



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

---



Dejan Vasić

# MODEL GEODETSKOG PREMERA SAVREMENIM AKVIZICIONIM TEHNOLOGIJAMA

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2017 godine.



UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj, <b>RBR</b> :	
Identifikacioni broj, <b>IBR</b> :	
Tip dokumentacije, <b>TD</b> :	Monografska publikacija
Tip zapisa, <b>TZ</b> :	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada, <b>VR</b> :	Doktorska disertacija
Autor, <b>AU</b> :	Dejan Vasić
Mentor, <b>MN</b> :	Dr Toša Ninkov, redovni profesor
Naslov rada, <b>NR</b> :	MODEL GEODETSKOG PREMERA SAVREMENIM AKVIZICIONIM TEHNOLOGIJAMA
Jezik publikacije, <b>JP</b> :	Srpski / latinica
Jezik izvoda, <b>JI</b> :	Srpski
Zemlja publikovanja, <b>ZP</b> :	Republika Srbija
Uže geografsko područje, <b>UGP</b> :	Vojvodina
Godina, <b>GO</b> :	2017
Izdavač, <b>IZ</b> :	Autorski reprint
Mesto i adresa, <b>MA</b> :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Fizički opis rada, <b>FO</b> : (poglavlja/strana/citata/tabela/slika/grafika/priloga)	10/201/201/27/140/0/2
Naučna oblast, <b>NO</b> :	Geodetsko inženjerstvo
Naučna disciplina, <b>ND</b> :	Geodezija i geomatika – Savremene tehnologije prikupljanja i obrade podataka
Predmetna odrednica/Ključne reči, <b>PO</b> :	Geodezija, LiDAR, UAV, GNSS, model geodetskog premera
<b>UDK</b>	
Čuva se, <b>ČU</b> :	U biblioteci Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad
Važna napomena, <b>VN</b> :	
Izvod, <b>IZ</b> :	Prikupljanje prostornih podataka se danas, u projektima premera i obnove premera, različitim projektima iz oblasti inženjerske geodezije, realizuje konvencionalnim metodama, koje najčešće obezbeđuju traženu tačnost izlaznih podataka. Sa druge strane, razvojem novih tehnologija i uređaja za prikupljanje podataka nameću se i nove metode rada koje obezbeđuju neuporedivo veći nivo detaljnosti od konvencionalnih metoda pa veoma često imaju prednost u odnosu na konvencionalne metode naročito u projektima inženjerske geodezije. U disertaciji je dat predlog modela geodetskog premera savremenim akvizicionim tehnologijama koji ispunjava kriterijume kvaliteta definisane pravilnikom o premeru zemljišta i kriterijume inženjerske geodezije.
Datum prihvatanja teme, <b>DP</b> :	12.07.2016
Datum odbrane, <b>DO</b> :	
Članovi komisije, <b>KO</b> :	Predsednik: Dr Miro Govedarica, redovni profesor
	Član: Dr Ivan Aleksić, redovni profesor
	Član: Dr Vladimir Bulatović, vanredni profesor
	Član: Dr Zoran Sušić, docent
	Član, mentor: Dr Toša Ninkov, redovni profesor

Потпис ментора





UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES  
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b> :	Ph.D. Thesis
Author, <b>AU</b> :	Dejan Vasić
Mentor, <b>MN</b> :	Dr. Toša Ninkov, Full professor
Title, <b>TI</b> :	MODEL OF GEODETIC MEASUREMENT WITH MODERN ACQUISITION TECHNIQUES
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian/English
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2017
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Dositeja Obradovica 6
Physical description, <b>PD</b> : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	10/201/201/27/140/0/2
Scientific field, <b>SF</b> :	Geodetic engineering
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Geodesy and Geomatics, Modern methods of data collection and processing
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Geodesy, LiDAR, UAV, GNSS, Modern technologies for data collection.
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	The collection of spatial data is carried out today by conventional methods, which usually provide the required accuracy of the output data in the projects of diameter and diameter reconstruction, by various projects in the field of engineering geodesy. On the other hand, the development of new technologies and data collection devices imposes new methods of work that provide an incomparably higher level of detail than conventional methods, and they often have an advantage over conventional, especially in engineering projects. In the dissertation, the model of geodetic diameter model was presented with modern acquisition technologies that meets the quality criteria defined by the Land Regulations Rulebook and the criteria of engineering geodesy.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	President: Dr. Miro Govedarica, Full professor
	Member: Dr. Ivan Aleksić, Full professor
	Member: Dr. Vladimir Bulatović, Associate professor
	Member: Dr Zoran Sušić, Assistant professor
Member, Mentor:	Dr. Toša Ninkov, Full professor
	Menthor's sign

# Sadržaj

<b>Sadržaj</b>	<b>i</b>
<b>Spisak slika</b>	<b>v</b>
<b>Spisak tabela</b>	<b>xi</b>
<b>Spisak skraćenica</b>	<b>xiii</b>
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Definisane predmeta naučnog istraživanja . . . . .	1
1.1.1 Definicija pojmova premera, obnove premera i inženjerske geodezije . . . . .	1
1.1.2 Značaj razvoja informacionih tehnologija, računara i elektronike na razvoj tehnologija prikupljanja i obrade podataka u geodeziji . . . . .	2
1.1.3 Predmet naučnog istraživanja . . . . .	3
1.2 Cilj naučnog istraživanja . . . . .	4
1.3 Polazne hipoteze istraživanja . . . . .	4
1.4 Kratak opis poglavlja disertacije . . . . .	5
1.5 Aktuelno stanje rešavanja problema ažurnosti 3D podloga u geodeziji	7
1.6 Primenjene naučne metode savremenih tehnologija premera . . . . .	8
1.6.1 Aktuelne metode određivanja prostornih podataka u geodeziji	9
1.6.1.1 Metoda precizne elektronske tahimetrije . . . . .	9
1.6.1.2 GNSS metoda . . . . .	9
1.6.1.3 Metoda automatizovane digitalne fotogrametrije . . . . .	12
1.6.1.3.1 Komponente UAV sistema . . . . .	14
1.6.1.3.2 Funkcionisanje UAV sistema . . . . .	15
1.6.1.3.3 Matematički model određivanja 3D koordinata karakterističnih tačaka terena i objekata . . . . .	15
1.6.1.4 Metoda 3D laserskog skeniranja - LiDAR . . . . .	20
1.6.1.4.1 Komponente LiDAR sistema . . . . .	20
1.6.1.4.2 Funkcionisanje LiDAR sistema . . . . .	29
1.6.1.4.3 MTLIS (Mobilno terestričko lasersko skeniranje) . . . . .	32

---

1.6.1.4.4	Matematički model određivanja 3D koordinata karakterističnih tačaka terena i objekata . . . . .	35
1.6.2	Procedure obrade podataka prikupljenih savremenim tehnologijama premera . . . . .	36
1.6.3	Statističke metode analize podataka . . . . .	41
1.6.4	Izvod iz Teorije grešaka merenja . . . . .	46
1.6.5	Metode interpolacije . . . . .	50
1.6.5.1	<i>Inverse distance weighted</i> (IDW) . . . . .	50
1.6.5.2	<i>Natural neighbor interpolation</i> . . . . .	51
1.6.5.3	Kriging . . . . .	51
1.6.5.4	<i>Aerial</i> interpolacija . . . . .	53
1.7	Struktura istraživanja u disertaciji . . . . .	55
<b>2</b>	<b>Prethodna istraživanja</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>Oblasti primene savremenih tehnologija premera</b>	<b>67</b>
3.1	Primena savremenih tehnologija kod premera urbanih sredina za potrebe izrade topografskih planova državnog premera i inženjerskih projekata . . . . .	67
3.2	Primena savremenih tehnologija premera za potrebe urbanizma i prostornog planiranja . . . . .	70
3.3	Primena savremenih tehnologija premera kod prikupljanja podataka za izradu DTM-a . . . . .	71
3.4	Primena savremenih tehnologija premera za potrebe izrade topografskih podloga šumskih područja. . . . .	78
3.5	Primena savremenih tehnologija premera za potrebe snimanja i projektovanja dalekovoda . . . . .	80
<b>4</b>	<b>Postojeća pravilnička dokumentacija o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima</b>	<b>84</b>
4.1	Problemi kod korišćenja postojeće dokumentacije i neusaglašenosti postojećih pravilnika . . . . .	84
4.2	Prikupljanje podataka LiDAR sistemom . . . . .	85
<b>5</b>	<b>Predlog modela geodetskog premera primenom savremenih akvizicionih tehnologija</b>	<b>86</b>
5.1	Uvod . . . . .	86
5.2	Kriterijumi izbora uzorka za eksperiment . . . . .	87
5.3	Modelovanje objekta istraživanja . . . . .	87
5.3.1	Osnovna klasifikacija oblaka tačaka . . . . .	88
5.3.2	Izbor kontrolnih tačaka za kalibraciju . . . . .	90
5.3.3	Izbor kontrolnih profila za kalibraciju . . . . .	94
5.3.4	Definicija i izrada uslovno tačnog modela . . . . .	97
5.4	Predlog modela geodetskog premera . . . . .	97

<b>6</b>	<b>Verifikacija modela</b>	<b>106</b>
6.1	Kalibracija podataka . . . . .	106
6.1.1	Rezultati analize originalno generisanih UAV i LiDAR podataka	107
6.1.1.1	Rezultati analize originalno generisanih UAV i LiDAR podataka sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka . .	107
6.1.1.2	Rezultati analize originalno generisanih UAV i LiDAR podataka sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	110
6.1.2	Rezultati analize kalibrisanih UAV i LiDAR podataka . . . . .	112
6.1.2.1	Rezultati analize kalibrisanih UAV i LiDAR podataka sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	113
6.1.2.2	Rezultati analize kalibrisanih UAV i LiDAR podataka sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	116
6.2	Rezultati analize kalibrisanih podataka - upoređenje sa uslovno tačnim modelom . . . . .	118
6.2.1	Analiza kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	120
6.2.1.1	Analiza originalnih UAV podataka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	121
6.2.1.2	Analiza kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	123
6.2.1.3	Analiza kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	125
6.2.1.4	Analiza originalnih i kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	127
6.2.2	Analiza kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	129
6.2.2.1	Analiza originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	130
6.2.2.2	Analiza kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	132
6.2.2.3	Analiza kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	134
6.2.2.4	Analiza originalnih i kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila-upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM . . . . .	136

---

<b>7</b>	<b>Diskusija rezultata</b>	<b>139</b>
7.0.1	Kalibracija podataka generisanih UAV sistemom – optimizacija broja kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	140
7.0.1.1	Kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 4, 6 i 9 kontrolnih tačaka . . . . .	142
7.0.1.2	Kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 13 i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	144
7.0.1.3	Kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	146
7.0.2	Sumarni prikaz analize kalibrisanih podataka sa 4, 6, 9, 13 i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	147
<b>8</b>	<b>Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja</b>	<b>149</b>
<b>9</b>	<b>Literatura</b>	<b>152</b>
<b>10</b>	<b>Prilozi</b>	<b>159</b>
10.0.1	Prilog 1 - Izvod iz Pravilnika o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima . . . . .	159
10.0.2	Prilog 2 . . . . .	165

# Spisak slika

1.1	Oštećeni plan R=1:2880 . . . . .	8
1.2	Metoda precizne elektronske tahimetrije . . . . .	10
1.3	Osnovni koncept apsolutnog pozicioniranja . . . . .	11
1.4	Osnovni koncept relativnog pozicioniranja . . . . .	12
1.5	UAV sistemi za upravljanje . . . . .	13
1.6	Komponente UAV sistema . . . . .	14
1.7	Struktura iz pokreta (eng. <i>Structure from Motion</i> ) . . . . .	16
1.8	Blok triangulacija . . . . .	17
1.9	Pretraga duž epipolarne linije . . . . .	18
1.10	Komponente LiDAR sistema . . . . .	21
1.11	Laser koji koristi TOF metod . . . . .	21
1.12	Upoređenje faznih razlika . . . . .	22
1.13	Fazna razlika dva signala . . . . .	23
1.14	Avionski LiDAR sistem . . . . .	23
1.15	Trasa snimljena po profilima . . . . .	24
1.16	Koordinatni sistem letelice i LiDAR sistem . . . . .	25
1.17	Eulerovi uglovi . . . . .	26
1.18	LiDAR prikupljanje podataka . . . . .	29
1.19	Višestruka refleksija <i>Multibeam</i> LiDAR sistema . . . . .	30
1.20	Struktura signala <i>multibeam</i> LiDAR sistema . . . . .	30
1.21	DSM i DTM . . . . .	31
1.22	LiDAR sistemi . . . . .	32
1.23	StreetMapper . . . . .	33
1.24	Komponente MTLs . . . . .	33
1.25	„MDL DynaScan S250" sistem montiran na vozilo . . . . .	34
1.26	Dimenzije MDL-a . . . . .	35
1.27	MDL dimenzije . . . . .	35

1.28 Rutina niskih tačaka. Klasifikacija jedne tačke (levo). Klasifikacija grupe tačaka (desno). . . . .	37
1.29 Ground . . . . .	37
1.30 Rutina <i>below surface</i> - klasifikacija tačaka terena . . . . .	38
1.31 Različiti prikazi oblaka tačaka sa ekstrahovanim strukturnim linijama putne infrastrukture . . . . .	39
1.32 Oblak tačaka - Ivičnjak . . . . .	40
1.33 Klasifikovan oblak tačaka putne infrastrukture . . . . .	41
1.34 Tačnost i preciznost merenja . . . . .	42
1.35 Zakon raspodele verovatnoća (funkcija učestalosti) . . . . .	44
1.36 Funkcija gustine raspodele verovatnoća $f(x)$ . . . . .	45
1.37 Normalna raspodela . . . . .	46
1.38 IDW pretraga susednih tačaka . . . . .	50
1.39 IDW smanjenje težina sa smanjenjem udaljenosti . . . . .	50
1.40 IDW predikcija vrednosti tačke . . . . .	51
1.41 Voronoi mozaik . . . . .	52
1.42 <i>Natural neighbor interpolation</i> . . . . .	52
1.43 <i>Aerial</i> Interpolacija . . . . .	54
1.44 Prikaz modela interpolacije . . . . .	54
1.45 Šematski prikaz strukture istraživanja . . . . .	56
1.46 Postupak klasifikacije tačaka . . . . .	57
1.47 Prikaz kontrolnih tačaka na teritoriji naselja Feketić . . . . .	58
1.48 Šematski prikaz položaja kontrolnih profila . . . . .	59
2.1 <i>Mobile mapping</i> aplikacija . . . . .	60
2.2 Aplikacija <i>Mobile mapping</i> - pregled fotografija i oblaka tačaka . . . . .	61
2.3 Aluminijski kavez za kalibraciju . . . . .	64
2.4 Kodirana meta . . . . .	64
2.5 Kutija za kalibraciju . . . . .	65
3.1 Mapiranje koridora . . . . .	68
3.2 Klasifikovani oblak tačaka koridora auto-puta . . . . .	68
3.3 AutoCad model koridora auto-puta . . . . .	69
3.4 Ekstrakcija strukturnih linija ivičnjaka . . . . .	69
3.5 GIS aplikacija koridora puteva . . . . .	70
3.6 Modeli objekata – prikaz različitih nivoa detaljnosti modela . . . . .	71
3.7 TIN i grid . . . . .	73

