *D96/TM*.

V slovenskem državnem koordinatnem sistemu *D96/TM* je referenčna ploskev elipsoid *GRS80*, ki je s prečno Mercatorjevo projekcijo preslikana na plašč valja, ki se elipsoida dotika na 15. poldnevniku. Izhodišče koordinatnega sistema v Mercatorjevi projekciji v slovenskem državnem koordinatnem sistemu je presečišče srednjega meridiana cone (15. meridian) in ekvatorja,  $n$ -os (angl. northing) predstavlja projekcijo srednjega meridiana cone in je usmerjena proti severu,  $e$ -os (angl. easting) predstavlja projekcijo ekvatorja in je usmerjena proti vzhodu, tako je koordinatni sistem levosučen (Petrovič, 2013).

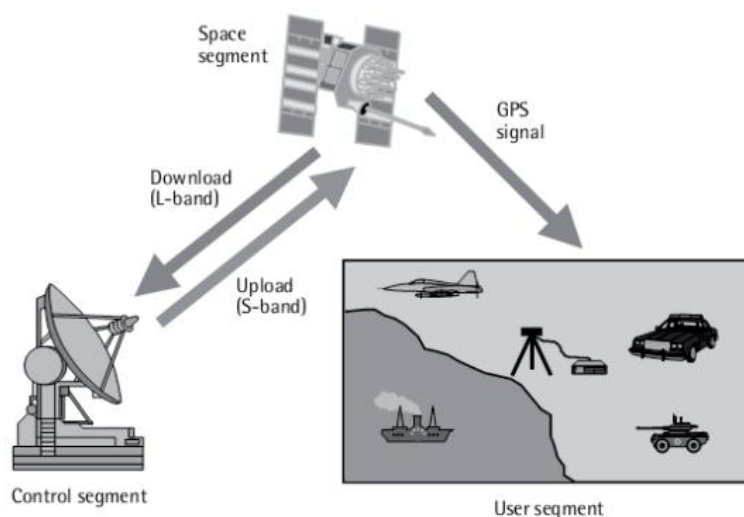
V satelitski geodeziji in radionavigaciji je poleg koordinatnega sistema ključen tudi časovni sistem. Najpogosteje uporabljen časovni sistem je *UTC* (Universal Time Coordinated), ki je osnova splošno priznanega pasovnega časa. Vzdržuje se na atomskih urah in velja za uradni čas na Zemlji. Svoje časovne sisteme poznajo tudi GNSS. GPS je splošno znan zgolj po navigacijski komponenti, zelo pomembna pa je tudi časovna komponenta, ki je nujno potrebna za navigacijo. Podatek o točnem času pa je tudi vse pomembnejši podatek v vsakdanjem življenju v sodobni družbi.

## 2.2 GNSS

GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) je tehnologija določanja položaja na podlagi sprejema radijskih signalov s satelitov, ki krožijo okoli Zemlje. Najbolj uveljavljen sistem GNSS je GPS, ki ga je v 80. letih začelo vzpostavljati obrambno ministrstvo ZDA. Podoben sistem, imenovan GLONASS, so vzpostavili v takratni Sovjetski zvezi. Sistem Galileo je civilni projekt GNSS, ki ga razvija Evropska unija (Kozmus Trajkovski, 2009).

Vsakega od sistemov sestavljajo trije segmenti (GPS.gov, 2015) (Seeber, 2003):

1. *Vesoljski* segment predstavljajo sateliti, ki uporabnikom prenašajo informacije z uporabo elektromagnetnih valovanj. Večina jih na višini približno 20.000 km dvakrat dnevno obkroži Zemljo.
2. *Kontrolni* segment je skupina postaj na Zemlji, ki nadzorujejo in upravljajo satelite.
3. *Uporabniški* segment sestavljajo GNSS-sprejemniki, ki sprejemajo signal satelitov in uporabljajo prejete podatke za izračun položaja in časa v trenutku sprejema.



Slika 1: Segmenti GNSS

(Vir: [http://what-when-how.com/wp-content/uploads/2012/02/tmpD2\\_thumb1.jpg](http://what-when-how.com/wp-content/uploads/2012/02/tmpD2_thumb1.jpg))

Sprejemniki, ki smo jih testirali, se poslužujejo sistemov GPS in GLONASS.

GPS (Global Positioning System) je prvi GNSS. Začetki vzpostavitve segajo v 70. leta, v čas hladne vojne. Prvotno je bil GPS namenjen za vojaško uporabo, a so ZDA odobrile uporabo tudi za civilne uporabnike. Za geodetske namene so sistem prvič uporabili leta 1983 (Seeber, 2003).

Vesoljski segment tvori 24 satelitov, ki so razporejeni v 6 ravnin. V času pisanja je v orbitah 31 satelitov GPS različnih generacij (US Coast Guard, 2015).

Dodatni sateliti pripomorejo k boljši pokritosti Zemlje s signalom.

V okviru GPS je vzpostavljen eden najnatančnejših časovnih sistemov. Čas tega sistema je atomski čas, ki je bil 6.1.1980 sinhroniziran z UTC. Ker se ne usklajuje za prestopne sekunde (usklajevanje s srednjim sončevim časom), se razlika med časoma nenehno povečuje. Trenutno ta razlika znaša 17 s (Confluence, 2015).

Časovna skala sistema GPS se sicer izračunava kot ena od količin v postopku ocene ur in tirnic satelitov. Sistemski čas se šteje v t.i. GPS-tednih in sekundah v okviru tekočega tedna. Tedni začnejo teči v noči s sobote na nedeljo (Kuhar, 2014).

GLONASS (GLObalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema) je ruski odgovor na ameriški GPS. Snovati so ga začeli ob koncu 70. let, sistem pa je začel delovati 24. 9. 1993. Zaradi gospodarskih težav, ki so sledile razpadu Sovjetske zveze, je bil razvoj sistema v 90. letih upočasnjen. Vesoljski segment tvori 24 satelitov, ki so razporejeni v 3 ravnine. Princip delovanja je enak kot pri GPS. Sistema sicer delujeta v različnih koordinatnih in časovnih sistemih, kar otežuje interoperabilnost (Stopar, 2014).

Sistemi GNSS so sicer danes masovno uporabljani na različnih področjih. Za povprečnega uporabnika so zanimivi predvsem sprejemniki, ki se uporabljajo za prosti čas, ter pametni telefoni z GNSS-senzorji. Primeri obojih so predstavljeni v nadaljevanju diplomske naloge.

### 2.3 Signal GPS

GPS je satelitski radionavigacijski sistem, ki zagotavlja natančno določanje položaja v treh dimenzijah, navigacijo in podatek o točnem času. Sistem je neprekinjeno na voljo uporabnikom po celem svetu in je neodvisen od vremenskih razmer.

Radijski signal, ki ga pri GNSS oddajajo sateliti, sicer predstavljamo na primeru GPS. Tudi preostali sistemi delujejo na podobnih načelih.

Sateliti oddajajo signal na več nosilnih valovanjih.

Osnovna frekvenca v GPS, iz katere izhajajo vse druge frekvence, znaša  $f_0 = 10,23$  MHz. Frekvence nosilnih valovanj so vzpostavljene z množenjem osnovne frekvence.

$$f_{L1} = f_0 \cdot 154 = 1575,42 \text{ MHz} \rightarrow \lambda_{L1} = 19,0 \text{ cm}$$

$$f_{L2} = f_0 \cdot 120 = 1227,60 \text{ MHz} \rightarrow \lambda_{L2} = 24,4 \text{ cm}$$

$$f_{L5} = f_0 \cdot 115 = 1176,45 \text{ MHz} \rightarrow \lambda_{L5} = 25,5 \text{ cm} \text{ (Stopar, 2014)}$$

Na nosilno valovanje so z modulacijo nanešene merske in navigacijske kode. Signal na L1 je za navigacijo najpomembnejši, saj največ aplikacij uporablja signale, ki jih prenaša ta frekvenca. Sestavljajo ga nosilno valovanje L1, merska koda C/A (Coarse Acquisition) koda, merska koda P (Precise) in navigacijsko sporočilo (navigacijska koda) (Trimble, 2015). Vsakemu satelitu sta dodeljeni unikatni merski kodi C/A in P. Koda C/A je zaporedje 1023 bitov, ki se ponovi vsako milisekundo. Med drugim vsebuje podatek o času satelitove atomske ure v trenutku oddaje signala. Na C/A kodi temelji civilna uporaba GPS. Koda P je bolj zapletena, namenjena je le avtoriziranim uporabnikom. Tudi ta koda vsebuje podatek o času oddaje signala, le da je njena časovna ločljivost 10-krat višja kot pri kodi C/A (Ávila Rodríguez, 2011).

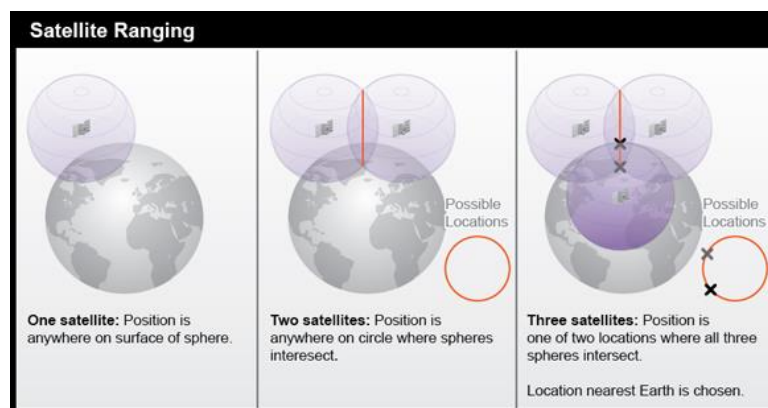
Navigacijsko sporočilo vsebuje »broadcast« efemeride (parametre tirnic satelitov), model urinega teka satelitovih ur in ostale sistemske informacije. (Trimble, 2015)

Leta 2016 bo z lansiranjem nove generacije satelitov GPS III dodan tudi civilni signal L1C (GPS.gov, 2015).



## 2.4 Princip določitve položaja v GNSS

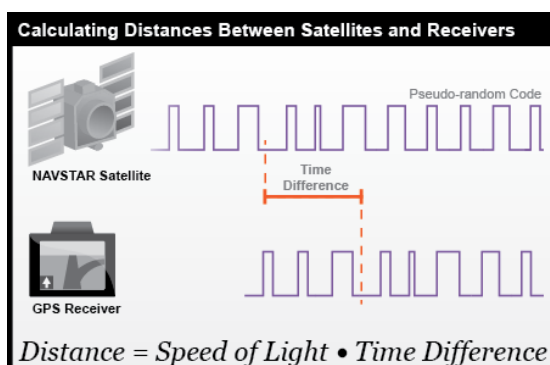
Določitev položaja v GNSS temelji na trilateraciji, ki je postopek izračuna koordinat neznane točke na podlagi razdalj do danih točk. V tridimenzionalnem prostoru potrebujemo za določitev točke najmanj tri razdalje do danih točk. Te razdalje predstavljajo polmere krogel, ki imajo središča v točkah položaja satelitov. Tri krogle se sekajo v dveh točkah, izberemo pa tisto, ki je bližje površju Zemlje.



Slika 2: Princip trilateracije (Vir: [http://www.e-education.psu.edu/geog160/files/geog160/image/Chapter05/Satellite\\_Ranging.png](http://www.e-education.psu.edu/geog160/files/geog160/image/Chapter05/Satellite_Ranging.png))

Položaj satelitov GNSS določimo na osnovi efemerid-parametrov tirnic satelitov, ki so del navigacijskega sporočila. Za določitev položaja sprejemnika potrebujemo še razdalje satelit-sprejemnik. Določimo jo lahko na osnovi kodnih ali faznih opazovanj. Omejili se bomo na kodna opazovanja, ki se vršijo v kodnih enofrekvenčnih sprejemnikih, ki jih obravnavamo v okviru te diplomske naloge. Fazna opazovanja so bolj nerodna za obravnavo, omogočajo pa določitev koordinat z višjo, geodetsko natančnostjo.

V sprejemniku se nahajajo informacije o unikatnih zaporedjih PRN (Pseudo Random Noise) (zaporedja PRN so osnova za generiranje kod C/A in P), ki so dodeljene posameznemu satelitu. Sprejemnik ob sprejemu signal ojača in ga primerja (korelira) z lastno generirano kodo C/A, dokler obe kodi ne sovpadata. Omenimo, da je sprejeta koda generirana v časovni skali, ki jo vzdržuje satelitova ura, sprejemnikova koda pa je generirana v časovni skali, ki jo vzdržuje sprejemnikova ura. Rezultat (avto)korelacije obeh kod je razlika med časoma nastanka obeh kod, ki predstavlja čas potovanja signala od satelita do sprejemnika (Penn State University, 2015).



