

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Melita ULBL

**ZASNOVA IN STATISTIČNA ANALIZA POSKUSA  
ZA PRIMERJAVO GEODETSKIH SPREJEMNIKOV  
GNSS**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Melita ULBL

**ZASNOVA IN STATISTIČNA ANALIZA POSKUSA ZA  
PRIMERJAVO GEODETSKIH SPREJEMNIKOV GNSS**

MAGISTRSKO DELO

**DESIGN AND STATISTICAL ANALYSIS FOR EXPERIMENTAL  
COMPARISON OF GEODETIC GNSS RECEIVERS**

M. SC. THESIS

Ljubljana, 2015

Magistrsko delo je zaključek Univerzitetnega podiplomskega študija Statistika, modula biostatistika, na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Senat Biotehniške fakultete je na svoji seji dne 27. 5. 2013 ter z dopolnitvama z dne 1. 7. 2013 in 4. 5. 2015 sprejel temo magistrskega dela in za mentorico imenoval prof. dr. Katarino Košmelj.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Janez STARE  
Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

Članica: prof. dr. Katarina KOŠMELJ  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Gregor DOLINAR  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

Član: prof. dr. Bojan STOPAR  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Datum zagovora: 30. 9. 2015

Podpisna izjavljam, da je magistrsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Melita Ulbl

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Md
DK	UDK 519.2:303.7:528.5(043.3)
KG	RTK/GNSS/statistična analiza/primerjava/ANOVA/poskus/Latinski kvadrat/natančnost/točnost/zanesljivost/geodetski sprejemniki GNSS
AV	ULBL, Melita, univ. dipl. inž. geod.
SA	KOŠMELJ, Katarina (mentorica)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
LI	2015
IN	ZASNOVA IN STATISTIČNA ANALIZA POSKUSA ZA PRIMERJAVO GEODETSKIH SPREJEMNIKOV GNSS
TD	Magistrsko delo
OP	XII, 64, [7] str., 25 pregl., 19 sl., 2 pril., 43 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<p>V nalogi smo poskušali zasnovati poskus primerjave točnosti določitve horizontalnega položaja in višin točk z več geodetskimi sprejemniki GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) pri RTK GNSS-metodi določitve položaja (angl. Real Time Kinematic) v konceptu VRS (angl. Virtual Reference Station). Nekaj primerjav sprejemnikov GNSS je v preteklosti že bilo izvedenih, vendar nobena ne analizira več sprejemnikov GNSS pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS v različnih razmerah. Osnovo primerjave točnosti horizontalnega položaja je predstavljala razlika med referenčno razdaljo in razdaljo, izračunano iz izmerjenih koordinat točk z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS; osnovo primerjave točnosti višin točk pa je predstavljala razlika med referenčno višinsko razliko in višinsko razliko, izračunano iz koordinat točk, izmerjenih z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS. Zanimalo nas je, ali sprejemniki GNSS različnih proizvajalcev pri izmeri na dveh lokacijah in z različnim trajanjem izmere podajajo rezultate s statistično enako točnostjo. Na terenu je bil izveden poskus s tremi sprejemniki GNSS, ki so jih upravljali trije operaterji, in sicer na treh točkah v oteženih razmerah in na treh točkah v ugodnih razmerah. Izmera je bila opravljena s trajanjem 5 s in s trajanjem 30 s v naprej definiranem zaporedju. Najprej smo izvedli preliminarno analizo odkrivanja grobih pogreškov in ugotovili, da je bila izmera v oteženih razmerah izredno nezanesljiva, predvsem pri izmeri višin (veliko grobih pogreškov). Izmera v ugodnih razmerah je bila zanesljiva. Z analizo variance smo podatke izmere, pridobljene v ugodnih razmerah, analizirali za horizontalni položaj in višine, podatke izmere v oteženih razmerah pa brez grobih pogreškov le za horizontalni položaj. Rezultati ne pokažejo nobenih statistično značilnih razlik.</p>

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Md  
DC UDC 519.2:303.7:528.5(043.3)  
CX RTK/GNSS/statistical analysis/compare/ANOVA/experiment/Latin square/precision/accuracy/reliability/geodetic GNSS receivers  
AU ULBL, Melita  
AA KOŠMELJ, Katarina (supervisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty  
PY 2015  
TI DESIGN AND STATISTICAL ANALYSIS FOR EXPERIMENTAL COMPARISON OF GEODETIC GNSS RECEIVERS  
DT M. Sc. Thesis  
NO XII, 64, [7] p., 25 tab., 19 fig., 2 ann., 43 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB The thesis attempts to compare the accuracy of determining the horizontal position and the heights of the points using multiple Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers and GNSS Real Time kinematic (RTK) method of position determination based on Virtual Reference Station (VRS) concept. A few comparisons of GNSS receivers have already been made, but none of them contains an analysis of multiple GNSS receivers under different measurement conditions using RTK-GNSS method of position determination based on VRS concept. The basis for comparison of the horizontal position accuracy was the difference between the reference distance and the distance calculated from the measured coordinates of the points using RTK-GNSS method of position determination based on VRS concept; the basis for comparison of the accuracy of the heights of the points was the difference between the reference height difference and the height difference calculated from the coordinates of the points, measured using RTK-GNSS method of position determination based on VRS concept. We wanted to know whether the GNSS receivers from different manufacturers give results with statistically equal accuracy in measuring at two locations and using different duration of measurement. The field experiment was conducted with three GNSS receivers used by three operators at three points under difficult conditions and under favourable conditions. The measurement was carried out with a duration of 5 s and 30 s in a pre-defined order. We first performed a preliminary analysis of gross error detection, and found the measurement under difficult conditions to be extremely unreliable, especially in measurement of the heights (many gross errors). The measurement under favourable conditions proved reliable. We used the analysis of variance to analyse the measurement data (obtained under favourable conditions) for horizontal position and heights, while the measurement data (obtained under difficult conditions) without gross errors were analysed only for horizontal position. The results showed no statistically significant differences.

## KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO PRILOG	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
SLOVARČEK	XII
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 NAMEN RAZISKAVE	1
1.2 RAZISKOVALNE HIPOTEZE	2
<b>2 PREGLED OBJAV</b>	<b>3</b>
2.1 SPLOŠNO O RTK GNSS-METODI DOLOČITVE POLOŽAJA	3
2.2 NAČRTOVANJE IN ANALIZA POSKUSOV	5
2.2.1 Zasnova poskusa	6
2.2.2 Faktorski poskus	7
2.2.3 Ostanki	9
2.3 OPREDELITEV BISTVENIH POJMOV	9
2.3.1 Pogreški	9
2.3.2 Natančnost	10
2.3.3 Pravilnost, pristranskost	11
2.3.4 Točnost	12
2.3.5 Zanesljivost	13
2.4 OBSTOJEČE RAZISKAVE S PODROČJA PRIMERJAVE SPREJEMNIKOV GNSS	14
<b>3 MATERIAL IN METODE</b>	<b>18</b>
3.1 DOLOČITEV TOČK NA TERENU ZA IZVEDBO POSKUSA	18
3.2 POSKUS NA TERENU	19
3.2.1 Uporabljeni sprejemniki	19
3.2.2 Operaterji	21
3.2.3 Izvedba poskusa	21
3.2.4 Zbrani podatki	24
3.3 IZRAČUN ODPSTOPANJ	24

3.4	STATISTIČNA ANALIZA	27
3.4.1	<b>Preliminarna analiza odkrivanja grobih pogreškov v skladu s standardom ISO 17123-8 (2007)</b>	27
3.4.2	<b>Spremenljivke v poskusu</b>	27
4	<b>REZULTATI</b>	30
4.1	PRELIMINARNA ANALIZA ODKRIVANJA GROBIH POGREŠKOV V SKLADU S STANDARDOM ISO 17123-8 (2007)	30
4.1.1	<b>Odkrivanje grobih pogreškov za <math>\varepsilon_d</math></b>	30
4.1.2	<b>Odkrivanje grobih pogreškov za <math>\varepsilon_{\Delta h}</math></b>	32
4.2	ANALIZA ZA IZMERO V OTEŽENIH RAZMERAH	34
4.2.1	<b>Analiza povprečnih odstopanj dolžin (<math>\bar{\varepsilon}_d</math>) za izmero v oteženih razmerah</b>	34
4.2.2	<b>Prikaz odstopanj višinskih razlik (<math>\varepsilon_{\Delta h}</math>) za izmero v oteženih razmerah</b>	39
4.3	ANALIZA POPOLNEGA FAKTORSKEGA POSKUSA ZA IZMERO V UGODNIH RAZMERAH	40
4.3.1	<b>Analiza povprečnih odstopanj dolžin (<math>\bar{\varepsilon}_d</math>)</b>	40
4.3.2	<b>Analiza odstopanj višinskih razlik (<math>\bar{\varepsilon}_{\Delta h}</math>)</b>	44
5	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b>	48
5.1	RAZPRAVA	48
5.1.1	<b>Analiza objav</b>	48
5.1.2	<b>Predstavitev poskusa in rezultatov</b>	49
5.1.3	<b>Preliminarna analiza</b>	50
5.1.4	<b>Rezultati statistične analize</b>	50
5.2	SKLEPI	51
5.2.1	<b>Rezultati analize glede na hipoteze</b>	51
5.2.2	<b>Dodatne ugotovitve</b>	53
5.2.3	<b>Doprinos k znanosti</b>	54
6	<b>POVZETEK (SUMMARY)</b>	55
6.1	POVZETEK	55
6.2	SUMMARY	57
7	<b>VIRI</b>	61
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

## KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Analiza variance za faktorski poskus z dvema fiksnima dejavnikoma A in B	8
Preglednica 2: Referenčne dolžine ( $d^*(P_{m_1}, P_{m_2})$ [cm]) in referenčne višinske razlike ( $\Delta h^*(P_{m_1}, P_{m_2})$ [cm]) med pari točk v oteženih ( $P_1$ in $P_2$ , $P_2$ in $P_3$ ter $P_1$ in $P_3$ ) ter med pari točk v ugodnih ( $P_4$ in $P_5$ , $P_5$ in $P_6$ ter $P_4$ in $P_6$ ) razmerah	19
Preglednica 3: Točnosti za vse tri sprejemnike	20
Preglednica 4: Izmere v eni seriji za trajanje opazovanj 30 s v oteženih razmerah, operater M1 je upravljal sprejemnik A, operater M2 sprejemnik B, operater M3 pa sprejemnik C	21
Preglednica 5: Izmere v eni seriji za trajanje opazovanj 5 s v oteženih razmerah, operater M1 je upravljal sprejemnik A, operater M2 sprejemnik B, operater M3 pa sprejemnik C	22
Preglednica 6: Načrt poskusa: proučevani dejavniki so sprejemnik (A, B, C), lokacija (Ob gozdu, Na prostem) ter trajanje (30 s, 5 s)	23
Preglednica 7: Spremenljivke v poskusu	24
Preglednica 8: Odstopanja dolžin $\varepsilon_d$ in odstopanja višinskih razlik $\varepsilon_{\Delta h}$ so izračunana za sprejemnike A, B in C za pare točk in pare trenutkov izmere; prikaz prvega latinskega kvadrata	26
Preglednica 9: Vhodni podatki za statistično analizo za dve odzivni spremenljivki $\bar{\varepsilon}_d$ in $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$	29
Preglednica 10: Sive celice označujejo grobe pogreške za $\varepsilon_d$	31
Preglednica 11: Sive celice označujejo grobe pogreške za $\varepsilon_{\Delta h}$	33
Preglednica 12: Povprečja $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v oteženih razmerah; brez podatkov z grobimi pogreški	35
Preglednica 13: Povprečja in standardni odkloni treh ponovitev obravnavanj sprejemnik – trajanje za $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v oteženih razmerah; brez podatkov z grobimi pogreški	36
Preglednica 14: Leveneov test homogenosti varianc za $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v oteženih razmerah; podatki brez grobih pogreškov	38
Preglednica 15: Analiza variance za $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v oteženih razmerah	38
Preglednica 16: Povprečja $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	40
Preglednica 17: Povprečja in standardni odkloni treh ponovitev obravnavanj sprejemnik – trajanje za $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] izmero v ugodnih razmerah	41
Preglednica 18: Leveneov test homogenosti varianc za $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	42
Preglednica 19: Analiza variance za $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	43
Preglednica 20: Povprečja $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	44



Preglednica 21:	Povprečja in standardni odkloni $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] za dejavnika sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah	45
Preglednica 22:	Leveneov test homogenosti varianc za $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	46
Preglednica 23:	Analiza variance za $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	46
Preglednica 24:	Opisne statistike za $\varepsilon_d$ [cm] in $\varepsilon_{\Delta h}$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	53
Preglednica 25:	Leveneov test homogenosti varianc med $\varepsilon_d$ [cm] in $\varepsilon_{\Delta h}$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	53

## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Dve shemi latinskega kvadrata	7
Slika 2: Uravnovežen niz latinskih kvadratov dimenzije 3 x 3	7
Slika 3: Natančnost in pravilnost v skladu s standardoma ISO 3534-2 (2006), ISO 5725-1 (1994) in International vocabulary of metrology – basic and general concepts and associated terms (2008)	12
Slika 4: Natančnost, pravilnost in točnost v skladu s standardoma ISO 3534-2 (2006) in ISO 5725-1 (1994)	13
Slika 5: Shematičen prikaz točk v prostoru; razdalja med dvema sosednjima točkama v oteženih oz. v ugodnih razmerah je približno 3 m; razdalja med lokacijama pa je približno 275 m	18
Slika 6: Sprejemnik GNSS Topcon Hiper +	19
Slika 7: Sprejemnik GNSS Trimble R6	20
Slika 8: Sprejemnik GNSS Leica 900CS	20
Slika 9: $\varepsilon_d$ [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah; nad rdečo črto so grobi pogreški	34
Slika 10: $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah; brez podatkov z grobimi pogreški	36
Slika 11: Povprečja $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah; levo: brez 95 % intervala zaupanja za povprečje, desno: s 95 % intervalom zaupanja za povprečje	37
Slika 12: Grafikona ostankov modela analize variance za $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v oteženih razmerah; brez grobih pogreškov	38
Slika 13: $\varepsilon_{\Delta h}$ [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah; nad rdečo črto so grobi pogreški	39
Slika 14: $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah	40
Slika 15: Povprečja $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah; levo: brez 95 % intervala zaupanja za povprečje, desno: s 95 % intervalom zaupanja za povprečje	42
Slika 16: Grafikona ostankov modela analize variance za $\bar{\varepsilon}_d$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	43
Slika 17: $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah	44
Slika 18: Povprečja $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah; levo: brez 95 % intervala zaupanja za povprečje, desno: s 95 % intervalom zaupanja za povprečja	45
Slika 19: Grafikona ostankov analize variance za $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah	47

## KAZALO PRILOG

Priloga A: Terenska izmera

Priloga B1: Seznam podatkov z grobo pogrešenimi  $\varepsilon_d$

Priloga B2: Seznam podatkov z grobo pogrešenimi  $\varepsilon_{\Delta h}$

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

D96 – Horizontalni geodetski datum Slovenije, realiziran v letu 1996

DOP – angl. Dilution of Precision

ETRS – angl. European Terrestrial Reference System

FIG – fr. Federation Internationale des Geometres

GNSS – angl. Global Navigation Satellite System

GPS – angl. Global Positioning System

RTK – angl. Real Time Kinematic

SKO – srednji kvadrirani odklon

SP – stopinje prostosti

SS – angl. Sum of Squares

TM – angl. Transverse Mercator

VKO – vsota kvadriranih odklonov

VRS – angl. Virtual Reference Station

## SLOVARČEK

**D96/TM** – horizontalni geodetski datum Slovenije, ki ga določa realizacija horizontalnega geodetskega datuma v letu 1996 (D96); koordinate točk so določene v prečni Mercatorjevi projekciji (TM).

**GNSS** (angl. Global Navigation Satellite System ) – satelitski navigacijski sistemi. Mednje sodijo najbolj znani ameriški GPS (angl. Global Positioning System), ruski GLONASS (rus. Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema), kitajski BeiDou, evropski Galileo.

**RTK** (angl. Real Time Kinematic) – metoda kinematične določitve položaja v GNSS, ki spada med relativne metode. Za kinematične metode velja, da se inicializacija (določitev fazne nedoločenosti) izvede na začetku izmere in se nato uporablja dokler je veljavna. Vse koordinate (ene ali več točk) se določijo z na začetku izvedeno inicializacijo. Za relativne metode pa velja, da izmera poteka z dvema sprejemnikoma hkrati, pri čemer je en sprejemnik referenčni, drug pa služi za določitev položajev novih točk. Referenčni sprejemnik pošilja preničnemu sprejemniku svoja opazovanja faze nosilnega signala ali popravke opazovanj. Postopek skupne obdelave opazovanj obeh sprejemnikov vključuje določitev neznanega začetnega števila celih valov ter ocenitev baznega vektorja med sprejemnikoma. Pri RTK GNSS-metodi določitve položaja dobimo podatke o položaju merjenih točk v skoraj realnem času.

**Natančnost** (angl. precision) – variabilnost rezultatov neodvisnih testov oz. poskusov, dobljenih pod predpisanimi pogoji. Odvisna je od slučajnih pogreškov oziroma slučajnih vplivov.

**Pravilnost** (angl. trueness) – stopnja ujemanja med pričakovanim rezultatom izmere in pravo vrednostjo. Odvisna je od sistematičnih pogreškov. Vključuje sistematične pogreške oziroma neodstranjene sistematične vplive.

**Točnost** (angl. accuracy) – stopnja ujemanja med rezultatom enega poskusa in sprejeto referenčno vrednostjo. Vključuje kombinacijo slučajnih in sistematičnih pogreškov oziroma slučajne in neodstranjene sistematične vplive.

**Zanesljivost** (angl. reliability) – zanesljivost podatkov predstavlja stopnjo neodkritih in neodstranjenih grobih pogreškov v podatkih. Predstavlja tudi zmožnost odkrivanja grobih pogreškov v podatkih in ugotavljanja vpliva neodkritih grobih pogreškov na rezultate (funkcije) meritev (izide poskusa). Vključuje kombinacijo slučajnih, sistematičnih in grobih pogreškov.

## 1 UVOD

V meroslovju je nujna kontrola merske opreme, saj so vsi procesi merjenja obremenjeni tako s slučajnimi kot tudi sistematičnimi pogreški. Merska oprema mora podajati rezultate izmere brez grobih in sistematičnih pogreškov z deklarirano točnostjo. Ker funkcionalnost tako strojne kot tudi programske opreme GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) in uporabljenih podatkov (efemeride, vpliv ionosfere, troposfere ...) uporabniku le-te podrobno ni znana, preostane v praksi le kontrola pridobljenih rezultatov s pomočjo poskusa na terenu (Heister, 2008).

Osnovni pogoj za zagotavljanje točnosti, ki jo podaja proizvajalec instrumenta, in sledljivosti rezultatov merjenja je preverjanje in umerjanje instrumentov za merjenje. V primeru GNSS-določitve položaja je mogoče neposredno ponoviti le takšne meritve, ki se nanašajo na fizično točko na Zemlji (Bilban, 2013).

Preprost preizkus delovanja opreme in vrednotenja značilnih odklonov posameznih rezultatov izmere opisuje standard ISO 17123-8 (2007) z naslovom GNSS-terenski merski sistemi v realnem času (angl. GNSS field measurement systems in real time kinematic (RTK)). Standard ISO 17123-8 (2007) opisuje terenski preizkus delovanja instrumentov pri RTK GNSS-metodi določitve položaja za posamezno delovišče. Vodilo standarda je preverjanje ustreznosti rezultatov izmere glede na navedbe proizvajalca (Pavlovčič in sod., 2010). Standard ISO 17123-8 (2007) ne navaja, kako med sabo primerjati več sprejemnikov GNSS v različnih razmerah, zaradi česar smo poskusili zasnovati in analizirati poskus, ki bi to omogočil. V skladu z Jiju (2014) je načrtovanje poskusov močna tehnika, ki se uporablja tako za raziskovanje novih kot tudi za boljše prepoznavanje obstoječih procesov.

### 1.1 NAMEN RAZISKAVE

Namen raziskave je zasnova in analiza poskusa, ki omogoča vrednotenje dolžin in višinskih razlik med točkami na terenu ob različnih pogojih: različni sprejemniki, različne lokacije in različno trajanje izmere. Za vsako lokacijo je za vsako trajanje izmere sestavljen latinski kvadrat, v katerem so v vrsticah latinskega kvadrata trenutki izmere, v stolpcih pa točke, na katerih izmera poteka. Več o latinskih kvadratih bo predstavljeno v poglavju 2.2.1.

## 1.2 RAZISKOVALNE HIPOTEZE

Ker funkcionalnost tako strojne kot tudi programske opreme GNSS uporabniku le-te podrobno ni znana, v naši nalogi na terenu izvedemo poskus, ki omogoča, da preverimo, ali trije različni sprejemniki pri različnem trajanju izmere in na dveh različnih lokacijah podajajo rezultate z različno točnostjo.

### **Hipoteza 1**

**Geodetski sprejemniki GNSS različnih proizvajalcev pri izmeri RTK ne podajajo horizontalnega položaja z različno točnostjo. Isto velja za višine točk.**

V skladu s trditvijo Bauerja (2011) med geodetskimi sprejemniki GNSS različnih blagovnih znamk ne bi smelo biti razlik. Za preverjanje te hipoteze bomo izbrali sprejemnike treh blagovnih znamk.

### **Hipoteza 2**

**Točnost določitve horizontalnega položaja pri izmeri RTK GNSS, kadar imamo na južni strani gozd (oviro), je slabša kot v primeru, ko v bližini sprejemnika ni ovire. Isto velja za višine točk.**

Navodila za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu (Mozetič in sod., 2006) navajajo pogoje za kakovostno izmero, med katerimi je tudi odsotnost fizičnih ovir v bližini točke. V nalogi nas zanima, ali se bo v rezultatih izmere pokazal vpliv fizične ovire na rezultate izmere. Zaradi tega bodo meritve izvedene v ugodnih razmerah (na območju brez ovir) ter v oteženih razmerah (na območju, kjer imamo na jugu oviro).

### **Hipoteza 3**

**Na točnost določitve horizontalnega položaja točk pri izmeri RTK GNSS ne vpliva trajanje izmere. Isto velja za višine točk.**

Navodila za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu (Mozetič in sod., 2006) priporočajo 20 sekund za trajanje meritev na posamezni točki, v idealnih pogojih vsaj 10 sekund. Zanima nas, ali se bodo v rezultatih izmere pokazale razlike med trajanjem izmere, krajšim od 10 sekund, in trajanjem izmere, daljšim od 20 sekund. Uporabili bomo trajanji izmere 5 in 30 sekund.

## 2 PREGLED OBJAV

V magistrskem delu načrtujemo poskus za statistično analizo točnosti več geodetskih sprejemnikov GNSS pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS. Potrebno je dobro poznavanje RTK GNSS-metode določitve položaja v konceptu VRS (poglavje 2.1), načrtovanja in analize poskusov s področja geodezije (poglavje 2.2) ter razlikovanje med pojmi natančnost, točnost in zanesljivost (poglavje 2.3). Pri izvedbi poskusa in analizi tega so nam v pomoč že izvedene podobne raziskave in standardizacija področja, kar predstavi poglavje 2.4.

### 2.1 SPLOŠNO O RTK GNSS-METODI DOLOČITVE POLOŽAJA

Določitev položaja na Zemlji v GNSS temelji na določitvi razdalje med sateliti GNSS, ki »krožijo« okrog Zemlje po tirnicah v vesolju, in sprejemnikom GNSS na Zemlji. Določitev razdalje med sateliti in sprejemnikom je mogoča s kodnim ali faznim načinom. Pri kodnem načinu je koda nosilnega valovanja korelirana s kodo, generirano v sprejemniku, pri faznem načinu pa sta primerjani faza sprejetega in faza v sprejemniku generiranega valovanja (Kozmus in Stopar, 2003).