3.8	TIN i grid vizuelizacija . . . . .	74
3.9	Prikaz različitih rezolucija DTM-a . . . . .	74
3.10	Zona očekivanih plavnih površina . . . . .	76
3.11	Integracija strukturnih linija u DTM-u . . . . .	76
3.12	Vizuelizacija klizišta . . . . .	77
3.13	Ortofoto i detektovana pomeranja klizišta u Španiji . . . . .	79
3.14	Snimanje šumskih područja LiDAR sistemom . . . . .	80
3.15	<i>Canopy Height Model</i> . . . . .	80
3.16	Helikopter kao platforma za snimanje koridora dalekovoda LiDAR sistemom . . . . .	81
3.17	Klasifikovani oblak tačaka – snimanje dalekovoda . . . . .	82
3.18	Dalekovodi - DTM i oblak tačaka . . . . .	83
3.19	Inspekcija trase dalekovoda UAV sistemom . . . . .	83
5.1	Oblak tačaka, UAV i LiDAR . . . . .	86
5.2	Postupak definisanja poligona ulica . . . . .	88
5.3	Oblak tačaka – DTM . . . . .	89
5.4	<i>ground</i> klasifikacija – greška . . . . .	89
5.5	<i>ground</i> klasifikacija – otklanjanje grešaka . . . . .	90
5.6	UAV i LiDAR model . . . . .	90
5.7	Realizovana poligonska mreža na području naselja Feketić . . . . .	91
5.8	Definisani poligon ulica na području naselja Feketić . . . . .	92
5.9	Kontrolni profili jedne raskrsnice . . . . .	94
5.10	Kontrolni profili sa rasporedom tačaka . . . . .	95
5.11	Skica kontrolnih profila . . . . .	96
5.12	Tahimetrija . . . . .	97
5.13	Tahimetrija, izdvojene tačke . . . . .	98
5.14	Model geodetskog premera primenom savremenih akvizicionih tehnologija . . . . .	99
5.15	Raspored kontrolnih tačaka i kontrolnih profila na primeru jedne ulice	100
5.16	Raspored kontrolnih tačaka i kontrolnih profila na primeru jedne ulice	101
5.17	Primer lošeg izbora mesta za kontrolnu tačku ili za tačku kontrolnog profila . . . . .	101
5.18	Prikaz KTP-a snimljenog klasičnim geodetskim metodama . . . . .	103
5.19	Primer preklopljenog KTP-a i oblaka tačaka putne infrastrukture – perspektivni prikaz . . . . .	104
5.20	Primer preklopljenog KTP-a i oblaka tačaka putne infrastrukture . . . . .	104



---

5.21	Primer digitalizovanog sadržaja i oblaka tačaka sa prikazanim nadvožnjakom – perspektivni prikaz . . . . .	104
5.22	Prikaz 3D topografske podloge dobijene ekstrakcijom entiteta prostora iz oblaka tačaka . . . . .	105
6.1	Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od kreiranog UAVMo modela . .	108
6.2	Prikaz kontrolnih tačaka. Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od UAVMo modela . . . . .	108
6.3	Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od kreiranog LiDARMo modela .	109
6.4	Prikaz kontrolnih tačaka. Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja LiDARMo modela . . . . .	110
6.5	Prikaz odstupanja tačaka kontrolnih profila od kreiranog UAVMo modela	111
6.6	Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja UAVMo modela . . .	111
6.7	Prikaz odstupanja tačaka kontrolnih profila od kreiranog LiDARMo modela . . . . .	112
6.8	Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja LiDARMo modela . .	113
6.9	Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od UAVMmC modela . . . . .	114
6.10	Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od UAVMmC modela	114
6.11	Prikaz kontrolnih tačaka. Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od LiDARMmC modela . . . . .	115
6.12	Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od LiDARMmC modela	115
6.13	Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od kalibrisanog UAVMmCP modela	116
6.14	Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od UAVMmCP modela	117
6.15	Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od LiDARMmCP modela . . . .	118
6.16	Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od LiDARMmCP modela	118
6.17	Grafik funkcije raspodele . . . . .	119
6.18	Funkcija raspodele originalnih UAV podataka u odnosu na PTM . . .	122
6.19	Gustina raspodele originalnih UAV podataka u odnosu na PTM . . .	122
6.20	Histogram apsolutnih frekvencija originalnih UAV podataka u odnosu na PTM . . . . .	122
6.21	Funkcija raspodele UAV podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	124
6.22	Gustina raspodele UAV podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	124
6.23	Histogram apsolutnih frekvencija kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	124

---

6.24	Funkcija raspodele UAV podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	126
6.25	Gustina raspodele UAV podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	126
6.26	Histogram apsolutnih frekvencija kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	126
6.27	Grafički prikaz intervala razlika odstupanja originalnih UAV podataka, UAV podataka kalibrisanih kontrolnim tačkama i UAV podataka kalibrisanih kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima od uslovno tačnog modela PTM . . . . .	128
6.28	Funkcija raspodele originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	131
6.29	Gustina raspodele originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	131
6.30	Histogram apsolutnih frekvencija originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	131
6.31	Funkcija raspodele LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	133
6.32	Gustina raspodele LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	133
6.33	Histogram apsolutnih frekvencija kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	133
6.34	Funkcija raspodele LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	135
6.35	Gustina raspodele LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	135
6.36	Histogram apsolutnih frekvencija kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	135
6.37	Dijagram intervala razlika sumarnoLiDAR . . . . .	137
7.1	PTM - Izdvojene ulice . . . . .	140
7.2	Histogram apsolutnih frekvencija originalnih UAV podataka. Analiza izvršena na osnovu 961 izdvojene tačke . . . . .	141
7.3	Raspored kontrolnih tačaka na osnovu kojih je izvršena kalibracija . . . . .	142
7.4	Histogrami apsolutnih frekvencija nastali na osnovu podataka dobijenih kalibracijom originalnih podataka pomoću 4, 6 i 9 kontrolnih tačaka . . . . .	143

---

7.5	Raspored kontrolnih tačaka i kontrolnih profila na osnovu kojih je izvršena kalibracija . . . . .	144
7.6	Raspored kontrolnih tačaka i kontrolnih profila na osnovu kojih je izvršena kalibracija . . . . .	145
7.7	Histogrami apsolutnih frekvencija nastali na osnovu podataka dobijenih kalibracijom originalnih podataka pomoću 13 i 27 kontrolnih tačaka i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . . . .	146
7.8	Histogrami apsolutnih frekvencija. Podaci dobijeni kalibracijom originalnih podataka pomoću 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila .	147
7.9	Dijagrami sumarno . . . . .	148

# Spisak tabela

1.1	Kategorizacija UAV sistema . . . . .	13
6.1	Parametri kvaliteta inicijalno generisanih podataka, UAVMo - kontrolne tačke . . . . .	108
6.2	Parametri kvaliteta inicijalno generisanih podataka, LiDARMo - kontrolne tačke . . . . .	109
6.3	Parametri kvaliteta inicijalno generisanih podataka, UAVMo - kontrolne tačke i kontrolni profili . . . . .	110
6.4	Parametri kvaliteta inicijalno generisanih podataka, LiDARMo - kontrolne tačke i kontrolni profili . . . . .	112
6.5	Parametri kvaliteta kalibrisanih podataka, UAVMmC - kontrolne tačke	114
6.6	Parametri kvaliteta kalibrisanih podataka, LiDARmC - kontrolne tačke	115
6.7	Parametri kvaliteta kalibrisanih podataka, UAVmCP - kontrolne tačke i kontrolni profili . . . . .	116
6.8	Parametri kvaliteta kalibrisanih podataka, LiDARmCP - kontrolne tačke i kontrolni profili . . . . .	117
6.9	UAV originalni podaci . . . . .	121
6.10	UAV kalibrisano na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	123
6.11	UAV kalibrisano na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila . . .	125
6.12	UAV sumarno . . . . .	127
6.13	LiDAR originalni podaci, analiza na osnovu kontrolnih tačaka . . . .	130
6.14	LiDAR kalibrisano na osnovu kontrolnih tačaka . . . . .	132
6.15	LiDAR kalibrisano na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila .	134
6.16	LiDAR sumarno . . . . .	136
7.1	Parametri kvaliteta dobijenih analizom 961 tačke na modelu kreiranom od originalnih UAV podataka – dZ(Zt-ZMo) . . . . .	141

---

7.2	Vrednosti dobijene analizom 961 tačke. Kao osnova za upoređenje korišćeni su modeli kreirani na osnovu kalibrisanih podataka sa 4, 6, 9, 13, 27 kontrolnih tačaka, kontrolnih profila i 27 kontrolnih tačaka + profili. . . . .	147
10.1	Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka izabranih za kalibraciju na UAVMo modelu . . . . .	166
10.2	Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka izabranih za kalibraciju na LiDARMo modelu . . . . .	167
10.3	Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izabranih za kalibraciju na UAVMo modelu . . . . .	172
10.4	Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izabranih za kalibraciju na LiDARMo modelu . . . . .	175
10.5	Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka izabranih za kalibraciju na UAVMmCP modelu . . . . .	176
10.6	Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka izabranih za kalibraciju na LiDARMmCP modelu . . . . .	177
10.7	Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izabranih za kalibraciju na UAVMmCPP modelu . . . . .	184
10.8	Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izabranih za kalibraciju na LiDARMmCPP modelu . . . . .	187

# Spisak skraćenica

LiDAR	Light Detecting and Ranging
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
GNS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
DTM	Digital Terrain Model
DSM	Digital Surface Model
RTK	Real Time Kinematic
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Inertial Navigation System
RGB	Red Green Blue
NIR	Near Infra Red
MVS	Multi View Stereopsis
SIFT	Scale Invariant Feature Transform
CAD	Computer Aided Design
GIS	Geographic Information System
LAS	LiDAR Archive Standard
NASA	National Aeronautics and Space Administration
EDM	Electronic Distance Measurement
MLTS	Mobilno Lasersko Terestričko Skeniranje
Zt	Z vrednost kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izdvojenih za kalibraciju
ZMo	Z vrednost kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izdvojenih za kalibraciju očitana na modelu Mo
Mo	Model kreiran od originalnih podataka kreirane klase <i>ground</i>

---

MCP	Model Control Point
MCP	Model Control Point Profile
UAVMo	Model generisan od originalnih UAV podataka
LiDARMo	Model generisan od originalnih LiDAR podataka
UAVMmCP	Model generisan od kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka
LiDARMmCP	Model generisan od kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka
UAVMmCPP	Model generisan od kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila
LiDARMmCPP	Model generisan od kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila
PTM	Precizna Tahimetrija Model
IDW	Inverse Distance Weighted
GPA	General Procrustes Analysis
CHM	Canopy Height Model

# Rezime

Prikupljanje prostornih podataka se danas u projektima premera i obnove premera, u različitim projektima iz oblasti inženjerske geodezije, realizuje konvencionalnim metodama, koje najčešće obezbeđuju traženu tačnost izlaznih podataka. Razvojem novih tehnologija i uređaja za prikupljanje podataka nameću se i nove metode katastarskog premera i izrade 3D modela terena i objekata i 3D podloga u projektima inženjerske geodezije. Nove metode su ne samo efikasnije već obezbeđuju neuporedivo veći nivo detaljnosti od konvencionalnih metoda pa veoma često imaju prednost u odnosu na njih.

Implementacija tih metoda u Srbiji i njihovo uključivanje u redovne metode prikupljanja podataka nailazi na određene probleme. Postoje pravilnici za definisanje kvaliteta topografskih radova koji se odnose na savremene metode prikupljanja podataka: aerofotogrametrijskom metodom snimanja, metodom daljinske detekcije i LiDAR metodom snimanja. Analiza tih pravilnika i postojeće dokumentacije za definisanje kvaliteta topografskih radova pokazala je da je neophodno da se oni dopune i koriguju. Kod LiDAR metode snimanja obuhvaćeni su postupci i procedure koji se odnose na LiDAR sisteme koji kao platforme koriste letelice, a nedostaju postupci i procedure koji se odnose na LiDAR metode snimanja koje kao platforme koriste vozila, kao i postupci i procedure za upotrebu UAV sistema.

U okviru ove doktorske disertacije, geodetska istraživanja zasnovana su na analizi rada savremenih sistema premera, pre svega UAV sistema i Street Mapper sistema i pokazala su direktnu zavisnost kvaliteta izlaznih podataka, broja kontrolnih tačaka i kontrolnih profila dobijenih metodom GPS/GNSS pozicioniranja, uključenih u proces kalibracije podataka.

Na osnovu dobijenih rezultata, koji se odnose na analizu prikupljenih podataka i kontrolu kvaliteta istih, u disertaciji je dat predlog modela geodetskog premera primenom savremenih tehnologija premera, u okviru koga su definisane procedure i postupci koje je neophodno poštovati kako bi se postigao zadovoljavajući kvalitet izlaznih podataka. Istaknuta je neophodnost donošenja pravilnika i procedura u okviru kojih je jasno definisan model geodetskog premera.

Ključne reči: Geodezija, LiDAR, UAV, GNSS, model geodetskog premera



# Abstract

Spatial data collection in various projects in the field of engineering geodesy is carried out today by conventional methods, which usually provide the required accuracy of the output data. The development of new technologies and data collection devices imposes new methods of measurement and 3D modeling of terrain and objects in engineering geodesy projects. New methods are not only more efficient but they provide an incomparably higher level of detail than conventional methods, and they often have an advantage over them. Implementation of these methods in Serbia and their inclusion in regular methods of data collection encounters certain problems. There are rules for defining the quality of topographic papers related to modern methods of data collection: aerial photogrammetric method, remote sensing method and LiDAR method. The analysis of these regulations and the existing documentation for defining the quality of topographic papers has shown that it is necessary that they be amended and corrected. The LiDAR method includes procedures relate to LiDAR systems that use aircraft as platforms, and LiDAR procedures that use vehicles as platforms, as well as procedures for using the UAV system. In this doctoral dissertation, geodetic research was based on the analysis of the work of modern systems, primarily the UAV system and the Street Mapper systems, and showed the direct relation of the quality of the output data, the number of control points and control profiles obtained by the GPS / GNSS positioning process involved in the process data calibration. On the basis of the obtained results, related to the analysis of the collected data and quality control, in the dissertation is given the model of geodetic measurement method. Method was applied using modern technologies, within which are defined the procedures that must be respected in order to achieve satisfactory quality of the output data. It was emphasized the necessity of adopting regulations and procedures within which the geodetic method is clearly defined.

Key words: Geodesy, LiDAR, UAV, GNSS, Modern technologies for data collection.

# Zahvalnica

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr Toši Ninkovu na pruženoj svesrdnoj pomoći i savetima prilikom istraživanja i izrade ove disertacije. Njegovo znanje i stručna pomoć dali su disertaciji suštinski oblik i konačnu formu.

Zahvaljujem se članovima komisije za ocenu disertacije prof. dr Miru Govedarici, prof. dr Ivanu Aleksiću, vanrednom prof dr Vladimiru Bulatoviću i doc. dr Zoranu Sušiću na stručnoj pomoći i izdvojenom vremenu za pregled disertacije.

Neizmernu zahvalnost dugujem svojoj porodici kojoj i posvećujem ovu disertaciju. Posebnu zahvalnost dugujem svojim kćerkama Kristini, Sofiji i supruzi Marijani, koje su za moj rad imale veliko strpljenje i razumevanje i bez čije pomoći ovo ne bi bilo moguće.