Slika 3: Izračun razdalje satelit-sprejemnik.  
(Vir: [http://www.e-education.psu.edu/geog160/files/geog160/image/Chapter05/Calculating\\_Distances.png](http://www.e-education.psu.edu/geog160/files/geog160/image/Chapter05/Calculating_Distances.png))

Osnova za izračun razdalje je čas potovanja signala. Vemo, da se elektromagnetno valovanje (*EMV*) širi s svetlobno hitrostjo ( $c = 299.792.458$  m/s), zato razdaljo satelit–sprejemnik dobimo tako, da čas potovanja signala pomnožimo s svetlobno hitrostjo.

$$P_i = c (t_k - t^s) \quad (1)$$

$t_k$  – trenutek sprejema, merjen s sprejemnikovo uro

$t^s$  – trenutek oddaje, merjen s satelitovo uro

A čas potovanja signala je določen na osnovi podatkov o času dveh različnih ur, zato je obremenjen s pogreškom obeh ur. Tako pogrešeno razdaljo imenujemo *pseudorazdalja*. Skupen pogrešek 1 ns predstavlja pri hitrosti  $c$  napako 0,30 m, kar kaže na pomen visoke časovne točnosti in ločljivosti v GNSS. Upoštevati pa je potrebno tudi druge vplive, ki vplivajo na čas potovanja signala kot sta vpliv troposfere in ionosfere.

Upoštevajoč glavne vplive, lahko enačbo pseudorazdalje zapišemo na naslednji način. Količine, ki se nanašajo na sprejemnik, so označene z indeksi, tiste, ki pa se nanašajo na satelit, pa so v potencah.

$$\rho_k^s = \sqrt{(x^s(t^s) - x_k(t_k))^2 + (y^s(t^s) - y_k(t_k))^2 + (z^s(t^s) - z_k(t_k))^2} + c dt_k - c dt^s + Tropo + Iono + e \quad (2)$$

$X^s = [x^s \ y^s \ z^s]^T$  – znan vektor položaja satelita

$X_k = [x_k \ y_k \ z_k]^T$  – neznan vektor položaja GPS-sprejemnika

$dt_k$  – pogrešek sprejemnikove ure (neznana količina)

$dt^s$  – pogrešek ure satelita  $i$

*Tropo* – vpliv troposferske refrakcije

*Iono* – vpliv ionosferske refrakcije

$e$  – drugi neodstranjeni vplivi

$t_k$  – trenutek sprejema, merjen s sprejemnikovo uro

$t^s$  – trenutek oddaje, merjen s satelitovo uro

Položaj satelita in pogrešek satelitove ure določimo na osnovi efemerid, vpliv troposferske in ionosferske refrakcije pa upoštevamo z uporabo modelov.

Neznane količine so tako tri koordinate položaja sprejemnika in pogrešek sprejemnikove ure. Če opazujemo 4 pseudorazdalje je rešitev enolična, sicer sledi rešitev predoločenega sistema enačb z ustreznimi matematičnimi postopki (Pavlovčič Prešeren in Stopar, 2004).

## 2.5 Vplivi na opazovanja GNSS

Poznavanje vplivov na opazovanja GNSS nam omogoča kakovosti rezultatov. Vplive delimo v tri kategorije. Opisani so najpomembnejši vplivi na kodna opazovanja.

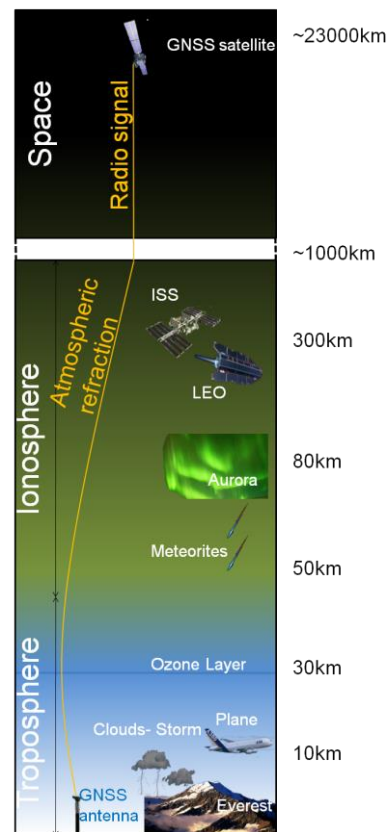
Prvi so vplivi z *izvorom v satelitu*.

Tirnica satelita, ki jo izračunamo s satelita oddanih efemerid, ki jih prejmemo v navigacijskem sporočilu, je pogrešena, pogrešeno pa je tudi stanje satelitove ure. Pogrešek satelitove ure ne vpliva le neposredno na psevdorazdaljo, marveč tudi na nepravilno določitev položaja satelita na tirnici, saj je ta podan v odvisnosti od časa (Penn State University, 2015).

Drugo kategorijo predstavljajo *atmosferski* vplivi.

Zemljino atmosfero za potrebe aplikacij GNSS razdelimo na ionosfero in troposfero. Troposfera je predel Zemljine atmosfere od površja do višine 50 km. Tu se dogaja vreme (oblaki, padavine ...). Vsebuje približno 75 % mase atmosfere in skoraj vso (99 %) vodno paro in aerosole. Ko valovanje prispe v troposfero, se razmere spremenijo – poveča se vlažnost, z njo pa se spremeni tudi lomni količnik. Posledica tega je sprememba hitrosti in smeri širjenja signala. Zaradi nepredvidljive narave gibanja zračnih mas je modeliranje troposfere zahtevno opravilo.

Zaradi delcev, ki jih ionizira sončna svetloba, se višji sloj imenuje ionosfera. Sega od 50 do 1000 km nad površjem. Ionosfera je sloj elektronov in električno nabitih atomov in molekul. Ob potovanju skozi ionosfero pride do interakcije med signalom in ioniziranimi delci. Lomni količnik medija je namreč odvisen od količine prostih elektronov. Pomembno vlogo pri dogajanju v ionosferi ima sončeva aktivnost, ki sledi približno 11-letnemu ciklu. Naša zvezda je aktivnejša ob vrhuncu cikla, takrat je količina prostih elektronov v ionosferi največja (ROB, 2015).

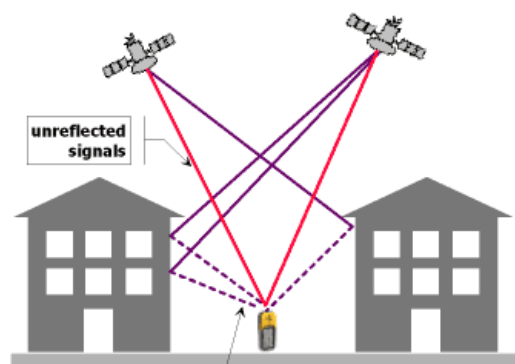


Slika 4: Plasti atmosfere  
(Vir: [http://gnss.be/img/iono/Coupe\\_atmo.png](http://gnss.be/img/iono/Coupe_atmo.png))

V tretjo kategorijo sodijo vplivi *sprejemnika in njegove okolice*.

Pri kodnih opazovanjih je potrebno omeniti predvsem vpliv večpotja.

Večpotje je pojav, ob katerem v sprejemnik prispe od objekta odbiti signal. Za kodna opazovanja lahko odboj dosega vrednosti nekaj metrov, odločilna pa je kakovost obdelave signala v sprejemniku. Vpliv lahko zmanjšamo s primerno obliko antene in skrbno izbiro lege točke. Programsko ga ne moremo ne modelirati ali odstraniti, zato se v celoti prenese na popravke opazovanj oziroma v koordinate (Sterle in sod., 2014).



Slika 5: Vpliv večpotja (Vir: <http://geoawesomeness.com/wp-content/uploads/2014/01/multipath.gif>)

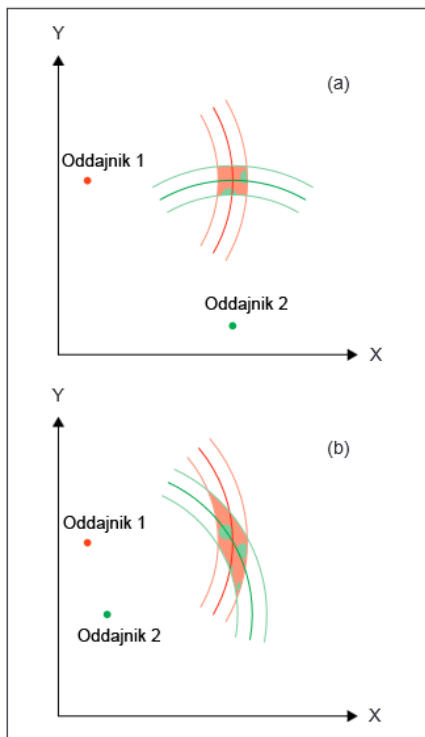
Velik vpliv na kakovost določitve koordinat sprejemnika ima tudi *geometrijska razporeditev satelitov*.

Situacijo dobro ilustrira slika 7. Natančnost položaja sprejemnika je pod (a) visoka. Ko v primeru (b) oddajnik 2 postavimo bližje oddajniku 1, se kljub isti natančnosti samih opazovanj položajna natančnost znatno zmanjša (Langley, 1999).

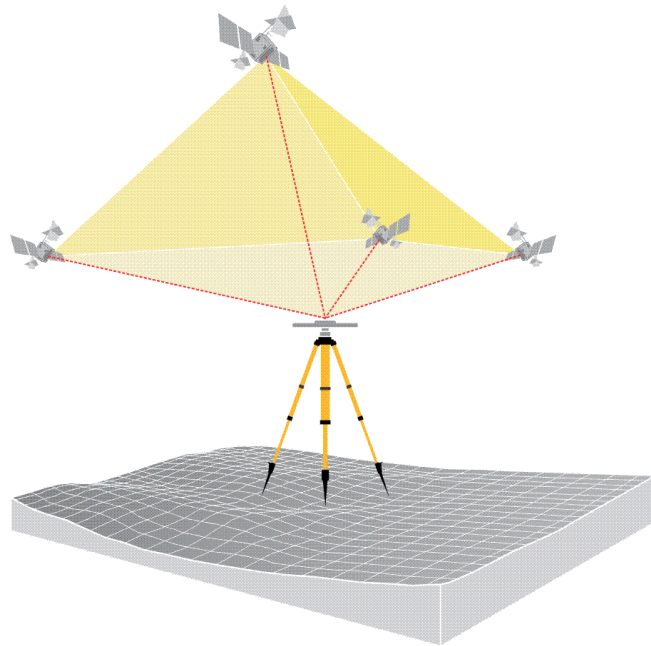
Kakovost geometrijske razporeditve satelitov vrednotimo s t. i. faktorji DOP (Dilution of precision). Poznamo več faktorjev DOP: GDOP (Geometric), PDOP (Position), HDOP (Horizontal), VDOP (Vertical), TDOP (Time). Izpeljava faktorjev presega okvir diplomske naloge. Faktorji se nanašajo na 4 najugodnejše razporejene satelite glede na opazovano točko.

Geometrijska razlaga faktorjev DOP je povezana s prostornino tetraedra na sliki 6, ki ga dobimo, če 4 najugodnejše razporejene satelite projiciramo na enotsko kroglo. Dobimo 4 točke na enotski krogli, ki jih povežemo med seboj, tako da skupaj tvorijo tetraeder. Središče enotske krogle je v točki, ki predstavlja položaj sprejemnika. Volumen tetraedra je sorazmeren z vrednostmi faktorjev DOP. Večji kot je volumen, manjše so vrednosti DOP in obratno (Stopar, 2014).

V praktičnem smislu uporabljamo faktorje DOP za določitev vpliva geometrijske razporeditve satelitov na natančnost določitve položaja sprejemnika. Ob natančnosti opazovanj  $\sigma_0 = 1$  m tako faktor HDOP določa standardni odklon horizontalnega položaja  $\sigma_p = \sigma_0 * HDOP$  v metrih, TDOP pa standardni odklon pogreška sprejemnikove ure v velikosti TDOP sekund.



Slika 7: Vpliv geometrije satelitov.  
(Vir: Langley, 1999)



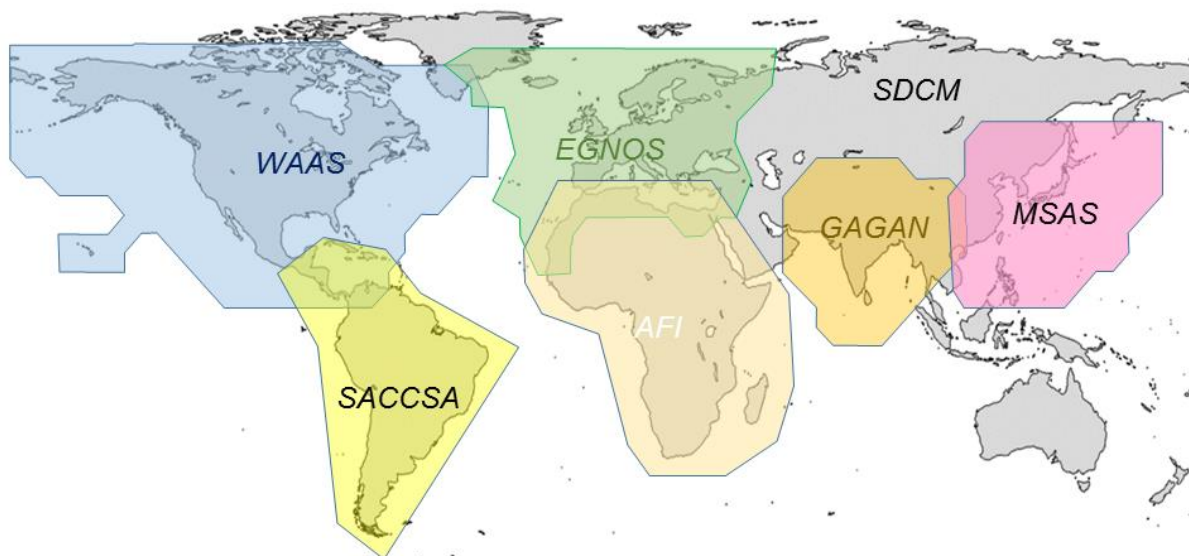
Slika 6: Volumen tetraedra med sateliti se povezuje z DOP faktorji.