V široki uporabi se tehnologija GNSS najpogosteje uporablja za absolutno določitev položaja s točnostjo od nekaj metrov do nekaj deset metrov. Za potrebe detajlne izmere v geodeziji so v uporabi relativne metode določitve položaja na osnovi faznih opazovanj, ki omogočajo višjo točnost določitve položaja. Te vključujejo dva sprejemnika, imenovana premični in referenčni sprejemnik. Premični sprejemnik služi za določitev položajev novih točk, referenčni sprejemnik pa svoja opazovanja faze nosilnega signala ali popravke opazovanj pošilja premičnemu sprejemniku po enem od komunikacijskih kanalov. Postopek skupne obdelave opazovanj referenčnega in premičnega sprejemnika vključuje določitev neznanega začetnega števila celih valov signala od satelita do sprejemnika ter ocenitev baznega vektorja med sprejemnikoma. Določitev neznanega začetnega števila celih valov se določi z algoritmi, ki omogočajo določitev te skupine neznank v množici naravnih števil (Bilban, 2013). Kozmus in Stopar (2003) navajata, da je določitev neznanega začetnega števila celih valov, ki se izvede v postopku inicializacije na začetku izmere, ključnega pomena za kvalitetno določitev položaja.

Položaj sprejemnika je mogoče pridobiti v času izvedbe meritve, to je določitev položaja v realnem času (angl. Real-Time), ali po zaključku meritev z naknadno obdelavo opazovanj (Bilban, 2013).

Bilban (2013) navaja, da je zadnje čase najbolj razširjena RTK GNSS-metoda (angl. Real Time Kinematic GNSS), ki omogoča določitev položaja premikajočega se sprejemnika v



realnem času s točnostjo horizontalnega položaja  $10 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km} \cdot b \text{ [km]}$  ter višin točk  $20 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km} \cdot b \text{ [km]}$  (Leica Geosystems, 2008);  $b$  predstavlja dolžino baznega vektorja med sprejemnikoma. RTK GNSS-metoda spada med kinematične metode izmere, za katere velja da se inicializacija izvede na začetku izmere in se nato uporablja, dokler je veljavna.

Izmero lahko izvajamo tudi z večjim številom referenčnih sprejemnikov. Ker uporabnik pogosto nima na voljo vsaj dveh sprejemnikov GNSS, referenčne sprejemnike velikokrat zamenjujejo permanentne postaje. To so referenčni sprejemniki, stalno postavljeni na izbranih lokacijah, ki neprestano sprejemajo signale satelitov GNSS. V primeru Slovenije je omrežje permanentnih postaj postavljeno na državnem nivoju (Kozmus in Stopar, 2003). Premični sprejemnik uporabi za določitev svojega položaja podatke najbližje permanentne postaje in podatke lastnih opazovanj (Bilban, 2013).

Ker je točnost določitve položaja z RTK GNSS-metodo določitve položaja odvisna od baznega vektorja in ker je najbližja permanentna postaja od sprejemnika velikokrat preveč oddaljena, se v Sloveniji podatki opazovanj vseh permanentnih postaj v omrežju skupno obravnavajo. Na osnovi teh podatkov se v bližini uporabnika računsko vzpostavi navidezni položaj referenčne postaje (Kozmus in Stopar, 2003). Programske rešitve pri vzpostavitvi navideznega položaja referenčne postaje vključujejo modeliranje in predstavitev vplivov na opazovanja v omrežjih z različnimi koncepti, med katere spadajo koncept z navideznimi referenčnimi postajami VRS (angl. Virtual Reference Station), psevdo-referenčnimi postajami PRS (angl. Pseudo Reference Station), ploskovnimi popravki FKP (nem. Flächenkorrekturparameter) ter koncept MAC z mrežnimi popravki MAX in koncept z individualiziranimi mrežnimi popravki i-MAX. Vsi koncepti zmanjšujejo prostorsko odvisne vplive na opazovanja, s čimer vsak na svoj način omogočajo večje oddaljenosti med permanentno postajo in premičnim sprejemnikom (Bilban, 2013).

Pri konceptu VRS se izbira permanentnih postaj, modeliranje vplivov na opazovanja in interpolacija za položaj premičnega sprejemnika opravi v računskem centru omrežja permanentnih postaj. Sprejemnik tako sprejme spremenjena opazovanja oz. opazovanja faze nosilnega signala fizične ali navidezne referenčne postaje, popravljena za interpolirane vrednosti vplivov na lokacijo fizične ali navidezne referenčne postaje. Osrednji računalnik zbira podatke iz vseh permanentnih postaj, vzpostavlja modele vplivov na opazovanja in pripravlja popravke RTK, le-te pa posreduje premičnim sprejemnikom (Bilban, 2013).

Opazovanja GNSS so obremenjena z različnimi vplivi (Sabatini in Palmerini, 2008):

- vplivi z izvorom v satelitih: pogreški satelitovih ur, zakasnitve zaradi elektronskih sestavov satelita, relativistični učinek, spreminjanje položaja faznega centra satelitove antene,

- vplivi zaradi pogreškov tirnic satelitov,
- vplivi z izvorom v mediju, po katerem se razširja signal: ionosferska refrakcija, troposferska refrakcija, večpotje signala,
- vplivi z izvorom v sprejemniku: pogreški sprejemnikove ure, zakasnitve zaradi elektronskih sestavov sprejemnika, spreminjanje položaja faznega centra antene.

Na določitev položaja z GNSS ima bistven vpliv tudi geometrijska razporeditev satelitov.

Z GNSS določamo položaj v kartezičnih koordinatah v terestričnem koordinatnem sistemu. Te je za potrebe pridobitve koordinat v slovenskem državnem koordinatnem sistemu potrebno preračunati v elipsoidne na referenčnem elipsoidu GRS 80. Elipsoidne koordinate nato pretvorimo v horizontalni koordinatni sistem s prečno Merkatorjevo projekcijo. Ravninske koordinate so tako izražene v državnem koordinatnem sistemu Republike Slovenije z oznako D96/TM. Koordinatni osi označujemo z N, ki predstavlja projekcijo srednjega meridiana in je usmerjena proti severu, in z E, ki je projekcija ekvatorja in usmerjena proti vzhodu. Višinska komponenta v prikazih je elipsoidna višina in je direktno merjena količina (Kozmus Trajkovski, 2010).

## 2.2 NAČRTOVANJE IN ANALIZA POSKUSOV

V nalogi primerjamo sprejemnike GNSS pri RTK GNSS-metodi določitve položaja, kar je tako geodetski kot tudi statistični problem, zato bosta v tem poglavju kratko predstavljena načrtovanje in analiza poskusov iz področja geodezije.

Za reševanje takšnega problema je bistven inženirski pristop, ki pri reševanju resničnih problemov zahteva poskus. Poskus zmeraj izvajamo zaradi določenega namena, ki ga moramo pred izvedbo poskusa dobro definirati. Dobri definiciji namena sledi opredelitev dejavnikov, ki nas zanimajo, ter način njihove izmere. Dejavnike, ki so predmet raziskave, imenujemo proučevani dejavniki. Raziskovalec po svoji presoji določi njihove vrednosti, imenovane ravni (Montgomery, 2000).

Večina podatkov v geodeziji nastane v okviru postopkov, za katere se pogoji v času spreminjajo. Posledično so rezultati izmer odvisni od stanja postopka v določenem časovnem intervalu. O omejitvah, ki ovirajo našo sposobnost zbiranja podatkov, je pred izvedbo poskusa potrebno dobro razmisliti. Dejavnike, za katere sumimo ali vemo, da imajo vpliv na izid, niso pa predmet raziskave, imenujemo moteči dejavniki. Včasih so tudi neznani in jih ni mogoče kontrolirati (Vining in Kowalski, 2006; Montgomery, 2000).

Opredelitvi proučevanih in motečih dejavnikov sledi oblikovanje modela, ki bi ustrezno opisal problem (Vining in Kowalski, 2006; Montgomery, 2000).

### 2.2.1 Zasnova poskusa

Najboljši način izvedbe poskusa predstavlja poskus, v katerem križamo dejavnike. To imenujemo zasnova poskusa. Zasnova poskusa mora omogočiti, da lahko med sabo ločimo vpliv posameznih dejavnikov na izid poskusa. Kombinacije ravni dejavnikov sestavljajo obravnavanja. Vsaka izvedba posameznega obravnavanja predstavlja izmero (Vining in Kowalski, 2006).

Osnovni principi zasnove poskusa so (Vining in Kowalski, 2006; Montgomery, 2000):

- ponovitve,
- princip slučajnosti in
- nadzor nad poskusno napako.

Ponovitve pomenijo, da je za potrebe statistične analize vsaj eno obravnavanje potrebno dodeliti več kot eni poskusni enoti. Omogočajo oceno poskusne napake, ki služi kot osnova za ugotavljanje, ali so razlike med izidi poskusa statistično značilne.

Prireditve obravnavanj poskusnim enotam oziroma izbira poskusnih enot je slučajna. Princip slučajnosti minimizira pristranskost, ki nastane zaradi izvedbe poskusa. Statistične metode zahtevajo, da so izidi poskusa neodvisno porazdeljene slučajne spremenljivke. Veljavnost te predpostavke najpogosteje zagotovi slučajnost, ki pa je ni mogoče zmeraj zagotoviti.

Osnovna ideja nadzora nad poskusno napako je kontrola vsega, kar bi lahko vplivalo na izid poskusa in kar ni določeno s proučevanimi dejavniki, torej motečih dejavnikov. Vpliv variabilnosti zaradi motečih dejavnikov je mogoče minimizirati z razporeditvijo poskusnih enot v skupine, merjene v relativno homogenih pogojih. Te skupine imenujemo bloki. Z minimiziranjem vzrokov variabilnosti zaradi motečih dejavnikov naredimo poskus občutljivejši za odkrivanje razlik, ki so posledica proučevanih dejavnikov.

V primeru dveh motečih spremenljivk, katerih vpliv bi bilo potrebno minimizirati, se uporablja latinski kvadrat, ki omogoča zasnovo z bloki v dveh smereh. V latinskem kvadratu je vsaka raven enega motečega dejavnika kombinirana z vsako ravno drugega motečega dejavnika natanko enkrat (Montgomery, 2000).

V skladu z Winer in sod. (1991) je latinski kvadrat reda  $p$  uravnotežena kvadratna shema (matrika), napolnjena s  $p$  različnimi znaki tako, da se vsak znak v vsaki vrstici in vsakem stolpcu pojavi le enkrat. Znaki predstavljajo obravnavanja. Vrstice predstavljajo ravni enega, stolpci pa ravni drugega motečega dejavnika. Slika 1 prikazuje dve takšni shemi.

<b>Shema 1</b>			<b>Shema 2</b>		
a	b	c	a	b	c
b	c	a	c	a	b
c	a	b	b	c	a

Slika 1: Dve shemi latinskega kvadrata  
Figure 1: Two Latin squares

Shema 1 predstavlja standardno obliko latinskega kvadrata, za katero je značilno, da je oblikovana na tak način, da so črke v prvi vrstici in prvem stolpcu postavljene po abecednem vrstnem redu. Shema 2 je nastala iz sheme 1, pri čemer sta bili zamenjani vrstici 2 in 3.

Vsak standardni latinski kvadrat lahko v splošnem preoblikujemo v  $p! \cdot (p - 1)! - 1$  latinskih kvadratov. Tako lahko standardno shemo (Shema 1) latinskega kvadrata reda 3 preoblikujemo v  $3! \cdot 2! - 1 = 11$  shem, torej imamo skupaj 12 shem latinskih kvadratov reda 3.

Uravnotežen niz latinskih kvadratov predstavlja podmnožico le-teh, pri katerih se vsaka črka v vsaki poziciji pojavi le enkrat. Za latinski kvadrat dimenzije  $p \times p$  imamo v uravnoteženem nizu  $p$  shem latinskih kvadratov. Primer uravnotežene sheme je predstavljen za primer  $p = 3$ :

<b>Shema 1</b>			<b>Shema 2</b>			<b>Shema 3</b>		
a	b	c	b	c	a	c	a	b
c	a	b	a	b	c	b	c	a
b	c	a	c	a	b	a	b	c

Slika 2: Uravnotežen niz latinskih kvadratov dimenzije 3 x 3  
Figure 2: The balanced set of 3 x 3 Latin squares

### 2.2.2 Faktorski poskus

Mnogi poskusi vključujejo študijo dveh oz. več kot dveh dejavnikov. V takšnem primeru je zelo uporaben popolni faktorski poskus. Popolni faktorski poskus vsebuje vsa obravnavanja, ki so določena z vsemi možnimi kombinacijami ravni vseh proučevanih dejavnikov. Vsa obravnavanja so ponovljena enako mnogokrat. V primeru dejavnikov A z  $a$  ravnmi in B z  $b$  ravnmi vsebuje vsaka ponovitev poskusa vsa  $a \cdot b$  obravnavanja. Kadar odkrijemo, da je vpliv enega dejavnika na izid poskusa drugačen pri različnih ravneh drugega dejavnika, imamo med dejavnikoma interakcijo. Podatek o interakciji je razviden iz grafikona interakcije, ki prikazuje povprečja enega dejavnika glede na ravni drugega.

Kadar sta dve črti v grafikonu interakcije vzporedni, med dejavnikoma ni interakcije (Montgomery, 2000; Navidi, 2010).

Matematični model za primer dveh fiksnih proučevanih dejavnikov A in B se glasi (Montgomery, 2000):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}. \quad \dots (1)$$

V enačbi (1) je:

- indeks  $i$  raven dejavnika A ( $i = 1 \dots I$ ),
- indeks  $j$  raven dejavnika B ( $j = 1 \dots J$ ),
- indeks  $k$  ponovitev ( $k = 1 \dots K$ ),
- $\mu$  splošno raven izida,
- $\alpha_i$  vpliv  $i$ -te ravni dejavnika A,
- $\beta_j$  vpliv  $j$ -te ravni dejavnika B,
- $(\alpha\beta)_{ij}$  vpliv interakcije med dejavnikoma A in B ter
- $\varepsilon_{ijk}$  slučajni vpliv.

Izračun statistične analize modela je najpogosteje predstavljen v preglednici. Preglednica 1 prikazuje analizo variance za faktorski poskus z dvema fiksnima dejavnikoma A in B (Montgomery, 2000).

Preglednica 1: Analiza variance za faktorski poskus z dvema fiksnima dejavnikoma A in B  
Table 1: The analysis of variance for factorial design with two fixed factors A and B

Vir variabilnosti	Vsota kvadriranih odklonov	Stopinje prostosti	Srednji kvadrirani odklon	$F$
A	$VKO_A$	$SP_A = I - 1$	$SKO_A = \frac{VKO_A}{SP_A}$	$F_A = \frac{SKO_A}{SKO_{OST}}$
B	$VKO_B$	$SP_B = J - 1$	$SKO_B = \frac{VKO_B}{SP_B}$	$F_B = \frac{SKO_B}{SKO_{OST}}$
Interakcija A:B	$VKO_{A:B}$	$SP_{A:B} = (I - 1) \cdot (J - 1)$	$SKO_{A:B} = \frac{VKO_{A \times B}}{SP_{A \times B}}$	$F_{A:B} = \frac{SKO_{A:B}}{SKO_{OST}}$
Ostanek	$VKO_{OST}$	$SP_{OST} = I \cdot J \cdot (K - 1)$	$SKO_{OST} = \frac{VKO_{OST}}{SP_{OST}}$	
Skupaj	$VKO_{SK}$	$SP_{SK} = I \cdot J \cdot K - 1$		

Za testne statistike  $F$  velja:

- $F_{A:B} \sim F_\alpha(SP_{A:B}, SP_{OST})$ ,
- $F_B \sim F_\alpha(SP_B, SP_{OST})$ ,
- $F_A \sim F_\alpha(SP_A, SP_{OST})$ .

Enačbe za vsote kvadriranih odklonov (angl. Sum of Squares  $SS$ ) in več o analizi variance je mogoče najti v mnogih statističnih literaturah, npr. Hinkelmann (2008).

V skladu z Gastwirth in sod. (2009) standardni  $F$ -test, kot del analize variance, predpostavlja, da imajo obravnavanja enake variance. Za primerjavo varianc je pogosto v uporabi Leveneov test enakosti varianc. Več o tem je mogoče najti v Levene (1960) in Gastwirth in sod. (2009).

### 2.2.3 Ostanki

Pred sprejetjem modela je model potrebno oceniti. Modele ocenjujemo glede na to, koliko so sposobni predvideti izid poskusa. Neuspeh modela pri predvidevanju izida poskusa predstavljajo ostanki. Veliki ostanki nakazujejo osamelce ali pa slab model. Rezultati analize so veljavni le, če so izpolnjene predpostavke, vezane na model. Grafikoni omogočajo kratek, enostaven in učinkovit način kontrole veljavnosti teh predpostavk, saj omogočajo vpogled v naravo ostankov in na primernost modela. Napačna definicija modela se običajno izrazi v ostankih, ki tvorijo sistematičen vzorec (Vining in Kowalski, 2006). Model je veljaven, če so ostanki med seboj neodvisni in porazdeljeni po normalni porazdelitvi (Košmelj, 2004).

Naša zasnova poskusa temelji na uporabi dvofaktorskega poskusa in uravnoveženega niza latinskih kvadratov. Pred izvedbo analize variance bo opravljen Leveneov test enakosti varianc med obravnavanji. Veljavnost modela bo preverjena z grafikoni ostankov. Za izračune in izrise grafikonov bo uporabljen R (R core team, 2014; Crawley, 2007).

## 2.3 OPREDELITEV BISTVENIH POJMOV

Podatki, pridobljeni z metodo izmere GNSS, so obremenjeni tako s slučajnimi in sistematičnimi kot tudi z grobimi pogreški. V tej nalogi primerjamo odstopanja dolžin in višinskih razlik, izračunanih iz koordinat parov točk, pridobljenih s sprejemniki GNSS več proizvajalcev z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS, od referenčnih vrednosti. Osnova za takšno analizo je zanesljiv rezultat izmere, torej odstopanja med izmerjenimi in referenčnimi vrednostmi brez grobih pogreškov. Zaradi navedenega je bistvenega pomena razlikovanje pojmov natančnost, točnost in zanesljivost.

### 2.3.1 Pogreški

V skladu z Nakhra in Chaudhry (2004) je pogrešek definiran kot razlika med izmerjeno in pravo vrednostjo. Delimo jih na

- sistematične pogreške,
- slučajne pogreške in
- grobe pogreške.

Sistematični pogreški so po Nakhra in Chaudhry (2004) takšni, ki imajo v enakih pogojih običajno isto velikost in isto smer. Pojavljajo se kot posledica:

- vpliva instrumenta: sistematični pogreški, ki so neločljivo povezani z delovanjem instrumenta. Lahko se jim izognemo z nalogi primerno izbiro instrumenta, uporabo ustreznega popravka po ugotovitvi vpliva instrumenta ter s kalibracijo instrumenta po ustreznem standardu;
- vpliva okolja: sistematični pogreški kot posledica vpliva okolja so posledica variabilnosti pogojev, v katerih se izmera opravlja. Na izmero najpogosteje vplivajo spremembe v temperaturi, zračnem tlaku, vlažnosti, vetrovnosti, magnetnih poljih itd.

Slučajni pogreški so pogreški, ki so posledica slučajne variabilnosti. Pojavljajo se v vseh možnih smereh, zaradi česar se medsebojno izločajo njihovi medsebojni vplivi. Njihov vpliv se v rezultatih več izmer v enakih oz. podobnih pogojih kaže v neskladnosti izmerjenih vrednosti. Porazdeljujejo se po normalni oz. Gaussovi porazdelitvi (Nakhra in Chaudhry, 2004). Slučajni pogreški so neizbežni in jih obravnavamo kot naravno lastnost opazovanj (Grigillo in Stopar, 2003).

Grobi pogreški so pogreški, ki predstavljajo večje odstopanje v rezultatih opazovanj. Po Nakhra in Chaudhry (2004) mednje spadajo:

- človeške napake kot posledica omejitve človekovih zaznavanj,
- napake, ki so posledica okvarjenih komponent,
- nepravilna uporaba instrumenta: gre za uporabo instrumenta v neprimernih okoliščinah.

Če naj bi opravljena izmera imela praktično vrednost, bi moral del vsake izmere biti sestavljen iz spremljanja pojavljanja grobih pogreškov, njihovega odkrivanja in odstranjevanja. Med samo izmero lahko odkrijemo le grobe pogreške, ki izstopajo po velikosti (Grigillo in Stopar, 2003). Ob njihovi pojavitvi bi jih bilo potrebno takoj odstraniti, da rezultat meritve, obremenjene z grobim pogreškom, ne pride v nadaljnje postopke obdelave opazovanj

### 2.3.2 Natančnost

Natančnost (ang. precision) je po standardu ISO 3534-2 (2006) in po International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and terms (2008) definirana kot variabilnost med rezultati neodvisnih testov oz. poskusov, dobljenih pod predpisanimi pogoji. Natančnost je odvisna le od porazdelitve slučajnih pogreškov in se ne nanaša na pravo vrednost. Mera natančnosti je standardni odklon; manjša natančnost se odraža z večjim standardnim odklonom.

Standard ISO 5725-1 (1994) navaja, da je definicija natančnosti potrebna, ker poskusi, izvedeni z domnevno enakimi sprejemniki v domnevno enakih okoliščinah, običajno ne podajo enakih rezultatov. To je posledica slučajnih pogreškov, ki so del vsakega merilnega postopka. Dejavniki, ki vplivajo na rezultat izmere, namreč ne morejo biti vsi v celoti pod nadzorom. V praktični interpretaciji podatkov meritev je zato potrebno upoštevati to dejstvo.

Če so vrednosti za ponovljena opazovanja zgoščena, so to opazovanja visoke natančnosti; če so opazovanja razpršena, pa gre za nizko natančnost (slika 3).

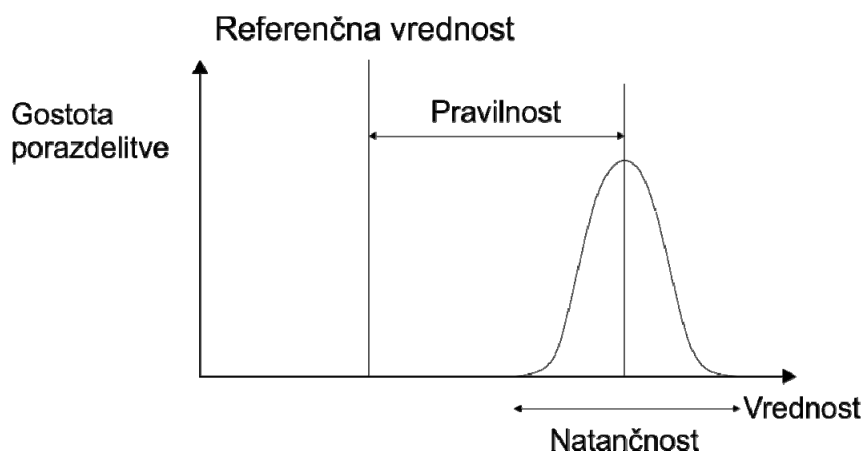
### 2.3.3 Pravilnost, pristranskost

Pravilnost (angl. trueness) je po standardu ISO 3534-2 (2006) definirana kot stopnja ujemanja med pričakovanim rezultatom izmere in pravo vrednostjo. Za praktično uporabo je prava vrednost nadomeščena z referenčno vrednostjo. Običajno se izrazi s pristranskostjo. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and terms (2008) navaja, da je pravilnost izmere stopnja ujemanja neskončnega števila ponovitev merjene količine in pripadajoče referenčne vrednosti. Navaja tudi, da je pravilnost izmere obratno sorazmerna sistematičnim pogreškom pri izmeri.