# Poglavlje 1

## UVOD

### 1.1 Definisane predmeta naučnog istraživanja

Definisane predmeta naučnog istraživanja ove doktorske disertacije proisteklo je iz analize aktuelnog stanja rešavanja ažurnosti 3D podloga u geodeziji i novih trendova u prikupljanju podataka primenom savremenih tehnologija.

Danas, realizacija projekata sa visokim nivoom detaljnosti zahteva ažurne i kvalitetne geodetske podloge, koje odgovaraju potrebama savremenog projektovanja. U procesu izrade urbanističkih i drugih prostornih planova, kao i u svim fazama radova u građevinarstvu, arhitekturi i urbanizmu, geodezija i kartografska delatnost imaju veliku primenu, počev od koncipiranja projekata, osmatranja i realizacije na terenu do praćenja u eksploataciji. Konvencionalni način izrade geodetskih i topografskih podloga odnosio se uglavnom na katastarske i katastarsko-topografske planove, koji svojom ažurnošću ne odgovaraju specifičnim potrebama korisnika u punoj meri. Veoma intenzivnim razvojem geo-informacionih tehnologija, stvoreni su uslovi za izradu 3D geodetskih podloga koje mogu odgovoriti sve kompleksnijim zahtevima projektovanja[62].

U ovom poglavlju date su definicije premera, obnove premera i inženjerske geodezije, istaknut je značaj razvoja informacionih tehnologija, računara i elektro-nike na razvoj novih trendova u geodeziji. Analizirano je aktuelno stanje rešavanja problema ažurnosti 3D podloga u geodeziji. Posebno su obrađene savremene metode prikupljanja i obrade podataka i istaknute prednosti u odnosu na konvencionalne metode premera u inženjerskoj geodeziji.

#### 1.1.1 Definicija pojmova premera, obnove premera i inženjerske geodezije

Praktična geodezija ima vrlo široku primenu u praksi prilikom rešavanja različitih zadataka. Njen osnovni zadatak je premer zemljišta na osnovu kojeg se dolazi do situacionih planova. Situacioni planovi, numerički i ostali podaci premera zemljišta koriste se u razne svrhe, kao što su privredne i društvene delatnosti. Delatnosti u kojima situacioni planovi i ostali proizvodi geodetskog premera nalaze svoju primenu su: građevinarstvo, hidrotehnika, urbanizam, industrija, rudarstvo, poljoprivreda, šumarstvo, finansije i ekonomija, statistika, oblast državne uprave i

pravosuđa itd. Bogatstvo sadržaja geodetskih planova o prostoru i objektima na fizičkoj površi zemlje i ispod nje, pruža razne, veoma korisne informacije, koje su od interesa za skoro sve delatnosti.

Održavanje premera i katastra nepokretnosti može se definisati kao praćenje i utvrđivanje nastalih promena na nepokretnostima koje utiču na podatke premera i katastra nepokretnosti. Održavanje premera još podrazumeva i kontrolu prenošenja na teren podataka iz urbanističkih planova koji utiču na podatke premera i katastra nepokretnosti. Aktivnosti koje se mogu svrstati pod pojmom održavanje premera su: provođenje utvrđenih promena u elaboratu premera, planova, karti i katastarskom operetu i katastru vodova, obnavljanje belega stalnih geodetskih tačaka koje služe za održavanje premera i upis promena prava na nepokretnostima.

Obnova premera i katastra nepokretnosti podrazumeva ponovno vršenje premera. Ono obuhvata geodetske radove u vezi sa komasacijom zemljišta, katastarsko klasiranje i bonitiranje zemljišta i izradu novog katastarskog operata. Obnova premera i katastra nepokretnosti i upisa prava na nepokretnosti vrši se kad se pojavi znatno neslaganje podataka premera i katastarskog operata sa stanjem na terenu, koje se ne može ot-kloniti merama redovnog održavanja.

### **1.1.2 Značaj razvoja informacionih tehnologija, računara i elektronike na razvoj tehnologija prikupljanja i obrade podataka u geodeziji**

Danas je razvoj informacionih sistema, računara i elektronike doveo do razvoja i pojave savremenih tehnologija premera, novih instrumenata i softverskih rešenja za obradu i procesiranje podataka koji u mnogome ubrzavaju i olakšavaju postupak akvizicije i obrade podataka u postupku premera, obnove premera i inženjerske geodezije. U poslednjih deset godina došlo je do ubrzanog razvoja laserskih i fotogrametrijskih sistema za prikupljanje podataka sa zemlje i iz vazduha. Savremeni uređaji su sve manji, lakši i jednostavniji za upotrebu, a njihov finalni proizvod sve je boljeg kvaliteta i veće tačnosti. Sa razvojem savremenih metodologija za prikupljanje podataka, razvojem novih i savremenijih mernih uređaja kao što su LiDAR (Light Detecting and Ranging) i UAV (Unmanned Aerial Vehicles), postavljeni su novi trendovi i nove metode premera u geodeziji.

Pod fotogrametrijom podrazumevamo metodu merenja kojom se rekonstruišu položaj i oblik objekta na osnovu fotografije. Ova metoda omogućava rekonstruisanje objekata i utvrđivanje njihovih svojstava bez direktnog kontakta sa njima, pa se ovakav način dobijanja informacija danas naziva daljinska detekcija [49]. Kao alternativa klasičnoj fotogrametriji pojavila se metoda automatizovane digitalne fotogrametrije sa mogućnošću automatske ekstrakcije DTM-a, DSM-a i objekata, što je u značajnoj meri ubrzalo i olakšalo procedure obrade fotogrametrijskih snimaka.

Sa druge strane, razvijani su i laserski sistemi. Moderno daljinsko merenje zasnovano na laserskoj tehnologiji počinje još 1970. godine u NASA-i. Početna ideja bila je zasnovana na razvoju svemirskih senzora. Istraživanja su uglavnom bila usmerena na merenje svojstva atmosfere, vode okeana, šuma i ledenih pokrivača, ali ne i na topografsko mapiranje terena. Naučna istraživanja dokazala su visoku geometrijsku tačnost laserskih sistema, ali u to vreme (sredinom 1980-ih) nedostatak pouzdanog komercijalnog GNSS sistema i IMU (Inertial Measurement Unit) jedinice,

predstavljalo je značajnu prepreku za dalji razvoj. Potražnja za GNSS i IMU sistemima za upotrebu u aerofotogrametriji podstakle su ubrzan razvoj tehnologija. Kompanije koje su se bavile razvojem GNSS geodetske opreme razvile su nova GNSS kinematička rešenja, a konstelacija satelita dostigla je raspored koji je obezbeđivao široku pokrivenost zemljine površine. Razvoj IMU sistema započet je za vojne potrebe. Razvijeni su visoko precizni sistemi kao sistemi za navođenje vojnih projektila. Do sredine 1990-ih godina, LiDAR senzori su mogli da proizvedu 2.000 do 25.000 impulsa u sekundi, što je omogućavalo komercijalnim kupcima da ih koriste isključivo za topografska mapiranje. Iako dosta primitivni, uzimajući u obzir današnje standarde, ovakav razvoj savremenih tehnologija za prikupljanje podataka davao je veru i izdvojio LiDAR sisteme kao sisteme budućnosti. U to vreme čak i ovakvi sistemi obezbeđivali su neverovatno korisne podatke (tačke generisane LiDAR sistemom). Generisani podaci su se znatno razlikovali od podataka prikupljenih aerofotogrametrijskim metodama ili klasičnim geodetskim merenjima na terenu u smislu gustine snimljenih tačaka. Razvoj ovih tehnologija zaiteresovao je javnost i počela je velika potražnja za ovim tipom podataka. Ne samo zbog velike gustine snimljenih tačaka koja se ne može porediti sa gustinom tačaka generisanih nekom od konvencionalnih metoda premera, već i zbog niza drugih mogućnosti koju nudi ovakav set podataka. LiDAR sistemi imaju dosta prednosti u odnosu na pomenute tehnologije snimanja. Ističe se mogućnost snimanja između drveća u šumskim područjima gde fotogrametrijske metode imaju poteškoće, jer oni mogu brzo, precizno i direktno da generišu trodimenzionalne podatke.

Prva savremena platforma za nošenje opreme za digitalnu fotogrametriju (UAV), razvijena je od strane Amerikanaca (Lawrence and Sperry) 1916. godine. U to vreme njihov uređaj imao je autonomiju leta koja premašuje 30 milja. Ozbiljniji razvoj ovih platformi započeo je krajem 1950. godine. Ova tehnologija razvijana je i unapređivana prvenstveno za vojne potrebe, pa je tako iskorišćen rat u Vijetnamu za nova istraživanja. Po završetku rata u Vijetnamu, SAD i Izrael su započeli istraživanja koja su rezultirala razvojem manjih i jeftinijih sistema sa malim motorima i video-kamerama, koji su prenosili slike na kontrolnu stanicu sa operaterom. Najpoznatija UAV letelica „Predator” razvijena je za vojne potrebe u centru NASA [29]. Razvojem ovih sistema nametnute su nove metodologije digitalne fotogrametrije za mapiranje terena i digitalnog daljinskog merenja terena.

### 1.1.3 Predmet naučnog istraživanja

*Predmet* naučnog istraživanja u okviru ove doktorske disertacije su problemi i zadaci premera, obnove premera i inženjerske geodezije koji nastaju pri upotrebi savremenih metodologija rada i prikupljanja podataka.

Primenom savremenih metodologija rada, koristeći savremene uređaje za prikupljanje podataka, može se doći do velikog broja informacija za veoma kratko vreme. Da bi te informacije bile upotrebljive za potrebe premera, obnove premera i inženjerske geodezije, moraju zadovoljiti određenu tačnost. Topografske podloge, kao jedan od produkata premera, zasnivaju se na prostornom pozicioniranju i kartiranju prirodnih i veštačkih struktura na zemljinoj površi. U zavisnosti od zahtevanog nivoa detaljnosti i namene topografske podloge definiše se i tačnost, a samim tim se nameće izbor adekvatne metode prikupljanja podataka. Kako je metoda precizne

elektronske tahimetrije teoretski i praktično verifikovana kao metoda koja ispunjava tačnost neophodnu da bi bila korišćena u poslovima premera, obnove premera i inženjerske geodezije, u ovom istraživanju, tretiraće se kao uslovno tačna metoda.

U okviru ovog naučnog istraživanja, savremene metodologije rada i prikupljanja podataka biće analizirane sa aspekta tačnosti u poređenju sa uslovno tačnom metodom premera.

## 1.2 Cilj naučnog istraživanja

*Cilj* naučnog istraživanja ove doktorske disertacije jeste definisanje predloga modela geodetskog premera korišćenjem savremenih tehnologija, kako bi se dobijeni rezultati mogli primeniti u premeru, obnovi premera i inženjerskoj geodeziji.

Istraživanjem će se dobiti predlog modela geodetskog premera koji ispunjava kriterijume kvaliteta definisane pravilnikom o premeru zemljišta i kriterijume inženjerske geodezije. Biće definisana metodologija rada i mere koje se moraju preduzeti kako bi se postigla zahtevana tačnost i kvalitet izlaznih podataka koji zadovoljavaju ove kriterijume. Savremene tehnologije prostornog prikupljanja podataka moraju biti istražene u odgovarajućoj meri da bi se mogle koristiti u svim aspektima premera. Da bi se stekli uslovi za njihovo korišćenje i primenu u poslovima premera, obnove premera i inženjerske geodezije, dobijeni rezultati moraju biti upoređeni sa rezultatima dobijenim metodama koje su teoretski i praktično verifikovane. Metoda precizne elektronske tahimetrije je teoretski i praktično verifikovana metoda premera koja ispunjava kriterijume kvaliteta definisane Pravilnikom o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima Zakona o državnom premeru i katastru RS i kriterijume inženjerske geodezije. Kao takva, usvojena je kao uslovno tačna metoda, a podaci dobijeni ovom metodom kao uslovno tačni podaci. Definisana metodologija analize kvaliteta dobijenih podataka bila bi primenljiva bez obzira na definisane uslove tačnosti, odnosno mogla bi se primeniti bez obzira na to koja je tačnost izlaznih podataka zahtevana.

## 1.3 Polazne hipoteze istraživanja

Polazna hipoteza istraživanja govori o tome da li je moguće primeniti savremene uređaje za akviziciju podataka u poslovima premera, obnove premera i inženjerske geodezije uz definisane procedure rada i pri tome postići definisanu tačnost. U okviru istraživanja analizirane su dve metode premera primenom savremenih metodologija rada i savremenih uređaja za prikupljanje podataka. To se odnosi na metodu baziranu na laserskom skeniranju terena (LiDAR) i metodu baziranu na upotrebi fotogrametrijskih sistema montiranih na bespilotne letelice (UAV). Na osnovu sprovedenih analiza biće doneseni zaključci i definisane procedure prema kojima bi dobijeni rezultati ispunjavali uslove i zadovoljavali kriterijume za korišćenje u poslovima premera, obnove premera i inženjerske geodezije.

Indikatori uspešnosti hipoteze su neuporedivo kraći vremenski period za prikupljanje podataka, neuporedivo manji broj stručnjaka angažovanih na projektu i obezbeđenje prekobrojnih merenja, koja se u naknadnoj obradi mogu koristiti kao dodatna informacija, te za bolje sagledavanje celokupne situacije na terenu.

## 1.4 Kratak opis poglavlja disertacije

U *prvom* poglavlju disertacije su, pored predmeta i cilja naučnog istraživanja i definisanja polaznih hipoteza, definisana i struktura istraživanja doktorske disertacije i kratak opis poglavlja. Opisane su primenjene naučne metode savremenih tehnologija premera: metoda precizne elektronske tahimetrije, GNSS metoda, metoda automatizovane digitalne fotogrametrije, u okviru koje su opisane komponente i funkcionisanje sistema i matematički model određivanja 3D koordinata karakterističnih tačaka terena i objekata, metoda 3D laserskog skeniranja, u okviru koje su opisane komponente i funkcionisanje sistema, mobilno terestričko lasersko skeniranje i matematički model određivanja 3D koordinata karakterističnih tačaka terena i objekata. Opisane su procedure obrade podataka prikupljenih savremenim tehnologijama premera upotrebom LiDAR i UAV sistema. Opisane su primenjene metode i analizirani dostupni algoritmi za klasifikaciju u okviru različitih softverskih paketa. Dat je prikaz mogućnosti njihovog modifikovanja u cilju poboljšanja kvaliteta izlaznih rezultata. Dat je pregled statističkih metoda analize podataka i dat je izvod iz teorije grešaka merenja.

*Drugo* poglavlje odnosi se na prethodna istraživanja i baviće se pregledom sličnih realizovanih projekata u svetu i prethodnih istraživanja iz oblasti kalibracije oblaka tačaka.

*Treće* poglavlje disertacije bavi se pregledom oblasti primene savremenih tehnologija premera i njihovog uticaja na kvalitet 3D modela terena i objekata i topografskih karata kao finalnih proizvoda većine geodetskih radova.

*Četvrto* poglavlje bavi se pregledom postojeće pravilničke dokumentacije o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima koja se bazira na Zakonu o premeru i katastru zemljišta. Istaknuti su problemi u vezi sa korišćenjem postojeće dokumentacije i neusaglašenosti postojećih pravilnika.