(Vir: <http://www.e-education.psu.edu/geog862/sites/www.e-education.psu.edu/geog862/files/images/Lesson01/Good%20PDOP.bmp>)

## 2.6 Podporni sistemi GNSS

Sprejemniki, ki smo jih testirali, lahko do določene mere zmanjšajo vplive na kakovost določitve položaja z uporabo različnih podpornih sistemov GNSS. Uporabljajo predvsem sisteme SBAS in A-GPS.

SBAS (Satellite-based Augmentation System) dopolnjujejo obstoječe GNSS. Vzpostavljeni so bili za potrebe navigacije na morju in v zraku, saj niti GPS niti GLONASS ne izpolnjujeta zahtevanih kriterijev natančnosti, zveznosti in stalni razpoložljivosti. Koncept SBAS temelji na opazovanjih zemeljskih postaj GNSS, ki so razporejene po določenem območju. Postaje SBAS opazovanja GNSS posredujejo v kontrolni center, ki izračunava popravke opazovanj in jih nato skupaj z dodatnimi sporočili o opazovanjih preko geostacionarnih satelitov oddajajo uporabnikom. So interoperabilni, zato lahko uporabnik z istim sprejemnikom uporablja katerikoli sistem (EGNOS Portal, 2015a).



Slika 8: Omrežja SBAS

(Vir: [http://www.fsd.mw.tum.de/wp-content/uploads/NAV\\_SBAS.png](http://www.fsd.mw.tum.de/wp-content/uploads/NAV_SBAS.png))

Evropski SBAS se imenuje EGNOS (European Geostacionary Navigation Overlay Service) in dopolnjuje sistem GPS. Poleg popravkov, ki zvišajo točnost opazovanj GPS, zagotavlja tudi podatek o trenutni zanesljivosti sistema. EGNOS posreduje uporabnikom tudi dodatna sporočila, pomembna za varnost pri aplikacijah, pri katerih so lahko ogrožena življenja (letalski, pomorski promet) (EGNOS Portal, 2015b).





### 3 PREIZKUŠANI INSTRUMENTI

Kot smo omenili v uvodu, je namen te diplomske naloge analiza natančnosti in uporabnosti GNSS-senzorjev v sprejemnikih, s katerimi se danes srečujemo. Izbrali smo instrumente, ki so namenjeni uporabnikom z različnimi potrebami.

Zanimala nas je dejanska natančnost enofrekvenčnih GNSS-senzorjev. Testirali smo jih tako v mirovanju kot v gibanju. Posebno pozornost smo posvetili tudi vplivu zastrtosti neba ter s tem povezanim težavam za sprejem signala GNSS. Praktični del raziskave smo pričeli z izborom naprav.

Izbrali smo 9 različnih instrumentov.

Prvih pet je namenjenih predvsem rekreativnim športnikom. Običajno jih uporabljajo kolesarji in tekači. Sledijo pametni telefoni, ki so še posebej zanimivi, saj so postali nepogrešljiv pripomoček zaradi zelo razširjene uporabe. Testirali smo tudi sprejemnik GIS, ki je namenjen zahtevnejšim uporabnikom, a še vedno sodi v skupino enofrekvenčnih GNSS-sprejemnikov.

#### 3.1 Qstarz BT-Q1000P in BT-Q1300S

Sprejemnika tajvanskega podjetja Qstarz sodita med starejše sprejemnike. Sta preprosta za uporabo, težavo pa predstavlja odsotnost ekrana. O statusu in delovanju sprejemnika nas obveščajo LED indikatorji.



Slika 11: Qstarz BT-Q1000P (Vir: [http://www.liveviewgps.com/images/product/access/928\\_btq1000pside1large.jpg](http://www.liveviewgps.com/images/product/access/928_btq1000pside1large.jpg))



Slika 12: Qstarz BT-Q1300S (Vir: <http://www.voelkner.de/products/159640/500-xl.jpg>)

Preglednica 1: Tehnične in druge lastnosti sprejemnikov BT-Q1000P in BT-Q1300S (Qstarz, 2015a) (Qstarz, 2015b)

	BT-Q1000P	BT-Q1300S
<b>Osnovne karakteristike</b>		
Velikost	72,2 x 46,5 x 20 mm	62 x 38 x 7 mm
Leto izdelave	2008	2009
Cena	100 €	100 €
<b>O GPS modulu</b>		
GNSS	GPS	GPS
GPS modul	MTK GPS Module	MTK II GPS Module
Št. kanalov	51	66
Antena	Vgrajena patch antena z LNA	Vgrajena patch antena z LNA
Občutljivost	-158 dBm	-165 dBm
SBAS	DA	DA
A-GPS	NE	NE

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 1.

<b>TTFF (povprečje)</b>		
»Cold Start«	36 s	35 s
»Warm Start«	33 s	33 s
»Hot Start«	1 s	1 s
<b>Natančnost</b>		
Položaj	< 3,0 m brez podpore < 2,5 m s SBAS	< 3,0 m brez podpore < 2,5 m s SBAS
Hitrost	0,1 m/s brez podpore 0,05 m/s s SBAS	0,1 m/s 0,05 m/s s SBAS
Čas	50 ns RMS	50 ns RMS

### 3.2 i-gotU GT-800 Pro, GT-820 Pro in GT-900

i-gotU je blagovna znamka tajvanskega podjetja Mobile Action Technology Inc. Sprejemnika GT-800 Pro in GT-820 Pro sta klasične oblike (možno ju je pritrditi tudi na kolo), GT-900 pa je v obliki ročne ure.

Pri vseh treh izdelkih velja omeniti pomanjkljivo dokumentacijo proizvajalca, ki ne vsebuje niti podatka o deklarirani natančnosti instrumenta, ki bi morala biti ključen podatek v tehnični dokumentaciji vsakega GPS-sprejemnika. Tabelo smo tako dopolnili s tehnično dokumentacijo proizvajalcev GPS modulov.



Slika 13: i-gotU GT-800 Pro. (Vir: <http://www.timber.co.jp/box/product/hem/igotu800/1.jpg>)



Slika 14: i-gotU GT-820 Pro. (Vir: [http://ecx.images-amazon.com/images/I/51Tq3idwoVL\\_Sy300\\_.jpg](http://ecx.images-amazon.com/images/I/51Tq3idwoVL_Sy300_.jpg))

Preglednica 2: Tehnične in druge lastnosti sprejemnikov GT-800 Pro in GT-820 Pro. (Atkins, 2015) (Mobile Action, 2015a) (Modulestek, 2015) (ADH Technology, 2010)

	GT-800 Pro	GT-820 Pro
<b>Osnovne karakteristike</b>		
Velikost	64,8 x 38,3 x 17,9 mm	65 x 42 x 17,3 mm
Leto izdelave	2011	2013
Cena	90 €	120 €
<b>O GPS modulu</b>		
GNSS	GPS	GPS
GPS modul	SiRF Star III Low Power	SiRF Star IV Low Power
Št. kanalov	20	48
Antena	Vgrajena patch antena	Vgrajena patch antena

... se nadaljuje



... nadaljevanje Preglednice 2

Občutljivost	-159 dBm	-163 dBm
SBAS	DA	DA
A-GPS	NE	NE
<b>TTFF (povprečje)</b>		
»Cold Start«	42 s	35 s
»Warm Start«	38 s	35 s
»Hot Start«	1 s	1 s
<b>Natančnost</b>		
Položaj	< 3,0 m brez podpore < 2,5 m s SBAS	< 3,0 m brez podpore < 2,5 s SBAS
Hitrost	0,1 m/s brez podpore 0,05 m/s s SBAS	0,1 m/s 0,05 m/s s SBAS
Čas	50 ns RMS	50 ns RMS

Preglednica 3: Tehnične in druge lastnosti sprejemnika GT-900 (Mobile Action, 2015b) (ADH Technology)

	GT-900
<b>Osnovne karakteristike</b>	
Velikost	42 x 64,5 x 15,5 mm
Leto izdelave	2013
Cena	105 €
<b>O GPS modulu</b>	
GNSS	GPS
GPS modul	SiRF Star IV Low Power
Št. kanalov	48
Antena	Vgrajena patch antena
Občutljivost	-163 dBm
SBAS	DA
A-GPS	NE
<b>TTFF (povprečje)</b>	
»Cold Start«	35 s
»Warm Start«	35 s
»Hot Start«	1 s
<b>Natančnost</b>	
Položaj	< 2,5 m
Hitrost	brez podatka
Čas	brez podatka
<b>Ostalo</b>	
Barometrični višinomer	NE
Digitalni kompas	NE



Slika 15: i-gotU GT-900. (Vir: <http://rcdn-2.fishpond.co.nz/0042/421/684/69827753/6.jpeg>)

GT-800 in GT-820 privzeto podajata višine, izračunane z barometričnim višinomerom. Točnost tako določene višine ni visoka in tako določene višine so neuporabne ob spremenljivih pogojih v ozračju. Do višin, pridobljenih z opazovanji GNSS, smo prišli s čitanjem sicer skritih zapisov, ki postanejo dostopni ob prenosu podatkov na PC.

### 3.3 Apple iPhone 5s

iPhone 5s je Applov izdelek iz leta 2013. Sodi v višji cenovni razred pametnih telefonov.

V tehnični dokumentaciji na spletni strani je navedeno le, da pametni telefon podpira A-GPS in GLONASS.

App Store, kot se imenuje portal za prenos aplikacij v trenutnih različicah Applovega iOS, ponuja več aplikacij, ki beležijo gibanje. Odločili smo se za najpreprostejšo, gpsRecorder, ki v poljubnem intervalu zapisuje elipsoidne koordinate v tekstovno datoteko. Aplikacija sicer omogoča tudi uporabo globalnega modela geoida EGM96.

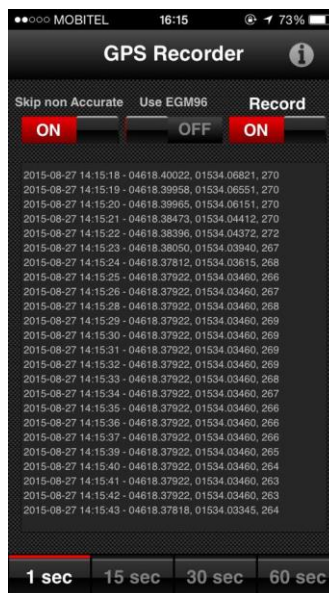
Preglednica 4: Tehnične in druge lastnosti pametnega telefona iPhone 5s (Apple)

	iPhone 5s
<b>Osnovne karakteristike</b>	
Velikost	123,8 x 58,6 x 7,6 mm
Operacijski sistem	iOS 8
Leto izdelave	2013
Cena	570 €
<b>O GPS modulu</b>	
GNSS	GPS, GLONASS
GPS modul	neznano
SBAS	NE
A-GPS	DA
<b>Ostalo</b>	
Digitalni kompas	DA - AKM AK8969



Slika 17: Apple iPhone 5s (Vir:  
[http://store.storeimages.cdn-](http://store.storeimages.cdn-apple.com/4711/as-)  
[apple.com/4711/as-](http://store.storeimages.cdn-apple.com/4711/as-)

[images.apple.com/is/image/AppleInc/aos/published/images/2/01/2013/iphone5s/2013-iphone5s-gold?wid=300&hei=300&fmt=png-alpha&qlt=95&.v=1411109010060](http://store.storeimages.cdn-apple.com/4711/as-images.apple.com/is/image/AppleInc/aos/published/images/2/01/2013/iphone5s/2013-iphone5s-gold?wid=300&hei=300&fmt=png-alpha&qlt=95&.v=1411109010060))



Slika 16: Uporabniški vmesnik aplikacije gpsRecorder (lasten prikaz)

### 3.4 Nokia Lumia 620

Nokiina Lumia 620 je telefon nižjega cenovnega razreda. Sodi med najmanjše pametne telefone tega proizvajalca.

Tudi tokrat se je dokumentacija na strani proizvajalca izkazala za pomanjkljivo. Ponovno so navedeni le podprti GNSS in podsistemi. Neuradne strani navajajo, da je tudi pri tem pametnem telefonu uporabljen modul gpsOneGen 8A with GLONASS.

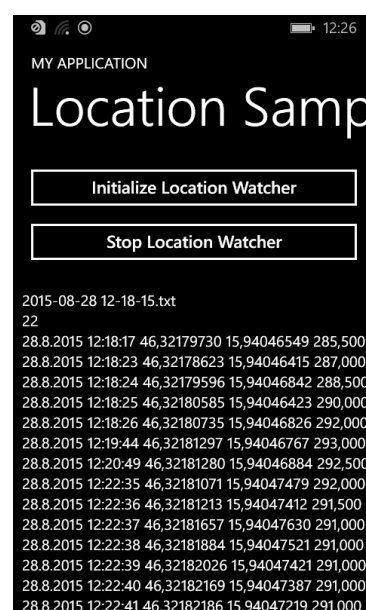
Windows Phone je trenutno najmlajši mobilni operacijski sistem na trgu. Kljub temu da ponuja večino funkcij, kot njegova glavna konkurenta, si ni uspel pridobiti velikega deleža uporabnikov. Posledica tega je znatno manjše število aplikacij, ki so verjetno glavni razlog za prevlado sistemov Android in iOS. V času nastajanja diplomske naloge Windows Phone ni ponujal nobene aplikacije, ki bi v tekstovni zapisnik beležila koordinate, zato smo preprosto aplikacijo za potrebe preizkusa zasnovali in izdelali sami.