Pristranskost (angl. bias) standard ISO 3534-2 (2006) definira kot razliko med pričakovanim rezultatom izmere in pravo vrednostjo. Pristranskost je posledica neodstranjenih, enega ali več, sistematičnih pogreškov. Večji sistematični pogrešek oz. več sistematičnih pogreškov povzroča večjo pristranskost. Sistematični vplivi se pojavljajo pri merjenjih, ki jih opravljamo pod podobnimi pogoji. Povzročajo jih vplivi, ki imajo svoj izvor v opazovalcu, uporabljenem instrumentariju, okoliščinah, času ter kombinacijah naštetih vplivov.

Slika 3 prikazuje natančnost in pravilnost, kot ju predvidevajo standard ISO 3534-2 (2006), standard ISO 5725-1 (1994) in International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and terms (2008).





Slika 3: Natančnost in pravilnost v skladu s standardoma ISO 3534-2 (2006), ISO 5725-1 (1994) in International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and terms (2008)

Figure 3: Precision and trueness according to standards ISO 3534-2 (2006), ISO 5725-1 (1994), and International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and terms (2008)

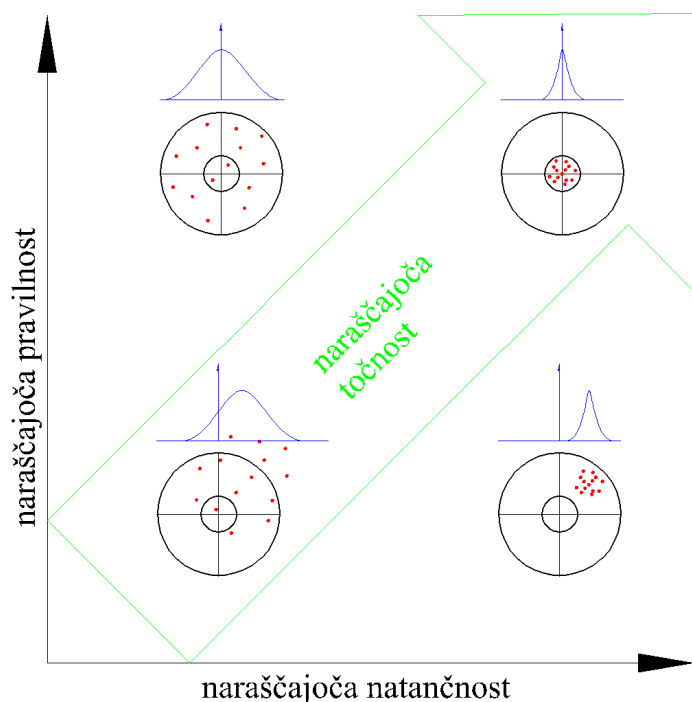
### 2.3.4 Točnost

Točnost (angl. accuracy) je po standardu ISO 3534-2 (2006) in International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and terms (2008) definirana kot stopnja ujemanja med rezultatom izmere in pravo vrednostjo. Za praktično uporabo je prava vrednost nadomeščena z referenčno vrednostjo. Točnost vključuje kombinacijo tako slučajnih kot tudi sistematičnih pogreškov, kar pomeni, da se nanaša tako na natančnost kot tudi pravilnost.

Točnost bi bilo mogoče doseči s superiorno geodetsko opremo in mersko tehniko, kar pa v geodeziji ni mogoče, zato je vsaka izmera obremenjena s sistematičnimi pogreški (Minster in sod., 2010).

Slika 4 prikazuje razliko med pojmi natančnost, pravilnost in točnost s prikazom štirih tarč in pripadajočih porazdelitev, ki so prikazane z modro barvo:

- leva spodnja tarča prikazuje rezultate izmere nizke pravilnosti, nizke natančnosti in nizke točnosti,
- leva zgornja tarča prikazuje rezultate nizke natančnosti, visoke pravilnosti in posledično nizke točnosti,
- desna spodnja tarča prikazuje rezultate visoke natančnosti, nizke pravilnosti, torej nizke točnosti in
- desna zgornja tarča prikazuje rezultate izmere visoke natančnosti, visoke pravilnosti in posledično visoke točnosti.



Slika 4: Natančnost, pravilnost in točnost v skladu s standardoma ISO 3534-2 (2006) in ISO 5725-1 (1994)  
Figure 4: Precision, trueness and accuracy according to standards ISO 3534-2 (2006) and ISO 5725-1 (1994)

### 2.3.5 Zanesljivost

Zanesljivost (angl. reliability) se nanaša na usklajenost pridobljenih rezultatov izmere in je mera občutljivosti na grobe pogoške. Predstavlja zmožnost odkrivanja grobih pogoškov v podatkih in ugotavljanja vpliva neodkritih grobih pogoškov na rezultate izmere (Angrisano in sod., 2013; Grigillo in Stopar, 2003). Grigillo in Stopar (2003) trdita, da so grobi pogoški rezultat malomarnosti operaterja in/ali nepravilnosti delovanja merskega instrumenta. Augath (1982) navaja, da za zanesljivo izmero zraven zanesljivega osebjja potrebujemo tudi zanesljivo metodo izmere, ki bo grobe pogoške odkrila že na terenu, ter zanesljiv matematični model, ki predstavlja relacije med izmerjenimi količinami. Tako zanesljivost v splošnem pripisujemo usposobljenim, odgovornim, pazljivim, torej zanesljivim strokovnjakom, zanesljivi in umerjeni merski opremi, zanesljivim merskim postopkom in geometrijskim lastnostim matematičnega modela, ki bo sposoben samokontrole. Matematični model mora biti sestavljen tako, da bodo opazovanja sama sebe kontrolirala.

Zanesljivost ločimo na notranjo in zunanjo; notranja se nanaša na sposobnost matematičnega modela, da odkrije grobe pogoške v opazovanjih, zunanja zanesljivost pa se nanaša na vpliv neodkritih grobih pogoškov na pogoške matematičnega modela (Augath, 1982).

Vse tehnike odkrivanja grobih pogreškov so pri odkrivanju teh omejene, kar pomeni, da grobih pogreškov, manjših od določenih mejnih vrednosti ne moremo zaznati. Za praktično uporabo rezultatov geodetske izmere mora vsak del izmere spremljati pojavljanje, odkrivanje in odstranjevanje grobih pogreškov (Grigillo in Stopar, 2003).

Zgoraj opisani pojmi so med seboj neločljivo povezani. Natančnost je odvisna le od slučajnih pogreškov, točnost je odvisna tako od slučajnih kot tudi sistematičnih pogreškov, zanesljivost pa zraven slučajnih in sistematičnih pogreškov zajema še grobe pogreške. V naši nalogi poskušamo primerjati točnosti sprejemnikov GNSS, zaradi česar bomo v analizi uporabili odstopanja dolžin in višinskih razlik, izračunanih iz koordinat točk, pridobljenih z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS, od pripadajočih referenčnih vrednosti. Ker pa želimo, da v analizi nastopajo le zanesljivi rezultati, bomo v preliminarni analizi poskušali odkriti in odstraniti grobe pogreške.

## 2.4 OBSTOJEČE RAZISKAVE S PODROČJA PRIMERJAVE SPREJEMNIKOV GNSS

Nekaj raziskav za primerjavo sprejemnikov GNSS različnih proizvajalcev je bilo že narejenih. V nadaljevanju bodo le-te predstavljene.

Preprost preizkus delovanja sprejemnikov in vrednotenja značilnih odklonov posameznih rezultatov izmere opisuje standard **ISO 17123-8 (2007)** z naslovom GNSS-terenski merski sistemi v realnem času (angl. GNSS field measurement systems in real time kinematic (RTK)). Standard ISO 17123-8 (2007) opisuje terenski preizkus delovanja instrumentov pri RTK GNSS-metodi določitve položaja za posamezno delovišče. Vodilo standarda je preverjanje ustreznosti rezultatov izmere glede na navedbe proizvajalca. Standard predvideva ugotavljanje, ali merska oprema GNSS omogoča doseganje natančnosti, ki jo predvideva proizvajalec. Preizkus je sestavljen iz dveh načinov preizkusa, poenostavljenega in popolnega (Pavlovčič in sod., 2010).

**Poenostavljen preizkus** je poenostavljen test delovanja sprejemnikov GNSS. Sestavlja ga le ena serija meritev, ki je sestavljena iz petih nizov meritev na dveh točkah. Vsaka določitev koordinat posamezne točke je pridobljena iz povprečja koordinat RTK GNSS v vsaj petih sekundah. Iz koordinat obeh točk so za potrebe določitve grobih pogreškov oz. zanesljivosti delovanja sprejemnikov GNSS izračunane posamezne dolžine in višinske razlike med točkama. Te pa so primerjane z referenčnima vrednostma dolžine in višinske razlike med točkama. Referenčni vrednosti je potrebno pridobiti z geodetsko metodo izmere, ki omogoča natančnost opazovanj dolžine in višinske razlike vsaj 3 mm. Poenostavljen preizkus je dejansko poenostavljen test delovanja opreme in je namenjen določitvi zanesljivosti delovanja sprejemnika GNSS, upoštevajoč zunanje vplive v

minimalnem obsegu. Izvaja se z namenom določitve grobo pogrešenih koordinat, določenih z RTK GNSS-metodo določitve položaja oz. za določitev zanesljivosti delovanja sprejemnikov GNSS ter za določitev značilnih odstopanj zaradi spremenjenih vplivov na opazovanja GNSS (Pavlovčič in sod., 2010; ISO 17123-8, 2007).

**Popolni preizkus** je izveden z namenom preverjanja, kako sprejemnik upošteva in odstrani vplive na opazovanja GNSS. Potrebno je opraviti tri zaporedne serije meritev, od katerih je vsaka sestavljena enako kot serija v poenostavljenem preizkusu. S statističnimi testi, ki sledijo preizkusu, ugotavljamo (Pavlovčič in sod., 2010; ISO 17123-8, 2007):

- ali je iz meritev izračunan standardni odklon za posamezni horizontalni položaj enak vrednosti, ki jo podaja proizvajalec oz. je bila določena predhodno;
- ali je iz meritev izračunan standardni odklon za posamezno elipsoidno višino enak vrednosti, ki jo podaja proizvajalec oz. je bila določena predhodno;
- ali standardna odklona dveh vzorcev horizontalnega položaja, ki se nanašata na meritve na isti točki in sta bila določena v dveh popolnih preizkusih, spadata v isto populacijo ob predpostavki, da imata oba enako število stopinj prostosti;
- ali standardna odklona dveh vzorcev, ki se nanašata na elipsoidno višino in sta bila določena v dveh popolnih preizkusih, spadata v isto populacijo ob predpostavki, da imata oba enako število stopinj prostosti.

Pavlovčič in sod. (2010) so v skladu s standardom ISO 17123-8 (2007) izvedli dva preizkusa. Izvedli so ju na strehi stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, kjer so imeli na voljo trajno stabilizirane betonske stebre, s čimer so se izognili pogrešku centriranja instrumenta, kljub temu da standard načina postavitve instrumenta ne definira. Ugotovili so tudi, da standard ne definira načina izvedbe RTK GNSS-določitve položaja, in sicer ne določa načina zagotovitve bazne (referenčne) postaje. Avtorji članka so se odločili, da bodo za bazno postajo privzeli virtualno postajo VRS, določeno v omrežju SIGNAL, saj opazovanja VRS niso obremenjena s pogreškom odboja signala od objektov, imenovanega večpotje (angl. multipath). Avtorji so v članku poleg statističnega preizkušanja domnev, enakosti standardnih odklonov za horizontalni položaj in višino, kar predvideva standard ISO 17123-8 (2007), dodali še preizkus domnev enakosti varianc.

V preizkusu so uporabili instrument Topcon Hiper Pro pri RTK GNSS-določitvi položaja v konceptu VRS. Meritve z premičnim sprejemnikom so bile opravljene na dveh točkah, med katerima so predhodno z drugimi metodami določili horizontalno dolžino in višinsko razliko. V preizkusu so izhajali iz podatkov o dosegljivi natančnosti, ki jih podaja proizvajalec. Z istim sprejemnikom so naslednji dan ponovno opravili popolni preizkus. Zaradi zagotovitve čim bolj enakih pogojev (predvsem geometrije satelitov), so opazovanja opravili v podobnih časovnih intervalih kot dan pred tem. Ugotovili so, da pri nobenem preizkusu niso nastopali grobi pogreški. Sledila je izvedba statističnih testov. Najprej so za horizontalni položaj in višine točk preverili, ali sta za oba preizkusa

standardna odklona iz vzorca izračunanih opazovanj manjša ali enaka vrednosti, ki jo podaja proizvajalec testiranega instrumenta. Za vsak popolni preizkus so za horizontalni položaj ugotovili, da s tveganjem 5 % ne morejo trditi, da je standardni odklon koordinat, pridobljenih z RTK GNSS-določitvijo položaja v konceptu VRS, večji od vrednosti, ki jo podaja proizvajalec. Prav tako niso odkrili statistično značilnih razlik med s strani proizvajalca definirane vrednosti in dejansko izmerjenimi višinami točk. Vsakemu preizkušanjju domnev enakosti standardnih odklonov je sledilo preizkušanje enakosti variance izmerjenih količin z varianco, podano iz strani proizvajalca. Sklepi so bili enaki.

Avtorji so si na koncu postavili tudi vprašanje o optimalni izvedbi preizkusa, in sicer: ali bi bilo za pridobitev posameznih rezultatov RTK-meritev potrebno določiti večje število zaporedno določenih 3D-položajev (število epoh), ali je dolžina serije opazovanj (približno 3 ure) optimalno določena, ali je dolžina niza opazovanj dovolj dobra glede na odstranitev večpotja ter ali smemo na podlagi standardnega odklona, pridobljenega z izvedbo enega preizkusa, ocenjevati kakovost instrumenta. Prav tako predlagajo izpopolnitev standarda s statističnimi postopki preizkušanja domnev ter podrobnejšo opredelitev izvedbe preizkusa.

Lekkerkerk (2007) je primerjal različne geodetske sprejemnike GPS pri metodi izmere RTK GPS. Za primerjavo je uporabil sprejemnike podjetij Leica Geosystems, Sokkia, Magellan, Topcon in Trimble. Uporabljeni sprejemniki so bili Leica Geosystems GX1230GG Smartrover, Magellan Profesional Z-Max, Sokkia GSR2700ISX, Topcon GR-3 in Trimble R6 GNSS. V članku so primerjane teža, velikost, vzdržljivost in natančnost sprejemnikov GPS. Med sprejemniki v analizi sta bila v kombinaciji vzdržljivosti in teže najboljša sprejemnika podjetij Topcon in Sokkia. Največ prostora je med testiranimi sprejemniki zavzemal sprejemnik proizvajalca Magellan, najmanj pa proizvajalca Trimble. Sprejemniki so bili primerjani tudi v času, potrebnem za ponovno inicializacijo. Pri tem je nekoliko prednjačil sprejemnik proizvajalca Sokkia. Natančnost in zanesljivost sta bili testirani tako, da je vsak sprejemnik eno uro sprejemal podatke vsakih 30 s. Standardni odklon za vse sprejemnike GPS je znašal 2,5 cm. Članek ne navaja, katera metoda je bila uporabljena za primerjavo natančnosti določitve položaja točk z različnimi sprejemniki GPS, navede le, da vsi sprejemniki zagotavljajo enako natančnost določitve položaja točk in da je vsak sprejemnik sprejemal podatke eno uro z intervalom vsakih 30 s. Interval posamezne meritve ni naveden.

Rodriguez-Perez in sod. (2006) ter Rodriguez-Perez in sod. (2007) so testirali sprejemnike GPS za široko uporabo na območju gozdov. Ugotavljali so, ali ima na natančnost in točnost merjenja s sprejemnikom GPS vpliv gostota dreves ter ali med sprejemniki obstajajo statistično značilne razlike v določitvi natančnosti in točnosti. Za analizo so uporabili Mann-Whitneyjev neparametrični test. Ugotovili so, da gostota dreves vpliva na natančnost in točnost ter da med sprejemniki obstajajo statistično značilne razlike.

Serr in sod. (2006) so primerjali sprejemnike GPS za potrebe geografskih informacijskih sistemov. Pri tem so ugotavljali natančnost in točnost posameznega sprejemnika. V članku so ugotovili, da je cena sprejemnika GPS odvisna od točnosti določitve položaja. Večja točnost določitve položaja s sprejemnikom GPS pomeni tudi večjo ceno le tega.

Wing in sod. (2005) v članku o točnosti in zanesljivosti sprejemnikov GPS za široko uporabo navajajo rezultate testov točnosti in zanesljivosti šestih sprejemnikov GPS za široko uporabo v različno pogozdenih območjih, in sicer na prostem, pod mladim gozdom in pod zrelim gozdom. Za izmero so za vsak sprejemnik za vsa tri območja izračunali povprečna odstopanja in standardne odklone za položaj točk. Na osnovi pregleda velikosti povprečnih odstopanj od točnih položajev točk so določili, kateri sprejemniki so bolj in kateri manj točni. Istočasno s primerjavo različnih sprejemnikov GPS so primerjali še različne sprejemnike GPS glede na različno pogozdeno območje izmere. Podatke so tudi tokrat analizirali le s primerjavo vrednosti povprečne napake in standardnega odklona za različne sprejemnike v različno pogozdenih pogojih. Kot rezultat navajajo, da je točnost določitve položaja največja na prostem, manjša v mladem gozdu in najmanjša v zrelem gozdu.

Med vsemi že izvedenimi raziskavami sprejemnikov GNSS je za nas najbolj zanimiv članek Pavlovčič in sod. (2010), saj predstavi način preizkusa po standardu ISO 17138-8 (2007) in doda primer izvedbe preizkusa. Za našo analizo je zanimivo predvsem odkrivanje grobih pogreškov po tem standardu. Niti standard ISO 17138-8 (2007) niti Pavlovčič in sod. (2010) ne predstavijo načina primerjave sprejemnikov v različnih pogojih izmere, kar zanima nas.

### 3 MATERIAL IN METODE

Poskus za statistično analizo sprejemnikov GNSS pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS pri različnih pogojih je bil izveden julija 2010 v Mariboru.

Proučevanje v naši analizi razdelimo na več delov.

#### 3.1 DOLOČITEV TOČK NA TERENU ZA IZVEDBO POSKUSA

Pri naši izmeri smo pridobili koordinate točk v horizontalnem koordinatnem sistemu D96/TM, elipsoidno višino pa nad elipsoidom GRS-80. Točke, na katerih smo izvajali izmero, smo stabilizirali na asfaltu z jeklenim klinom, ki omogoča kakovostno stabilizacijo vsaj za čas celotne izmere.

Ugodne razmere  $P_4$   $P_5$   $P_6$

Otežene razmere  $P_3$   $P_2$   $P_1$



Slika 5: Shematičen prikaz točk v prostoru; razdalja med dvema sosednjima točkama v oteženih oz. v ugodnih razmerah je približno 3 m; razdalja med lokacijama pa je približno 275 m

Figure 5: The schematic representation of points; the distance between two adjacent points in difficult or in favorable conditions is about 3 m; the distance between two locations is 275 m

Izbrali smo tri točke v oteženih razmerah ( $P_1$ ,  $P_2$  in  $P_3$ ) ter tri točke v ugodnih razmerah ( $P_4$ ,  $P_5$  in  $P_6$ ). Razdalja med dvema sosednjima točkama na posamezni lokaciji je bila približno 3 m. Razdalja med lokacijama je znašala približno 275 m.

Med pari točk v oteženih razmerah ( $P_1$  in  $P_2$ ,  $P_2$  in  $P_3$  ter  $P_1$  in  $P_3$ ) in pari točk v ugodnih razmerah ( $P_4$  in  $P_5$ ,  $P_5$  in  $P_6$  ter  $P_4$  in  $P_6$ ) smo izmerili referenčne dolžine ( $d^*$ ) in referenčne višinske razlike ( $\Delta H^*$ ). Dolžine med pari točk smo izmerili z jeklenim merskim trakom, višinske razlike pa z niveliranjem iz sredine.

Preglednica 2: Referenčne dolžine ( $d^*(P_{m_1}, P_{m_2})$  [cm]) in referenčne višinske razlike ( $\Delta h^*(P_{m_1}, P_{m_2})$  [cm]) med pari točk v oteženih ( $P_1$  in  $P_2$ ,  $P_2$  in  $P_3$  ter  $P_1$  in  $P_3$ ) ter med pari točk v ugodnih ( $P_4$  in  $P_5$ ,  $P_5$  in  $P_6$  ter  $P_4$  in  $P_6$ ) razmerah

Table 2: Reference distances ( $d^*(P_{m_1}, P_{m_2})$  [cm]) and reference height differences ( $\Delta h^*(P_{m_1}, P_{m_2})$ ) [cm] between the pairs of the points for difficult ( $P_1$  and  $P_2$ ,  $P_2$  and  $P_3$ , and  $P_1$  and  $P_3$ ) conditions and between the pairs of points for favourable ( $P_4$  and  $P_5$ ,  $P_5$  and  $P_6$ , and  $P_4$  and  $P_6$ ) conditions

Referenčne vrednosti [cm]	Oznake parov točk					
	$m_1 = 1$ $m_2 = 2$	$m_1 = 2$ $m_2 = 3$	$m_1 = 1$ $m_2 = 3$	$m_1 = 4$ $m_2 = 5$	$m_1 = 5$ $m_2 = 6$	$m_1 = 4$ $m_2 = 6$
$d^*(P_{m_1}, P_{m_2})$	300,1	300,0	600,1	300,0	300,5	600,5
$\Delta h^*(P_{m_1}, P_{m_2})$	1,2	1,9	3,1	0,0	0,1	0,1

## 3.2 POSKUS NA TERENU

### 3.2.1 Uporabljeni sprejemniki

Vsi sprejemniki, uporabljeni v analizi, so bili dvofrekvenčni sprejemniki GNSS. Uporabljeni so bili sprejemniki GNSS treh različnih proizvajalcev, in sicer sprejemniki Topcon Hiper +, Trimble R6 in Leica 900CS.

Slika 6, slika 7 in slika 8 prikazujejo vse tri sprejemnike.



Slika 6: Sprejemnik GNSS Topcon Hiper +  
Figure 6: GNSS receiver Topcon Hiper +





Slika 7: Sprejemnik GNSS Trimble R6  
Figure 7: GNSS Receiver Trimble R6



Slika 8: Sprejemnik GNSS Leica 900CS  
Figure 8: GNSS receiver Leica 900CS

V specifikacijah proizvajalca so za posamezni sprejemnik navedeni podatki za točnost, ki jo zagotavljajo pri RTK GNSS-metodi določitve položaja. Te podatke navaja preglednica 3.

Preglednica 3: Točnosti za vse tri sprejemnike  
Table 3: Accuracy data of three receivers

Sprejemnik	Točnosti sprejemnikov	
	$\sigma_{e,n}$	$\sigma_h$
Topcon Hiper +	10 mm + 1 mm/km · b [km] (Topcon Corporation, 2004)	15 mm + 1 mm/km · b [km] (Topcon Corporation, 2004)
Trimble R6	10 mm + 1 mm/km · b [km] (Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group, 2009)	20 mm + 1 mm/km · b [km] (Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group, 2009)
Leica 900CS	10 mm + 1 mm/km · b [km] (Leica Geosystems, 2007)	20 mm + 1 mm/km · b [km] (Leica Geosystems, 2007)

Preglednica 3 prikazuje podatke za točnosti posameznega sprejemnika, pri čemer člen  $b$  [km] predstavlja dolžino baznega vektorja. Ker smo delali v načinu VRS, kjer je referenčna postaja VRS oddaljena le nekaj deset metrov, je v nadaljevanju člen  $1 \text{ mm/km} \cdot b$  izpuščen, saj gre za minimalno vrednost (Pavlovčič in sod., 2010).