U *petom* poglavlju dat je predlog modela geodetskog premera primenom savremenih akvizicionih tehnologija u modelima gde se primenjuju tehnologije UAV i mobilnog laserskog skeniranja. Predlog se bazira na realizaciji sledećih faza radova: priprema projekta premera, akvizicija podataka, inicijalna obrada prikupljenih podataka, kalibracija oblaka tačaka, kontrola kvaliteta izvršene kalibracije, generisanje finalnog oblaka tačaka i finalnom izradom 3D modela terena i objekata i generisanja 3D topografskih podloga premera i inženjerske geodezije. Dobijeni eksperimentalni rezultati su analizirani primenom matematičkih modela statističke analize. Analiza će biti primenjena na setu podataka generisanom nekom od navedenih savremenih metoda snimanja unutar definisanog poligona. Izvršeno je osnovno filtriranje ovih podataka i njihovo upoređenje sa uslovno, za nas tačnom metodom premera, preciznom elektronskom tahimetrijom. Nastala odstupanja po sve tri koordinatne ose su analizirana primenom matematičkih modela statističke analize. Odstupanja će biti definisana kao odstupanja koordinata tačaka generisanih UAV ili LiDAR sistemom i koordinata tačaka snimljenih metodom precizne elektronske tahimetrije. Na osnovu ovih odstupanja biće kreirani dijagrami intervala nastalih razlika, pri čemu će se u dijagramu analizirati tri krive. Jedna potiče od razlika nastalih upoređenjem sirovih merenja (UAV ili LiDAR sistem) sa merenjima sprovedenim metodom precizne elektronske tahimetrije. Druga potiče od razlika nastalih upoređenjem UAV ili LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih

tačaka sa merenjima sprovedenima metodom precizne elektronske tahimetrije. Treća kriva potiče od razlika nastalih upoređenjem UAV ili LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila sa merenjima sprovedenim metodom precizne elektronske tahimetrije. Na osnovu nastalih razlika biće moguće definisati tačnost UAV ili LiDAR podataka pre i posle kalibracije i definisati da li je pri kalibraciji oblaka tačaka dovoljno koristiti samo kontrolne tačke, u kom broju i rasporedu ili je neophodno pogustiti mrežu kontrolnih tačaka ili dodati kontrolne profile.

Šesto poglavlje disertacije bavi se verifikacijom predloženog modela i analizom eksperimentalnih rezultata istraživanja na test području naseljenog mesta Feketić realizovanih u postupku dokazivanja-opovrgavanja polazne hipoteze disertacije. Dobijeni eksperimentalni rezultati su analizirani primenom savremenih matematičkih modela statističke analize seta podataka geodetskih merenja i obrade na test području. Analiza će biti primenjena na setu podataka generisanom nekom od navedenih savremenih metoda snimanja unutar definisanog poligona. Izvršeno je osnovno filtriranje ovih podataka i njihovo upoređenje sa uslovno tačnom metodom premera. U modelu istraživanja obrađenom u disertaciji kao uslovano tačni rezultati su korišćeni podaci prikupljeni metodom precizne elektronske tahimetrije. Izvršeno je upoređenje 3D koordinata detaljnih tačaka prikupljenih analiziranim tehnologijama UAV i mobilnog laserskog skeniranja i koordinata istih tačaka prikupljenih metodom precizne elektronske tahimetrije. Kao metode precizne elektronske tahimetrije su korišćene metode merenja totalnim stanicama i GPS-om. Određena odstupanja po sve tri koordinatne ose su analizirana primenom matematičkih modela statističke analize u cilju određivanja tačnosti koordinata određenih dobijenih merenjem UAV i tehnologijom mobilnog laserskog skeniranja. Vrednosti na osnovu kojih se statističkim metodama može sračunati tačnost merenih veličina su vrednosti «merene» - «tačne» i one su u radu definisane kao odstupanja koordinata tačaka generisanih UAV ili LiDAR sistemom i koordinata tačaka snimljenih metodom precizne elektronske tahimetrije. Na osnovu ovih odstupanja kreirani su dijagrami intervala nastalih razlika u tri modela podataka gde svaki od njih generiše svoju krivu odstupanja merenih podataka od «tačnih». Prva potiče od razlika nastalih upoređenjem sirovih merenja (UAV ili LiDAR sistem) sa merenjima sprovedenim metodom precizne elektronske tahimetrije. Druga potiče od razlika nastalih upoređenjem UAV ili LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka sa merenjima sprovedenim metodom precizne elektronske tahimetrije. Treća kriva potiče od razlika nastalih upoređenjem UAV ili LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila sa merenjima sprovedenim metodom precizne elektronske tahimetrije. Na osnovu nastalih razlika stekli su se uslovi da se korišćenim savremenim statističkim metodama odredi tačnost UAV ili LiDAR podataka pre i posle kalibracije. Iz dobijenih analiza mogu se doneti zaključci o korelaciji broja kontrolnih tačaka i profila na kvalitet merenja realizovanih UAV i mobilnim laserskim skeniranjem. Analizom dobijenih rezultata konstatovano je da povećanje kvaliteta korelaciono zavisno od broja kontrolnih tačaka i profila do njihovog racionalnog broja što se može odrediti projektom topografskih merenja po kriterijumu postizanja projektovane tačnosti određivanja koordinata detaljnih tačaka topografskog premera u katastru i inženjerskoj geodeziji.

Sedmo poglavlje čini diskusija rezultata i ono je podeljeno na nekoliko delova. U prvom delu opisana je kalibracija podataka generisanih UAV sistemom, gde se ističe



optimizacija broja kontrolnih tačaka i kontrolnih profila. Biće analizirana kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 4, 6 i 9 kontrolnih tačaka, kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 13 i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila, kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila i biće dat sumarni prikaz analize kalibriranih podataka sa 4, 6, 9, 13 i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila.

*Osmo* poglavlje sadrži zaključna razmatranja koja će proisteći iz primenjene metodologije analize kvaliteta podataka generisanih savremenim metodama premera. Biće prikazana analiza realizovanog eksperimenta i postignutih rezultata. Na osnovu eksperimentalnih rezultata u okviru ovog poglavlja dat je predlog budućih istraživanja ove tematike. Definisani su pravci u kojima bi se moglo nastaviti istraživanje u cilju poboljšanja kvaliteta podataka generisanih savremenim metodama prikupljanja podataka i procedure rada koje bi obezbedile neophodan kvalitet podataka.

*Deveto* poglavlje sadrži spisak literature korišćene prilikom izrade ove doktorske disertacije.

*Deseto* poglavlje sadrži priloge.

## 1.5 Aktuelno stanje rešavanja problema ažurnosti 3D podloga u geodeziji

Klasične metode premera u geodeziji, kao što je precizna elektronska tahimetrija i GNSS (Global Positioning System) metoda i dalje su u upotrebi. Koriste se za potrebe premera i obnove premera.

Neki od problema sa kojima se susreće geodetska struka u Srbiji jesu neažurnost geodetskih podloga i oštećenost planova koji su u upotrebi u pojedinim katastarskim opštinama (Slika 1.1). Ti problemi znatno otežavaju održavanje premera i katastra nepokretnosti, izradu planske dokumentacije i komunalno uređenje urbanih sredina, pa se često javlja potreba za obnovom premera. Obnova premera primenom konvencionalnih metoda traje dugo, pri čemu su troškovi premera veliki. Zbog toga se teži ka tome da premer bude brz i efikasan.

Primena savremenih uređaja za potrebe snimanja terena efikasna je samo ako je realizovana automatska registracija prikupljenih podataka, što je slučaj kod totalnih stanica i GNSS uređaja. Pod pojmom „snimanje terena” podrazumeva se premeravanje zemljišta sa određivanjem 3D koordinata karakterističnih tačaka svih prirodnih i veštačkih objekata, reljefa terena i granice vlasništva u cilju izrade planova i karata. U zavisnosti od zahtevane tačnosti, veličine područja snimanja i razmere snimanja, bira se metoda merenja i tip instrumenata. Ove metode premera zahtevaju dosta vremena za akviziciju i obradu podataka, pa se najčešće koristi kombinacija metoda precizne elektronske tahimetrije i GNSS metode.

Metoda precizne elektronske tahimetrije realizuje se upotrebom elektronskih geodetskih instrumenata koji se nazivaju i „totalne stanice”. Ovim instrumentima mere se horizontalni uglovi, vertikalni uglovi i dužine. Zahvaljujući softveru koji je sastavni deo sistema totalne stanice, moguće je na terenu direktno rešavati brojne geodetske probleme.



SLIKA 1.1: Oštećeni plan R=1:2880

GNSS metoda premera postala je standardna u geodetskoj praksi. GNSS sistem je prvobitno razvijen za vojne potrebe, dok je sada deo svakodnevnice. Sistem je brzo adaptiran za geodetske potrebe jer se pozicija (geografska širina, dužina i visina) može određivati direktno, pri čemu nema potrebe za merenjem uglova i rastojanja između susednih tačaka. Oprema i način računanja koordinata tačaka su prilično složeni, ali je za krajnjeg korisnika taj proces vrlo jednostavan.

GNSS, koji zadovoljava uslove tačnosti za svakodnevne geodetske radove, jeste sistem za navigaciju i pozicioniranje, pa su samim tim i oblasti njegove primene raznovrsne. U geodeziji se primenjuje u gotovo svim oblastima, u inženjerskoj geodeziji, osnovnim geodetskim radovima, snimanju detalja za potrebe izrade topografskih i katastarskih planova, dok se u kombinaciji sa totalnim stanicama dobija integrirani sistem premera bez koga je danas gotovo nemoguće efikasno obavljati geodetske poslove.

Kombinacija ove dve metode premera danas je najčešća u praksi. Prikupljanje podataka je svedeno na optimalan broj koji će zadovoljiti potrebe izrade planova i karata. U praksi se teži ka tome da premer traje što kraće sa što manje angažovanog ljudstva, a da se pri tome postigne zadovoljavajuća tačnost i kvalitet podataka. Pored evidentne preciznosti koje obezbeđuju ove dve metode, postupak prikupljanja i obrade podataka traje dugo i potrebna je angažovanost određenog broja stručnjaka u zavisnosti od obima projekta.

## 1.6 Primenjene naučne metode savremenih tehnologija premera

U cilju detaljne analize podataka prikupljenih savremenim tehnologijama premera analizirane su aktuelne metode određivanja prostornih podataka u geodeziji

i primenjene su sledeće naučne metode: statističke metode analize podataka, teorije grešaka i metode interpolacije. U postupku upoređenja uslovno tačnog modela sa originalnim podacima i podacima kalibrisanim određenim brojem kontrolnih tačaka i kontrolnih profila, dobijeni rezultati su interpretirani pomoću funkcije raspodele, gustine raspodele i histograma apsolutnih frekvencija. Postupak poboljšanja tačnosti originalno generisanog oblaka tačaka zasnovan je na vertikalnoj kalibraciji na osnovu određenog broja kontrolnih tačaka i kontrolnih profila koja u osnovi predstavlja interpolaciju.

## 1.6.1 Aktuelne metode određivanja prostornih podataka u geodeziji

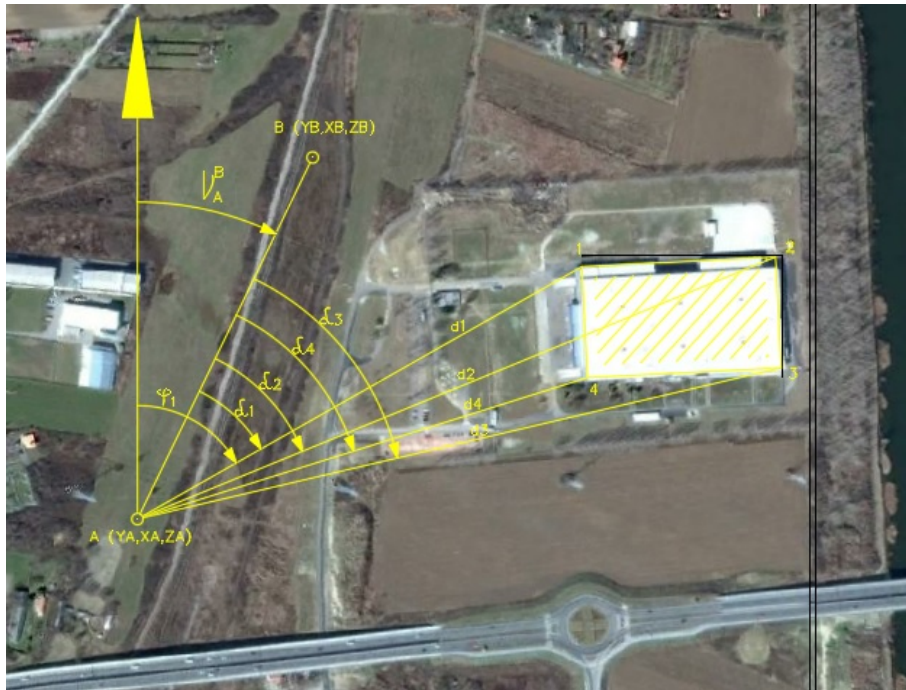
### 1.6.1.1 Metoda precizne elektronske tahimetrije

Kako je objašnjeno u poglavlju koje se bavi aktuelnim stanjem i opisuje metode rešavanja problema ažurnosti 3D podloga u geodeziji, metoda precizne elektronske tahimetrije se realizuje upotrebom totalnih stanica. Glavne komponente sistema totalne stanice su: elektronski teodolit, elektronski daljinomer EDM (Electronic Distance Measurement) i mikroprocesor. Elektronski teodolit je komponenta sistema koja se koristi za merenje horizontalnih i vertikalnih uglova. Daljinomer je komponenta za merenje dužina, a mikroprocesor je elektronski uređaj koji omogućuje izvođenje različitih matematičkih operacija [79]. Kod ove metode premera prikupljaju se elementi za računanje koordinata nepoznatih tačaka. Neophodni elementi su izmerni ugao između jedne u prostoru definisane prave i pravca na tačku čije se koordinate određuju i izmerene dužine od temena izmerenog ugla do tačke čije se koordinate određuju. Ovom metodom se, pored prikupljanja podataka za izradu 3D topografskih podloga, može pratiti izgradnja i obeležavanje projektovanih objekata.

Na slici 1.2, tačke A i B su tačke sa poznatim koordinatama. Instrument je postavljena na tačku A, definisan je pravac ka tački B i izmereni su uglovi i dužine ka tačkama 1, 2, 3 i 4. Koordinate tačaka računaju se tako što se najpre sračuna vrednost direkcionog ugla  $\nu_A^B$  iz koordinata poznatih tačaka A i B. Nakon toga izračunava se orijentisani pravac na svaku od nepoznatih tačaka. Koordinate nepoznatih tačaka računaju se tako što se na prethodnu koordinatu dodaje sračunata koordinatna razlika a visine nepoznatih tačaka tako što se na poznatu visinu prethodne tačke dodaje sračunata visinska razlika. Ovom metodom se, pored prikupljanja podataka za izradu 3D topografskih podloga, može pratiti izgradnja i obeležavanje projektovanih objekata.