Preglednica 5: Tehnične in druge lastnosti pametnega telefona Lumia 620 (Microsoft, 2015) (PDADB.net, 2015) (Qualcomm, 2012)

	Lumia 620
<b>Osnovne karakteristike</b>	
Velikost	115,4 x 61,1 x 11 mm
Operacijski sistem	Windows Phone 8.1
Leto izdelave	2013
Cena	105 €
<b>O GPS modulu</b>	
GNSS	GPS, GLONASS
GPS modul	gpsOneGen 8A with GLONASS
SBAS	NE
A-GPS	DA
<b>Ostalo</b>	
Digitalni kompas	DA



Slika 19: Nokia Lumia 620.  
(Vir: <http://nokiamuseum.info/wp-content/uploads/2013/06/620.jpg>)



Slika 18: Uporabniški vmesnik zasnovane aplikacije. (lasten prikaz)

### 3.5 LG Optimus G E975

Korejski LG je v novembru 2012 izdal pametni telefon LG Optimus. Uvršča se med naprave srednjega cenovnega razreda.

Tehnična specifikacija ponovno navaja le GNSS in podsisteme. Iz podatkov o veznem naboru je razvidno, da je GPS modul gpsOneGen 8A with GLONASS.

Androidov Google Play ima med mobilnimi OS največjo ponudbo aplikacij, zato se tu nismo ubadali s podobnimi težavami kot pri Windows Phonu. Izbrali smo aplikacijo GPS NMEA Logger, ki opazovanja zapiše v obliki zapisa po standardu NMEA 0183.

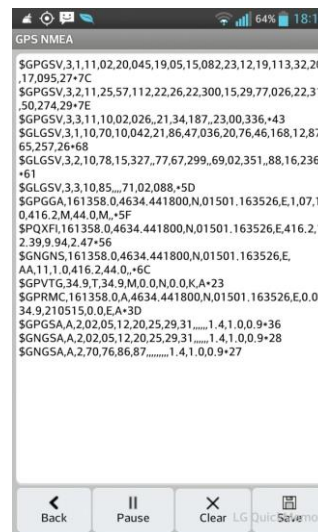
Preglednica 6: Tehnične in druge lastnosti pametnega telefona LG Optimus G E975 (LG, 2015) (GSMArena, 2015) (Qualcomm, 2012)

	Optimus G E975
<b>Osnovne karakteristike</b>	
Velikost	131,9 x 68,9 x 8,5 mm
Operacijski sistem	Android v4.1.2 (Jelly Bean)
Leto izdelave	2012
Cena	170 €
<b>O GPS modulu</b>	
GNSS	GPS, GLONASS
GPS modul	gpsOneGen 8A with GLONASS
SBAS	NE
A-GPS	DA
<b>Ostalo</b>	
Digitalni kompas	DA



Slika 20: LG Optimus G E975.

(Vir: <http://phonesdata.com/files/models/LG-Optimus-G-E975-421.jpg>)



Slika 21: Uporabniški vmesnik aplikacije GPS NMEA Logger. (lasten prikaz)

Zanimivo je, da Lumia in Optimus uporabljata vezne naborne (angl. »chipset«) istega podjetja in isti GPS modul.

### 3.6 Leica Zeno 10

Zadnji testirani sprejemnik je izdelek priznanega švicarskega podjetja Leica. Namenjen je za potrebe vzdrževanja in posodabljanja baz GIS ter kartiranja.

Zeno 10 se od prejšnjih instrumentov razlikuje tudi po zunanosti. Z zunanjo anteno, togim grezilom (Zeno sicer deluje tudi brez zunanje antene, sprejemnik je namreč v dlančniku) in roverjem daje sistem vtis geodetskega sprejemnika, a je enofrekvenčen. V raziskavo smo ga vključili kot primer dokaj natančnega sprejemnika.

Zeno 10 podpira tudi DGPS, a je za neprofesionalnega uporabnika zadeva nezanimiva, saj so z dostopom do storitve povezani dodatni redni stroški.

Ker gre za GIS-sprejemnik, smo koordinate sproti zapisovali v bazo. Ob zaključku meritev smo v aplikaciji ArcGIS meritve uredili in jih izpisali v tekstovno datoteko.

Preglednica 7: Tehnične in druge lastnosti GIS sprejemnika Zeno 10 (Leica Geosystems, 2009)

	Zeno 10
<b>Osnovne karakteristike</b>	
Velikost (dlančnik)	278 x 102 x 45 mm
Operacijski sistem	Windows CE 6.0
Leto izdelave	2009
Cena	?
<b>O GPS modulu</b>	
GNSS	GPS, GLONASS
Št. kanalov	14
SBAS	DA
A-GPS	NE
<b>TTFF (povprečje)</b>	
»Frozen Start«	120 s
»Hot Start«	35 s
<b>Natančnost</b>	
Položaj	< 1,2 m (Hz) s SBAS < 0,3 m (Hz) z DGPS
<b>Ostalo</b>	
Zunanja antena	Leica AS05



Slika 22: Dlančnik Leica Viva CS10. (Vir: [http://www.allenprecision.com/media/catalog/product/z/e/zeno\\_10\\_800\\_1\\_5.jpg](http://www.allenprecision.com/media/catalog/product/z/e/zeno_10_800_1_5.jpg))

Pri meritvah smo uporabljali zunanjo anteno Leica AS05.



## 4 PREIZKUS

Instrumente smo testirali na dva različna načina. Zasnovali smo statični in kinematični preizkus. S slednjim smo želeli ustvariti pogoje, ki se pojavljajo pri praktični uporabi sprejemnikov.

Potrebno je poudariti, da je testiranje natančnosti GNSS-instrumentov zahtevna naloga, saj gre za t. i. »black-box« naprave – uporabniki nimajo dostopa do dogajanja v samem sprejemniku, zato je nemogoče direktno ugotavljati, kakšen je prispevek katerega pogreška h končni natančnosti pridobljenih koordinat. Množica vplivov na opazovanja, ki smo jo omenili v uvodnem delu diplomske naloge, pripomore k zahtevnosti analize rezultatov.

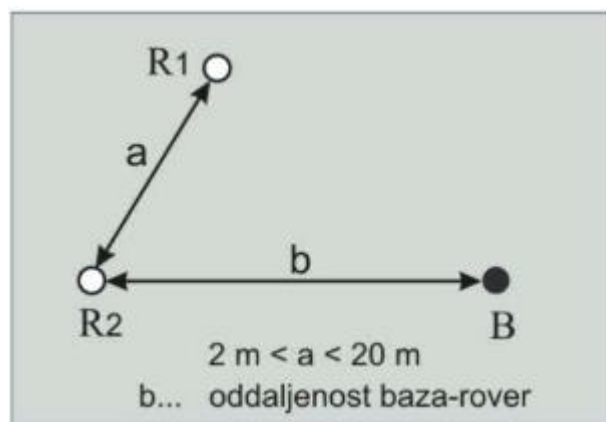
### 4.1 Statični preizkus

Prvi, statični preizkus je potekal z mirujočim sprejemnikom. Pri snovanju smo se zgledovali po standardu *ISO 17123-8*, ki sicer opredeljuje dva preizkusa. S standardom preverjamo ustreznost rezultatov glede na navedbe proizvajalca. *Poenostavljeni preizkus* je preprost preizkus delovanja instrumenta (določamo zanesljivost delovanja). *Popolni preizkus* predstavlja razširjeni preizkus funkcionalnosti. Izvajamo ga zato, da bi z delovanja GNSS-instrumenta v različnih pogojih preko sprememb iz koordinat preverili, koliko lahko instrument upošteva in odstrani vplive na GNSS-opazovanja. Rezultat so standardni odkloni vzorca koordinat (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010).

Osnova našega statičnega preizkusa je popolni preizkus po *ISO 17123-8*.

V okviru tega preizkusa je potrebno vzpostaviti testno bazo, tako da na oddaljenosti 2 do 20 m stabiliziramo točki  $R_1$  in  $R_2$ . Standard omenja še razdaljo do baznega stojišča  $B$ , a ne predpisuje njene vrednosti. Bazno stojišče je sicer točka, določena z visoko natančnostjo, na kateri nenehno potekajo opazovanja GNSS. Na podlagi odstopanj opazovanj GNSS na tej točki nato modeliramo popravke opazovanj sprejemnikov, ki so vključeni v omrežje. Točkama točki  $R_1$  in  $R_2$  lahko tako natančneje določimo koordinate. Taka situacija se pojavi pri RTK-metodi (real-time kinematic), kjer se sprejemnik poveže v omrežje permanentnih postaj. Pri našem preizkusu nismo uporabljali sprejemnikov, ki se poslužujejo RTK-metode, zato je ta podatek za naše potrebe nepomemben.

Pred izvedbo testiranja standard na točkah  $R_1$  in  $R_2$  predpisuje izvedbo opazovanj višje natančnosti za namen določitve referenčnih koordinat, ki nam nato pri testiranju služijo kot referenčne vrednosti.



Slika 23: Testna baza po *ISO 17123-8* (Vir: Pavlovčič Prešeren in sod., 2014)

Na točkah  $R_1$  in  $R_2$  sledi izvedba opazovanj GNSS s testiranim sprejemnikom. Standard ne predpisuje intervala registracije.

Niz je sestavljen iz enkratne določitve koordinat na vsaki od točk  $R_1$  in  $R_2$ . Po koncu niza sledi časovni zamik minimalno 5 minut, nato lahko začnemo z novim. Serija je sestavljena iz 5 nizov, med začetkoma serij pa mora preteči vsaj 90 minut. Preizkus izvedemo v treh serijah.

Pridobljene rezultate meritev obdelamo tako, da najprej izračunamo aritmetično sredino koordinat posamezne točke, nato odstopanja od srednje vrednosti in število prostostnih stopenj. Sledi izračun standardnih odklonov, ki jih nato uporabimo pri statističnih testih.

Iz metodologije postopka (računanje odstopanj od sredine) je razvidno, da postopek preverja stopnjo medsebojne skladnosti določitve koordinat in ne stopnje ustreznosti določitve koordinat glede na pravo vrednost. Preizkus smo zato prilagodili svojim potrebam. Pri predstavitvi naše različice preizkusa smo povzemali prispevek Pavlovčič Prešeren in sodelavcev (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010).

Pri testiranju v okolju z ovirami za satelitski signal smo opravili več serij, kot jih predpisuje standard. Z večjim vzorcem smo pridobili več možnosti za analizo pridobljenih koordinat. Za vse sprejemnike smo izbrali interval registracije opazovanj 30 s.

Računsko obdelavo koordinat smo prilagodili naši zahtevi po testiranju skladnosti določitve koordinat s posameznimi sprejemniki s predhodno točno določenimi koordinatami. Zanima nas namreč točnost koordinat oziroma sprejemnikov, ki jo določimo na osnovi odstopanj koordinat, določenih s preizkušenimi instrumenti, od referenčnih vrednosti. Vrednost, ki jo pridobimo na ta način, je koren srednjega kvadratnega pogreška *r. m. s.* (root mean square error) in ne več standardni odklon *s*, ki ga pridobimo na podlagi odstopanj koordinat od srednje vrednosti.

Računamo torej odstopanja koordinat od referenčnih vrednosti. Ta odstopanja so naši vhodni podatki v statistično analizo, s katero vrednotimo točnosti vzorca koordinat.

$$r_{e_{i,j,k}} = e_k^* - e_{i,j,k} \quad r_{n_{i,j,k}} = n_k^* - n_{i,j,k} \quad r_{h_{i,j,k}} = h_k^* - h_{i,j,k} \quad (3)$$

$X_k^* = [e_k^* \quad n_k^* \quad h_k^*]^T$  – koordinate predhodno točno določenega položaja točk  $R_1$  in  $R_2$  v D96/TM

$X_{i,j,k} = [e_{i,j,k} \quad n_{i,j,k} \quad h_{i,j,k}]^T$  – koordinate položaja točk  $R_1$  in  $R_2$ , določenih s sprejemnikom v D96/TM

$r_{i,j,k} = [r_{e_{i,j,k}} \quad r_{n_{i,j,k}} \quad r_{h_{i,j,k}}]^T$  – odstopanja koordinat, določenih s sprejemnikom, od predhodno točno določenih koordinat

$i = 1, 2, \dots, m$  – število serij

$j = 1, 2, \dots, 5$  – število nizov v seriji

$k = 1, 2$  – število opazovanih točk

Sledi izračun števila prostostnih stopenj.

$$v_e = v_n = v_h = (m \cdot 5 - 1) \cdot 2 \quad (4)$$

Nato določimo korene srednjega kvadratnega pogreška *r. m. s.* posameznih koordinat.

$$r. m. s. _e = \sqrt{\frac{\sum r_e^2}{v_e}} \quad r. m. s. _n = \sqrt{\frac{\sum r_n^2}{v_n}} \quad r. m. s. _h = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{v_h}} \quad (5)$$

Po standardu povzamemo cenilki  $r. m. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n}$  in  $r. m. s_{ISO-GNSS-RTK-h}$  (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010).

$$r. m. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} = \sqrt{r. m. s_e^2 + r. m. s_n^2} \quad (6)$$

$$r. m. s_{ISO-GNSS-RTK-h} = r. m. s_h \quad (7)$$

Naslednji korak je izvedba statističnih testov.