Sprejemnike v nadaljevanju v navedenem zamenjanem vrstnem redu označujemo A, B in C.

### 3.2.2 Operaterji

V poskusu so sodelovali trije izkušeni operaterji, v nadaljevanju jih označujemo M1, M2 in M3. Prav tako je v poskusu sodeloval koordinator izmere, ki je imel nadzor nad tem, kako se morajo operaterji s sprejemniki predstavljati. Operaterji so se skupaj s sprejemniki na togih grezilih po navodilu koordinatorja izmere predstavljali ter na posamezni točki istočasno sprožili izmero.

### 3.2.3 Izvedba poskusa

Poskus je bil izveden v treh serijah. V vsaki seriji je posamezni operater upravljal isti sprejemnik, npr. oznaka A\_M1 predstavlja, da je imel operater M1 sprejemnik A. Vsaka serija je bila razdeljena na štiri dele, kot je nadalje opisano in kot prikazujeta preglednica 3 in preglednica 4; v vsakem delu so bile izvedene po tri izmere.

#### Serija S1

Najprej so bile izvedene izmere na točkah v oteženih razmerah ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) s trajanjem meritev 30 s. Operaterji so se nato v smeri urinega kazalca premaknili na naslednjo točko in naredili novo izmero. Premik in izmero so opravili še na zadnji točki znotraj iste lokacije. To je latinski kvadrat, kjer je vsak sprejemnik enkrat na vsaki točki, z njim je opravljena izmera ob vsakem času. Potek prikazuje preglednica 4.

Preglednica 4: Izmere v eni seriji za trajanje opazovanj 30 s v oteženih razmerah, operater M1 je upravljal sprejemnik A, operater M2 sprejemnik B, operater M3 pa sprejemnik C

Table 4: Measurements in one of three series of observations for duration of 30 s under difficult conditions, the operator M1 used the receiver A, the operator M2 used the receiver B, and the operator M3 used the receiver C

Lokacija: otežene razmere, trajanje: 30 s, sprejemnik operater: A M1, B M2, C M3			
Trenutek izmere	točka		
	$P_1$	$P_2$	$P_3$
$t_1$	A	B	C
$t_2$	C	A	B
$t_3$	B	C	A

Drugi del serije je predstavljal ponovljen postopek s trajanjem izmere 5 s (preglednica 5).

Preglednica 5: Izmere v eni seriji za trajanje opazovanj 5 s v oteženih razmerah, operater M1 je upravljal sprejemnik A, operater M2 sprejemnik B, operater M3 pa sprejemnik C

Table 5: Measurements in one of the three series of observations for duration of 5 s under difficult conditions, the operator M1 used the receiver A, the operator M2 used the receiver B, and the operator M3 used the receiver C

Lokacija: otežene razmere, trajanje: 5 s, sprejemnik operater: A M1, B M2, C M3			
Trenutek izmere	točka		
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
t <sub>4</sub>	A	B	C
t <sub>5</sub>	C	A	B
t <sub>6</sub>	B	C	A

Tretji in četrti del izmere sta bila izvedena kot prvi in drugi del, le na točkah v ugodnih razmerah, torej na P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub> in P<sub>6</sub> ob t<sub>7</sub>, t<sub>8</sub>, t<sub>9</sub> pri trajanju izmere 30 s ter ob t<sub>10</sub>, t<sub>11</sub> in t<sub>12</sub> pri trajanju 5 s. Časovni interval med dvema zaporednima deloma je znašal približno 6 minut.

#### Serija S2

Operaterji so zamenjali sprejemnike. Operater M1 je prevzel sprejemnik B, operater M2 sprejemnik C in operater M3 sprejemnik A. Potek izmer je bil enak kot v seriji S1.

#### Serija S3

Operaterji so ponovno zamenjali sprejemnike, tako je operater M1 prevzel sprejemnik C, operater M2 sprejemnik A in operater M3 sprejemnik B. Potek izmer je bil enak kot pri serijah S1 in S2.

Posamezna serija je trajala približno 25 minut, vsaka naslednja serija se je začela 120 minut po začetku prejšnje.

Preglednica 6 prikazuje celoten načrt poskusa.

Preglednica 6: Načrt poskusa: proučevani dejavniki so sprejemnik (A, B, C), lokacija (otežene razmere, ugodne razmere) ter trajanje (30 s, 5 s)  
Table 6: Experimental design: the factors under study are receiver (A, B, C), location (difficult conditions, favourable conditions) and duration (30 s, 5 s)

Lokacija		Otežene razmere						Ugodne razmere								
Trajanje		30 s			5s			30 s			5 s					
Serija (sprejemnik_operater)	trenutek izmere	točka			trenutek izmere	točka			trenutek izmere	točka			trenutek izmere	točka		
		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>		P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>		P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
S1 (A_M1, B_M2, C_M3)	t <sub>1</sub>	A	B	C	t <sub>4</sub>	A	B	C	t <sub>7</sub>	A	B	C	t <sub>10</sub>	A	B	C
	t <sub>2</sub>	C	A	B	t <sub>5</sub>	C	A	B	t <sub>8</sub>	C	A	B	t <sub>11</sub>	C	A	B
	t <sub>3</sub>	B	C	A	t <sub>6</sub>	B	C	A	t <sub>9</sub>	B	C	A	t <sub>12</sub>	B	C	A
S2 (A_M3, B_M1, C_M2)	t <sub>13</sub>	A	B	C	t <sub>16</sub>	A	B	C	t <sub>19</sub>	A	B	C	t <sub>22</sub>	A	B	C
	t <sub>14</sub>	C	A	B	t <sub>17</sub>	C	A	B	t <sub>20</sub>	C	A	B	t <sub>23</sub>	C	A	B
	t <sub>15</sub>	B	C	A	t <sub>18</sub>	B	C	A	t <sub>21</sub>	B	C	A	t <sub>24</sub>	B	C	A
S3 (A_M2, B_M3, C_M1)	t <sub>25</sub>	A	B	C	t <sub>28</sub>	A	B	C	t <sub>31</sub>	A	B	C	t <sub>34</sub>	A	B	C
	t <sub>26</sub>	C	A	B	t <sub>29</sub>	C	A	B	t <sub>32</sub>	C	A	B	t <sub>35</sub>	C	A	B
	t <sub>27</sub>	B	C	A	t <sub>30</sub>	B	C	A	t <sub>33</sub>	B	C	A	t <sub>36</sub>	B	C	A

### 3.2.4 Zbrani podatki

Preglednica 7 prikazuje zbrane podatke.

Preglednica 7: Spremenljivke v poskusu  
Table 7: Variables in the experiment

Seriya	Trenutek izmere	Lokacija	Trajanje	Točka	Operater	Sprejemnik	Izmera
S	T	L	D	P		R	
b	$t_u$	i	J	m	l	k	$(e, n, h)$

V preglednici predstavljene oznake so:

$b = S1, S2, S3,$

$t_u, u = 1 \dots 36,$

$i =$  otežene razmere, ugodne razmere,

$j = 30 \text{ s}, 5 \text{ s},$

$m = P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6,$

$l = M1, M2, M3,$

$k = A, B, C,$

$e$  –  $e$ -koordinata točke v koordinatnem sistemu D96/TM,

$n$  –  $n$ -koordinata točke v koordinatnem sistemu D96/TM,

$h$  – elipsoidna višina točke.

Proučevani dejavniki so lokacija, trajanje in sprejemnik, serija predstavlja ponovitev. Operater, točka ter trenutek izmere znotraj serije so moteči dejavniki.

Vpliv operaterja smo poskušali nevtralizirati z zasnovo poskusa, vpliv točke in trenutka izmere pa z izračunom povprečnih odstopanj.

Rezultati izmere so navedeni v prilogi A.

### 3.3 IZRAČUN Odstopanj

Preglednica 6 prikazuje, da je sprejemnik A v trenutku izmere  $t_1$  opravil opazovanja na točki  $P_1$ , v trenutku izmere  $t_2$  pa na točki  $P_2$ ; sprejemnik B v trenutku izmere  $t_1$  na točki  $P_2$ , v trenutku izmere  $t_2$  pa na točki  $P_3$ ; sprejemnik C v trenutku izmere  $t_1$  na točki  $P_3$ , v trenutku izmere  $t_2$  pa na točki  $P_1$ . Na osnovi podatkov za  $t_1$  in  $t_2$  lahko za sprejemnik A izračunamo razdaljo med točkama  $P_1$  in  $P_2$ , za sprejemnik B razdaljo med  $P_2$  in  $P_3$  ter za sprejemnik C razdaljo med točkama  $P_3$  in  $P_1$ .

Odstopanja dolžin označimo  $\varepsilon_d$ , odstopanja višinskih razlik pa  $\varepsilon_{\Delta h}$ . Prvi argument predstavlja točke, med katerima se vrednoti razdalja, drugega pa sprejemnik. Podatke za referenčne dolžine ( $d^*(P_{m_1}, P_{m_2})$ ) in referenčne višinske razlike ( $\Delta h^*(P_{m_1}, P_{m_2})$ ) navaja preglednica 2.

- Za sprejemnik A imamo:

$$\varepsilon_d((P_1|t_1, P_2|t_2), A) = \left| \sqrt{(e_{P_1|t_1} - e_{P_2|t_2})^2 + (n_{P_1|t_1} - n_{P_2|t_2})^2} - d^*(P_1, P_2) \right| \quad \dots (2)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_1|t_1, P_2|t_2), A) = |(h_{P_1|t_1} - h_{P_2|t_2}) - \Delta h^*(P_1, P_2)|. \quad \dots (3)$$

- Za sprejemnik B imamo:

$$\varepsilon_d((P_2|t_1, P_3|t_2), B) = \left| \sqrt{(e_{P_2|t_1} - e_{P_3|t_2})^2 + (n_{P_2|t_1} - n_{P_3|t_2})^2} - d^*(P_2, P_3) \right| \quad \dots (4)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_2|t_1, P_3|t_2), B) = |(h_{P_2|t_1} - h_{P_3|t_2}) - \Delta h^*(P_2, P_3)|. \quad \dots (5)$$

- Za sprejemnik C imamo:

$$\varepsilon_d((P_3|t_1, P_1|t_2), C) = \left| \sqrt{(e_{P_3|t_1} - e_{P_1|t_2})^2 + (n_{P_3|t_1} - n_{P_1|t_2})^2} - d^*(P_1, P_3) \right| \quad \dots (6)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_3|t_1, P_1|t_2), C) = |(h_{P_3|t_1} - h_{P_1|t_2}) - \Delta h^*(P_1, P_3)|. \quad \dots (7)$$

V trenutku izmere  $t_2$  je sprejemnik A opravil opazovanja na točki  $P_2$ , v trenutku izmere  $t_3$  pa na točki  $P_3$ , sprejemnik B v trenutku izmere  $t_2$  na točki  $P_3$ , v trenutku izmere  $t_3$  pa na točki  $P_1$ , sprejemnik C v trenutku izmere  $t_2$  na točki  $P_1$ , v trenutku izmere  $t_3$  pa na točki  $P_2$ .

- Za sprejemnik A imamo:

$$\varepsilon_d((P_2|t_2, P_3|t_3), A) = \left| \sqrt{(e_{P_2|t_2} - e_{P_3|t_3})^2 + (n_{P_2|t_2} - n_{P_3|t_3})^2} - d^*(P_2, P_3) \right| \quad \dots (8)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_2|t_2, P_3|t_3), A) = |(h_{P_2|t_2} - h_{P_3|t_3}) - \Delta h^*(P_2, P_3)|. \quad \dots (9)$$

- Za sprejemnik B imamo:

$$\varepsilon_d((P_3|t_2, P_1|t_3), B) = \left| \sqrt{(e_{P_3|t_2} - e_{P_1|t_3})^2 + (n_{P_3|t_2} - n_{P_1|t_3})^2} - d^*(P_1, P_3) \right| \quad \dots (10)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_3|t_2, P_1|t_3), B) = |(h_{P_3|t_2} - h_{P_1|t_3}) - \Delta h^*(P_1, P_3)|. \quad \dots (11)$$

- Za sprejemnik C imamo:

$$\varepsilon_d((P_1|t_2, P_2|t_3), C) = \left| \sqrt{(e_{P_1|t_2} - e_{P_2|t_3})^2 + (n_{P_1|t_2} - n_{P_2|t_3})^2} - d^*(P_1, P_2) \right| \quad \dots (12)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_1|t_2, P_2|t_3), C) = |(h_{P_1|t_2} - h_{P_2|t_3}) - \Delta h^*(P_1, P_2)| \quad \dots (13)$$

Na enak način vrednotimo  $\varepsilon_d$  in  $\varepsilon_h$  za sprejemnike A, B in C ob  $t_1$  in  $t_3$ .

- Za sprejemnik A imamo:

$$\varepsilon_d((P_1|t_1, P_3|t_3), A) = \left| \sqrt{(e_{P_1|t_1} - e_{P_3|t_3})^2 + (n_{P_1|t_1} - n_{P_3|t_3})^2} - d^*(P_1, P_3) \right| \quad \dots (14)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_1|t_1, P_3|t_3), A) = |(h_{P_1|t_1} - h_{P_3|t_3}) - \Delta h^*(P_1, P_3)| \quad \dots (15)$$

- Za sprejemnik B imamo:

$$\varepsilon_d((P_2|t_1, P_1|t_3), B) = \left| \sqrt{(e_{P_2|t_1} - e_{P_1|t_3})^2 + (n_{P_2|t_1} - n_{P_1|t_3})^2} - d^*(P_1, P_2) \right| \quad \dots (16)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_2|t_1, P_1|t_3), B) = |(h_{P_2|t_1} - h_{P_1|t_3}) - \Delta h^*(P_1, P_2)| \quad \dots (17)$$

- Za sprejemnik C imamo:

$$\varepsilon_d((P_3|t_1, P_2|t_3), C) = \left| \sqrt{(e_{P_3|t_1} - e_{P_2|t_3})^2 + (n_{P_3|t_1} - n_{P_2|t_3})^2} - d^*(P_2, P_3) \right| \quad \dots (18)$$

$$\varepsilon_{\Delta h}((P_3|t_1, P_2|t_3), C) = |(h_{P_3|t_1} - h_{P_2|t_3}) - \Delta h^*(P_2, P_3)| \quad \dots (19)$$

Načrt poskusa (preglednica 6) preoblikujemo v načrt izračuna odstopanj dolžin in višinskih razlik za prvi latinski kvadrat (preglednica 8).

Preglednica 8: Odstopanja dolžin  $\varepsilon_d$  in odstopanja višinskih razlik  $\varepsilon_{\Delta h}$  so izračunana za sprejemnike A, B in C za pare točk in pare trenutkov izmere; prikaz prvega latinskega kvadrata

Table 8: The deviations of lengths  $\varepsilon_d$  and deviations of height differences  $\varepsilon_{\Delta h}$  are calculated for receivers A, B and C for the pairs of the points and the pairs of moments of measurements; view of the first Latin square

Lokacija: otežene razmere, trajanje: 30 s		Pari točk		
Serija: S1	pari trenutkov izmere	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>3</sub>
	t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub>	A	B	C
	t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub>	C	A	B
	t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub>	B	C	A

Tak postopek je bil izveden za vsak latinski kvadrat iz načrta poskusa (preglednica 6).

### 3.4 STATISTIČNA ANALIZA

#### 3.4.1 Preliminarna analiza odkrivanja grobih pogreškov v skladu s standardom ISO 17123-8 (2007)

Da bodo rezultati zanesljivi, moramo najprej iz rezultatov izmere izločiti grobe pogreške. Uporabimo standard ISO 17123-8 (2007), ki definira način izračuna grobih pogreškov.

Standard v poenostavljenem preizkusu predstavi, kako izračunati merili za določitev grobih pogreškov.  $\varepsilon_d$  predstavlja grobi pogrešek, kadar velja:

$$\varepsilon_d > 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{e,n}, \quad \dots (20)$$

pri čemer za vrednosti  $\sigma_{e,n}$  vzamemo vrednost, ki jo definira proizvajalec (preglednica 3), to je  $\sigma_{e,n} = 1$  cm pri vseh treh proizvajalcih.

$\varepsilon_{\Delta h}$  je grobi pogrešek, kadar velja:

$$\varepsilon_{\Delta h} > 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_h. \quad \dots (21)$$

Za  $\sigma_h$  je deklaracija pri sprejemniku Topcon 1,5 cm, pri ostalih dveh pa 2,0 cm. Zato vzamemo strožji kriterij, torej  $\sigma_h = 1,5$  cm.

Torej, če je posamezno odstopanje  $\varepsilon_d$

$$\varepsilon_d > 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1 \text{ cm} = 3,5 \text{ cm}, \quad \dots (22)$$

je  $\varepsilon_d$  grobi pogrešek.

Če je posamezno odstopanje  $\varepsilon_{\Delta h}$

$$\varepsilon_{\Delta h} > 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,5 \text{ cm} = 5,3 \text{ cm}, \quad \dots (23)$$

je  $\varepsilon_{\Delta h}$  grobi pogrešek.

V skladu s standardom bi bilo potrebno izmero z grobimi pogreški ponoviti. Mi bomo podatke z morebitnimi grobimi pogreški iz analize izločili in nadaljevali analizo na zanesljivih podatkih.

#### 3.4.2 Spremenljivke v poskusu

V analizi nas zanima vpliv proizvajalca sprejemnika, lokacije in trajanja izmere na odstopanja dolžin in višinskih razlik, izračunanih med dvema točkama, izmerjenima z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS, od pripadajočih referenčnih vrednosti.



V podatkih imamo:

- dve odzivni spremenljivki:
  - odstopanje dolžine, izračunane iz izmerjenega horizontalnega položaja točk, od referenčne vrednosti, v nadaljevanju: odstopanje dolžine ( $\varepsilon_d$ ),
  - odstopanje višinske razlike, izračunane iz izmerjenih višin točk, od referenčne vrednosti, v nadaljevanju: odstopanje višinske razlike ( $\varepsilon_{\Delta h}$ );
- tri proučevane fiksne dejavnike:
  - sprejemnik, ki ima ravni A, B in C,
  - lokacija, ki ima ravni: otežene razmere in ugodne razmere,
  - trajanje, ki ima ravni: 5 s in 30 s;
- ponovitve:
  - serija, ki ima ravni: S1, S2 in S3.

Serije so v tej zasnovi bloki; znotraj vsake serije nastopa vsak sprejemnik, lokacija in trajanje.

V poskus so bili vključeni tudi trije operaterji. Njihova vloga je bila, da so sprožili izmero. Poskus je bil zasnovan tako, da je znotraj posamezne serije posamezni operater upravljal isti sprejemnik, v vsaki seriji pa drugega. Zato se v celotnem poskusu njihov vpliv izniči in vpliva operaterja pri analizi celotnega poskusa ni potrebno upoštevati.

Na dobljene rezultate izmere imata vpliv še dva moteča dejavnika:

- par trenutkov izmere, ki vključuje vplive geometrijske razporeditve satelitov in pogoje v atmosferi oz. vse vplive na izmero, ki se pojavljajo v določenem trenutku in ima ravni:  $t_1, t_2; t_2, t_3; t_1, t_3 \dots t_{34}, t_{35}; t_{35}, t_{36}$  ter  $t_{34}, t_{36}$ ;
- par točk, ki ima ravni:
  - $P_1, P_2; P_2, P_3$  in  $P_1, P_3$  v oteženih razmerah in
  - $P_4, P_5; P_5, P_6$  in  $P_4, P_6$  v ugodnih razmerah.

Zasnova poskusa omogoča, da vpliv teh dveh motečih dejavnikov nevtraliziramo.

Za vsak latinski kvadrat, ki ga navaja preglednica 6, glej tudi preglednica 8, ki ne vsebuje grobih pogreškov, izračunamo povprečno vrednost za  $\varepsilon_d$  za vsak sprejemnik A, B in C; enako povprečno vrednost za  $\varepsilon_{\Delta h}$  za vsak sprejemnik A, B in C. Ta povprečja so »očiščena« vpliva omenjenih dveh motečih dejavnikov; v nadaljnji analizi ju označujemo z  $\bar{\varepsilon}_d$  in  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ . Če grobih pogreškov ne bi bilo, bi imeli podatke, ki jih predstavlja preglednica 9.

Preglednica 9: Vhodni podatki za statistično analizo za dve odzivni spremenljivki  $\bar{\epsilon}_d$  in  $\bar{\epsilon}_{\Delta h}$   
Table 9: Input data for the statistical analysis of the two response variables  $\bar{\epsilon}_d$  and  $\bar{\epsilon}_{\Delta h}$

Lokacija	Otežene razmere		Ugodne razmere	
	30 s	5 s	30 s	5 s
S1	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C
S2	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C
S3	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C

To je standardna trifaktorska zasnova poskusa; dejavniki so sprejemnik (A, B, C), lokacija (otežene razmere, ugodne razmere) in trajanje izmere (30 s, 5 s) v treh serijah, ki predstavljajo bloke. Zasnova je uravnotežena, je pa možno, da se bo uravnoteženost zaradi prisotnosti grobih pogreškov podrla.

## 4 REZULTATI

Izračun in izrise grafikonov opravimo v programu R.

### 4.1 PRELIMINARNA ANALIZA ODKRIVANJA GROBIH POGREŠKOV V SKLADU S STANDARDOM ISO 17123-8 (2007)

#### 4.1.1 Odkrivanje grobih pogreškov za $\varepsilon_d$

Podatki z grobo pogrešenimi odstopanji dolžin so navedeni v prilogi B1.

Grobi pogreški se pojavijo le pri izmeri v oteženih razmerah. Sprejemnika B in C podata rezultate z grobimi pogreški, medtem ko sprejemnik A ne poda podatka z grobim pogreškom. Grobi pogreški se pojavljajo tako pri trajanju izmere 5 s kot tudi pri trajanju 30 s. V seriji S2 se ni pojavil noben grobi pogrešek, v ostalih dveh serijah pa se je pojavil, in sicer v seriji S1 dva, v seriji S3 pa eden.

Preglednica 10 prikazuje celice, kjer so grobi pogreški za  $\varepsilon_d$  obarvani s sivo barvo. Ti podatki bodo v analizi izpuščeni.

Preglednica 10: Sive celice označujejo grobe pogoške za  $\varepsilon_d$   
Table 10: The grey cells indicate gross errors for  $\varepsilon_d$

Lokacija	Otežene razmere								Ugodne razmere							
Trajanje	30 s				5 s				30 s				5 s			
Serija	par trenutkov izmere	par točk			par trenutkov izmere	par točk			par trenutkov izmere	par točk			par trenutkov izmere	par točk		
		P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>3</sub>		P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>3</sub>		P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>	P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub>	P <sub>4</sub> , P <sub>6</sub>		P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>	P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub>	P <sub>4</sub> , P <sub>6</sub>
S1	t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub>	A	B	C	t <sub>4</sub> , t <sub>5</sub>	A	B	C	t <sub>7</sub> , t <sub>8</sub>	A	B	C	t <sub>10</sub> , t <sub>11</sub>	A	B	C
	t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub>	C	A	B	t <sub>5</sub> , t <sub>6</sub>	C	A	C	t <sub>8</sub> , t <sub>9</sub>	C	A	B	t <sub>11</sub> , t <sub>12</sub>	C	A	B
	t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub>	B	C	A	t <sub>4</sub> , t <sub>6</sub>	C	C	A	t <sub>7</sub> , t <sub>9</sub>	B	C	A	t <sub>10</sub> , t <sub>12</sub>	B	C	A
S2	t <sub>13</sub> , t <sub>14</sub>	A	B	C	t <sub>16</sub> , t <sub>17</sub>	A	B	C	t <sub>19</sub> , t <sub>20</sub>	A	B	C	t <sub>22</sub> , t <sub>23</sub>	A	B	C
	t <sub>14</sub> , t <sub>15</sub>	C	A	B	t <sub>17</sub> , t <sub>18</sub>	C	A	B	t <sub>20</sub> , t <sub>21</sub>	C	A	B	t <sub>23</sub> , t <sub>24</sub>	C	A	B
	t <sub>13</sub> , t <sub>15</sub>	B	C	A	t <sub>16</sub> , t <sub>18</sub>	B	C	A	t <sub>19</sub> , t <sub>21</sub>	B	C	A	t <sub>22</sub> , t <sub>24</sub>	B	C	A
S3	t <sub>25</sub> , t <sub>26</sub>	A	B	C	t <sub>28</sub> , t <sub>29</sub>	A	B	C	t <sub>31</sub> , t <sub>32</sub>	A	B	C	t <sub>34</sub> , t <sub>35</sub>	A	B	C
	t <sub>26</sub> , t <sub>27</sub>	C	A	B	t <sub>29</sub> , t <sub>30</sub>	C	A	B	t <sub>32</sub> , t <sub>33</sub>	C	A	B	t <sub>35</sub> , t <sub>36</sub>	C	A	B
	t <sub>25</sub> , t <sub>27</sub>	B	C	A	t <sub>28</sub> , t <sub>30</sub>	B	C	A	t <sub>31</sub> , t <sub>33</sub>	B	C	A	t <sub>34</sub> , t <sub>36</sub>	B	C	A

Preglednica 10 prikazuje, da imamo vse podatke za  $\varepsilon_d$  v oteženih razmerah le za serijo S2. V ugodnih razmerah imamo vse podatke za  $\varepsilon_d$  za vse tri serije.