### 1.6.1.2 GNSS metoda

Određivanje položaja tačaka na Zemlji bazirano je na osnovu merenja rastojanja do satelita i principima geometrije, odnosno trilateracije. GNSS prijemnik računa koordinate svoje pozicije na osnovu merenja dužina do najmanje tri satelita. Dužina od satelita do prijemnika računa se na osnovu poznate brzine prostiranja radio-talasa i proteklog vremena. Svi sateliti imaju sinhronizovane satove kako bi se vremenska razlika putovanja talasa tačno izmerila. GNSS prijemnici imaju satove na bazi kristalnih oscilatora i manje su preciznosti u odnosu na atomske satove, pa se nedostatak preciznosti rešava uvođenjem merenja do četvrtog satelita i za merenja



SLIKA 1.2: Metoda precizne elektronske tahimetrije

veće tačnosti petog. Kada GNSS prijemnik dobije signal, računa se udaljenost do satelita upoređenjem razlika od momenta slanja i momenta prijema signala. Ukoliko je poznata pozicija jednog satelita, može postojati beskonačno mnogo položaja prijemnika. Ako su poznate pozicije dva satelita, onda se pozicija prijemnika nalazi u preseku dve sfere, a ako su poznate pozicije tri satelita i do prijemnika određene tri dužine, onda se metodom trilateracije mogu odrediti trodimenzionalna pozicija prijemnika na zemlji i dobiti koordinate (X, Y, Z). Postoji više metoda merenja primenom GNSS sistema koje se razlikuju u samom postupku merenja i u tačnosti. Pod pozicioniranjem se podrazumeva određivanje prostornih položaja stacionarnih i mobilnih objekata.

Postoje dve osnovne vrste merenja GNSS sistemom:

- kodna merenja (kodovi C/A, P),
- fazna merenja (faze nosećih signala L1, L2)

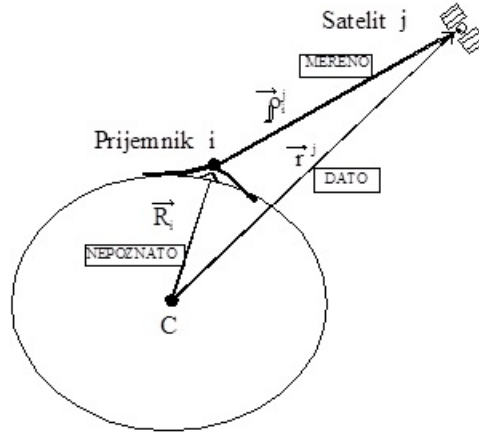
GNSS merne veličine su pseudodužine, izvedene iz kodnih ili iz faznih merenja. Uopšteno govoreći, tačnost kodnih merenja je u domenu metra, dok je tačnost faznih merenja u domenu milimetra. Za razliku od faznih merenja, kodna merenja su jednoznačna. To čini kodna merenja imunim na fazne skokove odnosno promene fazne neodređenosti i nešto su otporniji na zaklonjenost neba. Neodređenosti faznih merenja mogu se otkloniti različitim metodama. Kodna merenja uglavnom se koriste za potrebe navigacije, dok se fazna merenja koriste za visokoprecizna i tačna određivanja u Geodeziji [10].

Principijelno posmatrano postoje dve vrste pozicioniranja:

- apsolutno pozicioniranje,

- relativno pozicioniranje.

Osnovni koncept apsolutnog pozicioniranja tačke pomoću satelitskog sistema pokazan je na slici 1.3. Na osnovu primljenih signala sa satelita ( $j$ ) određuju se vektor pozicije prijemnika  $\vec{R}_i$  na tački ( $i$ ). Vektor pozicije satelita  $\vec{r}^j$  je dat, odnosno poznat, a vektor između satelita i prijemnika  $\vec{\rho}_i^j$  se meri [10].



SLIKA 1.3: Osnovni koncept apsolutnog pozicioniranja

Nepoznata pozicija prijemnika na tački određuje se prema sledećem izrazu:

$$\vec{R}_i = \vec{r}^j - \vec{\rho}_i^j \quad (1.1)$$

gde je:

- $\vec{R}_i = (X_i Y_i Z_i)^T$  - vektor pozicije prijemnika na tački  $i$ ,
- $\vec{r}^j = (x_j y_j z_j)^T$  - vektor pozicije satelita  $j$ ,
- $\rho = \|r - R\|$  - dužina između satelita i prijemnika,
- $\rho_i^j$  - vektor merenja između satelita i prijemnika.

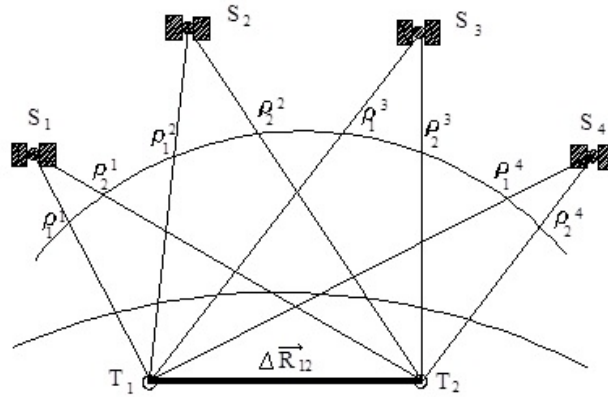
Relativno satelitsko pozicioniranje zahteva istovremena merenja na dve ili više tačaka, što se može videti na slici 1.4. Za primenu ovog metoda neophodna su najmanje dva prijemnika [10].

Primenom relativnog pozicioniranja, uticaji koji ograničavaju tačnost pozicioniranja iz prostora su: dnevne atmosferske promene, greške časovnika u prijemnicima i greške u efemeridama satelita. Oni mogu biti izbegnuti, ili čak eliminisani, dok su kod apsolutnog pozicioniranja ti uticaji dominantni.

Vektori pozicija prijemnika na tački  $T_1$  i  $T_2$  su:

$$\vec{R}_1 = \vec{r}^j - \vec{\rho}_1^j \quad (1.2)$$

$$\vec{R}_2 = \vec{r}^j - \vec{\rho}_2^j \quad (1.3)$$



SLIKA 1.4: Osnovni koncept relativnog pozicioniranja

Njihova razlika daje vektor:

$$\Delta \vec{R}_{12} = \vec{R}_2 - \vec{R}_1 = \vec{\rho}_1^j - \vec{\rho}_2^j = \vec{\rho}_{12}^j \quad (1.4)$$

Tačnost relativnog pozicioniranja je od  $0.1ppm$  do  $2.0ppm$  kada se koriste GNSS prijemnici.

GNSS sistem je sistem za navigaciju i pozicioniranje, pa su samim tim i oblasti njegove primene raznovrsne. U geodeziji se on primenjuje u gotovo svim oblastima, u inženjerskoj geodeziji, osnovnim geodetskim radovima, snimanju detalja za potrebe izrade topografskih i katastarskih planova, dok se u kombinaciji sa totalnim stanicama dobija integrisani sistem premera bez koga je danas gotovo nemoguće efikasno obavljati geodetske poslove.

### 1.6.1.3 Metoda automatizovane digitalne fotogrametrije

Početkom XX veka došlo je do razvoja analogne fotogrametrije, koja razvojem računarske tehnologije biva vrlo brzo zamenjena digitalnom. Metode automatizovane digitalne fotogrametrije dosta se razlikuju u odnosu na klasične fotogrametrijske metode. Njihov ubrzani razvoj umnogome doprinosi rešavanju različitih problema iz oblasti geodezije i drugih tehničkih disciplina. Razlike mogu biti razmatrane kroz nekoliko aspekata: ekonomskog, predmeta snimanja i procedura obrade generisanih podataka. Sa ekonomskog aspekta, metode automatizovane digitalne fotogrametrije, kod kojih se koriste bespilotne letelice, neuporedivo su jeftinije od klasičnih fotogrametrijskih metoda. Razlike su značajne, počevši od vrste letelice koja se koristi za snimanje do vrste opreme koja se koristi za snimanje. Klasične fotogrametrijske metode bazirane su na snimanju većih površina, dok to nije slučaj sa metodama automatizovane digitalne fotogrametrije. Snimanje većih površina ovim metodama je moguće, ali ono iziskuje dosta vremena. Aspekt procedura obrade generisanih podataka može se smatrati dosta bitnim. Pojava novih metoda premera primenom savremenih uređaja za akviziciju podataka, uslovlila je razvoj pratećih softverskih rešenja koja prevazilaze komplikovane procedure obrade kod klasičnih fotogrametrijskih metoda i svode problem obrade na jednostavne procedure i manipulacije u softverskim rešenjima prilagođenim korisnicima.



TABELA 1.1: Kategorizacija UAV sistema

LETELICE	LAKŠE OD VAZDUHA	TEŽE OD VAZDUHA			
		KRILA			
BEZ POGONA	BALONI	FLEKSIBILNA	FIKSNA	ROTACIONA	
		viseća jedrilica	jedrilica	zmajevi sa rotorima	
		paragljajder			
SA POGONOM	AVIOSISTEMI	zmaaj			
		paragljajder	sa propelerima	jedan rotor	
			sa motorom	koaksijalni	
				kvadrotor	
			multirotori		

Jedna od savremenih platformi za nošenje opreme za digitalnu fotogrametriju jesu UAV. To su daljinski kontrolisani, poluautomatski ili potpuno automatski sistemi koji ne zahtevaju ljudsku posadu. Sistem se primenjuje kod izviđanja, vršenja nadzora u realnom vremenu, praćenju saobraćaja i slično. Pojava tih uređaja predstavlja veliki napredak i nalazi sve veću primenu u tehničkim strukama. Nova tehnologija ima mnoge prednosti, kao što su efikasnost i mobilnost. Kada ih uporedimo sa uređajima koji se koriste za klasičnu fotogrametriju, oni imaju znatno nižu cenu i mogu se koristiti u visokorizičnim situacijama i nepristupačnim predelima. Kategorizacija UAV sistema može biti izvršena na osnovu više kriterijuma (Tabela 1.1). Jedna od glavnih kategorizacija može se izvršiti na osnovu konstrukcije same letelice, pa tako UAV sisteme možemo podeliti na sisteme sa fiksnim krilima i sisteme sa rotacionim krilima.

Različite vrste letelica (Slika 1.5) imaju razvijene različite sisteme za upravljanje, poletanje i sletanje, kao i deklarisanu tačnost koja zavisi od komponenti sistema.

### UAV (Unmanned Aerial Vehicles)

- platforme za avione
- platforme za helikoptere

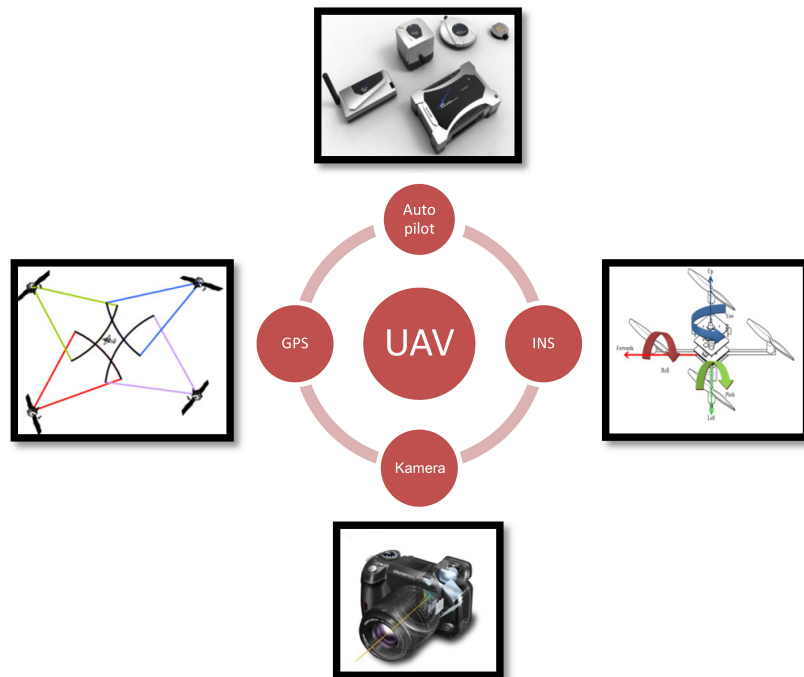


SLIKA 1.5: UAV sistemi za upravljanje

Na slici 1.5 prikazane su UAV platforme koje su našle svoju primenu u geodetskom mapiranju terena. One su dovoljno snažne da mogu poneti određenu težinu opreme (fotoaparata, mali GNSS prijemnik itd.), a opet daju mogućnost jednostavnog poletanja, manevrisanja i sletanja. U praksi se za snimanje velikih površina koriste bespilotni avioni, dok se za snimanje manjih površina i fasada objekata koriste multirotor letelice koje imaju kontrolu nad orijentacijom kamere.

### 1.6.1.3.1 Komponente UAV sistema

Osnovne komponente sistema su letelica, komandni link i zemaljska kontrolna stanica. Arhitektura sistema letelice sastoji se od nekoliko komponenti: autopilot, GNSS, IMU jedinica, kamera i softver koji objedinjuje sve komponente u jedan sistem (Slika 1.6). Kontrola letelice u toku leta može biti automatska (autopilot) ili ručna. Pozicioniranje platforme i kamere vrši se pomoću GNSS prijemnika. Definisanjem kontrolnih tačaka na terenu eliminiše se pozicioniranje platforme tokom leta, iako je ovakav način (pozicioniranje platforme tokom leta) dosta brži. Ukoliko se ne koriste orijentacione tačke i ukoliko se platforma pozicionira tokom leta, to se obavlja RTK metodom globalnog pozicioniranja sa tačnošću od nekoliko centimetara. Novije UAV platforme imaju ugrađen dvofrekventni GNSS prijemnik sa mogućnošću rada u RTK režimu. Kamere koje se koriste u bespilotnim letelicama su uglavnom malih dimenzija. Sam senzor kamere često je modifikovan kako bi se registrovao NIR kanal. Može se koristiti i nekoliko kamera sa različitim sensorima u zavisnosti od njihove težine i nosivosti letelice.



SLIKA 1.6: Komponente UAV sistema



### 1.6.1.3.2 Funkcionisanje UAV sistema

Funkcionisanje UAV sistema se može objasniti kroz tri faze. U prvoj fazi potrebno je izvršiti pripremu leta, definisati područje snimanja, rezoluciju snimanja i detalje leta.

Preduslov za kalibraciju dobijenih podataka i njihovo smeštanje u odgovarajući koordinatni sistem je određivanje kontrolnih tačaka na terenu. Danas, savremeni UAV sistemi imaju GNSS/RTK prijemnike, pa je moguće snimanje vršiti u realnom vremenu. Definisanje kontrolnih tačaka i kalibracija predstavljali bi drugu fazu funkcionisanja sistema. Sistemi tog tipa opremljeni su kamerama visoke rezolucije, pa se treća faza odnosi na procesiranje dobijenih podataka, generisanje DSM i ortofotomozaika (Slika 1.21).