Sestavljeni so iz štirih vprašanj, katerim pripadajo ničelne domneve  $H_0$ , ki so predmet preizkušanja. Na podlagi testa nato ničelno domnevo zavrnemo ali pa ne. Predstavljena je tudi alternativna domneva  $H_1$ , ki je nezdružljiva z ničelno. Izberemo tveganje oziroma stopnjo značilnosti  $\alpha$ .

V sklepu sta možna dva scenarija.

1. Vrednost statistike pade v kritično območje (območje zavrnitve ničelne domneve).  
Ničelno domnevo zavrnemo in sprejmemo alternativno domnevo ob tveganju  $\alpha$ .
2. Vrednost statistike ne pade v kritično območje.  
Ničelne domneve ne moremo zavrniti ob tveganju  $\alpha$  (Turk, 2012).

Za testiranje smo izbrali stopnjo značilnosti  $\alpha = 5\%$ .

Ker proizvajalci za sprejemnike v raziskavi niso opredeljevali vrednosti  $\sigma_h$ , so za preizkus pomembna tri vprašanja (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010).

a) Ali je iz vzorca opazovanj izračunani koren srednjega kvadratnega pogreška

$r. m. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n}$  za posamezni horizontalni položaj  $(e, n)$  enak pripadajoči vrednosti  $\sigma_{e,n}$ , ki jo podaja proizvajalec?

$$H_0: r. m. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq \sigma_{e,n} \quad (8)$$

$$H_1: r. m. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} > \sigma_{e,n} \quad (9)$$

V ničelni hipotezi predpostavimo, da je koren srednjega kvadratnega pogreška vzorca manjši ali enak navedbi proizvajalca.

Ničelno hipotezo preoblikujemo v naslednji pogoj (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010).

$$r. m. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq \sigma_{e,n} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha; (v_e+v_n)}^2}{v_e + v_n}} \quad (10)$$

$\chi_{1-\alpha; (v_e+v_n)}^2$  predstavlja kritično vrednost pri tveganju  $\alpha$  in številu prostostnih stopenj  $v_e + v_n$ .

b) Ali r.m.s. dveh vzorcev horizontalnega položaja  $\sigma_{ISO-GNSS-RTK-e,n}$  in  $\tilde{\sigma}_{ISO-GNSS-RTK-e,n}$ , ki se nanašata na meritve v isti točki in sta bila določena iz dveh popolnih preizkusov meritev, spadata v isto populacijo ob predpostavki, da imata vzorca enako število prostostnih stopenj ( $v_e + v_n$  in  $\tilde{v}_e + \tilde{v}_n$ )?

$$H_0: \sigma_{e,n} = \tilde{\sigma}_{e,n} \quad (11)$$

$$H_1: \sigma_{e,n} \neq \tilde{\sigma}_{e,n} \quad (12)$$



V ničelni hipotezi trdimo, da sta r.m.s. vzorcev horizontalnega položaja enaka. Preoblikovana ničelna hipoteza (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010):

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2;(v_e+v_n);(\tilde{v}_e+\tilde{v}_n)}} \leq \frac{r.m.s.^2_{ISO-GNSS-RTK-e,n}}{\widehat{r.m.s.}^2_{ISO-GNSS-RTK-e,n}} \leq F_{1-\alpha/2;(v_e+v_n);(\tilde{v}_e+\tilde{v}_n)} \quad (13)$$

$F_{1-\alpha/2;(v_e+v_n);(\tilde{v}_e+\tilde{v}_n)}$  predstavlja kritično vrednost pri tveganju  $\alpha$  ter številah prostorskih stopenj  $v_e + v_n$  in  $\tilde{v}_e + \tilde{v}_n$ .

c) Ali r.m.s. dveh vzorcev elipsoidnih višin  $\sigma_{ISO-GNSS-RTK-h}$  in  $\tilde{\sigma}_{ISO-GNSS-RTK-h}$ , ki se nanašata na meritve v isti točki in sta bila določena iz dveh popolnih preizkusov meritev, spadata v isto populacijo ob predpostavki, da imata vzorca enako število prostostnih stopenj ( $v_h$  in  $\tilde{v}_h$ )?

$$H_0: \sigma_h = \tilde{\sigma}_h \quad (14)$$

$$H_1: \sigma_h \neq \tilde{\sigma}_h \quad (15)$$

V ničelni hipotezi trdimo, da sta korena srednjega kvadratnega pogreška r.m.s. vzorcev elipsoidnih višin enaka.

Preoblikujemo ničelno hipotezo (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010):

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2;v_h;\tilde{v}_h}} \leq \frac{r.m.s.^2_{ISO-GNSS-RTK-e,n}}{\widehat{r.m.s.}^2_{ISO-GNSS-RTK-e,n}} \leq F_{1-\alpha/2;v_h;\tilde{v}_h} \quad (16)$$

$F_{1-\alpha/2;v_h;\tilde{v}_h}$  predstavlja kritično vrednost pri tveganju  $\alpha$  ter številah prostorskih stopenj  $v_h$  in  $\tilde{v}_h$  (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010).

Z izvedbo popolnega preizkusa lahko vpliv ionosferske in troposferske refrakcije na opazovanja zanemarimo, zmanjšamo pa vplive trenutne geometrije satelitov, vpliv nenatančne določitve položajev na tirnici ter vplive na opazovanja z izvorom v okolici, predvsem vpliv večpotja. Pri tem ostaneta nepojasnjena odgovora na vprašanje o natančnosti opazovanj na baznih postajah (pri EGNOS RIMS) in o kakovosti računskega centra omrežja (Pavlovčič Prešeren in sod., 2010).

S statističnim testom pod vprašanjem a) ugotavljamo, ali so rezultati res skladni z navedbami proizvajalca. S vprašanji b) in c) preverjamo, ali sta rezultata dveh različnih sprejemnikov statistično tako podobna, da lahko predpostavimo, da sta iz iste populacije.

## 4.2 Kinematični preizkus

Zanimalo nas je tudi, kako kakovostna je določitev koordinat sprejemnikov v gibanju. Predpostavili smo, da bi morali biti rezultati podobni rezultatom statičnega preizkusa. Standardov za preizkus sprejemnika v gibanju v literaturi nismo zasledili, zato smo tak preizkus zasnovali sami.

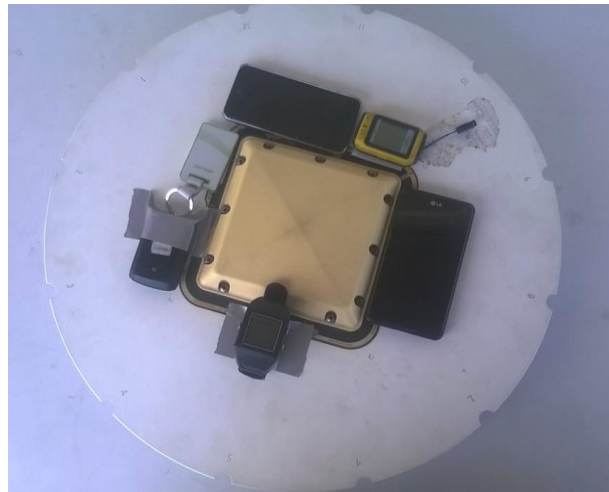


Slika 24: Izvajanje kinematičnega preizkusa (lasten prikaz)

Pri testiranju smo uporabljali sistem SmartPole: elektronski tahimeter Leica Geosystems TCRP1201+R1000, dlančnik Leica Viva CS15, GNSS anteno Leica Viva GS15 in 360° prizmo GRZ4 s pripadajočim togim grezilom. Elektronski tahimeter omogoča sledenje prizmi. Koordinate prizme beleži v nastavljivem intervalu, izbrali smo najvišjo možno časovno ločljivost 0,2 s.



Slika 26: Sistem SmartPole (Vir: [https://www.instop.es/estatotales/1200/i/1200\\_trcp\\_270.jpg](https://www.instop.es/estatotales/1200/i/1200_trcp_270.jpg))



Slika 26: Pritrditev sprejemnikov na ravno nosilno ploskev (lasten prikaz)

Sprejemnike smo pritrdili na ploščo, s katero je združljiv vijak na 360° prizmi. Nato smo na togo grezilo namestili 360° prizmo in sprejemnike ter se z njimi premikali po testnem poligonu. Premikanje je potekalo s hitrostjo premikanja pešca. Tahimeter je prizmi neprekinjeno sledil in tako določal koordinate prizme, ki so nato služile kot referenčne pri ugotavljanju kakovosti koordinat testiranih sprejemnikov. Med premikanjem so testirani sprejemniki kot običajno določali svoje položaje. Opravili smo več serij meritev.

Na osnovi tako zasnovanega poskusa smo pridobili dva niza koordinat točk v istem časovnem sistemu. Koordinate GNSS so v določene vsako celo sekundo, opazovanja s tahimetrom pa zaradi spremenljivega intervala registracije elektronskega tahimetra (običajno med 0,2 in 0,3 s) običajno ne sovpadajo s celo sekundo. Neskladnost časa določitve koordinat referenčne točke in koordinat testiranega sprejemnika smo rešili z linearno interpolacijo koordinat, katere rezultat je najverjetnejši položaj prizme v polni sekundi. Ob tem predpostavljamo, da se med dvema registracijama prizma giblje premo enakomerno.

Pri hitrosti povprečne hoje je znašal popravek horizontalnega položaja na račun linearne interpolacije maksimalno 20 cm.

Pri obdelavi smo preprosto izračunali razliko med položajema GNSS sprejemnikov ter interpoliranih točk v horizontalni ravnini in elipsoidni višini.

Preizkus ima nekaj pomanjkljivosti. Omeniti velja pritrditev sprejemnikov glede na referenčno točko togega grezila. Izbrana rešitev povzroči pogrešek v položaju do 15 cm.

### 4.3 Delovišča

Testiranja smo opravili na dveh deloviščih, na katerih so instrumenti delovali v različnih razmerah.

Prvo delovišče je bilo na strehi stavbe UL FGG na Jamovi cesti 2 v Ljubljani. Razmere na tem delovišču lahko označimo za »skoraj popolne«. Zaradi višine strehe je horizont odprt. Potencialno težavo predstavljata pločevinasta streha in železna ograja, ki bi lahko bili izvor večpotja.

Statični preizkus smo izvajali na stebrih FGG1 in FGG4. Koordinate točk so bile predhodno določene s statično izmero.



Slika 28: Steber FGG1 (Vir: Borut Žula)



Slika 28: Steber FGG4 (Vir: Borut Žula)



Preglednica 8: Koordinate uporabljenih stebrov v državnem koordinatnem sistemu D96/TM

	$e$ [m]	$n$ [m]	$h$ [m]
FGG4	460888,287	100763,782	320,906
FGG1	460878,788	100784,221	320,914

Pri kinematičnem preizkusu smo se gibal približno v linijah točk FGG4-FGG3 in FGG1-FGG2. Vizura je bila ves čas prosta.

Drugo delovišče je bilo v ljubljanskem parku Tivoli. Tokrat smo želeli preveriti, kako se sprejemniki obnesejo v težkih pogojih, zato smo meritve izvajali pod krošnjami dreves. Pri statičnem preizkusu smo zadevo še dodatno otežili s tem, da smo točki testne baze postavili ob debela dreves, ki so zastirala jug – tam se namreč nahaja večina satelitov.

Točki smo stabilizirali z lesenimi količki, nato pa smo nad točko horizontirali in centrali stativ. Referenčne koordinate smo pridobili s sistemom SmartPole.

Preglednica 9: Koordinate baznih točk v parku Tivoli v državnem koordinatnem sistemu D96/TM

	$e$ [m]	$n$ [m]	$h$ [m]
T1	461032,757	101652,940	299,613
T2	461043,342	101649,686	299,421

Pri kinematičnem poskusu smo togo grezilo s 360° prizmo in sprejemniki prenašali po obronkih jase. Potrebno je poudariti, da smo ob testiranju prehajali med območji pod gostejšimi in redkejšimi krošnjami, nekajkrat pa smo tudi prečkali jaso.



Slika 29: Testna baza pri statičnem preizkusu v parku Tivoli (lasten prikaz)

#### 4.4 Težave pri praktični izvedbi

Pri izvedbi preizkusov smo se spopadli z nekaterimi problemi.

Sprejemnika podjetja Qstarz sta v parku zatajila.

Nenavadno se nam je zdelo tudi, da nekateri sprejemniki v primeru, ko ne morejo določiti položaja, preprosto ponovno zabeležijo zadnji določeni položaj. Tako je uporabnik zaveden, saj mu naprava sporoča, da določitev koordinat in njihovo beleženje poteka brez težav.

Takšna situacija je nastopila pri sprejemniku i-gotU GT-800 pro. Od 120 vrednosti, ki smo jih pridobili v 12 serijah statičnega preizkusa v Tivoliju, je bilo zgolj 20 vrednosti »pravih« – za prave štejemo vrednosti, ki vsebujejo opazovanja, ki so se dejansko izvedla v predpisanem 30 s intervalu. Rezultat je seveda neprimeren za nadaljnjo analizo.