#### **4.1.2 Odkrivanje grobih pogreškov za $\varepsilon_{\Delta h}$**

Podatki z grobo pogrešenimi odstopanji izmerjenih višinskih razlik od referenčnih višinskih razlik so navedeni v prilogi B2.

Grobi pogreški se pojavijo le pri izmeri v oteženih pogojih. Vsi trije sprejemniki (A, B in C) podajajo rezultate z grobimi pogreški. Grobi pogreški se pojavljajo tako pri trajanju izmere 5 s kot tudi pri trajanju 30 s.

Preglednica 11 prikazuje celice, kjer so grobi pogreški za  $\varepsilon_{\Delta h}$  obarvani s sivo barvo. Ti podatki bodo v analizi izpuščeni.

Preglednica 11: Sive celice označujejo grobe pogoške za  $\varepsilon_{\Delta h}$   
Table 11: The grey cells indicate gross errors for  $\varepsilon_{\Delta h}$

Lokacija	Otežene razmere								Ugodne razmere							
Trajanje	30 s				5 s				30 s				5 s			
Serija	par trenutkov izmere	par točk			par trenutkov izmere	par točk			par trenutkov izmere	par točk			par trenutkov izmere	par točk		
		P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>3</sub>		P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>3</sub>		P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>	P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub>	P <sub>4</sub> , P <sub>6</sub>		P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>	P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub>	P <sub>4</sub> , P <sub>6</sub>
S1	t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub>	A	B	C	t <sub>4</sub> , t <sub>5</sub>	A	B		t <sub>7</sub> , t <sub>8</sub>	A	B	C	t <sub>10</sub> , t <sub>11</sub>	A	B	C
	t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub>	C	A	B	t <sub>5</sub> , t <sub>6</sub>	C	A	B	t <sub>8</sub> , t <sub>9</sub>	C	A	B	t <sub>11</sub> , t <sub>12</sub>	C	A	B
	t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub>	B	C	A	t <sub>4</sub> , t <sub>6</sub>	B		A	t <sub>7</sub> , t <sub>9</sub>	B	C	A	t <sub>10</sub> , t <sub>12</sub>	B	C	A
S2	t <sub>13</sub> , t <sub>14</sub>		B		t <sub>16</sub> , t <sub>17</sub>			C	t <sub>19</sub> , t <sub>20</sub>	A	B	C	t <sub>22</sub> , t <sub>23</sub>	A	B	C
	t <sub>14</sub> , t <sub>15</sub>		A	B	t <sub>17</sub> , t <sub>18</sub>			B	t <sub>20</sub> , t <sub>21</sub>	C	A	B	t <sub>23</sub> , t <sub>24</sub>	C	A	B
	t <sub>13</sub> , t <sub>15</sub>	B	C	A	t <sub>16</sub> , t <sub>18</sub>				t <sub>19</sub> , t <sub>21</sub>	B	C	A	t <sub>22</sub> , t <sub>24</sub>	B	C	A
S3	t <sub>25</sub> , t <sub>26</sub>	A	B	C	t <sub>28</sub> , t <sub>29</sub>	A	B	C	t <sub>31</sub> , t <sub>32</sub>	A	B	C	t <sub>34</sub> , t <sub>35</sub>	A	B	C
	t <sub>26</sub> , t <sub>27</sub>	C	A	B	t <sub>29</sub> , t <sub>30</sub>	C	A	B	t <sub>32</sub> , t <sub>33</sub>	C	A	B	t <sub>35</sub> , t <sub>36</sub>	C	A	B
	t <sub>25</sub> , t <sub>27</sub>	B	C	A	t <sub>28</sub> , t <sub>30</sub>	B	C	A	t <sub>31</sub> , t <sub>33</sub>	B	C	A	t <sub>34</sub> , t <sub>36</sub>	B	C	A

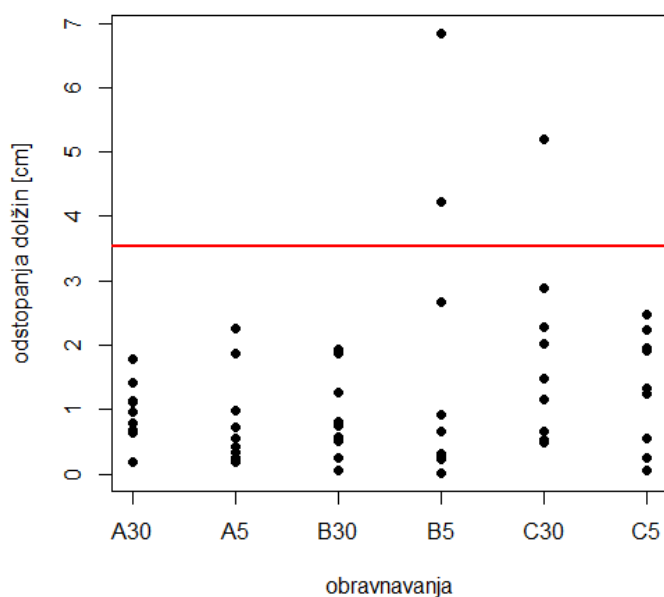
Preglednica 11 prikazuje, da imamo pri določitvi višinskih razlik v oteženih razmerah veliko grobih pogreškov. Vse podatke za  $\varepsilon_{\Delta h}$  v oteženih razmerah imamo le za serijo S3.

Zaradi izločitve grobih pogreškov smemo nadaljnjo analizo izvajati le za izmero v ugodnih razmerah, pri kateri nimamo nobenega grobega pogreška. Kljub temu bomo zaradi ilustrativnosti analizirali tudi rezultate za odstopanja dolžin v oteženih razmerah. Pri tem bomo uporabili le podatke, v katerih ne nastopajo grobi pogreški. Rezultate odstopanj višinskih razlik v oteženih razmerah bomo zaradi prevelikega števila grobih pogreškov in posledično premajhnega števila podatkov za analizo le grafično prikazali.

## 4.2 ANALIZA ZA IZMERO V OTEŽENIH RAZMERAH

### 4.2.1 Analiza povprečnih odstopanj dolžin ( $\bar{\varepsilon}_d$ )

Slika 9 prikazuje odstopanja dolžin  $\varepsilon_d$  za vsak sprejemnik v vsaki seriji po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje v oteženih razmerah. Nad rdečo črto so prikazani grobi pogreški.



Slika 9:  $\varepsilon_d$  [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah; nad rdečo črto so grobi pogreški

Figure 9:  $\varepsilon_d$  [cm] for treatments defined by the factors receiver and duration under difficult conditions; gross errors are above the red line

Slika 9 prikazuje  $\varepsilon_d$  po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah. Obravnavanja so predstavljena na horizontalni osi. Črka predstavlja sprejemnik, številka pa trajanje izmere; A30 tako predstavlja obravnavanje, določeno s sprejemnikom A in trajanjem izmere 30 s, A5 predstavlja obravnavanje, določeno s sprejemnikom A in trajanjem izmere 5 s, analogno za ostala obravnavanja. Opazimo lahko, da imamo tri večja odstopanja dolžin pri obravnavanju B5; dve odstopanji predstavljata groba pogreška, ostala odstopanja tega obravnavanja so majhna. Pri C30 iz slike opazimo en grobi pogrešek. Za sprejemnik C imamo pri obeh trajanjih dokaj velika odstopanja, ki so glede na ostala obravnavanja, brez upoštevanih grobih pogreškov, bolj razpršena.

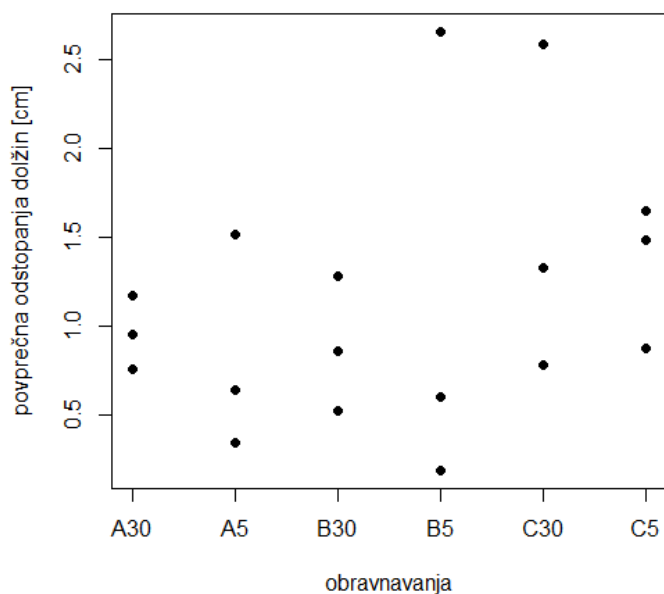
Za vsak sprejemnik v vsaki seriji za izmero v oteženih razmerah izračunamo povprečna odstopanja dolžin iz podatkov brez grobih pogreškov (preglednica 12). V seriji S1 imamo za B5 le en podatek, v seriji S3 pa za C30 le dva podatka, ki prispevata k povprečju  $\bar{\varepsilon}_d$ .

Za  $\bar{\varepsilon}_d$  imamo popolni faktorski poskus 3 x 2. Iz vsebinskih razlogov (izmera s trajanjem 5 s in 30 s ni bila izvedena istočasno) in iz dejstva, da je podatkov malo (samo 18), serij v modeliranju ne bomo upoštevali.

Preglednica 12: Povprečja  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] za izmero v oteženih razmerah; brez podatkov z grobimi pogreški  
Table 12: The means  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] for the measurement under difficult conditions; the data with gross errors are not included

Lokacija	Otežene razmere					
Trajanje	30 s			5 s		
Serijs/Sprejemnik	A	B	C	A	B	C
S1	1,18	0,52	0,79	0,65	2,66	1,48
S2	0,76	0,86	1,33	1,52	0,19	0,88
S3	0,95	1,29	2,59	0,35	0,60	1,65





Slika 10:  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah; brez podatkov z grobimi pogreški

Figure 10:  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] for treatments defined by the factors receiver and duration for the measurement under difficult conditions; the data with gross errors are not included

Slika 10 prikazuje  $\bar{\epsilon}_d$  po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah brez grobih pogreškov. Opazimo lahko visoko vrednost pri B5, izmerjeno v S1 (preglednica 12). V seriji S1 so pri obravnavanju B5 nastopali tudi grobi pogreški (preglednica 10). Podobno velja za C30, pri katerem so nastopali grobi pogreški v seriji S3.

Preglednica 13 prikazuje povprečja in standardne odklone treh ponovitev obravnavanj sprejemnik – trajanje za  $\bar{\epsilon}_d$  za izmero v oteženih pogojih.

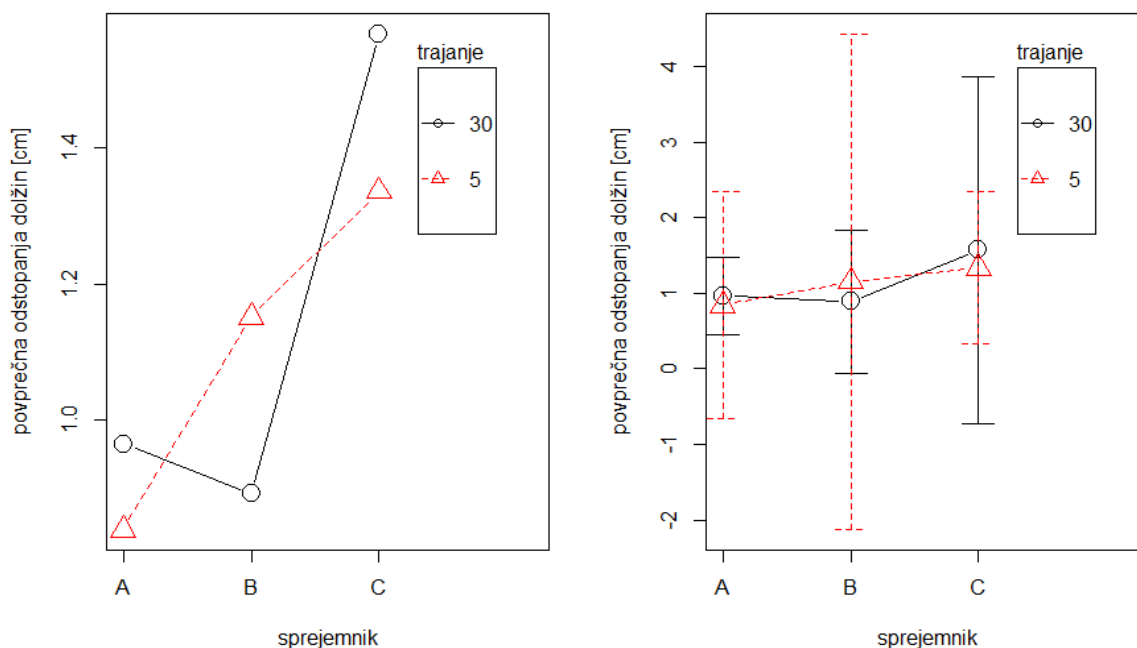
Preglednica 13: Povprečja in standardni odkloni treh ponovitev obravnavanj sprejemnik – trajanje za  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] za izmero v oteženih razmerah; brez podatkov z grobimi pogreški

Table 13: The means and standard deviations for  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] for three repetitions of the treatments receiver-durations for measurement under difficult conditions; the data with gross errors are not included

Lokacija	Otežene razmere			
	30 s		5 s	
Sprejemnik	povp	sd	povp	sd
A	0,96	0,21	0,84	0,61
B	0,89	0,38	1,15	1,32
C	1,57	0,93	1,34	0,41

Preglednica 13 kaže, da se največje povprečje za  $\bar{\epsilon}_d$  pojavlja pri sprejemniku C pri obeh trajanjih izmere. Standardni odkloni so glede na razlike v povprečjih veliki.

Grafikon interakcije (slika 11) prikazuje povprečja in intervale zaupanja za  $\bar{\epsilon}_d$  po sprejemniku in trajanju izmere za izmero v oteženih razmerah.



Slika 11: Povprečja  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah; levo: brez 95 % intervala zaupanja za povprečje, desno: s 95 % intervalom zaupanja za povprečje  
Figure 11: The means  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] for the treatments receiver and duration for the measurement under difficult conditions; left: without 95 % confidence interval for the mean, right: with 95 % confidence interval for the mean

Slika 11 na levi strani prikazuje povprečja za  $\bar{\epsilon}_d$  po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah, na desni pa povprečja skupaj s pripadajočim intervalom zaupanja. Leva slika kaže, da sprejemnika A in C podata pri trajanju izmere 30 s večje povprečno odstopanje dolžin kot pri trajanju izmere 5 s, medtem ko sprejemnik B poda pri trajanju izmere 30 s manjše povprečno odstopanje dolžin kot pri trajanju 5 s. Povprečja za  $\bar{\epsilon}_d$  pri trajanju 30 s ležijo znotraj intervalov zaupanja za trajanje izmere 5 s. Tudi povprečja za  $\bar{\epsilon}_d$  pri trajanju 5 s ležijo znotraj intervalov zaupanja za trajanje 30 s.

Pred modeliranjem izvedemo preliminarni test varianc, s čimer preverimo enakost varianc med obravnavanji. Uporabimo Leveneov test homogenosti varianc.

Preglednica 14: Leveneov test homogenosti varianc za  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] za izmero v oteženih razmerah; podatki brez grobih pogreškov

Table 14: Levene's test for homogeneity of variances for  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] for the measurement under difficult conditions; the data with gross errors are not included

	<i>SP</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Obravnavanja	5	0,6107	0,6939
	12		

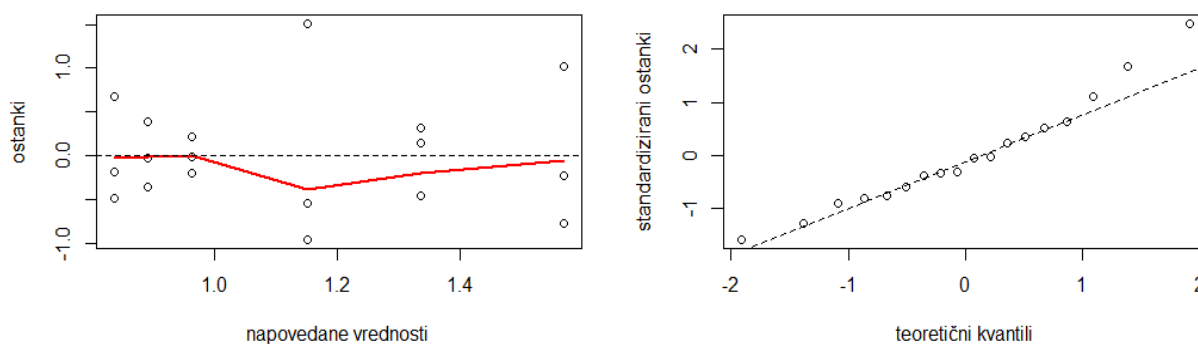
Rezultat kaže na homogenost varianc ( $p = 0,694$ ), zaradi česar lahko nadaljujemo z analizo dvofaktorske zasnove za ta primer.

Preglednica 15: Analiza variance za  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] z izmero v oteženih razmerah

Table 15: The analysis of variance for  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] for the measurement under difficult conditions

Vir variabilnosti	<i>SP</i>	<i>VKO</i>	<i>SKO</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Sprejemnik	2	1,009	0,5046	0,911	0,428
Trajanje	1	0,005	0,0048	0,009	0,927
Sprejemnik:Trajanje	2	0,202	0,1008	0,182	0,836
Ostane	12	6,646	0,5538		

Preglednica 15 kaže, da interakcija med trajanjem in sprejemnikom ni statistično značilna ( $p = 0,836$ ), prav tako nista statistično značilna niti dejavnik sprejemnik ( $p = 0,428$ ) niti dejavnik trajanje ( $p = 0,927$ ).



Slika 12: Grafikona ostankov modela analize variance za  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] za izmero v oteženih razmerah; brez grobih pogreškov

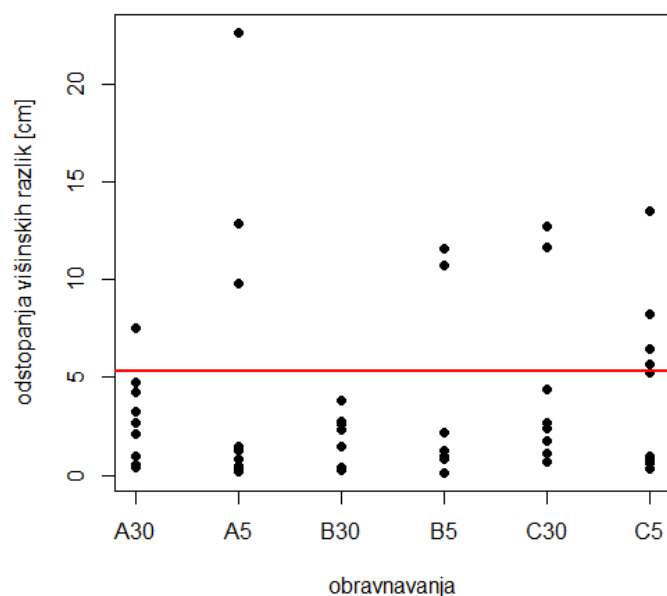
Figure 12: Residual plots for the analysis of variance model for  $\bar{\epsilon}_d$  [cm] for the measurement under difficult conditions; the data with gross errors are not included

Slika 12 prikazuje ostanke modela analize variance. Levi grafikon prikazuje ostanke glede na napovedane vrednosti; opazimo lahko, da ostanke ne tvorijo nikakršne posebne oblike. Desni grafikon prikazuje, da so ostanke, z izjemo zgornjih treh vrednosti,

porazdeljeni približno po normalni porazdelitvi. Slika 12 tako potrjuje, da je model sprejemljiv.

#### 4.2.2 Prikaz odstopanj višinskih razlik ( $\varepsilon_{\Delta h}$ )

Slika 13 prikazuje odstopanja višinskih razlik za vsak sprejemnik za vsako serijo po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah.



Slika 13:  $\varepsilon_{\Delta h}$  [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v oteženih razmerah; nad rdečo črto so grobi pogoški

Figure 13:  $\varepsilon_{\Delta h}$  [cm] for treatments defined by the factors receiver and duration for the measurement under difficult conditions; gross errors are above the red line

Slika 13 prikazuje odstopanja višinskih razlik od referenčnih vrednosti za izmero v oteženih razmerah. Opazimo lahko veliko grobih pogoškov. Nekatera odstopanja so izjemno velika. Grobi pogoški se pojavijo za vsa obravnavanja, razen za B30. Podatkov za nadaljnjo analizo je premalo, zato z le-to ne nadaljujemo.

### 4.3 ANALIZA POPOLNEGA FAKTORSKEGA POSKUSA ZA IZMERO V UGODNIH RAZMERAH

Za izmero v ugodnih razmerah imamo popolni faktorski poskus 3 x 2. Iz vsebinskih razlogov (izmera s trajanjem 5 s in 30 s ni bila izvedena istočasno) in iz dejstva, da je podatkov malo (samo 18), serij v modeliranju ne bomo upoštevali.

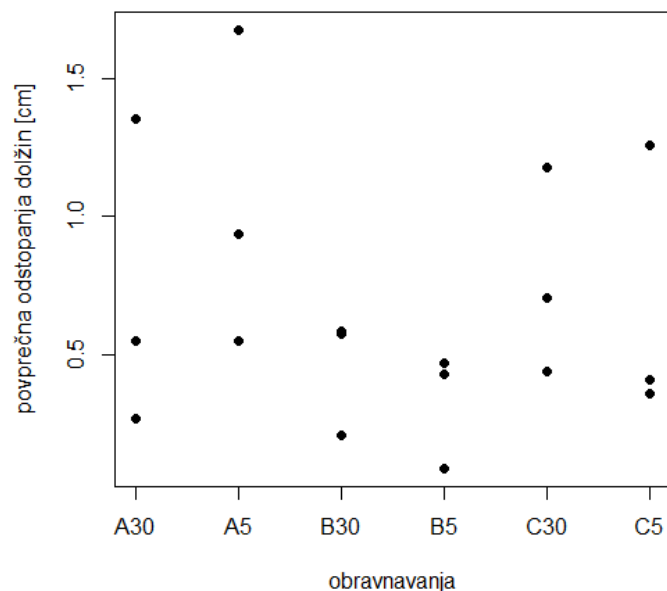
#### 4.3.1 Analiza povprečnih odstopanj dolžin ( $\bar{\varepsilon}_d$ )

Najprej izračunamo povprečna odstopanja dolžin za vsak sprejemnik za vsako serijo.