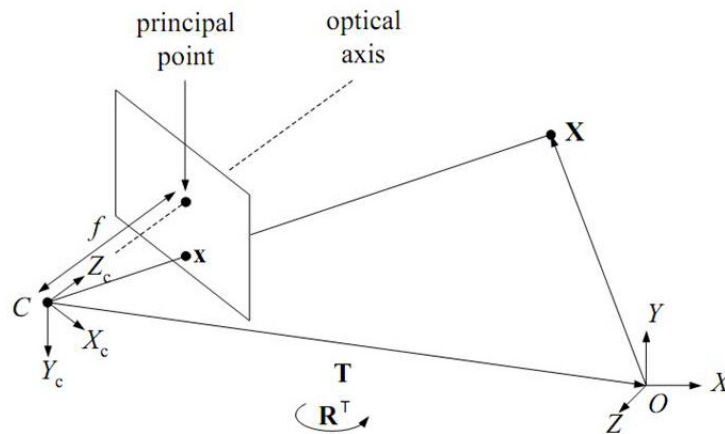
UAV sistemi mogu proizvesti guste oblake tačaka (gustina tačaka i do nekoliko centimetara) koristeći MVS ili SIFT tehnike u kombinaciji sa fotogrametrijskim metodama. 3D rekonstrukcija sa fotografija oslanja se na korespondiranje fotografija. Definiše se unutrašnja i spoljašnja orijentacija snimaka, bez kojih nije moguće izvršiti ekstrakciju

U okviru ovog istraživanja analizirani su podaci generisani UAV sistemom firme „SenseFly”. Taj UAV sistem je, sa manje od 0.7 kg, jedan od najlakših UAV sistema na tržištu. Konstrukcija od fleksibilnog stiropora i propeler koji je montiran na zadnjem delu konstrukcije dizajnirani su tako da obezbede sigurnost kako samog sistema tako i ljudi na terenu. Uređaj poleće, leti i sleće potpuno automatizovano. Letelica prikuplja fotografije iz vazduha i ima obuhvat od  $1 \text{ km}^2 - 10 \text{ km}^2$  u jednom letu i postiže preciznost do 5 cm. Ima mogućnost maksimalnog vremena leta do 45 minuta, što omogućava da obuhvati oblasti do  $10 \text{ km}^2$  u jednom letu. Sa svojom 16MP kamerom može prikupljati snimke iz vazduha sa rezolucijom od 3 cm/piksel. Slike se zatim mogu koristiti za kreiranje mapa i digitalnih modela visina sa preciznošću do 5 cm. Tehnologija obrnutog potiska i inovativni terenski senzor omogućava precizno sletanje čak i u ograničenim prostorima. „SenseFly” je izgradio intuitivan softver „eMotion 2” pomoću koga se može planirati, simulirati, pratiti i kontrolisati putanja uređaja pre leta i za vreme leta. Veštačka inteligencija ugrađena u „SenseFly” autopilot konstantno analizira podatke iz inercijalne merne jedinice i GNSS-a i vodi računa o svim aspektima misije leta. „Ebee” autopilot čuva sve podatke i prikupljene slike putanje leta. Ovi podaci se mogu preuzeti preko USB kabla i direktno su kompatibilni sa softverom „Postflight Terra 3D-EB”. On omogućava automatsku obradu georeferenciranih ortomozaika i digitalnih modela visina DEM (Digital Elevation Model) sa tačnošću do 5 cm (relativna tačnost). Kontrolne tačke na zemlji mogu se koristiti za povećanje globalne tačnosti [78].

### 1.6.1.3.3 Matematički model određivanja 3D koordinata karakterističnih tačaka terena i objekata

Poslednjih godina ostvaren je veliki napredak u tehnologiji preklapanja fotografija (eng. *image matching*). Identifikovane tačke na fotografijama koje se preklapaju omogućuju dobijanje 3D koordinata i generisanje oblaka tačaka. SfM (Structure from Motion) proces u kombinaciji sa MVS ili SIFT tehnikama omogućuje automatsku ekstrakciju oblaka tačaka (Slika 1.7). SfM u isto vreme određuje pozicije

i orijentacije kamere, koordinate 3D tačke scene i kalibracione parametre kamere, dok MVS algoritam na osnovu SfM pugušćava oblak tačaka i na taj način vrši rekonstrukciju snimljene scene. Prikupljanje informacija o geometriji 3D scene iz 2D snimka zahteva dodatne informacije. Problem se može rešiti primenom dve metode. Jedna metoda nalaže da se smanji broj stepeni slobode korišćenjem prethodnog znanja o samoj sceni a druga je korišćenje istih tačaka koje se javljaju na dva ili više snimaka. Kako se jedna tačka može nalaziti na dva ili više snimaka, sama rekonstrukcija scene se može postići triangulacijom. U projekcionoj matrici prikazana je kalibracija i pozicija kamere. Jedna od mogućnosti SfM tehnike je da omogućava istovremeno određivanje projekcione matrice i 3D tačke.



SLIKA 1.7: Struktura iz pokreta (eng. *Structure from Motion* )

Postupak automatske ekstrakcije DSM može se podeliti u nekoliko faza [35]:

- Digital Image Matching – identifikuju se kontrolne tačke na dva snimka,
- Ground Point Coordinate Determination – određuju se koordinate kontrolnih tačaka,
- DSM Construction – generisanje DSM-a.

Relacija koja daje vezu između tačaka realnog koordinatnog sistema i koordinatnog sistema kamere je:

$$\begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \\ 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

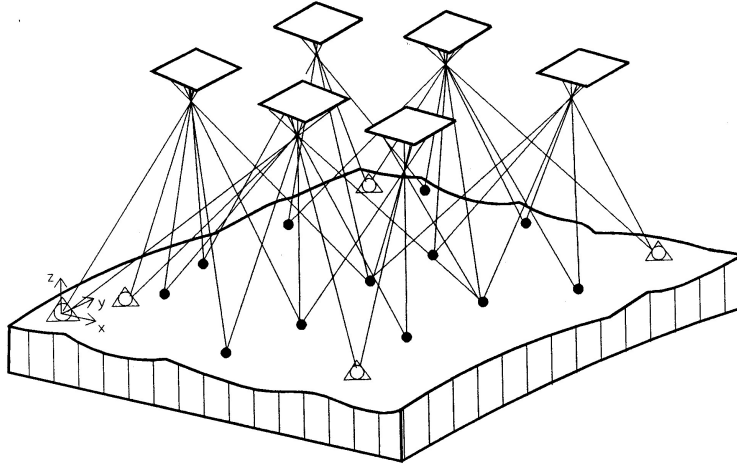
R – rotaciona matrica 3x3 koja reprezentuje rotaciju kamere.

T – translacija kamere

Relacije koje daju vezu 3D tačaka u koordinatnom sistemu kamere i 2D ravni fotografije su:

$$X = f \frac{X_C}{Z_C} \quad Y = f \frac{Y_C}{Z_C} \quad (1.6)$$

gde je  $f$  fokalna dužina



SLIKA 1.8: Blok triangulacija

$$g(X, R, T) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} \left\| P(x_i, R_j, t_j) - \begin{bmatrix} u_{i,j} \\ v_{i,j} \end{bmatrix} \right\|^2 \quad (1.7)$$

gde  $w_{ij}$  predstavlja indikator promenljive, tj. da li je tačka (i) vidljiva na slici (j).  $P(x_i, R_j, t_j)$  predstavlja pretpostavljenu lokaciju fotografije, dok poslednji matrični član formule predstavlja posmatranu lokaciju fotografije.

MVS rekonstrukcija kompleksnih scena i generisanje oblaka tačaka ostvarila je značajan napredak u poslednjih nekoliko godina. Postoji više metoda MVS rekonstrukcija, ali su najinteresantnije one koje mogu da na brz i efikasan način obrađuju snimke veće rezolucije. Kako je opisano u [76], biće prikazan pristup koji omogućava brzu rekonstrukciju oblaka tačaka zahteva malo radne memorije kod obrade snimaka velike rezolucije. Algoritam se izvršava direktno na najvećoj rezoluciji, odnosno na originalnoj rezoluciji snimka. To je moguće zahvaljujući DAISY deskriptorima koji se koriste za gusto podudaranje široke bazne linije [75]. Prednost ovakve metode obrade podataka i ekstrakcije oblaka tačaka je ta što je pogodna za primenu na velikim projektima koji sadrže snimke visoke rezolucije i pri tome je moguće koristiti standardne računare.

Pristup se sastoji iz dva osnovna koraka. Počinje se sa proračunom gustog oblaka tačaka za parove snimaka, što bi predstavljalo prvi korak. Nakon toga, vrši se provera korišćenjem dodatnih snimaka.

Bazna linija para snimaka  $y_i = (I_s, I_t)$  može biti relativno velika. Za ovakav par snimaka koristi se DAISY deskriptor za merenje sličnosti dužih epipolarnih linija i izračunava se mapa dubina [26]. Za izračunavanje verovatnoće da piksel  $x$  ima dubinu  $d$  na snimku koristi se rezultat DAISY podudaranja.

$$P(d) = \frac{1}{z} \exp \left( - \frac{\|D_x^i - D_{x'(d)}^j\|^2}{\sigma} \right) \quad (1.8)$$

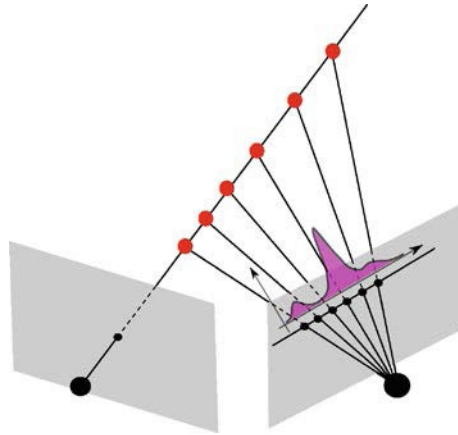
gde su:

- $D_x^i, D_{x'(d)}^j$  deskriptori u tački  $x$  na jednom snimku i u korespondentnoj tački  $x'(d)$  na drugom snimku.
- $d$  predstavlja dubinu.
- $z$  predstavlja konstantu normalizacije (osigurava da suma verovatnoća bude 1).
- $\sigma$  kontroliše oštrinu distribucije.

Posmatrajući dve najveće verovatnoće duž epipolarne linije, donosi se odluka da li pikselu treba dodeliti dubinu.

$$R_x = \frac{P_{najbolja}(d)}{P_{druganaajbolja}(d)} \quad (1.9)$$

U [76] se procenjuje da se dubina tretira kao validna ukoliko je iznad 0,8m (Slika 1.9).



SLIKA 1.9: Pretraga duž epipolarne linije

Linija vida je diskretizovana neravnomerno i predstavljena je crnim tačkama na slici 1.9. Distribucija verovatnoće izračunata je na osnovu ravnomerno uzorkovane epipolarne linije i na slici 1.9 predstavljena je ljubičastom bojom. Oblak tačaka koji je proizveden na ovaj način označen je sa  $\bar{X}^i$ . On može da sadrži i neke lažne tačke.

Analizom više parova snimaka eliminišu se lažne tačke. Data tačka  $X$ , čija je koordinata izračunata na osnovu jednog para snimaka  $y_i = (I_s, I_t)$ , reprojektuje se na druge snimke i doslednost se meri računanjem:

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{|d(X, i) - dmap_{i,j}(X)|}{dmap_{i,j}(X)} \quad (1.10)$$

gde je:

- $d(X,i)$  dubina tačke  $X$ ,  $i$  je kamera, a  $dmap_{i,j}(X)$  predstavlja vrednost dubine koja je izračunata u projekciji  $X$  na snimak  $i$  pri čemu je korišćen par snimaka  $y_i = (I_s, I_t)$ .

Tačka se zadržava ako je mera doslednosti dovoljno mala za najmanje  $C$  mapa dubina.

$$\bar{X} = \left\{ X_j, ako \left[ \sum_{i \in Q_j} V(X_j \in \bar{X}^i) \right] > C \right\} \quad (1.11)$$

gde je:

- $\bar{X}$  finalni oblak tačaka
- $V$  je logička funkcija
- $Q_j$  predstavlja set parova snimaka

Jedna tačka može biti određena iz više parova snimaka. Zadržavaju se samo one tačke čija je očekivana preciznost najveća, a ostale se odbacuju. Potrebno je razmotriti tri geometrijska faktora kako bi se donela odluka o usvajanju ili odbacivanju tačaka:

- bazna linija stereo-para (veće bazne linije daju precizniju ocenu dubine),
- žižna daljina kamere,
- udaljenost tačke od centra kamere.

Što je kamera bliža tački, ili što je uvećanje veće, to će snimak sadržati detaljniju teksturu, tako da možemo reći da faktori 2 i 3 kontrolišu informacije o sadržaju. Procena preciznosti je sledeća:

$$q(X) = \frac{f \cdot \sin(\theta)}{\|X - C\|} \quad (1.12)$$

gde je:

- $f$  žižna daljina
- $\sin(\theta)$  mera bazne linije,  $\theta$  ugao između projekcionih zrakova kamere
- $\|X - C\|$  rastojanje od centra kamere do tačke.

#### 1.6.1.4 Metoda 3D laserskog skeniranja - LiDAR

Primena metode automatizovane digitalne fotogrametrije ima svojih nedostataka koje je moguće nadomestiti primenom ili integracijom neke druge savremene metodologije premera. Jedan od nedostataka je taj što rešenja dobijena na ovaj način nisu dovoljno precizna u područjima obraslim vegetacijom. U tim slučajevima primenjuje se druga metodologija, ili se koristi integrisani sistem premera. Rešenje koje zadovoljava potrebe snimanja u obraslim područjima je multipulsna LiDAR (Light Detection And Ranging) tehnologija.

Najstarija poznata varijacija LiDAR sistema razvijala se pre milion godina. Slepí miševi su koristili navigacioni sistem poznatiji kao SONAR (Sound Navigation And Ranging). Sistem funkcioniše tako što slepi miš emituje iz svog nosa kratak signal i prima povratni eho kroz uši, što mu omogućuje trodimenzionalni pogled okoline. Na ovaj način, on može da izbegava prepreke i traži svoj plen [6]. Početkom dvadesetog veka ljudi su počeli sa razvijanjem sličnih sistema. Prvi razvijen sistem bio je „Telemobiloscope”. Razvio ga je Christian Huelsmeyer 1904. godine. To je bila prva razvijena forma RADAR (Radio Detection And Ranging) sistema, koji se sastojao iz nekoliko komponenti, antene, prijemnika i transmitera, i koristio je radio-talase izvan zvučnog opsega. Taj sistem je prvenstveno bio namenjen otkrivanju metalnih objekata u brodovima na moru u cilju sprečavanja sudara. Domet sistema bio je 3.000 m i pri detekciji objekata bi se oglašavalo zvono dok god taj objekat ne bi napustio svoju putanju [6].

LiDAR sistemi sastavljeni su iz nekoliko glavnih komponenti. To su LiDAR senzor, GNSS prijemnik, INS i računar za skladištenje podataka. LiDAR senzor radi na istom principu kao i radar, šalje talasnu dužinu prema objektu i meri vreme njenog povratka do izvora da bi izmerio dužinu između dve tačke [72].

##### 1.6.1.4.1 Komponente LiDAR sistema

LiDAR sistem predstavlja integraciju četiri osnovne komponente za prikupljanje preciznih podataka i orijentaciju laserskih zraka. To su Laser, INS/IMU jedinica, GNSS i računar za skladištenje podataka (Slika 1.10). Integracija navedenih komponenti u jedinstvenu celinu daje integrisani sistem premera, koji omogućuje rapidno prikupljanje velikog broja preciznih podataka u relativno kratkom vremenskom periodu.

*Laser* je uređaj ili instrument koji se koristi za merenje rastojanja do objekata kao što su zemlja, drvo, zgrada itd. Laser je osnova svih skenera i profajlera koji se danas koriste za potrebe merenja. Postoje dve metodologije merenja kod topografskih aplikacija: TOF (Time Puls Method) i MFPC (Multiple-Frequency Phase Comparison) metoda.