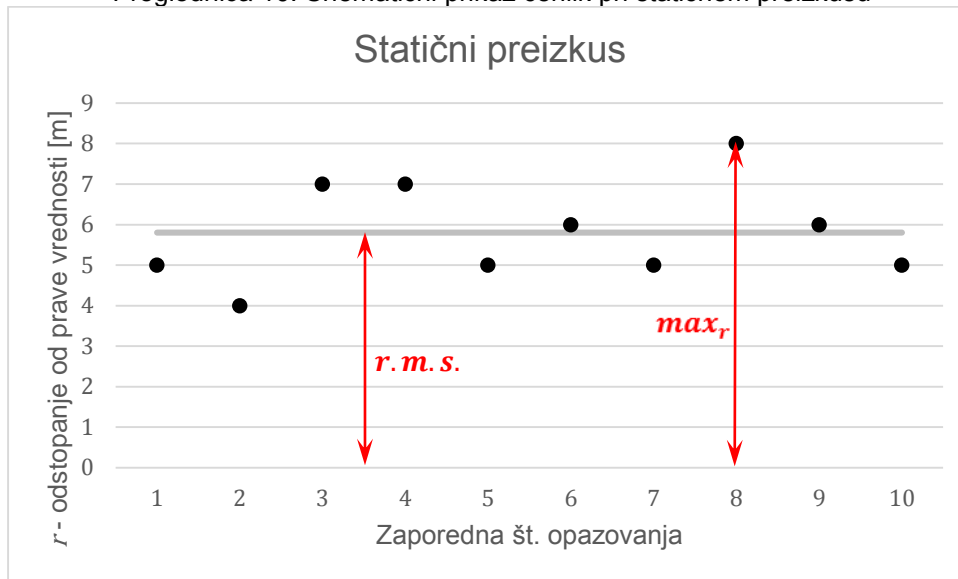
Pokazale so se tudi omejitve sistema Windows Phone. Aplikacije so omejene na uporabo systemskega časa, ki ga pa v verziji 8.1 ni mogoče sinhronizirati z nobeno uporabno natančno časovno skalo (GPS, UTC). S pametnim telefonom Nokia Lumia 620 tako ni bilo mogoče izvesti kinematičnega preizkusa.

## 5 REZULTATI

Pri statičnem preizkusu so v tabelah podani r.m.s., ki so določeni na osnovi odstopanj od prave vrednosti. Te vrednosti predstavljajo mero točnosti. Podana so tudi maksimalna odstopanja v horizontalni ravnini in v vertikalni smeri ( $max_r$ ).

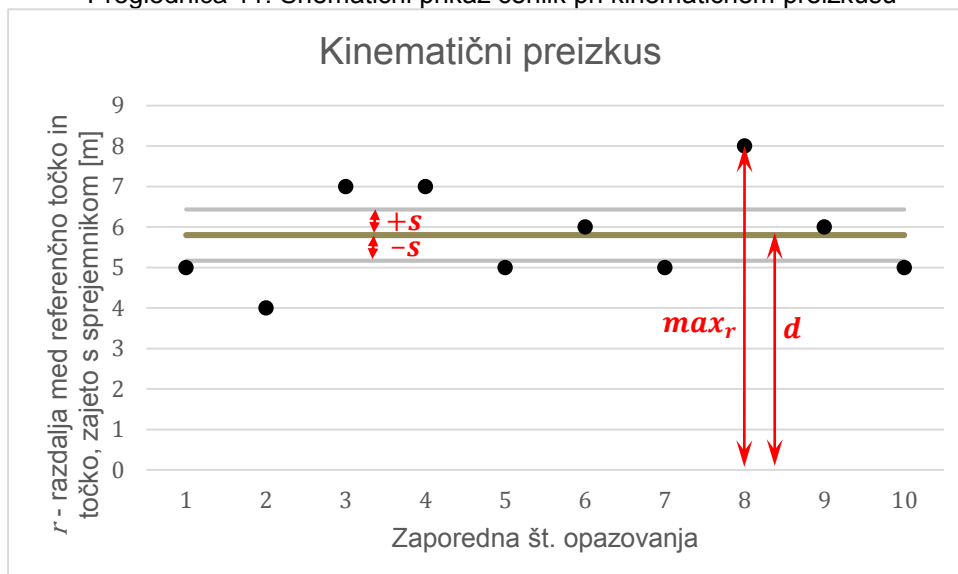
Rezultati statičnega preizkusa nam povedo, kako točna je določitev položaja z mirujočim sprejemnikom. Maksimalno odstopanje nam pove, kako velika so bila posamezna odstopanja v določenih pogojih.

Preglednica 10: Shematični prikaz cenilk pri statičnem preizkusu



Pri obdelavi kinematičnega preizkusa smo najprej izračunali razdalje med točkami z referenčnimi koordinatami in točkami s koordinatami, zajetimi s sprejemnikom, v horizontalni ravnini in v vertikalni smeri. V rezultatih navajamo standardne odklone ( $s$ ), ki so določeni na podlagi odstopanj od srednje vrednosti teh razdalj ( $d$ ). Tako izračunane standardne odklone obravnavamo kot mere natančnosti.

Preglednica 11: Shematični prikaz cenilk pri kinematičnem preizkusu



Standardni odkloni nam v tem primeru povedo, kolikšna je razpršenost srednje vrednosti koordinat od referenčne vrednosti. Navedene so tudi maksimalne razdalje med referenčno točko in točko, zajeto s sprejemnikom ( $max_r$ ).

Iz standardnih odklonov in srednjih vrednosti odstopanj lahko dobimo vrednosti *r. m. s.*, ki smo jih določili že pri statičnem preizkusu. Če kvadratično seštejemo standardne odklone in srednje vrednosti odstopanj, dobimo vrednost za srednji kvadratni pogrešek  $M^2$ , koren te vrednosti pa je koren srednjega kvadratnega pogreška *r. m. s.*.

$$M^2 = d^2 + s^2 \quad (16)$$

$$r. m. s. = \sqrt{M^2} \quad (17)$$

Na osnovi vrednosti *r. m. s.* lahko primerjamo točnost določitve koordinat v statičnem in kinematičnem načinu.

S statističnimi testi preverjamo, ali navedbe proizvajalcev instrumentov in GPS modulov glede natančnosti držijo. Zanima nas tudi, ali je mogoče trditi, da instrumenti z istim GPS modulom dajejo iste rezultate. Za primerjavo bomo uporabili *r. m. s.*, ki so rezultat statičnega preizkusa.

## 5.1 Qstarz BT-Q1000P in BT-Q1300S

Pri statičnem preizkusu se je bolje obnesel novejši BT-Q1300S. Točnost tega sprejemnika v horizontalni ravnini je ob »skoraj popolnih« pogojih višja za 1,5 m. Pri kinematičnem preizkusu sta se sprejemnika v horizontalni ravnini obnesla podobno dobro. Razlika se pojavi v vertikalni komponenti, kjer se izkaže, da je rezultat BT-Q1000P za 3 m bolj točen.

Preglednica 12: Rezultati preizkusov BT-Q1000P in BT-Q1300S v »skoraj popolnih« pogojih

»Skoraj popolni« pogoji	BT-Q1000P	BT-Q1300S
Statični preizkus		
<i>r. m. s.</i> <sub>ISO-GNSS-RTK-e,n</sub> [m]	5,18	3,74
$max_{r_{hz}}$ [m]	9,64	9,11
<i>r. m. s.</i> <sub>ISO-GNSS-RTK-h</sub> [m]	9,50	6,21
$max_{r_v}$ [m]	16,02	13,06
Kinematični preizkus		
$s_{hz}$ [m]	1,05	0,61
$d_{hz}$ [m]	2,13	2,75
<i>r. m. s.</i> <sub>hz</sub> [m]	2,37	2,82
$max_{r_{hz}}$ [m]	4,45	4,27
$s_v$ [m]	1,03	0,83
$d_v$ [m]	2,37	5,45
$max_{r_v}$ [m]	5,93	8,53
<i>r. m. s.</i> <sub>v</sub> [m]	2,58	5,51

Sledi izvedba statističnih testov. Preverjali bomo, ali se srednji kvadratni pogreški sprejemnikov, izračunani iz vzorca, ujemajo z natančnostmi, ki jo podajajo proizvajalci.

**BT-Q1000**

$$v_e = v_n = 28$$

$$a) H_0: r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq 2,5 m$$

$$\chi_{0,95;56}^2 = 74.47$$

$$5,18 m \leq 2,88 m$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0,05$  lahko trdimo, da je iz vzorca izračunani r.m.s. večji kot standardni odklon 2,5 m, ki ga podaja proizvajalec.

**BT-Q1300S**

$$v_e = v_n = 28$$

$$a) H_0: r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq 2,5 m$$

$$\chi_{0,95;56}^2 = 74.47$$

$$3,74 m \leq 2,88 m$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  lahko trdimo, da je iz vzorca izračunani r.m.s. večji kot standardni odklon 2,5 m, ki ga podaja proizvajalec.

Na podlagi vzorcev lahko trdimo, da sprejemnika ne dosežeta natančnosti, ki jo podaja proizvajalec.

**5.2 i-gotU GT-800 pro, GT-820 pro in GT-900**

Rezultati statičnega preizkusa v horizontalni ravnini ob »skoraj popolnih« pogojih se nekoliko razlikujejo. Opazovanja GT-800 pro so za 40 cm nižje točnosti kot opazovanja GT-820 pro.

Preglednica 13: Rezultati preizkusov GT-800 pro, GT-820 pro in GT-900 v »skoraj popolnih« pogojih

»Skoraj popolni« pogoji	GT-800 pro	GT-820 pro	GT-900
<b>Statični preizkus</b>			
$r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} [m]$	4,21	3,85	2,86
$max_{r_{hz}} [m]$	10,37	8,23	5,66
$r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-h} [m]$	5,42	5,11	4,99
$max_{r_v} [m]$	13,04	11,65	9,70
<b>Kinematični preizkus</b>			
$s_{hz} [m]$	0,73	0,72	2,01
$d_{hz} [m]$	1,68	1,37	4,52
$r. m. s. s_{hz} [m]$	1,83	1,55	4,95
$max_{r_{hz}} [m]$	3,28	3,38	8,35
$s_v [m]$	0,67	0,91	1,89
$d_v [m]$	0,99	1,08	4,23
$r. m. s. s_v [m]$	1,11	1,41	4,63
$max_{r_v} [m]$	2,60	3,76	8,18



Preglednica 14: Rezultati preizkusov GT-820 pro in GT-900 v oteženih pogojih

Oteženi pogoji	GT-820 pro	GT-900
Statični preizkus		
$r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n}$ [m]	4,88	7,21
$max_{r_{hz}}$ [m]	17,04	24,64
$r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-h}$ [m]	5,95	11,67
$max_{r_v}$ [m]	19,59	52,28
Kinematični preizkus		
$s_{hz}$ [m]	0,52	2,33
$d_{hz}$ [m]	1,31	5,42
$r. m. s. s_{hz}$ [m]	1,41	5,90
$max_{r_{hz}}$ [m]	2,89	14,43
$s_v$ [m]	0,97	1,34
$d_v$ [m]	0,90	6,21
$r. m. s. s_v$ [m]	1,32	6,35
$max_{r_v}$ [m]	5,62	10,66

Kakovost koordinat, določenih z GT-900, se izkaže še za meter bolj točna kot opazovanja GT-820 pro. Večja podobnost je pri rezultatih v vertikalni smeri, kjer se točnosti ujemajo v 50 cm. Kinematični preizkus v »skoraj popolnih« pogojih daje zanimive rezultate, GT-900 se v vseh pogledih obnese slabše kot ostala sprejemnika. Omeniti velja predvsem maksimalno odstopanje v horizontalni ravnini, ki znaša 8,35 m.

Rezultati v oteženih pogojih kažejo na to, da GT-820 pro določa položaj kvalitetneje kot GT-900. Statični preizkus pri prvem kaže na višjo točnost in manjša maksimalna odstopanja. Podobne rezultate daje kinematični preizkus. Opozoriti je potrebno na razlike v maksimalnih odstopanjih, ki v horizontalni pri GT-900 znašajo kar 14,43 m, pri GT-820 pro pa zgolj 2,89 m. Sprejemnika sta bila sicer testirana sočasno, zato lahko izključimo praktično vse vplive na razliko v kakovosti določitve koordinat.

S statističnimi testi v nadaljevanju preverjamo, ali instrumenti izpolnjujejo natančnosti, ki jih podajajo proizvajalci instrumentov ali modulov. Ker sprejemnika GT-820 pro in GT-900 uporabljata isti GPS modul, bomo preverili tudi, ali je možno sklepati, da dajeta sprejemnika enake rezultate.

#### GT-800 pro

»Skoraj popolni« pogoji

$$v_e = v_n = 28$$

$$a) H_0: r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq 7 m$$

$$\chi_{0,95;56}^2 = 74.47$$

$$4,21 m \leq 8,07 m$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  ne moremo trditi, da je iz vzorca izračunani r.m.s. večji kot standardni odklon 7 m, ki ga podaja proizvajalec.