Preglednica 16: Povprečja  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah

Table 16: The means  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] for the measurement under favourable conditions

Lokacija	Ugodne razmere					
	30 s			5 s		
Trajanje	A	B	C	A	B	C
Serijs/Sprejemnik	A	B	C	A	B	C
S1	1,35	0,21	0,71	1,68	0,09	1,26
S2	0,55	0,58	0,44	0,55	0,47	0,41
S3	0,27	0,59	1,17	0,94	0,43	0,36



Slika 14:  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah

Figure 14:  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] for treatments defined by the factors receiver and duration for the measurement under favourable conditions

Slika 14 prikazuje  $\bar{\varepsilon}_d$  po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah. Obravnavanja so predstavljena na horizontalni osi. Opazimo lahko, da so povprečja in variabilnost za  $\bar{\varepsilon}_d$  najmanjša za sprejemnik B pri obeh trajanjih izmere, največja je variabilnost za sprejemnik A. Preglednica 17 prikazuje povprečja in standardne odklone treh ponovitev obravnavanj sprejemnik – trajanje za  $\bar{\varepsilon}_d$ .

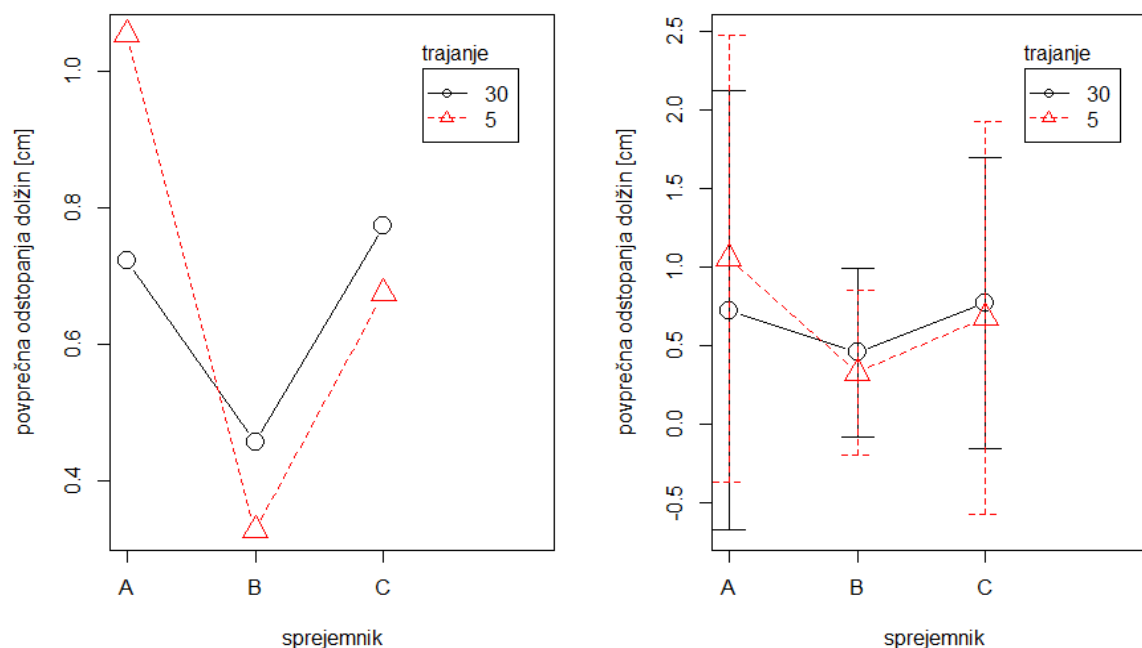
Preglednica 17: Povprečja in standardni odkloni treh ponovitev obravnavanj sprejemnik – trajanje za  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah

Table 17: The means and standard deviations for  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] for three repetitions of the treatments receiver and duration for the measurement under difficult conditions; the data with gross errors are not included

Lokacija	Ugodne razmere			
	30 s		5 s	
Trajanje	povp	sd	povp	sd
Sprejemnik				
A	0,72	0,56	1,05	0,57
B	0,46	0,22	0,33	0,21
C	0,77	0,37	0,67	0,50

Preglednica 17 kaže, da se povprečja za  $\bar{\varepsilon}_d$  med sprejemniki pri trajanju izmere 5 s med sabo bolj razlikujejo kot povprečja pri trajanju izmere 30 s. Opazimo tudi, da se največji standardni odklon pojavlja pri sprejemniku A, najmanjši pa pri sprejemniku B; to velja tako za trajanje izmere 5 s kot tudi za trajanje 30 s.

Slika 15 prikazuje povprečja za  $\bar{\varepsilon}_d$  po sprejemniku in trajanju izmere.



Slika 15: Povprečja  $\bar{e}_d$  [cm] po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah; levo: brez 95 % intervala zaupanja za povprečje, desno: s 95 % intervalom zaupanja za povprečje

Figure 15: The means  $\bar{e}_d$  [cm] for the treatments receiver and duration for the measurement under favourable conditions; left: without 95 % confidence interval for the mean, right: with 95 % confidence interval for the mean

Slika 15 na levi strani prikazuje povprečja za  $\bar{e}_d$  po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah, na desni pa povprečja skupaj s pripadajočim intervalom zaupanja. Sprejemnik A poda pri trajanju izmere 30 s manjši  $\bar{e}_d$  kot pri trajanju izmere 5 s, medtem ko ostala dva sprejemnika podata pri trajanju izmere 30 s večji  $\bar{e}_d$  kot pri trajanju 5 s. Intervali zaupanja za obe trajanji izmere se za vsak sprejemnik na velikem delu pokrivajo. Povprečja za obe trajanji izmere ležijo za vse sprejemnike v 95 % intervalu zaupanja drugega trajanja izmere.

Pred modeliranjem izvedemo preliminarni test varianc, s čimer preverimo enakost varianc med obravnavanji. Uporabimo Leveneov test homogenosti varianc.

Preglednica 18: Leveneov test homogenosti varianc za  $\bar{e}_d$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah

Table 18: Levene's test for homogeneity of variances for  $\bar{e}_d$  [cm] for the measurement under favourable conditions

	<i>SP</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Obravnavanja	5	0,3299	0,8853
	12		

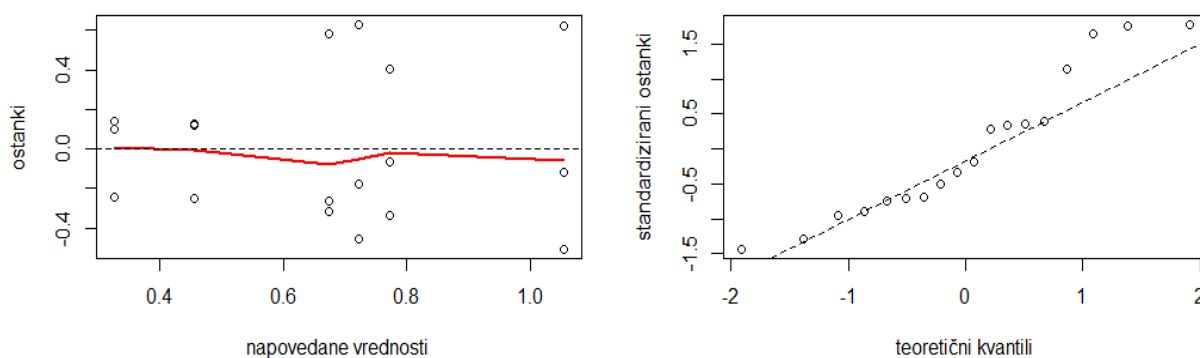
Rezultat kaže na homogenost varianc ( $p = 0,885$ ), zaradi česar lahko nadaljujemo z analizo dvofaktorske zasnove za ta primer.

Preglednica 19: Analiza variance za  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah

Table 19: The analysis of variance for  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] for the measurement under favourable conditions

Vir variabilnosti	<i>SP</i>	<i>VKO</i>	<i>SKO</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Sprejemnik	2	0,7652	0,3826	2,033	0,174
Trajanje	1	0,0054	0,0054	0,029	0,868
Sprejemnik:Trajanje	2	0,1983	0,0991	0,527	0,604
Ostanek	12	2,2580	0,1882		

Rezultati povedo, da interakcija med trajanjem in sprejemnikom ni statistično značilna ( $p = 0,604$ ), prav tako nista statistično značilna niti dejavnik sprejemnik ( $p = 0,174$ ) niti dejavnik trajanje ( $p = 0,868$ ).



Slika 16: Grafikona ostankov modela analize variance za  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah

Figure 16: Residual plots for the analysis of variance model for  $\bar{\varepsilon}_d$  [cm] for the measurement under favourable conditions

Slika 16 prikazuje ostanke modela analize variance. Levi grafikon prikazuje ostanke glede na napovedane vrednosti; opazimo lahko, da ostanke ne tvorijo nikakršne posebne oblike. Desni grafikon prikazuje, da so ostanke, z izjemo zgornjih nekaj vrednosti, porazdeljeni približno po normalni porazdelitvi. Slika 16 tako potrjuje, da je model sprejemljiv.

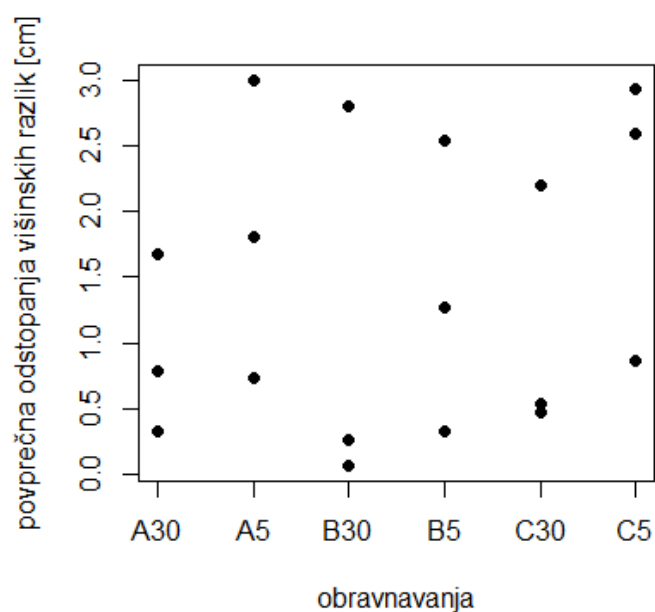


### 4.3.2 Analiza odstopanj višinskih razlik ( $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ )

Najprej izračunamo povprečja odstopanj višinskih razlik za vsak sprejemnik v vsaki seriji.

Preglednica 20: Povprečja  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah  
Table 20: The means  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  [cm] for the measurement under favourable conditions

Lokacija: ugodne razmere						
Trajanje	30 s			5 s		
Serijs/Sprejemnik	A	B	C	A	B	C
S1	1,67	2,80	2,20	1,80	0,33	2,59
S2	0,33	0,07	0,54	2,99	2,53	2,93
S3	0,79	0,26	0,48	0,74	1,26	0,87



Slika 17:  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  [cm] po obravnavanjih, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah

Figure 17:  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  [cm] for treatments defined by the factors receiver and duration for the measurement under favourable conditions

Preglednica 21 prikazuje povprečja in standardne odklone treh ponovitev obravnavanj, določenih z dejavnikoma sprejemnik in trajanje izmere, za  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  za izmero v ugodnih razmerah.

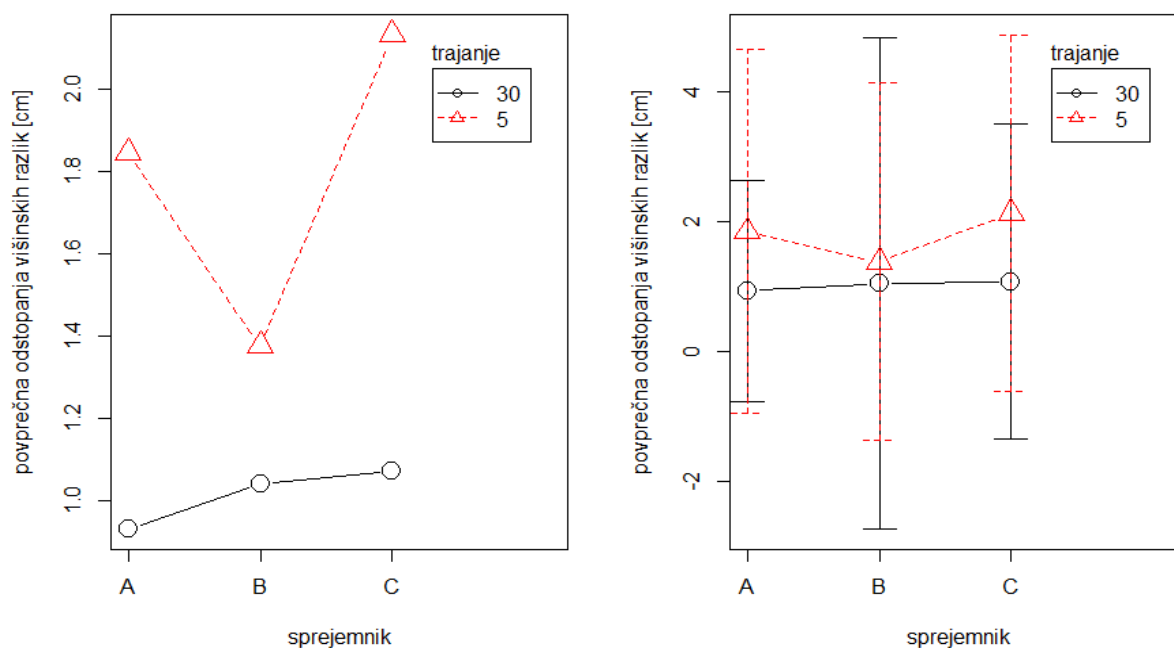
Preglednica 21: Povprečja in standardni odkloni za  $\bar{\epsilon}_{\Delta h}$  [cm] za dejavnika sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah

Table 21: The means and standard deviations for  $\bar{\epsilon}_{\Delta h}$  [cm] for the factors receiver and duration for the measurement under favourable conditions

Lokacija	Ugodne razmere			
	30 s		5 s	
Sprejemnik	povp	sd	povp	sd
A	0,93	0,68	1,84	1,13
B	1,04	1,52	1,38	1,10
C	1,07	0,98	2,13	1,11

Preglednica 21 kaže, da ima največji standardni odklon sprejemnik B pri trajanju izmere 30 s ter da se standardni odkloni pri trajanju izmere 30 s med sabo bolj razlikujejo kot standardni odkloni pri trajanju 5 s. Opazimo tudi, da so vrednosti za povprečja večja pri trajanju izmere 5 s kot pri trajanju izmere 30 s.

Slika 18 prikazuje povprečja za  $\bar{\epsilon}_{\Delta h}$  po kombinaciji sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah.



Slika 18: Povprečja  $\bar{\epsilon}_{\Delta h}$  [cm] po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah; levo: brez 95 % intervala zaupanja za povprečje, desno: s 95 % intervalom zaupanja za povprečja

Figure 18: The means  $\bar{\epsilon}_{\Delta h}$  [cm] for treatments receiver and duration for the measurement under favourable conditions; left: without 95 % confidence interval for the mean, right: with 95 % confidence interval for the mean

Slika 18 na levi strani prikazuje povprečja  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  po kombinacijah sprejemnik in trajanje za izmero v ugodnih razmerah, na desni pa povprečja skupaj s pripadajočimi 95 % intervali zaupanja. Levi del slike nakazuje, da bi trajanje izmere 30 s lahko v povprečju podajalo višinske razlike z manjšim odstopanjem od referenčne vrednosti kot opazovanja s krajšim trajanjem (5 s). Intervali zaupanja za obe trajanji izmere se za vsak sprejemnik na velikem delu pokrivajo. Povprečja za obe trajanji izmere ležijo za vse sprejemnike v 95% intervalu zaupanja drugega trajanja izmere.

Pred modeliranjem izvedemo preliminarni test varianc, s čimer preverimo enakost varianc med obravnavanji.

Preglednica 22: Leveneov test homogenosti varianc za  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] za izmero v ugodnih razmerah  
Table 22: Levene's test for homogeneity of variances for  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$ [cm] for the measurement under favourable conditions

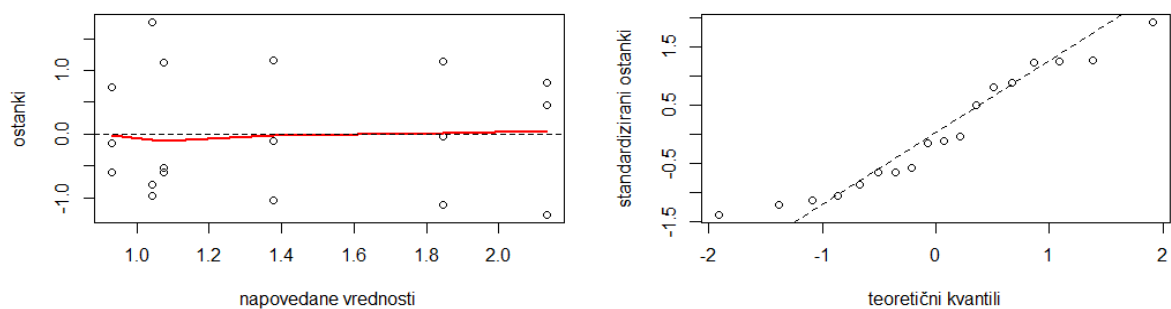
	<i>SP</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Obravnavanja	5	0,0939	0,9916
	12		

Rezultat kaže na homogenost varianc ( $p = 0,992$ ), zaradi česar lahko nadaljujemo z analizo dvofaktorske zasnove za ta primer.

Preglednica 23: Analiza variance za  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah  
Table 23: The analysis of variance for  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  [cm] for the measurement under favourable conditions

Vir variabilnosti	<i>SP</i>	<i>VKO</i>	<i>SKO</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Sprejemnik	2	0,464	0,2322	0,187	0,832
Trajanje	1	2,656	2,6556	2,136	0,170
Sprejemnik:Trajanje	2	0,439	0,2197	0,177	0,840
Ostanek	12	14,923	1,2435		

Interakcija med trajanjem in sprejemnikom ni statistično značilna ( $p = 0,840$ ), prav tako nista statistično značilna niti dejavnik sprejemnik ( $p = 0,832$ ) niti dejavnik trajanje ( $p = 0,170$ ).



Slika 19: Grafikona ostankov analize variance za  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah

Figure 19: Residual plots for the analysis of variance model for  $\bar{\varepsilon}_{\Delta h}$  [cm] for the measurement under favourable conditions

Slika 19 prikazuje ostanke modela analize variance. Leva slika prikazuje ostanke glede na napovedane vrednosti; opazimo lahko, da ostanke ne tvorijo nikakršne posebne oblike. Desna slika prikazuje, da so ostanke porazdeljeni približno po normalni porazdelitvi. Slika 19 potrjuje, da je model sprejemljiv.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

V nalogi smo se ukvarjali s postopkom načrtovanja in analize poskusa, uporabnega v detajlni izmeri RTK GNSS. Ker funkcionalnost tako strojne kot tudi programske opreme sprejemnikov GNSS uporabniku podrobno ni znana, so se sprejemniki GNSS zdeli primerni za pilotni poskus.

#### 5.1.1 Analiza objav

Pred našim poskusom je nekaj raziskav za primerjavo sprejemnikov GNSS različnih proizvajalcev že bilo narejenih. V večini člankov, navedenih v poglavju 2, so bili primerjani sprejemniki GNSS za široko uporabo. Konkretnjša statistična analiza rezultatov izmere ni bila opravljena. Članki avtorjev Serr in sod. (2006), Rodriguez-Perez in sod. (2006) ter Rodriguez-Perez in sod. (2007) so primerjali sprejemnike na načine, ki ne ustrezajo geodetskemu pristopu k problemu.

Članek Lekkerk (2007), z izjemo sprejemnikov proizvajalcev Magellan in Sokkia, primerja sprejemnike istih proizvajalcev, kot nastopajo v naši raziskavi. Modeli sprejemnikov se od sprejemnikov, uporabljenih v naši raziskavi, razlikujejo. Na žalost pa premalo pove o postopku primerjave natančnosti določitve položaja točk v prostoru.

V času izvedbe poskusa žal nismo poznali standarda ISO 17123-8 (2007) z naslovom GNSS-terenski merski sistemi v realnem času, sicer bi nam bil v veliko pomoč pri izvedbi poskusa. Standard definira način primerjave natančnosti enega sprejemnika v dveh časovnih intervalih, prav tako pa tudi ugotavljanje skladnosti natančnosti sprejemnika z natančnostjo, ki jo podaja proizvajalec sprejemnika GNSS.

Standard ne navaja, kako primerjati natančnosti več kot dveh sprejemnikov. Po seznanitvi z njim, nam je predstavljal osnovo za odkrivanje grobih pogreškov, saj definira način, kako v rezultatih izmere odkriti le-te. Za namene primerjave točnosti več sprejemnikov ni primeren.

Naš poskus je bil izveden tudi pred objavo članka avtorjev Pavlovčič in sod. (2010), v katerem so avtorji v skladu s standardom ISO 17123-8 (2007) testirali skladnost natančnosti geodetskega sprejemnika GNSS pri izmeri RTK GNSS s podatki proizvajalca ter skladnost natančnosti dveh izmer z istim sprejemnikom. Niso primerjali natančnosti več geodetskih sprejemnikov, prav tako niso podali predloga, kako primerjati rezultate izmere v različnih razmerah.

K problemu primerjave več sprejemnikov je potrebno pristopiti multidisciplinarno. Potrebno je namreč dobro poznavanje tako detajlne izmere z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS kot tudi statistične analize in njenih predpostavk.

### **5.1.2 Predstavitev poskusa in rezultatov**

V nalogi smo primerjali dvofrekvenčne geodetske sprejemnike GNSS treh proizvajalcev. Zanimala nas je primerjava točnosti horizontalnih položajev in višin točk, ki jih podajajo pri izmeri z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS. Točnost horizontalnega položaja smo ugotavljali na osnovi točnosti dolžine, izračunane iz izmerjenega horizontalnega položaja parov točk na dveh lokacijah z istim sprejemnikom; točnost višin pa smo ugotavljali na osnovi točnosti višinskih razlik, izračunanih iz izmerjenih elipsoidnih višin parov točk na dveh lokacijah z istim sprejemnikom. Pri tem nas je zanimal še vpliv trajanja in lokacije izmere na rezultate izmere. S tem smo želeli ugotoviti, ali sprejemniki različnih proizvajalcev pri različnih pogojih izmere podajajo horizontalni položaj in višine točk z različno točnostjo (pod pogoji izmere sta mišljeni dve lokaciji ter dve trajanji izmere).

Ker imajo na rezultate izmere RTK GNSS bistven vpliv pogoji v času izmere, med katere spadajo razmere v atmosferi, večpotje, elektromagnetne motnje, ovire, morebitna nepravilna določitev neznanega začetnega števila celih valov, in ker na isti točki ne moremo izvajati izmere z dvema sprejemnikoma istočasno, smo poskus zastavili tako, da je poskusil nevtralizirati vpliv motečih dejavnikov. Med moteče dejavnike spadata točka, na kateri je izmera opravljena (vplivi, vezani na lokacijo), ter trenutek izmere, ki je obremenjen s pogoji v atmosferi, geometrijsko razporeditvijo satelitov ter modelom vplivov na opazovanja pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS. Izmero so na sprejemnikih sprožali trije operaterji, ki na izmero niso imeli vpliva.