Laseri se mogu kategorizovati po svojoj talasnoj dužini. Laseri sa talasnom dužinom od 600 nm – 1.000 nm ne koriste se u naučne svrhe i lako mogu biti apsorbovani od strane ljudskog oka. Njihova maksimalna snaga mora biti ograničena kako bi bili bezbedni za korišćenje. Laseri sa talasnom dužinom od 1.550 nm nisu opasni po ljudsko oko i bezbedni su pri znatno većim snagama. Oni se koriste za merenja sa manjom preciznošću na većim daljinama.



SLIKA 1.10: Komponente LiDAR sistema

Glavne komponente lasera su optika, fotodetektor i elektronika. Fotodetektor i elektronika su uređaji koji očitavaju i snimaju signal koji se vratio u sistem.

Sve operacije laserskog preciznog merenja dužina i operacije skeniranja bazirane su na istom tipu laserski orijentisanog instrumenta, koji meri dužinu sa visokom preciznošću. Merenje dužine uvek je bazirano na preciznom merenju vremena i može biti izvedeno na dva načina.

Prvi način merenja dužine vezan je za precizno merenje TOF (Slika 1.11), veoma kratkog, ali veoma intenzivnog pulsa lasera. Meri se vreme emitovanog pulsa od emitera do objekta koji je predmet snimanja i vreme potrebno za njegov povratak posle refleksije do emitera (koristi se termin i *puls-echo*). Na taj način, instrument precizno meri vremenski interval koji je protekao od vremena emitovanja pulsa do njegovog povratka posle refleksije:

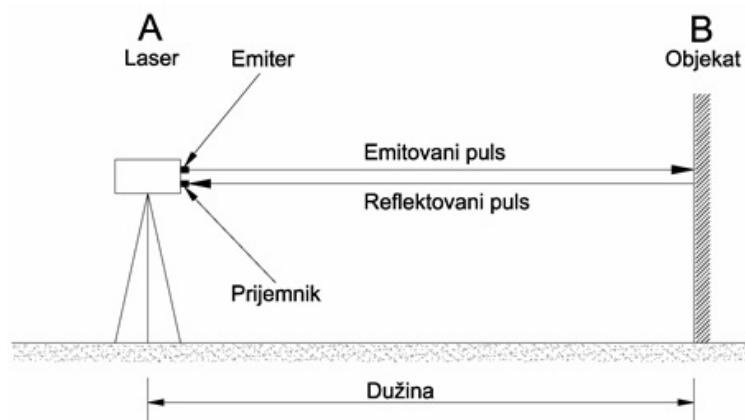
$$R = V \frac{t}{2} \quad (1.13)$$

gde je:

R – rastojanje,

V – brzina prostiranja elektromagnetske radijacije (poznata vrednost),

t – vremenski interval.



SLIKA 1.11: Laser koji koristi TOF metod

Iz ove relacije možemo dobiti:

$$\Delta R = \frac{\Delta \vartheta \cdot t}{2} + \frac{\vartheta \cdot \Delta t}{2} \quad (1.14)$$

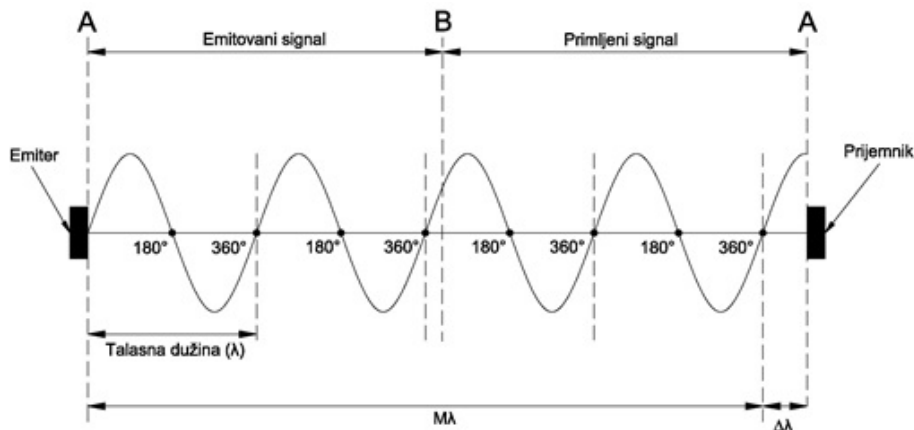
gde je:

$\Delta R$  – preciznost merenja udaljenosti,

$\Delta V$  – preciznost merenja brzine,

$\Delta t$  – vremenski interval.

Kod drugog načina laser emituje kontinuirani zrak laserskog zračenja umesto pulsa, kako je to bio slučaj u prethodnom primeru. Kod ovog načina, vrednost dužine izvodi se upoređivanjem emitovane i primljene verzije sinusnog talasa emitovanog zraka i merenjem fazne razlike između njih. Kako je talasna dužina  $\lambda$  nosača signala emitovanog zraka prilično kratka (oko  $1 \mu\text{m}$ ), modulatorni signal u obliku merenja talasne dužine, nametnut nosaču signala i njegova fazna razlika mogu biti izmereni preciznije. Na taj način će amplituda laserskog zraka biti modulirana od strane sinusnog signala koji ima period  $T_m$  i talasnu dužinu  $\lambda_m$  (Slika 1.12). Merenje rastojanja  $R$  sprovodi se preciznim merenjem fazne razlike između emitovanog signala i primljenog signala posle refleksije. Merenje fazne razlike obično se izvodi korišćenjem digitalne tehnike za brojanje pulseva.



SLIKA 1.12: Upoređenje faznih razlika

Ceo broj talasnih dužina ( $M$ ) može biti određen i pomoću njega možemo doći do vrednosti rastojanja  $R$ .

$$R = \frac{M\lambda + \Delta\lambda}{2} \quad (1.15)$$

gde je:

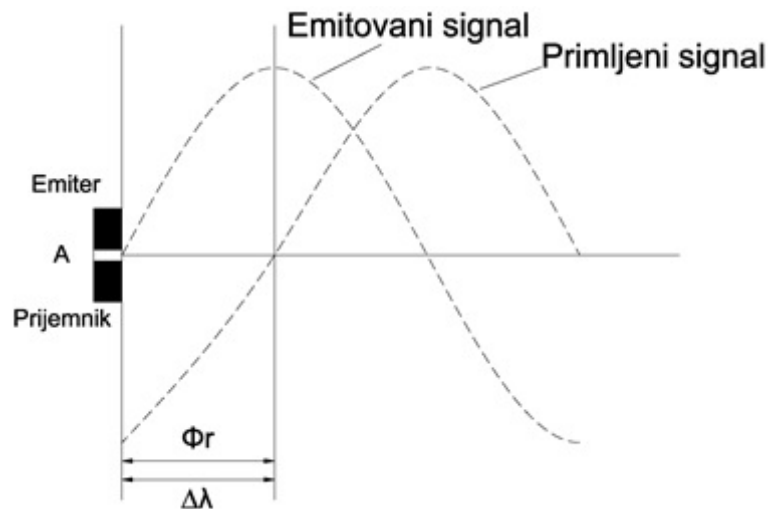
$M$  – ceo broj talasnih dužina,

$\lambda$  – talasna dužina,

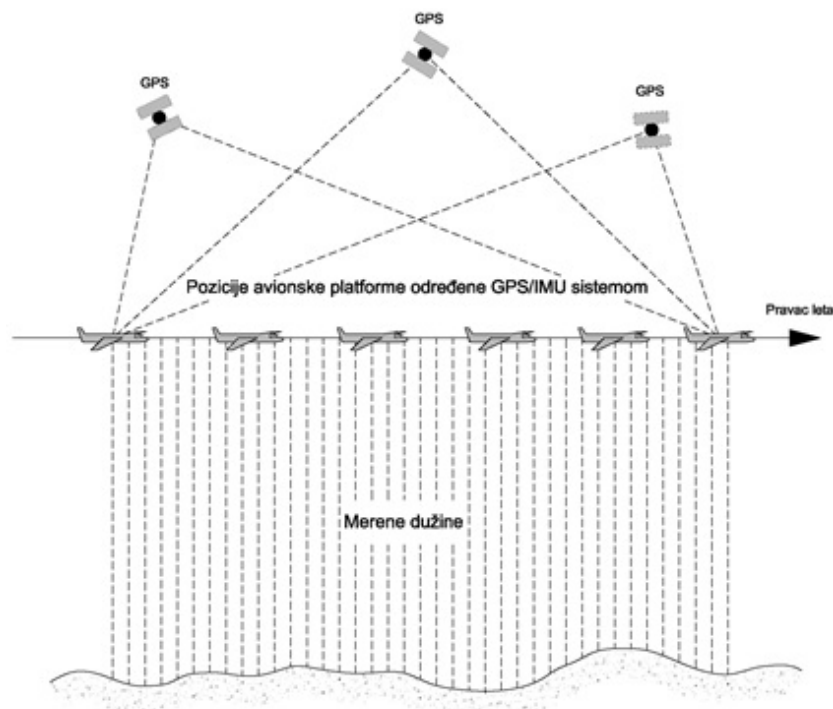
$\Delta\lambda$  – frakcionalni deo talasne dužine  $\frac{\varphi}{2\pi} \cdot \lambda$ , pri čemu je  $\varphi$  fazni ugao.

Kada laserski uređaj kao dodatak ima mehanizam za skeniranje, rotaciono ogledalo ili prizmu, možemo govoriti o skeneru. Takav uređaj može da meri topografske elemente na određenoj površini, za razliku od jednostavnog laserskog uređaja koji određuje vrednost duž jedne linije terena (Laser Profiler). Postoji





SLIKA 1.13: Fazna razlika dva signala



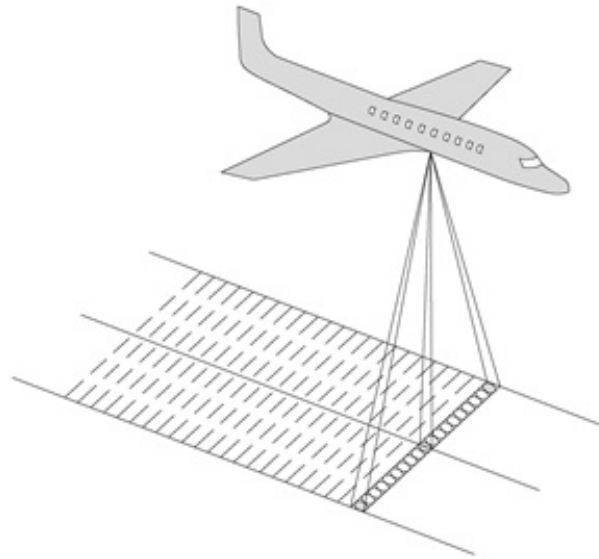
SLIKA 1.14: Avionski LiDAR sistem

možućnost da pozicija za skeniranje bude fiksna, ili da platforma bude pokretna (Slika 1.14).

Kada je pozicija za skeniranje fiksna, za skeniranje nekog područja potrebno je pomeranje u dva pravca. Na ovaj način dobijamo 3D pozicije na osnovu kojih možemo doći do 3D modela skeniranog područja.

Kada je pozicija za skeniranje pokretna, montirana na letelicu ili neki drugi pokretni uređaj, oblast skeniranja popunjava se nizom snimljenih profila koji su upravni na pravac kretanja (Slika 1.15). Kao rezultat dobijamo 3D pozicije mreže

tačkaka koje pokrivaju oblast skeniranja. Popularan naziv za to je „oblak tačkaka” (Point Cloud).

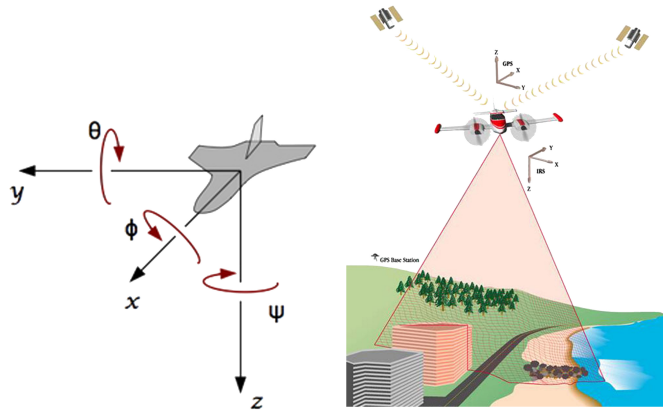


SLIKA 1.15: Trasa snimljena po profilima

U slučaju jednostavnog laserskog uređaja montiranog na avionsku ili neku drugu pokretnu platformu, laserski uređaj je postavljen vertikalno prema zemlji. Merenja se vrše u rapidnim serijama merenja dužine do zemlje sa pokretne platforme. Neophodno je odrediti apsolutnu poziciju i orijentaciju senzora, a IMU (Inertial Measurement Unit) beleži preciznu orijentaciju senzora, dok navigacioni sistem služi za određivanje pozicije sistema u prostoru.

*INS* (inercijalni navigacioni sistem), namenjen je za merenje parametara navigacije objekta u prostoru, sa korišćenjem računara i senzora. Veoma je značajan za automatske mašine, robote, letelice i druge vrste vozila. Sistem je sastavljen od tri žiroskopa, tri akcelerometra i kompjutera. Koristi se u svrhe navigacije još od polovine XX veka za potrebe određivanja pozicije, orijentacije i brzine kretanja. Radi bez spoljnih komponenti kao što su sateliti, bazne stanice i slično [15]. Promene „vektora stanja” objekta u prostoru, detektuju se akcelerometrima i žiroskopima. Akcelerometri se koriste za merenje translatornog kretanja, a žiroskopi za merenje rotacije. *INS* kontinualno preuzima pristigle signale iz senzora, na osnovu njih računa parametre navigacije i upoređuje dobijene rezultate. Dobijeni rezultati upoređuju se u odnosu na početno stanje mirovanja objekta, ili na neko novo referentno stanje. Na taj način, kontinualno se određuju orijentacija i brzina kretanja objekta u realnom vremenu. Parametre kretanja slobodnog tela u prostoru sistem određuje bez potrebe za stalnim referentnim poređenjem u odnosu na spoljno okruženje.

Sistem funkcioniše tako što meri kinematske parametre za šest stepeni slobode, tri translacije (duž tri ose) i tri rotacije (oko njih) (Slika 1.16). Koristi se za navigaciju na pokretnim objektima, kao što su brodovi, avioni, podmornice, vođene rakete i svemirske letelice. *INS* poseduje računar, platformu i modul sa sensorima: akcelerometrima, žiroskopima ili drugim uređajima za detekciju kretanja. *INS* odredi svoju početnu poziciju i brzinu, iz nekog drugog izvora (izmeri je čovek-operator,



SLIKA 1.16: Koordinatni sistem letelice (levo), LiDAR sistem (desno)

GNSS sa satelitskim prijemnikom, itd.), a zatim izračunava svoju poziciju i ažurira brzinu integriranjem informacija dobijenih od senzora o kretanju. Sadrži paket senzora, koji u kombinaciji daju informacije za izračunavanje inercijalnih sila u tri linearne dimenzije, duž tri ose i tri ugla rotacije oko tih osa.