#### GT-820 pro

»Skoraj popolni« pogoji

$$v_e = v_n = 28$$

$$a) H_0: r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq 2,5 m$$

$$\chi_{0,95;56}^2 = 74.47$$

$$\del{3,85 m \leq 2,88 m}$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  lahko trdimo, da je iz vzorca izračunani r.m.s. večji kot standardni odklon 2,5 m, ki ga podaja proizvajalec GNSS modula.

### GT-900

»Skoraj popolni« pogoji

$$v_e = v_n = 28$$

$$a) H_0: RMS_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq 2,5 m$$

$$\chi_{0,95;56}^2 = 74.47$$

$$2,86 m \leq 2,88 m$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  ne moremo trditi, da je iz vzorca izračunani r.m.s. večji kot standardni odklon 2,5 m, ki ga podaja proizvajalec GNSS modula.

Oteženi pogoji

$$v_e = v_n = 118$$

$$a) H_0: r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq 2,5 m$$

$$\chi_{0,95;118}^2 = 144,35$$

$$\del{7,21 m \leq 2,77 m}$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  lahko trdimo, da je iz vzorca izračunani srednji kvadratni pogrešek večji kot standardni odklon 2,5 m, ki jo podaja proizvajalec GNSS modula.

### GT-820 pro in GT-900

V nadaljevanju primerjamo dva sprejemnika z istim GNSS-modulom. Zanima nas, ali iz tega sledi, da dajeta podobne rezultate.

»Skoraj popolni« pogoji

$$v_e = v_n = v_h = 28$$

$$b) H_0: \sigma_{e,n} = \tilde{\sigma}_{e,n}$$

$$F_{0,975;56;56} = 1,70$$

$$0,59 \leq 0,74 \leq 1,70$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  ne moremo trditi, da je r.m.s. vzorca horizontalnih položajev GT-820 pro statistično značilno večji od r.m.s. horizontalnih položajev GT-900.

$$c) H_0: \sigma_h = \tilde{\sigma}_h$$

$$F_{0,975;28;28} = 1,70$$

$$0,59 \leq 0,98 \leq 1,70$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  ne moremo trditi, da je r.m.s. vzorca elipsoidnih višin GT-820 pro statistično značilno večji od r.m.s. vzorca elipsoidnih višin GT-900.

#### *Oteženi pogoji*

$$v_e = v_n = v_h = 118$$

$$b) H_0: \sigma_{e,n} = \tilde{\sigma}_{e,n}$$

$$F_{0,975;236;236} = 1,29$$

$$0,77 \leq 0,68 \leq 1,29$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  lahko trdimo, da je r.m.s. vzorca horizontalnih položajev GT-900 statistično značilno večji od r.m.s. vzorca horizontalnih položajev GT-820 pro.

$$c) H_0: \sigma_h = \tilde{\sigma}_h$$

$$F_{0,975;118;118} = 1,43$$

$$0,70 \leq 0,51 \leq 1,43$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  lahko trdimo, da je r.m.s. vzorca elipsoidnih višin GT-900 statistično značilno večji od r.m.s. vzorca elipsoidnih višin GT-820 pro.

Navedbe proizvajalca sprejemnika oz. modula v »skoraj popolnih« pogojih izpolnjujeta GT-800 pro in GT-900. GT-820 pro se v »skoraj popolnih« pogojih ne obnese tako dobro, kot to izjavlja proizvajalec. Nobeden od testiranih sprejemnikov v oteženih pogojih ne dosega vrednosti, ki jih podaja proizvajalec modula GNSS.

Ugotovimo lahko, da sta vzorca opazovanj GT-820 pro in GT-900 »skoraj popolnih« pogojih skladna, razlike pa se pojavijo pri oteženih pogojih.

### 5.3 Apple iPhone 5s, Nokia Lumia 620 in LG Optimus G E975

Rezultati v »skoraj popolnih« pogojih kažejo na velike razlike med posameznimi sprejemniki oz. moduli GPS. Zanimivo je, da se iPhone 5s pri statičnem preizkusu v oteženih pogojih obnese znatno slabše kot druga pametna telefona, je pa zato rezultat kinematičnega preizkusa boljši kot pri Optimus G E975.

Preglednica 15: Rezultati preizkusov iPhone 5s, Lumia 620 in Optimus G E975 v »skoraj popolnih« pogojih

»Skoraj popolni« pogoji	iPhone 5s	Lumia 620	Optimus G E975
Statični preizkus			
$r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n}$ [m]	3,59	7,10	2,83
$max_{r_{hz}}$ [m]	7,67	18,54	7,14
$r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-h}$ [m]	6,23	4,88	4,32
$max_{r_v}$ [m]	12,27	13,14	11,33
Kinematični preizkus			
$s_{hz}$ [m]	1,68		0,95
$d_{hz}$ [m]	3,55		2,54
$r. m. s. s_{hz}$ [m]	3,93		2,71
$max_{r_{hz}}$ [m]	7,90		5,07
$s_v$ [m]	3,22		3,30
$d_v$ [m]	-2,97		5,32
$r. m. s. s_v$ [m]	4,38		6,26
$max_{r_v}$ [m]	10,30		15,29

Preglednica 16: Rezultati preizkusov iPhone 5s, Lumia 620 in Optimus G E975 v oteženih pogojih

Oteženi pogoji	iPhone 5s	Lumia 620	Optimus G E975
Statični preizkus			
$r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-e,n}$ [m]	18,94	8,80	6,53
$max_{r_{hz}}$ [m]	83,46	20,47	26,44
$r. m. s. s_{ISO-GNSS-RTK-h}$ [m]	21,25	21,70	7,03
$max_{r_v}$ [m]	89,28	36,74	17,79
Kinematični preizkus			
$s_{hz}$ [m]	2,15		3,67
$d_{hz}$ [m]	4,44		6,60
$r. m. s. s_{hz}$ [m]	4,93		7,55
$max_{r_{hz}}$ [m]	11,36		15,50
$s_v$ [m]	2,40		13,22
$d_v$ [m]	3,70		9,62
$r. m. s. s_v$ [m]	4,41		16,35
$max_{r_v}$ [m]	9,53		27,43

Pametna telefona Optimus G E975 in Lumia 620 imata isti GPS modul, zato sklepamo, da sta r.m.s. vzorcev skladna. Trditev preverjamo s statističnimi testi.

### Optimus G E975 in Lumia 620

Zanima nas, ali lahko predpostavimo, da so vrednosti r.m.s. vzorcev enaki. Če to drži, sta vzorca statistično skladna.

»Skoraj popolni« pogoji

$$v_e = v_n = v_h = 28$$

$$\text{b) } H_0: \sigma_{e,n} = \tilde{\sigma}_{e,n}$$

$$F_{0,975;56;56} = 1,70$$

$$0,59 \leq 0,38 \leq 1,70$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  lahko trdimo, da je r.m.s. vzorca horizontalnih položajev Lumie 620 statistično značilno večji od r.m.s. vzorca horizontalnih položajev Optimusa G E975.

$$\text{c) } H_0: \sigma_h = \tilde{\sigma}_h$$

$$F_{0,975;28;28} = 2,13$$

$$0,47 \leq 0,88 \leq 2,13$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  ne moremo trditi, da je r.m.s. vzorca elipsoidnih višin Lumie 620 statistično značilno večji od r.m.s. vzorca elipsoidnih višin Optimusa G E975.

*Oteženi pogoji*

$$v_e = v_n = v_h = 38$$

$$\text{b) } H_0: \sigma_{e,n} = \tilde{\sigma}_{e,n}$$

$$F_{0,975;76;76} = 1,57$$

$$0,64 \leq 1,34 \leq 1,57$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  ne moremo trditi, da je r.m.s. vzorca horizontalnih položajev Lumie 620 statistično značilno večji od r.m.s. vzorca horizontalnih položajev Optimusa G E975.

$$\text{c) } H_0: \sigma_h = \tilde{\sigma}_h$$

$$F_{0,975;38;38} = 1,91$$

$$0,52 \leq 1,81 \leq 1,91$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  ne moremo trditi, da je r.m.s. vzorca elipsoidnih višin Lumie 620 statistično značilno večji od r.m.s. vzorca elipsoidnih višin Optimusa G E975.

Izkaže se, da so si rezultati z izjemo horizontalnih položajev v »skoraj popolnih« pogojih podobni.

## 5.4 Leica Zeno 10

Razlika med »skoraj popolnimi« in oteženimi pogoji je občutna. V horizontalni ravnini se je točnost ob spremembi delovišča znižala za 2 metra, zanimivo pa je, da se je v vertikalni smeri točnost poslabšala zgolj za 80 cm.

Rezultati sprejemnika GIS so višje točnosti kot rezultati ostalih sprejemnikov.

Preglednica 17: Rezultati statičnega preizkusa Leica Zeno 10

Statični preizkus	»Skoraj popolni« pogoji	Oteženi pogoji
$r.m.s. S_{ISO-GNSS-RTK-e,n}$ [m]	1,26	3,44
$max_{r_{hz}}$ [m]	1,79	9,93
$r.m.s. S_{ISO-GNSS-RTK-h}$ [m]	3,16	3,95
$max_{r_v}$ [m]	5,68	12,89

V nadaljevanju preverjamo skladnost opazovanj z navedbami proizvajalca.

### »Skoraj popolni« pogoji

$$v_e = v_n = 28$$

$$a) H_0: S_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq 1,2 \text{ m}$$

$$\chi_{0,95;56}^2 = 74,47$$

$$1,26 \text{ m} \leq 1,38 \text{ m}$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  ne moremo trditi, da je iz vzorca izračunani r.m.s. horizontalnega položaja večji kot standardni odklon 1,2 m, ki ga podaja proizvajalec.

### Oteženi pogoji

$$v_e = v_n = 107$$

$$a) H_0: S_{ISO-GNSS-RTK-e,n} \leq 1,2 \text{ m}$$

$$\chi_{0,95;214}^2 = 249,13$$

$$3,44 \text{ m} \leq 1,29 \text{ m}$$

Sklep: Ob tveganju  $\alpha = 0.05$  lahko trdimo, da je iz vzorca izračunani r.m.s. horizontalnega položaja večji kot standardni odklon 1,2 m, ki jo podaja proizvajalec.

Leica Zeno 10 zadošča proizvajalčevim navedbam le v »skoraj popolnih« pogojih.

## 6 ANALIZA

Pridobljene rezultate obravnavamo ločeno za statičen in kinematičen preizkus.

### 6.1 Statični preizkus

Rezultati testiranja v mirovanju so se izkazali za zelo raznolike in zahtevajo analizo po posameznih kategorijah.

Pri testiranju v »skoraj popolnih pogojih« navedb tehnične dokumentacije ne moremo zavrniti za sprejemnika za prosti čas GT-800 pro in GT-900 ter GIS sprejemnik Zeno 10. Pri BT-Q1000, BT-Q1300S in GT-820 pro se navedbe izkažejo za preoptimistične.

Sprejemniki za prosti čas so se v »skoraj popolnih« pogojih odrezali različno dobro. Pri statičnem preizkusu so v horizontalni ravnini standardni odkloni znašali 2,86–5,18 m, maksimalna odstopanja pa 5,66–10,37 m. V oteženih pogojih se obnesejo slabše. Uporabne rezultate sta dala le dva od petih sprejemnikov, maksimalna odstopanja v ravnini znašajo 17,04 in 24,64 m. Odkloni elipsoidnih višin od pravih vrednosti pri statičnem preizkusu znašajo 4,99–9,50 m ob »skoraj popolnih« pogojih (maksimalna odstopanja 9,70–16,02 m) ter 5,95 in 11,67 m ob oteženih pogojih (maksimalni odstopanji 5,62 m in 10,66 m).

Tudi pametni telefoni so se izkazali različno. Statični preizkus daje v horizontalni ravnini standardne odklone 2,83–7,10 m (maksimalni odkloni 7,14–18,54 m) za »skoraj popolne« pogoje in 6,53–18,94 m (maksimalni odkloni 20,47–83,46 m) za otežene pogoje. Omeniti velja rezultate enega izmed pametnih telefonov, ki se je pri statičnem testiranju v oteženih pogojih odrezal izrazito slabše kot druga dva. Izstopa predvsem odstopanje v velikosti 83,46 m. V tistem času so bile vse koordinate, določene s tem sprejemnikom podobno pogrešene - ni šlo za napako pri obdelavi ali za eno ali le nekaj grobo pogrešenih koordinat. Standardni odklon višin pri statičnem preizkusu znaša 3,26–4,32 m za »skoraj popolne« pogoje m (maksimalna odstopanja 11,33–13,14 m) in 7,03–21,70 m za otežene pogoje (maksimalna odstopanja 17,79–89,28 m).

Za najnatančnejšega se je po pričakovanjih izkazal GIS-sprejemnik. V »skoraj popolnih« pogojih je znašal standardni odklon koordinat v horizontalni ravnini 1,26 m z maksimalnim odstopanjem 1,79 m, v »oteženih pogojih« pa 3,44 m z maksimalnim odstopanjem 9,93 m. Odkloni elipsoidnih višin od pravih vrednosti pri statičnem preizkusu znašajo 3,16 m ob »skoraj popolnih« pogojih (maksimalno odstopanje 5,68 m), ter 3,95 m ob oteženih pogojih (maksimalno odstopanje 12,89 m).