Poskus je bil izveden v treh serijah na treh točkah v oteženih razmerah in treh točkah v ugodnih razmerah. Vsaka izmera je bila opravljena z vsemi tremi sprejemniki, z vsakim postavljenim na drugi točki na isti lokaciji, istočasno. V vsaki izmed treh serij je sprejemnik upravljal drug operater. Tako so vsi trije operaterji izvedli izmero z vsemi tremi sprejemniki, s čimer smo želeli nadzorovati, da do kakršnegakoli vpliva operaterja na rezultate izmere ne bi prišlo. V vsaki seriji je bila najprej trikrat opravljena izmera z vsemi tremi sprejemniki v oteženih razmerah s trajanjem 30 s; trikratne ponovitve so predstavljale zamenjavo sprejemnikov med točkami znotraj lokacije tako, da je z vsakim sprejemnikom bila opravljena izmera na vseh treh točkah. Drug del serije je predstavljal ponovljen postopek s trajanjem 5 s. Tretji in četrti del izmere sta bila izvedena enako kot prvi in drugi del, le na točkah v ugodnih razmerah. Posamezna serija je trajala približno 25 minut, vsaka naslednja serija se je začela 120 minut po začetku prejšnje. V skladu s Pavlovčič in sod. (2010) smisel zaporedno izvedenih serij meritev izhaja iz dejstva, da se

v daljšem časovnem intervalu spremeni geometrija razporeditve satelitov, hkrati pa se nekoliko spremenijo vplivi ionosfere in troposfere na opazovanja GNSS, kar vpliva na končne vrednosti koordinat.

Tako smo pridobili 108 parov horizontalnih koordinat in 108 parov višin točk z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS s tremi sprejemniki. Na osnovi pridobljenih koordinat točk smo izračunali 108 dolžin in 108 višinskih razlik med pari točk na obeh lokacijah. Tako smo za vsak sprejemnik dobili 36 podatkov o izračunanih dolžinah in 36 podatkov o izračunanih višinskih razlikah med pari točk.

Med pari točk v oteženih in pari točk v ugodnih razmerah smo izmerili še referenčne dolžine in referenčne višinske razlike. Sledil je izračun odstopanj med podatki izmere z RTK GNSS-določitvijo položaja v konceptu VRS in referenčnimi vrednostmi.

### **5.1.3 Preliminarna analiza**

Preliminarni test odkrivanja grobih pogreškov poda, da pri izmeri v oteženih razmerah prihaja do veliko grobih pogreškov. Več grobih pogreškov smo odkrili v rezultatih višin točk kot v rezultatih horizontalnega položaja.

Naš poskus potrjuje, da je izmera, pri kateri je na območju Slovenije na južni strani ovira, izredno nezanesljiva, zanesljiva pa je izmera v ugodnih razmerah, torej izmera, kjer ne nastopajo ovire. Ugotovimo tudi, da je ob oviri zanesljivejša izmera horizontalnega položaja kot izmera višin, saj se pri višinah točk pojavi bistveno več grobih pogreškov. Zaradi tega rezultati izmere v oteženih razmerah niso primerni za nadaljnjo analizo oz. primerjavo točnosti dolžin in višinskih razlik, ki jih dobimo na osnovi izračuna iz rezultatov izmere. Kljub temu zaradi ilustrativnosti predstavimo tudi te; statistično analiziramo odstopanja dolžin od referenčnih vrednosti brez podatkov z grobimi pogreški, odstopanja višin pa zaradi premajhnega števila podatkov za analizo prikazujemo le grafično.

### **5.1.4 Rezultati statistične analize**

Statistična analiza sprejemnikov GNSS pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS je bila tako izvedena le za izmero v ugodnih razmerah za horizontalno določitev položaja in za višine, v oteženih razmerah pa brez rezultatov z grobimi pogreški le za horizontalni položaj. Ker vsako lokacijo analiziramo posebej, se količina izmerjenih podatkov v analizi razpolovi; tako imamo za vsak sprejemnik pri izmeri v ugodnih razmerah le 18 izračunanih odstopanj dolžin in 18 izračunanih odstopanj višinskih razlik, prav tako imamo le 18 izračunanih odstopanj dolžin pri izmeri v oteženih pogojih.

Vpliv operaterja na rezultate izmere smo poskušali nevtralizirati s pomočjo latinskega kvadrata, vpliv trenutka izmere in točke pa s povprečnimi odstopanji dolžin in višinskih razlik od pripadajočih referenčnih vrednosti. Posledica tega je zmanjšanje števila podatkov v nadaljnji analizi za faktor 3. V statistični analizi je za vsak sprejemnik v ugodnih razmerah le 6 podatkov za povprečna odstopanja dolžin in 6 podatkov za povprečna odstopanja višinskih razlik, za izmero v oteženih razmerah pa le 6 podatkov za povprečna odstopanja dolžin; od tega so trije podatki za vsak sprejemnik izmerjeni s trajanjem izmere 5 s in trije s trajanjem 30 s, kar je za takšno analizo izredno malo.

Analiza variance, s katero je bil poskus analiziran, kaže, da tako pri točnosti horizontalnega položaja v oteženih razmerah kot tudi pri točnosti horizontalnega položaja in višin točk v ugodnih razmerah med sprejemniki niti pri trajanju izmere 5 s niti pri trajanju izmere 30 s ni bilo statistično značilnih razlik. To bi lahko bila posledica neobstoječih razlik med sprejemniki oz. trajanji izmere, lahko pa je tudi posledica premajhnega števila ponovitev izmere.

## 5.2 SKLEPI

### 5.2.1 Rezultati analize glede na hipoteze

Glede na način sklepanja in ugotovitve preuredimo hipoteze v smiselni vrstni red. Ker je preliminarna analiza odkrila veliko grobih pogreškov za izmero v oteženih razmerah, rezultatov izmere za višine v oteženih razmerah v statistični analizi nismo upoštevali. Zaradi rezultatov preliminarne analize najprej podajamo hipotezo 2, sledita hipotezi 1 in 3, ki sta bili analizirani istočasno.

#### **Hipoteza 2**

**Točnost določitve horizontalnega položaja pri izmeri RTK GNSS, kadar imamo na južni strani gozd (oviro), je slabša kot v primeru, ko v bližini sprejemnika ni ovire. Isto velja za višine točk.**

Hipotezo 2, da je točnost določitve horizontalnega položaja pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS v oteženih pogojih, slabša kot v primeru, ko v bližini sprejemnika ni ovire, potrjujejo odkriti grobi pogreški. Enako velja za višine točk. Ugotovili smo, da je izmera v oteženih razmerah izredno nezanesljiva, medtem ko je izmera v ugodnih razmerah (brez ovir) zanesljivejša, kar je v skladu z dognanji na področju izmere GNSS. Sateliti GPS so namreč razporejeni v šestih orbitalnih ravninah s  $55^\circ$  inklinacijo proti ekvatorju (Bilban, 2013), Slovenija se nahaja na severni polobli Zemlje.



### **Hipoteza 1**

**Geodetski sprejemniki GNSS različnih proizvajalcev pri izmeri RTK ne podajajo horizontalnega položaja z različno točnostjo. Isto velja za višine točk.**

### **Hipoteza 3**

**Na točnost določitve horizontalnega položaja točk pri izmeri RTK GNSS ne vpliva trajanje izmere. Isto velja za višine točk.**

Analizo točnosti horizontalnega položaja pri RTK GNSS-določitvi položaja v konceptu VRS smo izvedli za obe lokaciji, analizo točnosti višin pa le za izmero v ugodnih razmerah. Z našo analizo za izmero tako v ugodnih razmerah kot tudi v oteženih razmerah ne zavrnemo niti hipoteze 1 niti hipoteze 3.

Pri določitvi horizontalnega položaja točk z RTK GNSS-metodo določitve položaja v konceptu VRS v ugodnih razmerah interakcija med dejavnikoma sprejemnik in trajanje ni statistično značilna ( $p = 0,604$ ), statistično značilna pa nista niti dejavnik sprejemnik ( $p = 0,174$ ) niti dejavnik trajanje ( $p = 0,868$ ).

Tudi za višine točk interakcija dejavnikov sprejemnik in trajanje pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS v ugodnih razmerah ni statistično značilna ( $p = 0,840$ ), prav tako nista statistično značilna niti dejavnik sprejemnik ( $p = 0,832$ ) niti dejavnik trajanje ( $p = 0,170$ ).

V oteženih razmerah je statistična analiza bila opravljena le na podatkih odstopanj dolžin, pri čemer so bili odstranjeni podatki z grobimi pogreški. V podatkih odstopanj višinskih razlik je bilo preveč grobih pogreškov, zato ti niso bili analizirani. Pri določitvi horizontalnega položaja točk z RTK GNSS-metodo določitve položaja v oteženih razmerah interakcija med dejavnikoma sprejemnik in trajanje ni statistično značilna ( $p = 0,836$ ), statistično značilna pa nista niti dejavnik sprejemnik ( $p = 0,428$ ) niti dejavnik trajanje ( $p = 0,927$ ).

Takšni rezultati so bili pričakovani, saj pri le treh ponovitvah ne moremo pričakovati statistično značilnih razlik. Leva stran slike 18 nakazuje, da bi krajše trajanje izmere (5 s) pri izmeri višin točk v ugodnih razmerah lahko podajalo rezultate s slabšo točnostjo, vendar desna stran iste slike kaže, da so intervali zaupanja preveliki. To nakazuje, da bi pri večjem številu ponovitev rezultati izmere s trajanjem meritev 30 s lahko bili točnejši kot rezultati izmere s trajanjem 5 s. Velike intervale zaupanja prikazujeta tudi sliki 11 in 15; vsa povprečja za trajanje izmere 5 s ležijo znotraj intervalov zaupanja za trajanje 30 s in obratno. Razlike med povprečji za izmero pri krajšem in daljšem trajanju so glede na velikost standardnih odklonov izredno majhne (preglednica 13, preglednica 17,

preglednica 21). Ti rezultati kažejo na to, da imamo v analizi premajhno število ponovitev.

### 5.2.2 Dodatne ugotovitve

Poglejmo še primerjavo med odstopanji dolžin ter odstopanji višinskih razlik od referenčnih vrednosti. To primerjavo opravimo na vseh 54 podatkih odstopanj dolžin in višinskih razlik za izmero v ugodnih razmerah. Rezultati odstopanj so namreč med sabo primerljivi, saj sta bili izmeri horizontalnega položaja in višin izvedeni s posameznim sprejemnikom na isti točki istočasno.

Preglednica 24: Opisne statistike za  $\varepsilon_d$  [cm] in  $\varepsilon_{\Delta h}$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah

Table 24: Descriptive statistics for  $\varepsilon_d$  [cm] and  $\varepsilon_{\Delta h}$  [cm] for the measurement under favourable conditions

Odstopanja	povp	sd	KV	min	mediana	max
$\varepsilon_d$ [cm]	0,667	0,563	0,844	0,001	0,542	2,514
$\varepsilon_{\Delta h}$ [cm]	1,408	1,399	0,994	0,005	0,752	4,713

Preglednica 24 prikazuje, da je povprečje za  $\varepsilon_{\Delta h}$  večje kot povprečje za  $\varepsilon_d$ , kar kaže, da so odstopanja dolžin od referenčne vrednosti manjša kot odstopanja višinskih razlik. Podobno velja za standardni odklon, koeficient variacije ter percentile.

Preglednica 25: Leveneov test homogenosti varianc med  $\varepsilon_d$  [cm] in  $\varepsilon_{\Delta h}$  [cm] za izmero v ugodnih razmerah

Table 25: Levene's test for homogeneity of variances for  $\varepsilon_d$  [cm] in  $\varepsilon_{\Delta h}$  [cm] for the measurement under favourable conditions

	SP	F	p
Obravnavanja	1	19,558	0,00002
	106		

Z Leveneovim testom primerjave varianc ugotovimo, da med variancama oz. standardnima odklonoma za dolžino in višinsko razliko za izmero v ugodnih razmerah obstaja statistično značilna razlika ( $p = 0.000$ ).

Torej je v našem primeru bila natančnost določitve položaja pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS boljša za horizontalni položaj kot za višine točk, kar je splošno znana značilnost izmere GNSS.

### 5.2.3 Doprinos k znanosti

Zaključimo lahko, da bi za kakršenkoli vsebinski zaključek potrebovali veliko več ponovitev izmere, morda tudi v daljšem časovnem obdobju, prav gotovo pa tudi več poglobljenega znanja iz področja GNSS, še posebej iz področja RTK GNSS, ki bi nam služilo pri postavitvi drugačnih hipotez, predvsem pa pri izvedbi poskusa na terenu. Če bi na dan izvedbe poskusa poznali članek Pavlovčič in sod. (2010) bi v obzir vzeli, da bi bilo boljše sprejemnike prisilno centrirati. Prav tako bi nam za samo izvedbo poskusa v veliko pomoč bil standard ISO 17123-8 (2007).

V tej nalogi za potrebe RTK GNSS-določitve položaja v konceptu VRS nismo izvedeli nič do sedaj neznanega. Izkazalo se je, da bi za poglobljeno analizo potrebovali bistveno več geodetskega in predvsem znanja s področja RTK GNSS. Predvsem bi bilo potrebno pravilno definirati, kako izvesti izmero in katere podatke primerjati med sabo ter določiti dovolj veliko število ponovitev. V tej nalogi smo se odločili, da med sabo primerjamo odstopanja dolžin in odstopanja višinskih razlik, izračunanih iz koordinat in elipsoidnih višin, pridobljenih z RTK GNSS-določitvijo položaja v konceptu VRS, od njim pripadajočih referenčnih vrednosti. K tej odločitvi nas je usmeril standard ISO 17123-8 (2007), ki je dolžine in višinske razlike uporabil kot osnovo za odkrivanje grobih pogreškov, ne pa za analizo primerjave sprejemnikov. Standard pri analizi natančnosti dveh izmer uporabi odstopanja od povprečne vrednosti na posamezni točki. Mi se za takšen način nismo odločili, ker nas zanimata odstopanja dolžine in višinske razlike, izračunane iz koordinat točk, pridobljenih z RTK GNSS-določitvijo položaja v konceptu VRS, od referenčne vrednosti.

Naloga je le preliminarni poskus za statistično analizo točnosti izmer z več sprejemniki GNSS pri RTK GNSS-določitvi položaja v konceptu VRS v različnih pogojih. Naloga sicer ni dosegla zastavljenih ciljev, predstavlja pa prispevek k postopkom preizkusa in primerjave različnih sprejemnikov.

## 6 POVZETEK (SUMMARY)

### 6.1 POVZETEK

Naloga predstavlja preliminarni poskus statistične analize točnosti izmer z več sprejemniki GNSS pri RTK GNSS-metodi določitve položaja v konceptu VRS v različnih pogojih izmere (pod pogoji izmere sta mišljeni dve lokaciji ter dve trajanji izmere). Pristop k problemu je interdisciplinaren, saj združuje znanje geodezije in statistike.

V nalogi smo primerjali dvofrekvenčne sprejemnike GNSS (angl. Global Navigation Satellite System) treh proizvajalcev pri RTK GNSS-principu določitve položaja v konceptu VRS. Uporabili smo sprejemnike proizvajalcev Leica Geosystems, Topcon in Trimble. Način, kako statistično primerjati natančnost izmere s sprejemnikom GNSS v dveh časovnih intervalih, definira standard ISO 17123-8 (2007), ki pa ne definira načina primerjave natančnosti več kot dveh sprejemnikov istočasno, prav tako pa niti ne predstavi analize podatkov v oteženih razmerah.

Za potrebe primerjave sprejemnikov GNSS pri RTK GNSS-principu določitve položaja v konceptu VRS smo najprej zasnovali poskus in ga nato izvedli na terenu. Stabilizirali smo tri točke v ugodnih in tri točke v oteženih razmerah. Razdalja med sosednjima točkama v ugodnih oz. v oteženih razmerah je znašala 3 m, razdalja med obema lokacijama pa približno 275 m. Med pari točk na posamezni lokaciji smo izmerili referenčne dolžine z jeklenim merskim trakom in referenčne višinske razlike z niveliranjem iz sredine. Sledila je izvedba poskusa v treh serijah s tremi operaterji. V vsaki seriji je posamezni operater upravljal isti sprejemnik. Vsaka serija je bila razdeljena na 4 dele, v vsakem delu so bile izvedene po tri izmere. Najprej so bile istočasno izvedene tri izmere z vsemi tremi sprejemniki, vsakim na svoji točki v oteženih pogojih s trajanjem meritev 30 s. Operaterji so se nato s sprejemniki v smeri urinega kazalca premaknili na naslednjo točko in opravili novi izmero, sledila je še izmera na zadnji točki znotraj iste lokacije. Takšen potek izmere predstavlja latinski kvadrat, v katerem se vsak sprejemnik po enkrat nahaja na vsaki točki. Drug del serije S1 je predstavljal ponovljen postopek s trajanjem izmere 5 s. Tretji in četrti del izmere sta bila opravljena enako kot prvi in drugi del, vendar na točkah na lokaciji v ugodnih razmerah. Sledili sta seriji S2 in S3, v katerih so operaterji zamenjali sprejemnike tako, da je vsak operater v vsaki seriji upravljal drug sprejemnik, ter ponovili izmero iz prve serije. S takšno zasnovo poskusa smo poskusili nevtralizirati vpliv motečih dejavnikov: vpliv operaterja, vpliv točke in vpliv trenutka izmere.

Z izvedbo takšnega poskusa smo pridobili podatke o seriji, trenutku izmere, lokaciji, trajanju, točki, operaterju, sprejemniku in horizontalnih koordinatah točk v D96/TM koordinatnem sistemu ter elipsoidnih višinah točk.

Sledil je izračun odstopanj dolžin  $\varepsilon_d$  in višinskih razlik  $\varepsilon_{\Delta H}$  od referenčnih vrednosti za izmerjene pare točk v ugodnih in v oteženih razmerah. Za vsak latinski kvadrat iz poskusa smo za posamezen sprejemnik nato izračunali povprečja odstopanj dolžin  $\bar{\varepsilon}_d$  in višinskih razlik  $\bar{\varepsilon}_{\Delta H}$ . Z izračunom povprečij smo poskusili eliminirati vpliv motečih dejavnikov, točke in trenutka izmere, na rezultate izmere. Tako imamo v podatkih dve odzivni spremenljivki (povprečno odstopanje dolžin in povprečno odstopanje višinskih razlik od referenčnih vrednosti) ter tri proučevane fiksne dejavnike (sprejemnik, lokacija in trajanje). Serije v tej zasnovi predstavljajo bloke. Morebiten vpliv operaterjev na izmero smo z zasnovo poskusa poskusili izničiti, saj je vsak operater vsak sprejemnik upravljal 1-krat. Tako smo dobili standardno trifaktorsko zasnovo poskusa  $3 \times 2 \times 2$  v treh blokkih (serijah).

Pred statistično analizo smo v skladu s standardom ISO 17123-8 (2007) izvedli preliminarno analizo odkrivanja grobih pogreškov. Grobi pogreški so se pojavili le pri izmeri v oteženih razmerah, pri izmeri v ugodnih razmerah grobih pogreškov ni bilo. To potrjuje dejstvo, da je izmera v oteženih razmerah izredno nezanesljiva, izmera v ugodnih razmerah se je v našem primeru izkazala kot zanesljiva. Pri izmeri horizontalnega položaja so v oteženih razmerah bile grobo pogrešene 3 dolžine od 54, pri izmeri višin pa je bilo grobo pogrešenih 12 od 54 višinskih razlik.

Kljub grobim pogreškom smo podatke horizontalnega položaja, pridobljene v oteženih razmerah, analizirali z analizo variance. Pri tem smo povprečja odstopanj dolžin izračunali le iz podatkov brez grobih pogreškov. Podatke za odstopanja višinskih razlik pri izmeri v oteženih pogojih smo le grafično prikazali, nismo pa jih analizirali, saj v seriji S2 nismo imeli nobenega podatka za sprejemnik A.

V podatkih, pridobljenih v ugodnih razmerah, niso nastopali grobi pogreški, zato smo z analizo variance analizirali podatke za horizontalni položaj in za višine točk.

Za vsako lokacijo smo imeli popolni faktorski poskus  $3 \times 2$  v treh blokkih (serijah).

Pred modeliranjem smo izvedli preliminarni test varianc, s čimer smo preverili enakost varianc med obravnavanji, določenimi z dejavnikoma sprejemnik in trajanje. Izkazalo se je, da so variance med obravnavanji za izmero v oteženih razmerah za povprečna odstopanja dolžin homogene ( $p = 0,694$ ). Enak rezultat smo dobili tudi v ugodnih razmerah tako za povprečna odstopanja dolžin ( $p = 0,885$ ), kot tudi za povprečna odstopanja višinskih razlik ( $p = 0,992$ ).

S pomočjo analize variance smo ugotovili, da v oteženih razmerah za povprečna odstopanja dolžin med dejavnikoma trajanje in sprejemnik ni interakcije ( $p = 0,836$ ), prav

tako s poskusom nismo odkrili statistično značilnih razlik med sprejemniki ( $p = 0,428$ ) niti med trajanji izmere ( $p = 0,927$ ).

Tudi v ugodnih razmerah za povprečna odstopanja dolžin med dejavnikoma trajanje in sprejemnik ni interakcije ( $p = 0,604$ ), prav tako s poskusom nismo odkrili statistično značilnih razlik med sprejemniki ( $p = 0,174$ ) niti med trajanji izmere ( $p = 0,868$ ).

Enake zaključke smo sprejeli tudi za odstopanja višinskih razlik v ugodnih razmerah: med sprejemnikom in trajanjem izmere ni statistično značilne interakcije ( $p = 0,840$ ), statistično značilnih razlik ni bilo niti med sprejemniki ( $p = 0,832$ ) niti med trajanji izmere ( $p = 0,170$ ).

Vse to je lahko posledica napak pri izvedbi poskusa, prešibkega poznavanja GNSS RTK-postopkov določitve položaja, dejansko neobstoječih razlik med dejavniki, pa tudi premajhnega števila ponovitev.

Za konec smo za izmero v ugodnih razmerah pogledali še primerjavo odstopanj dolžin in višinskih razlik in ugotovili, da se varianci za odstopanja dolžin in za odstopanja višinskih razlik med sabo razlikujeta ( $p = 0,000$ ), torej je natančnost določitve dolžin večja od natančnosti določitve višinskih razlik, kar je splošno znana značilnost izmere GNSS.

V tej nalogi za potrebe izmere GNSS RTK nismo izvedeli nič do sedaj neznanega. Za kakršenkoli vsebinski zaključek bi potrebovali veliko več ponovitev izmere, predvsem pa znanja iz področja izmere GNSS RTK. Naloga ni dosegla zastavljenih ciljev, predstavlja pa prispevek k postopkom preizkusa in primerjave različnih sprejemnikov.

## 6.2 SUMMARY

The thesis provides a preliminary study with statistical analysis of the accuracy of measurements obtained with multiple GNSS receivers under different measurement conditions using RTK-GNSS technique of position determination based on VRS concept. The approach to the problem was interdisciplinary, combining the knowledge of geodesy and statistics.

We have analysed and compared dual-frequency Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers from three different manufacturers: Leica Geosystems, Topcon and Trimble. All three receivers were used to determine position using RTK-GNSS technique based on VRS concept. The precision analysis of measured data obtained at two different time intervals using GNSS receivers is defined in the standard ISO 17123-8 (2007).

Unfortunately, the standard does not define a precision comparison for cases involving data acquisition from more than two receivers simultaneously. Furthermore, the standard does not provide a precision analysis procedure for data obtained under difficult conditions.