Koordinate, določene v oteženih pogojih, nam kažejo, da ima zastrtost neba velik vpliv na natančnost, točnost in zanesljivost določitve koordinat. Vpliva sicer ni mogoče enostavno ovrednotiti, saj je že zaradi karakteristik posameznega sprejemnika za različne sprejemnike različen. Pomembna je občutljivost sprejemnika. Sprejemnika z višjo občutljivostjo (GT-820 pro: -163 dBm, GT-900: -163 dBm) so se v oteženih pogojih obnesli bolje kot sprejemnik z nizko občutljivostjo (GT-800 pro: -159 dBm). Razlika med vrednostma sicer na prvi pogled deluje majhna, a pri decibel milivatih gre za logaritemsko skalo. GT-820 pro in GT-900 lahko tako zaznata 3,2-krat šibkejše signale kot GT-800 pro. Nobeden od sprejemnikov v oteženih pogojih ni izpolnjeval navedb proizvajalca.

Razvidno je, da je natančnost določitve koordinat v horizontalni ravnini višja kot v višini. Višja so tudi maksimalna odstopanja od prave vrednosti. Razlog gre med drugim iskati v geometrijski razporeditvi satelitov, ki se vedno nahajajo le nad horizontom, zaradi česar je kakovost določitve koordinat točke sečišča treh krogel najslabša v višinski komponenti.

Testirali smo tudi skladnosti sprejemnikov, ki so uporabljali isti GNSS modul. Ugotovili smo, da je sicer mogoče najti podobnosti po posameznih koordinatnih komponentah, a še vedno ostajajo velike razlike. Sprejemnika za prosti čas sta se različno obnesla v oteženih pogojih, pametna telefona pa sta se razlikovala v horizontalnem položaju na delovišču s »skoraj popolnimi« pogoji. Preprostih pojasnil razlik med napravami zaradi »blackbox« narave sprejemnikov ni. Možno je, da so razlike posledica različnih algoritmov, ki jih uporabljajo proizvajalci za izvajanje opazovanj in notranja geometrija sprejemnika.

## 6.2 Kinematični preizkus

Točnost sprejemnikov za prosti čas v gibanju je v horizontalni ravnini visoka – r.m.s. znaša 1,55–4,95 m v »skoraj popolnih« pogojih in 1,41–5,90 m v oteženih pogojih (obakrat po horizontalnem položaju). Maksimalna odstopanja od referenčne vrednosti znašajo 5,66–10,37 m v »skoraj popolnih« in 2,89–14,43 m v oteženih pogojih.

Tudi pametna telefona sta se pri kinematičnem preizkusu izkazala za dokaj točna. Vrednosti r.m.s. v ravnini znašata 2,71 m in 3,93 m ob »skoraj popolnih« pogojih, ter 4,39 m in 7,55 m ob oteženih pogojih. Maksimalni odstopanja znašata 5,07 m in 7,90 m (streha FGG), ter 11,36 m in 15,50 m (Tivoli).

Rezultati tega preizkusa zahtevajo več razlage, saj so na videz boljši od rezultatov statičnega preizkusa. A razlika izhaja iz narave preizkusov. Pri statičnem preizkusu lahko s testiranjem v časovnih presledkih zanemarimo vpliv ionosferske in troposferske refrakcije in zmanjšamo vplive trenutne geometrije satelitov in določitve položaja satelitov na tirnicah. Tako je rezultat realen približek prave natančnosti instrumenta upoštevajoč vse naštetе dejavnike. Celoten kinematičen poskus smo na delovišču izvedli v petih minutah, zato se vplivi v okolju niso spreminjali. Tak rezultat je obremenjen z vsemi vplivi, a ima zaradi istih pogojev v času izvedbe visoko natančnost (skladnost odstopanj meritev je visoka).

Dodatna interpretacija je potrebna pri rezultatih kinematičnega preizkusa v oteženih pogojih. Natančnost se izkaže za varljivo, saj smo med testiranjem večkrat prečili jaso, na kateri je možen neoviran sprejem satelitskega signala. Tako se naenkrat znajdemo v znatno boljših pogojih, ki izboljšajo rezultat. Zato se je potrebno pri tolmačenju rezultatov opreti tudi na maksimalna odstopanja od prave vrednosti. Zanimiva situacija se pojavi pri sprejemniku GT-820 pro, saj rezultati kažejo, da se bolje obnese v oteženih kot v »skoraj popolnih« pogojih. Sklepamo lahko, da so bili vplivi na opazovanja ob testiranju v Tivoliju ugodnejši kot pri testiranju v »skoraj popolnih« pogojih. Maksimalna odstopanja so v oteženih pogojih večja, kar ustreza prvotnim predvidevanjem, da se bodo sprejemniki na tem delovišču obnesli slabše.

Rezultate statičnega in kinematičnega preizkusa zaradi različne narave preizkusov primerjamo s pridržkom. Vrednosti r.m.s. v horizontalni ravnini se pri pametnih telefonih v »skoraj popolnih« pogojih sta zelo podobni, zato sklepamo, da morebitno gibanje sprejemnika nima občutnega vpliva na kvaliteto določitve položaja. Preostale, večje razlike med vrednostmi r.m.s. bi lahko bile zgolj posledica različnih vplivov na opazovanja.

## 6.3 Povzetek

Sprejemniki za prosti čas in pametni telefoni so dovolj natančni za geolociranje uporabnika in sledenje gibanja za namene, za katere so izdelani. Težave povzročata zveznost višin, pridobljenih z GNSS. Vrednosti »skačejo«, v 10 sekundah se lahko spremenijo za nekaj 10 m. Ko primerjamo starejše sprejemnike z novejšimi, opazimo znaten dvig natančnosti. Natančnost GIS-sprejemnika je bila v vseh primerih najvišja.



## **7 ZAKLJUČEK**

V diplomski nalogi smo predstavili nekatere osnovne teoretične pojme, s katerimi se srečujemo ob uporabi enofrekvenčnih GNSS-sprejemnikov. Zasnovali smo tudi dva preizkusa, ki se lahko uporabljata pri nadaljnjih raziskavah na tem področju. Rezultati lahko uporabnikom služijo kot napotek pri vrednotenju lastnih rezultatov.

Delo odpira tudi možnosti za nadaljnje raziskave. Posvetiti bi se dalo kinematičnemu preizkusu, ki je bil v diplomski nalogi obravnavan kot dopolnilo statičnemu preizkusu. Analizo bi lahko izboljšali z izborom instrumentov, ki imajo dobro urejeno tehnično dokumentacijo. Nenehen tehnološki napredek pa v vsakem primeru zagotavlja, da se bodo pojavljali novi sprejemniki in podsistemi, ki jih bo vredno preizkusiti.

## VIRI

- ADH Technology Co. Ltd.. 2010. SiRF Star IV GPS module with antenna.  
<http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/GPS/GP-2106.pdf> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Apple. 2015. iPhone 5s.  
<http://www.apple.com/shop/buy-iphone/iphone5s> (Pridobljeno 7. 9. 2015)
- Atkins, B. 2015. Geotaging photos – I-gotU GT-800 GPS data logger review.  
[http://www.bobatkins.com/photography/digital/i-gotU\\_GT-800\\_gps\\_data\\_logger.html](http://www.bobatkins.com/photography/digital/i-gotU_GT-800_gps_data_logger.html)  
(Pridobljeno 7. 9. 2015)
- Ávila Rodríguez, J. A. 2011. GPS Signal Plan.  
[http://www.navipedia.net/index.php/GPS\\_Signal\\_Plan](http://www.navipedia.net/index.php/GPS_Signal_Plan) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Confluence: QPS Support Portal. 2015. UTC to GPS Time Correction.  
<http://confluence.qps.nl/display/KBE/UTC+to+GPS+Time+Correction> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- EGNOS Portal. 2015a. What is SBAS?  
<http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos/what-sbas> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- EGNOS Portal. 2015b. About EGNOS.  
<http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- GPS.gov: Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS and related topics). 2015. The Global Positioning System.  
<http://www.gps.gov/systems/gps/> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- GSMarena. 2015. LG Optimus G E975.  
[http://www.gsmarena.com/lg\\_optimus\\_g\\_e975-4941.php](http://www.gsmarena.com/lg_optimus_g_e975-4941.php) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- IERS. 2015a. The International Terrestrial Reference System (ITRS).  
<http://www.iers.org/iers/EN/DataProducts/ITRS/itrs.html> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- IERS. 2015b. The International Terrestrial Reference Frame (ITRF).  
<http://www.iers.org/iers/EN/DataProducts/ITRF/itrf.html> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Kozmus Trajkovski, K. 2009. Združeni sistemi GNSS/INS za neprekinjeno navigacijo. Geodetski vestnik 53, 2: 240.
- Kuhar, M. 2014. Gradiva pri predmetu GNSS. Ljubljana, UL FGG: loč. pag.
- LaMance, J., DeSalas, J., Järvinen, J. 2002. Assisted GPS: A Low-Infrastructure Approach. GPS World 3: 46–47.
- Langley, R. B. 1999. Dilution of Precision. GPS World 5: 52.
- Leica Geosystems AG. 2009. Leica Zeno 10 & Zeno 15: GNSS/GIS Handhelds Datasheet.  
[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gpsgis/Zeno%2010%20&%20Zeno%2015/brochures-datasheet/Leica\\_Zeno\\_10\\_Zeno\\_15\\_DS\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gpsgis/Zeno%2010%20&%20Zeno%2015/brochures-datasheet/Leica_Zeno_10_Zeno_15_DS_en.pdf) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)

- LG. 2015. LG Optimus G E975: Technical Specifications.  
[http://www.lg.com/hk\\_en/mobile-phones/lg-E975/technical-specifications](http://www.lg.com/hk_en/mobile-phones/lg-E975/technical-specifications) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Microsoft. 2015. Nokia Lumia 620.  
<http://www.microsoft.com/en-gb/mobile/phone/lumia620/specifications/> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Mobile Action. 2015a. i-gotU GPS Bike & Travel Computer – GT-820 Series.  
[http://global.mobileaction.com/product/product\\_i-gotU\\_GT-820.jsp](http://global.mobileaction.com/product/product_i-gotU_GT-820.jsp) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Mobile Action. 2015b. i-gotU GPS Travel & Sports Watch.  
[http://global.mobileaction.com/product/product\\_i-gotU\\_GT-900.jsp](http://global.mobileaction.com/product/product_i-gotU_GT-900.jsp) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Modulestek Inc. 2015. SiRF Star III LowPower GPS Module.  
[http://nz.apexelex.com/specs/modules\\_gps/MG-S02\\_v1.04.pdf](http://nz.apexelex.com/specs/modules_gps/MG-S02_v1.04.pdf) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Navipedia. 2011. SBAS Fundamentals.  
[http://www.navipedia.net/index.php/SBAS\\_Fundamentals](http://www.navipedia.net/index.php/SBAS_Fundamentals) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Pavlovčič Prešeren, P., Mencin, A., Stopar, B. 2010. Analiza preizkusa instrumentarija GNSS-RTK po navodilih standarda ISO 17123-8. Geodetski vestnik 54: 4: 607–626.
- Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. 2004. Izračun položaja GPS-satelita iz podatkov oddanih efemerid. Geodetski vestnik 48: 2: 151–166.
- PDADB.net. Detailed Technical Datasheet of Nokia Lumia 620.  
[http://pdadb.net/index.php?m=specs&id=4033&view=1&c=nokia\\_lumia\\_620](http://pdadb.net/index.php?m=specs&id=4033&view=1&c=nokia_lumia_620) (Pridobljeno 07. 09. 2015.)
- Penn State University, Department of Geography. 2015. Global Positioning Systems.  
<https://www.e-education.psu.edu/geog160/node/1923> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Petrovič, D. 2013. Gradiva pri predmetu Kartografija. Ljubljana, UL FGG: loč. pag.
- Royal Observatory of Belgium (ROB), GNSS Research Group. 2015. Atmosphere.  
[http://gnss.be/atmosphere\\_tutorial.php](http://gnss.be/atmosphere_tutorial.php) (Pridobljeno 7. 9. 2015.)
- Seeber, G. 2003. Satellite Geodesy. Berlin, Walter de Gruyter: str. 1, 211.
- Sterle, O., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. 2014. Metoda PPP pri statični izmeri GNSS. Geodetski vestnik 58, 3: 466-481.
- Stopar, B. 2014. Gradiva pri predmetu GNSS. Ljubljana, UL FGG: loč. pag.
- Trimble. 2015. GPS Tutorial – Pseudo Random Code.  
[http://www.trimble.com/gps\\_tutorial/sub\\_pseudo.aspx](http://www.trimble.com/gps_tutorial/sub_pseudo.aspx) (Pridobljeno 07.09.2015.)
- Turk, G. 2012. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 169-190.
- United States Coast Guard, Navigation Center. 2015. GPS Constellation Status.  
<http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus> (Pridobljeno 23. 8. 2015.)

Qstarz. 2015a. BT-Q1000.

<http://www.qstarz.com/Products/GPS%20Products/BT-Q1000.html#feature> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)

Qstarz. 2015b. BT-Q1300ST.

<http://www.qstarz.com/Products/GPS%20Products/BT-Q1300ST-F.htm> (Pridobljeno 7. 9. 2015.)

Qualcomm. 2012. Snapdragon Specs.

<http://www.qualcomm.com/sites/default/files/common/snapdragon-specs-06.05.12.pdf>  
(Pridobljeno 7. 9. 2015.)