For the purposes of comparison of the three different receivers, determining the position using RTK-GNSS technique based on VRS concept, we have designed an experiment to be conducted in the field. We defined and stabilized three reference points under favourable conditions and three reference points under difficult conditions. In both cases the distance between adjacent points was approximately 3 m, while the distance between the two locations was approximately 275 m. The reference distances between the points were measured using a metal strip measuring tape, and the reference height differences were measured employing levelling from the centre. The main measurement procedure was divided into three series using three operators. All three series involved each of the receivers being used by each of the operators. Each series was divided into four parts, and in each part three measurements were carried out. First of all, three simultaneous measurements were performed using all three receivers placed at three points under unfavourable conditions. The duration of these measurements was 30 s. The next measurement involved the operators switching their positions and moving with their relevant receivers in a clockwise direction to the next points where they carried out new measurements. The third step involved the operators moving in the clockwise direction one more time and performing another measurement. This is a so-called Latin square procedure where each receiver is located once at each point. The second part of S1 series involved the same measurement procedure, but this time the measurement duration was 5 s. The third and the fourth parts of S1 series also involved the same measurement procedure, but it was performed on the second location under favourable conditions. The completion of S1 series was followed by series S2 and S3. They involved the same measurement procedure as S1 series with the exception of operators exchanging the receivers. That is, each of the three operators used a different receiver in each of the series. By using this experimental design, we have tried to eliminate nuisance factors: operator's impact, reference point impact and measurement time impact on the measurements.

Using this experimental approach we have obtained the following data on the series, measurement time, location, duration, points, operator, receiver, horizontal point coordinates in the D96/TM coordinate system and the ellipsoidal heights of the points.

Then followed the calculation of deviations of the lengths  $\varepsilon_d$  and height differences  $\varepsilon_{\Delta H}$  from the reference values for the pairs of the points, measured under favourable/difficult conditions. Latin square procedure was then used for each of the receivers to calculate the means of deviations of the lengths  $\bar{\varepsilon}_d$  and height differences  $\bar{\varepsilon}_{\Delta H}$ . By calculating the mean

values, we have tried to eliminate nuisance factors, such as impact of reference point and measurement time on the measurement results. Thus, the data include two response variables (the mean deviation of the lengths and the mean deviation of the height differences from the reference values) and three studied fixed factors (receiver, location and duration). The series in this procedure were blocks. Using experimental design, we tried to eliminate the possible impact of operators on the measurement, as each operator used each of the receivers once. That gave us the standard three-factor experimental design  $3 \times 2 \times 2$  in three blocks (series).

A preliminary analysis of gross error detection was carried out in accordance to the standard ISO 17123-8 (2007) before statistical analysis. Gross errors occurred only when measuring under difficult conditions, while measurements under favourable conditions showed no gross errors. This confirms the fact that the measurement under difficult conditions is extremely unreliable, however, the measurement under favourable conditions proved reliable in our case. The measurements of horizontal position under difficult conditions contained 3 gross errors in 54 lengths, and the measurements of heights contained 12 gross errors in 54 height differences.

Despite gross errors, the data on horizontal position obtained under difficult conditions were analysed by the analysis of variance. The means of deviations of the lengths were calculated only from the data without gross errors. The data on deviations of the height differences measured under difficult conditions were represented only graphically, and they were not analysed, since we had no data for the receiver A in the S2 series.

The data obtained under favourable conditions contained no gross errors, so we used the analysis of variance to analyse the data on the horizontal position and the heights of the points.

For each location we conducted a full factorial design  $3 \times 2$  in three blocks (series).

Prior to modelling, we carried out a preliminary test of variances to check the equality of variances between the treatments, defined by the factors receiver and duration. The variances between the treatments for the mean deviations of the lengths in measuring under difficult conditions have been shown to be homogeneous ( $p = 0,694$ ). The same results were obtained under favourable conditions for the mean deviations of the lengths ( $p = 0,885$ ) and the mean deviations of the height differences ( $p = 0,992$ ).

The analysis of variance revealed no interaction between the factors duration and receiver for the mean deviations of the lengths ( $p = 0,836$ ) under difficult conditions, nor has the experiment shown statistically significant differences between receivers ( $p = 0,428$ ) or between measurement durations ( $p = 0,927$ ).



There was also no interaction between the factors duration and receiver for the mean deviations of the lengths ( $p = 0,604$ ) under favourable conditions, nor has the experiment shown statistically significant differences between receivers ( $p = 0,174$ ) or between measurement durations ( $p = 0,868$ ).

We made the same conclusion for the deviations of the height differences under favourable conditions: there was no statistically significant interaction ( $p = 0,840$ ) between receiver and measurement duration, and there were no statistically significant differences between receivers ( $p = 0,832$ ) or between measurement durations ( $p = 0,170$ ).

This may be due to errors in the implementation of the experiment, the lack of knowledge on GNSS-RTK procedures for position determination, effectively non-existent differences between the factors, as well as the lack of repetitions.

At the end we compared the deviations of the lengths and height differences for the measurements obtained under favourable conditions, and found that the variances for the deviations of the lengths and height differences differ ( $p = 0,000$ ), so the precision of determination of the lengths is greater than the precision of determination of the height differences which is a widely known characteristic of GNSS measurement.

This thesis did not reveal anything hitherto unknown for the purposes of the GNSS-RTK measurement. Any substantive conclusion would require a lot more repetitions of measurement, and, above all, a lot more knowledge in the field of GNSS-RTK measurement. The set objectives were not achieved, but the thesis does represent a contribution to the procedures of testing and comparison of different receivers.

## 7 VIRI

- Angrisano A., Gioia C., Gaglione S., del Core G. 2013. GNSS reliability testing in signal-degraded scenario. *International Journal of Navigation and Observation*, 2013, doi: 10.1155/2013/870365: 12 str.  
<http://www.hindawi.com/journals/ijno/2013/870365/> (15. jan. 2015)
- Augath W. 1982. Accuracy and reliability measures concerning design and qualification of densification networks. V: *Proceeding Survey Control Networks. Meeting of Study Group 5B, 7th – 9th July, 1982, Aalborg University Centre, Denmark. International Federation of Surveyors*: 51-63  
[http://www.unibw.de/bauv9/Org/schriftenreihe/heft-7-1982/7-Augath-51-63/index\\_html](http://www.unibw.de/bauv9/Org/schriftenreihe/heft-7-1982/7-Augath-51-63/index_html)  
(29. mar. 2015)
- Bauer M. 2011. *Vermessung und Ortung mit Satelliten: Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) und andere satellitengestützte Navigationssysteme*. Heidelberg, Wichmann: 480 str.
- Bilban G. 2013. *Analiza kakovosti določitve položaja v omrežjih postaj GNSS*. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 215 str.
- Crawley M. J. 2007. *The R book*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd: 942 str.
- Doyle D. 2005. Accuracy test of consumer grade GPS receivers.  
<http://www.doylesdartden.com/gis/gptest.htm> (26. jun. 2010).
- Gastwirth J. L., Gel Y. R., Miao W. 2009. The impact of Levene's test of equality of variances on statistical theory and practice. *Statistical science*, 24, 3: 343-360
- Grigillo D., Stopar B. 2003. Metode odkrivanja grobih pogreškov v geodetskih opazovanjih. *Geodetski vestnik*, 47, 4: 387-403
- Heister H. 2008. The new ISO standard 17123-8 for checking GNSS field measuring system. Stockholm, International Federation of Surveyors: 16 str.  
[https://www.fig.net/pub/fig2008/papers/ts04c/ts04c\\_02\\_heister\\_3069.pdf](https://www.fig.net/pub/fig2008/papers/ts04c/ts04c_02_heister_3069.pdf) (15. okt. 2014)
- Hinkelman K., Kempthorne O. 2008. *Design and analysis of experiments. Volume 1. Introduction to experimental design. Second edition*. Hoboken, Wiley-Interscience: 631 str.
- International vocabulary of metrology – basic and general concepts and associated terms (VIM). 2008: 91 str.  
[www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM\\_200\\_2008.pdf](http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2008.pdf) (4. jan. 2014)
- ISO 3534-2. *Statistics — vocabulary and symbols. Part 2: Applied statistics*. 2006:125 str.

- ISO 5725-1. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1: General principles and definitions. 1994: 17 str.
- ISO 17123-8. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instrument. Part 8: GNSS field measurement systems in real time kinematic (RTK). 2007: 15 str.
- Jiju A. 2014. Design of experiments for engineers and scientists. Amsterdam, Elsevier: 220 str.
- Johnson R. A., Wichern D. W. 2007. Applied multivariate statistical analysis. Sixth edition. Upper Saddle River, Pearson Education International: 773 str.
- Košmelj B., Arh F., Doberšek Urbanc A., Ferligoj A., Omladič M. 2001. Statistični terminološki slovar. Statistično društvo Slovenije, Statistični urad Republike Slovenije: 403 str.
- Košmelj K. 2004. Osnove analize kovariance. Acta agriculturae slovenica, 83, 2: 341-352
- Kozmus Trajkovski K. 2010. Razvoj postopkov obdelave opazovanj GNSS za navigacijo oseb v oteženih pogojih. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 154 str.
- Kozmus K., Stopar B. 2003. Načini določanja položaja s satelitskimi tehnikami. Geodetski vestnik, 47, 4: 404-413
- Leica Geosystems. 2007. Leica GPS900. User manual. Heerbrugg, Leica Geosystems AG. <http://surveyequipment.com/assets/index/download/id/294/> (10. jan 2015)
- Leica Geosystems. 2008. Leica GPS1200+. User manual. Heerbrugg, Leica Geosystems AG. [http://www.surveyequipment.com/PDFs/GPS1200\\_User\\_en.pdf](http://www.surveyequipment.com/PDFs/GPS1200_User_en.pdf) (5. maj 2015)
- Lekkerkerk H. J. 2007. RTK to the limit, multi – test UHF RTK sets. Geoinformatics, 6: 16-24.
- Levene H. 1960. Robust tests for equality of variances. V: Contributions to probability and statistics. Olkin I. (ed.). Palo Alto, Stanford University Press: 278-292
- Martin D. 2008. Review of standards, best practice, testing and calibration in global navigation satellite system (GNSS). V: FIG Working Week in Stockholm, Sweden. International Federation of Surveyors: 1-7  
[http://www.fig.net/resources/monthly\\_articles/2008/september\\_2008/martin\\_september\\_2008.pdf](http://www.fig.net/resources/monthly_articles/2008/september_2008/martin_september_2008.pdf) (10.okt. 2014)

- Mason R. L., Gunst R. F., Hess J. L. 2003. Statistical design and analysis of experiments.: with applications to engineering and science. Hoboken, John Wiley and Sons: 728 str.
- Minster J. B., Altamimi Z., Blewitt G., Carter W. E., Cazenave A., Dragert H., Herring T. A., Larson K. M., Ries J. C., Sandwell D. T., Wahr J. M., Davis J. L. 2010. Precise geodetic infrastructure: national requirements for a shared resource. Washington.  
<http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/GeodeticInfrastructure-ReportBrief-Final.pdf> (5. okt. 2014)
- Montgomery D. 2000. Design and analysis of experiments. New York, John Wiley and Sons: 684 str.
- Mozetič B., Komadina Ž., Radovan D., Berk S., Mesner N., Klajnšček M., Stopar B., Pavlovčič Prešeren P., Kozmus K. 2006. Navodilo za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu.  
[http://e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz\\_koord\\_sistem\\_D96/Navodila/Navodilo\\_za\\_GNSS-izmero-v2.pdf](http://e-prostor.gov.si/fileadmin/ogs/Horiz_koord_sistem_D96/Navodila/Navodilo_za_GNSS-izmero-v2.pdf) (4. okt. 2012)
- Nakhra B. C., Chaudhry K. K. 2004. Instrumentation, measurement and analysis. Second edition. New Delhi, Tata McGraw-Hill: 628 str.
- Navidi W. 2010. Principles of statistics for engineers and scientists. New York, McGraw-Hill Higher Education: 582 str.
- 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
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.  
<http://www.R-project.org/>
- Rodriguez-Perez J., Alvarez M. F., Sanz E., Gavela A. 2006. Compraison of GPS receiver accuracy and precision in forest environments. Practical recommendations regarding methods and receiver selection. V: XXIII FIG Congress, Munich: 1-16  
[http://fig.net/pub/fig2006/papers/ps05\\_04/ps05\\_04\\_05\\_rodriguezperez\\_etal\\_0565.pdf](http://fig.net/pub/fig2006/papers/ps05_04/ps05_04_05_rodriguezperez_etal_0565.pdf) (1. okt. 2010)
- Rodriguez-Perez J., Alvarez M. F., Sanz-Ablanedo E. 2007. Assessment of low-cost GPS receiver accuracy and precision in forest environments. Journal of Surveying Engineering, 133, 4: 159-167
- Sabatini R., Palmerini G. 2008. Differential global positioning system (DGPS) for flight Testing. Neuilly-sur-Seine Cedex, France, NATO: 182 str.

- Serr K., Windholz T., Weber K. 2006. Comparing GPS receivers: A field study. Illinois: URISA Journal, 18, 2: 19-23  
[http://www.urisa.org/publications/journal/articles/comparing\\_gps\\_receivers](http://www.urisa.org/publications/journal/articles/comparing_gps_receivers) (25. jun. 2010).
- Stopar B. 2007. Vzpostavitev ESRS v Sloveniji. Geodetski vestnik, 51, 4: 763-776
- Topcon Corporation. 2004. Hiper+. Livermore, Topcon Corporation.  
[ibed.uva.nl/binaries/content/fnwi\\_ibed\\_dgps.pdf](http://ibed.uva.nl/binaries/content/fnwi_ibed_dgps.pdf) (10. jul. 2010)
- Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group. 2009. Trimble R8 GNSS receiver Trimble R6 and R4 GPS receivers, Trimble 5800 model 3 GPS receiver. Dayton, Trimble Navigation Limited Engineering and Construction Group.  
[http://www.al-top.com/sites/default/files/0Trimble\\_R8-R6-R4-5800M3\\_ENG.pdf](http://www.al-top.com/sites/default/files/0Trimble_R8-R6-R4-5800M3_ENG.pdf) (10. jan. 2015)
- Vining J., Kowalski S. 2006. Statistical methods for Engineers, second edition. Belmont, Thomson Brooks/Cole: 598 str.
- Winer B. J., Brown D. R., Michels K. M. 1991. Statistical principles in experimental design. 3rd edition. Boston, McGraw – Hill: 1057 str.
- Wing M. G., Eklund A., Kellogg L. D. 2005. Consumer – grade global positioning system (GPS) accuracy and reliability. Journal of Forestry, 103, 4: 169-173

## ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri ustvarjanju magistrskega dela se zahvaljujem:

- na prvem mestu mentorici prof. dr. Katarini Košmelj za strokovne usmeritve, izčrpen trud, potrpežljivost, predvsem pa vse spodbude ves čas nastajanja naloge,
- prof. dr. Bojanu Stoparju za vse strokovne napotke,
- svojim staršem, ki so bili vedno pripravljeni paziti moja otroka, ko sem jaz potrebovala čas za nalogo,
- podjetjem GEOMATIK D. O. O., GRANGEEO, geodetske storitve, d. o. o., GEOMO, Robert Močnik, s. p., Kaliopa, d. o. o. ter podjetju Geodet Dušan Drevenšek s. p. za posojen instrumentarij,
- Robertu, Milanu, Darku in Janezu za pomoč pri izvedbi poskusa,
- Klemnu za vso pomoč,
- Tatjani Vučajnk, prof. slov., za lektoriranje,
- izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču za spodbude in vse napotke ter
- svoji družini za potrpežljivost in spodbudo.

Priloga A  
Terenska izmera

Serija	Lokacija	Trajanje	Točka	Operater	Sprejemnik	$e$ [m]	$n$ [m]	$h$ [m]
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M1	B	552966,208	156124,756	303,737
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M2	C	552963,515	156123,414	303,732
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M3	A	552960,776	156122,190	303,715
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M2	C	552966,207	156124,756	303,788
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M3	A	552963,514	156123,444	303,755
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M1	B	552960,789	156122,183	303,729
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M3	A	552966,209	156124,724	303,720
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M1	B	552963,518	156123,412	303,710
S1	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M2	C	552960,781	156122,165	303,730
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M1	B	552966,182	156124,649	303,695
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M2	C	552963,515	156123,414	303,732
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M3	A	552960,779	156122,157	303,655
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M2	C	552966,194	156124,723	303,736
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M3	A	552963,510	156123,417	303,660
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M1	B	552960,796	156122,161	303,673
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M3	A	552966,199	156124,728	303,674
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M1	B	552963,499	156123,401	303,684
S1	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M2	C	552960,781	156122,184	303,648
S1	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M1	B	552891,760	156325,073	303,123
S1	ugodne razmere	30 s	P <sub>5</sub>	M2	C	552888,883	156325,972	303,105
S1	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M3	A	552886,027	156326,858	303,102
S1	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M2	C	552891,747	156325,062	303,072
S1	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M1	B	552886,026	156326,853	303,083

se nadaljuje

nadaljevanje

Serija	Lokacija	Trajanje	Točka	Operater	Sprejemnik	$e$ [m]	$n$ [m]	$h$ [m]
S1	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M3	A	552891,753	156325,084	303,078
S1	ugodne razmere	30 s	P <sub>5</sub>	M1	B	552888,900	156325,968	303,081
S1	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M2	C	552886,019	156326,845	303,075
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>4</sub>	M1	B	552891,764	156325,064	303,098
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>5</sub>	M2	C	552888,892	156325,939	303,106
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>6</sub>	M3	A	552886,033	156326,854	303,089
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>4</sub>	M2	C	552891,757	156325,056	303,091
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>5</sub>	M3	A	552888,888	156325,968	303,091
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>6</sub>	M1	B	552886,029	156326,847	303,092
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>4</sub>	M3	A	552891,749	156325,099	303,064
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>5</sub>	M1	B	552888,902	156325,963	303,093
S1	ugodne razmere	5 s	P <sub>6</sub>	M2	C	552886,016	156326,872	303,066
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M3	B	552966,206	156124,693	303,675
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M1	C	552963,470	156123,411	303,782
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M2	A	552960,759	156122,141	303,640
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M1	C	552966,192	156124,687	303,678
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M2	A	552963,496	156123,398	303,627
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M3	B	552960,772	156122,158	303,641
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M2	A	552966,187	156124,705	303,714
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M3	B	552963,502	156123,372	303,686
S2	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M1	C	552960,765	156122,160	303,774
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M3	B	552966,198	156124,709	303,844
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M1	C	552963,489	156123,415	303,977

se nadaljuje



nadaljevanje

Serija	Lokacija	Trajanje	Točka	Operater	Sprejemnik	$e$ [m]	$n$ [m]	$h$ [m]
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M2	A	552960,743	156122,163	303,860
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M1	C	552966,206	156124,719	303,907
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M2	A	552963,490	156123,425	303,977
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M3	B	552960,769	156122,151	303,804
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M2	A	552966,199	156124,707	303,763
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M3	B	552963,503	156123,381	303,716
S2	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M1	C	552960,775	156122,167	303,823
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M3	B	552891,754	156325,075	303,078
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>5</sub>	M1	C	552888,892	156325,973	303,102
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M2	A	552886,015	156326,869	303,074
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M1	C	552891,757	156325,079	303,096
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>5</sub>	M2	A	552888,884	156325,981	303,075
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M3	B	552886,033	156326,871	303,077
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M2	A	552891,758	156325,093	303,080
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>5</sub>	M3	B	552888,902	156325,977	303,077
S2	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M1	C	552886,030	156326,866	303,103
S2	ugodne razmere	5 s	P <sub>6</sub>	M2	A	552886,014	156326,871	303,060
S2	ugodne razmere	5 s	P <sub>4</sub>	M1	C	552891,750	156325,087	303,118
S2	ugodne razmere	5 s	P <sub>5</sub>	M2	A	552888,878	156325,984	303,094
S2	ugodne razmere	5 s	P <sub>4</sub>	M2	A	552891,752	156325,096	303,106
S2	ugodne razmere	5 s	P <sub>5</sub>	M3	B	552888,899	156325,981	303,095
S2	ugodne razmere	5 s	P <sub>6</sub>	M1	C	552886,018	156326,873	303,111
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M2	B	552966,197	156124,710	303,710
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M3	C	552963,459	156123,400	303,712

se nadaljuje

nadaljevanje

Serija	Lokacija	Trajanje	Točka	Operater	Sprejemnik	$e$ [m]	$n$ [m]	$h$ [m]
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M1	A	552960,761	156122,164	303,682
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M3	C	552966,190	156124,713	303,748
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M1	A	552963,505	156123,397	303,707
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M2	B	552960,784	156122,162	303,706
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>1</sub>	M1	A	552966,204	156124,725	303,723
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>2</sub>	M2	B	552963,510	156123,417	303,702
S3	otežene razmere	30 s	P <sub>3</sub>	M3	C	552960,777	156122,175	303,710
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M2	B	552966,203	156124,726	303,713
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M3	C	552963,484	156123,424	303,743
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M1	A	552960,760	156122,182	303,702
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M3	C	552966,190	156124,735	303,761
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M1	A	552963,492	156123,418	303,725
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M2	B	552960,773	156122,186	303,703
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>1</sub>	M1	A	552966,192	156124,741	303,742
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>2</sub>	M2	B	552963,491	156123,435	303,713
S3	otežene razmere	5 s	P <sub>3</sub>	M3	C	552960,779	156122,184	303,733
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M2	B	552891,751	156325,103	303,036
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>5</sub>	M3	C	552888,872	156325,985	303,057
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M1	A	552886,012	156326,891	303,029
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M3	C	552891,739	156325,089	303,057
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>5</sub>	M1	A	552888,875	156325,989	303,031
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>4</sub>	M1	A	552891,739	156325,083	303,042
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>5</sub>	M2	B	552888,888	156325,969	303,034
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M3	C	552886,016	156326,860	303,063

se nadaljuje

nadaljevanje

Serija	Lokacija	Trajanje	Točka	Operater	Sprejemnik	$e$ [m]	$n$ [m]	$h$ [m]
S3	ugodne razmere	30 s	P <sub>6</sub>	M3	C	552886,016	156326,860	303,063
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>4</sub>	M2	B	552891,764	156325,091	303,051
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>5</sub>	M3	C	552888,885	156325,976	303,075
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>6</sub>	M1	A	552886,024	156326,876	303,047
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>4</sub>	M3	C	552891,747	156325,093	303,062
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>5</sub>	M1	A	552888,890	156325,992	303,037
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>6</sub>	M2	B	552886,022	156326,867	303,034
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>4</sub>	M1	A	552891,742	156325,090	303,040
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>5</sub>	M2	B	552888,890	156325,973	303,032
S3	ugodne razmere	5 s	P <sub>6</sub>	M3	C	552886,013	156326,877	303,066

Priloga B  
Seznam podatkov z grobimi pogreški

Priloga B1: Seznam podatkov z grobo pogrešenimi  $\varepsilon_d$

Lokacija	Seriya	Trajanje	Sprejemnik	Točka $m_1$	Točka $m_2$	$\varepsilon_d$ [cm]
otežene razmere	S1	5 s	B	1	2	4,2
otežene razmere	S1	5 s	B	1	3	6,8
otežene razmere	S3	30 s	C	2	3	5,2

Priloga B2: Seznam podatkov z grobo pogrešenimi  $\varepsilon_{\Delta h}$

Lokacija	Seriya	Trajanje	Sprejemnik	Točka $m_1$	Točka $m_2$	$\varepsilon_{\Delta h}$ [cm]
otežene razmere	S2	30 s	C	1	2	11,6
otežene razmere	S2	30 s	C	1	3	12,7
otežene razmere	S2	5 s	C	2	3	13,5
otežene razmere	S2	5 s	C	1	2	8,2
otežene razmere	S1	5 s	C	2	3	6,5
otežene razmere	S1	5 s	C	1	3	5,7
otežene razmere	S2	30 s	A	1	2	7,5
otežene razmere	S2	5 s	A	1	3	12,8
otežene razmere	S2	5 s	A	2	3	9,8
otežene razmere	S2	5 s	A	1	2	22,6
otežene razmere	S2	5 s	B	1	2	11,6
otežene razmere	S2	5 s	B	2	3	10,7