Pored kombinacije akcelerometara u linearnim pravcima i žiroskopa za signale ugaonog kretanja oko osa, sistem poseduje i procesorsku ploču, memoriju i senzor temperature. Obezbeđen je digitalni interfejs, za konverziju jedinica i primenu modula senzora kalibracije.

Glavni nedostatak kod navigacije korišćenjem INS-a jeste taj što mu se greška vremenom akumulira, što se u praksi prevazilazi kombinacijom drugih navigacionih sistema. Na primer, u kombinaciji sa sistemom GNSS, dobijaju se apsolutni podaci položaja svake sekunde, dok sam INS interpoluje srednje vrednosti.

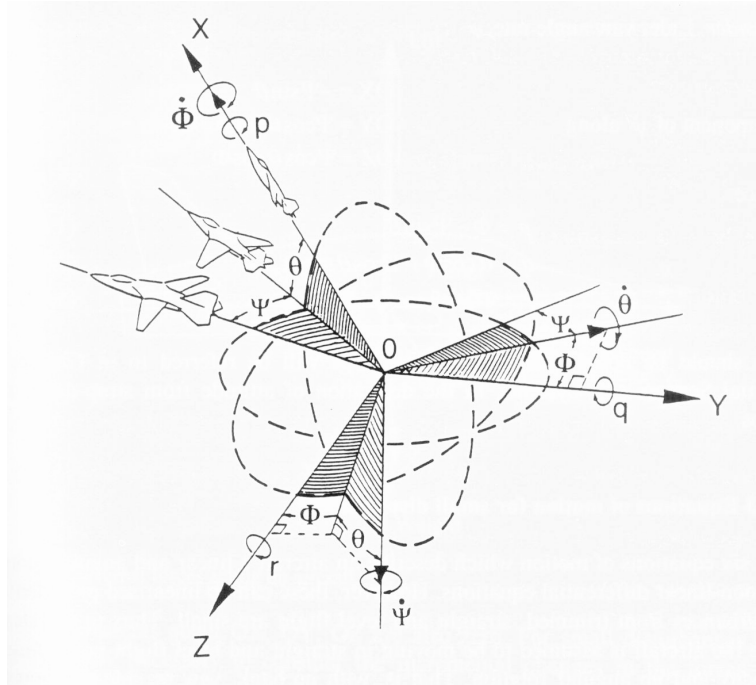
U zavisnosti od preciznosti samih senzora, greška iznosi oko 5 metara na 100 sekundi. INS daje rezultate u odnosu na početni položaj koji je ili poznat ili se dobija GNSS-om u postupku inicijalizacije. Greška INS-a se onda može smanjiti ili češćim inicijalizovanjem ili predikcijom Kalmanovim filterom kojim se greške merenja svode na minimum. Integriranjem GNSS-a i INS-a, omogućuje se kontinualno određivanje pozicije sa tačnošću od 2 cm i u slučajevima kada GNSS nema odgovarajuću tačnost (u tunelu, ispod vegetacije). Takvim integriranim sistemom INS se može koristiti ne samo u svrhu navigacije već i u svrhu premera [15].

Pored navedenih nedostataka INS ima i prednosti, primer su kod pretovara brodova u lukama i kod podmornica u nekim slučajevima. Brodovi povremeno prolaze u lukama pored prepreka, kao što su metalne dizalice, i tada je GNSS signal nejasan. U tim situacijama INS je pouzdaniji. Na podmornicama je korišćen i dodatni GNSS sonar. Pri potapanju njegove antene u vodu gubi se signal.

Akcelerometri služe prvenstveno za merenja linearnih pomeranja, dok žiroskopi služe za merenja uglovnih pomeranja. Sistem radi bez spoljnih komponenti kao što su sateliti, bazne stanice i slično [15]. Svrha integracije LiDAR i INS sistema je mogućnost INS sistema da beleži pomeranja letelice ili nekog drugog vozila između dva GNSS merenja (Slika 1.16). Glavni nedostatak ovog sistema, kada se koristi u navigaciji je taj što mu se greška vremenom akumulira [15].

Jednačine pokreta:

Orijentacija vozila ili letelice u odnosu na fiksni inercijalni okvir definisana je sa tri Eulerova ugla. Letelica je zamišljena tako da bude paralelna sa fiksnim referentnim okvirom. Serijama rotacija oko osa OX, OY i OZ objekat se dovodi u orjentaciju (Slika 1.17), [19].



SLIKA 1.17: Eulerovi uglovi

Odnos između uglovnih rotacija prikazan je kao:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (1.16)$$

Integracijom navedenih jednačina mogu se izvesti Eulerovi uglovi koristeći poznatu visinu u datom vremenu. Kada je ugao  $\theta$  oko  $90^\circ$ , greška postaje neograničena pošto  $\tan\theta \sim \infty$ . Za rešavanje tog problema koriste se Eulerovi parametri [65]:

$$\dot{e}_0 = -\frac{1}{2}(e_1 p + e_2 q + e_3 r) \quad (1.17)$$

$$\dot{e}_1 = -\frac{1}{2}(e_0 p + e_2 r + e_3 q) \quad (1.18)$$

$$\dot{e}_2 = -\frac{1}{2}(e_0 q + e_3 p + e_1 r) \quad (1.19)$$

$$\dot{e}_3 = -\frac{1}{2}(e_0 r + e_1 q + e_2 p) \quad (1.20)$$

pri čemu parametri zadovoljavaju sledeću jednačinu u svakom trenutku vremena:

$$e_0^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 = 1 \quad (1.21)$$

Početne vrednosti Eulerovih uglova su date i koriste se za izračunavanje početnih vrednosti Eulerovih parametara koristeći sledeće jednačine:

$$e_0 = \cos \frac{\psi}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{\phi}{2} + \sin \frac{\psi}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{\phi}{2} \quad (1.22)$$

$$e_1 = \cos \frac{\psi}{2} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\phi}{2} - \sin \frac{\psi}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\phi}{2} \quad (1.23)$$

$$e_2 = \cos \frac{\psi}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\phi}{2} + \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\phi}{2} \quad (1.24)$$

$$e_3 = -\cos \frac{\psi}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{\phi}{2} + \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{\phi}{2} \quad (1.25)$$

Kada su izračunati Eulerovi parametri, mogu se izračunati Eulerovi uglovi koristeći sledeće jednačine:

$$\theta = \sin^{-1} [-2(e_1 e_3 - e_0 e_2)] \quad (1.26)$$

$$\phi = \cos^{-1} \left[ \frac{e_0^2 - e_1^2 - e_2^2 + e_3^2}{\sqrt{1 - 4(e_1 e_3 - e_0 e_2)^2}} \right] \text{sign} [2(e_2 e_3 + e_0 e_1)] \quad (1.27)$$

$$\psi = \cos^{-1} \left[ \frac{e_0^2 + e_1^2 - e_2^2 - e_3^2}{\sqrt{1 - 4(e_1 e_3 - e_0 e_2)^2}} \right] \text{sign} [2(e_1 e_2 + e_0 e_3)] \quad (1.28)$$

Za izračunavanje pozicije koristimo ubrzanja dobijena pomoću akcelera metra  $a_x, a_y$  i  $a_z$ .

$$\dot{U} = a_x + V_r - W_q + g \sin \theta \quad (1.29)$$

$$\dot{V} = a_y - U_r + W_p - g \cos \theta \sin \phi \quad (1.30)$$

$$\dot{W} = a_z + U_q - V_p - g \cos \theta \cos \phi \quad (1.31)$$

Rotacija planete Zemlje određena je uglom  $\Omega$  i iznosi  $15^\circ$  po jednom satu oko ose jug – sever.

$$\Omega = \begin{bmatrix} \Omega \cos \lambda \\ 0 \\ -\Omega \sin \lambda \end{bmatrix} \quad (1.32)$$

Kretanje vozila na konstantnoj visini iznad zemlje imaće dodatnu rotaciju koja se može izraziti kao:

$$\omega' = \begin{bmatrix} \mu \dot{\cos} \lambda \\ -\dot{\lambda} \\ -\dot{\mu} \sin \lambda \end{bmatrix} \quad (1.33)$$

Možemo pisati da je:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}_m - DCM [\Omega + \omega'] \quad (1.34)$$

gde je DCM transformaciona matrica koja je data sledećim jednačinama:

$$DCM = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta \\ \sin \theta \sin \phi \cos \psi - \sin \psi \cos \phi & \sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \phi & \sin \phi \cos \theta \\ \sin \theta \cos \phi \cos \psi + \sin \psi \sin \phi & \sin \phi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \theta & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1.35)$$

Veličine  $\dot{U}$ ,  $\dot{V}$  i  $\dot{W}$  uvedene su radi određivanja komponenti brzina (U, V i W). Brzine duž severa  $V_N$ , istoka  $V_E$  i  $V_D$  brzine nadole:

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_N \\ V_E \\ V_D \end{bmatrix} = DCM^T \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} \quad (1.36)$$

$V_N, V_E$  i  $V_D$  su integrisane u cilju određivanja dužina pomeranja duž navigacionih osa (X, Y, Z) na površini zemlje. Ukoliko uvedemo oznake  $\lambda, \mu$  i  $H$  za latitudu, longitudu i visinu letelice, onda je stepen promene latitude, longitude i visine dat kao:

$$\dot{\lambda} = \frac{V_N}{R_e} \quad (1.37)$$

$$\dot{\mu} = \frac{V_E}{R_e \cos \lambda} \quad (1.38)$$

$$\dot{H} = -V_D \quad (1.39)$$

gde je  $R_e$  prečnik zemlje.

GNSS globalni pozicioni sistem je danas dobro poznata tehnologija pozicioniranja koja je našla svoju primenu u skoro svim sferama života današnjice. Ova tehnologija postala je sastavni deo mnogih uređaja, od mobilnih telefona do automobila. LiDAR sistemi koriste GNSS tehnologiju radi preciznog određivanja pozicije senzora u trodimenzionalnom prostoru dok je montiran na platformu koja je u pokretu. GNSS beleži tačnu X, Y, Z lokaciju skenera. Da bi se poboljšala preciznost, većina LiDAR sistema koristi fiksnu referentnu tačku na zemlji. Podaci iz zemaljske stanice kojoj je poznata lokacija, koriste se za korekciju i poboljšanje tačnosti. Obradeni GNSS podaci daju tačnu poziciju senzora svake sekunde tokom leta sa minimalnom greškom od (3 cm – 4 cm).

### 1.6.1.4.2 Funkcionisanje LiDAR sistema

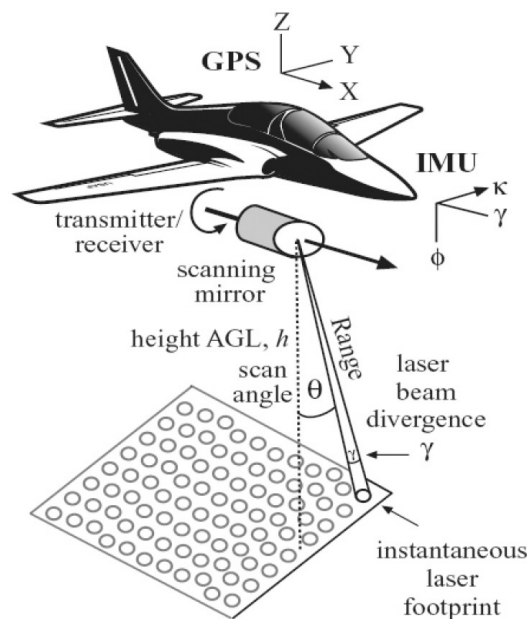
Funkcionisanje LiDAR sistema je veoma jednostavno. Skener emituje impulse sa visokom frekvencijom i reflektuje se od površi nazad do instrumenta. Ogledalo unutar laserskog transmitera pomera se rotirajući se upravno na pravac letenja čime se omogućuje merenje u širem pojasu. Vreme proteklo od emisije do povratka svakog impulsa i ugao odklona od vertikalne ose instrumenta koriste se za određivanje relativne pozicije svake merene tačke.

Laserski impulsi putuju brzinom svetlosti ( $c \approx 3 \times 10^8 m/s$ ). Tehnologija je bazirana na preciznom merenju vremena koje je potrebno da laserski impuls pređe put od predajnika do mete i natrag do prijemnika. To vreme računa se kao:

$$T = 2 \frac{R}{C} \quad (1.40)$$

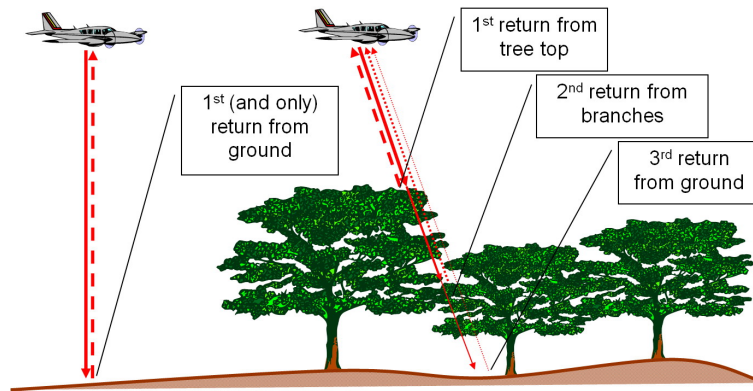
gde  $R$  predstavlja rastojanje od objekta do senzora uređaja i računa se kao:

$$R = \frac{1}{2}tc \quad (1.41)$$

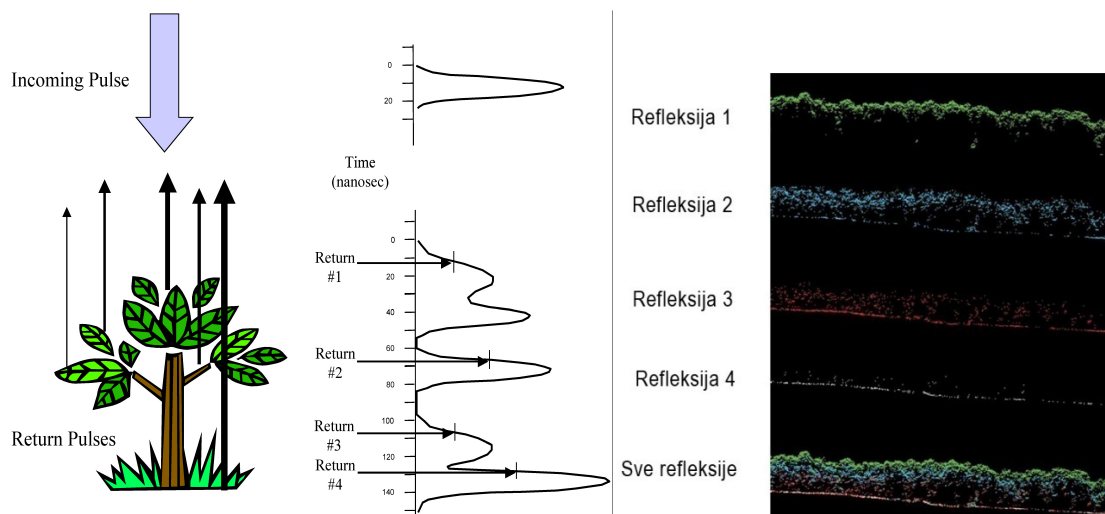


SLIKA 1.18: LiDAR prikupljanje podataka

Apsolutna pozicija senzora određuje se GNSS-om kada god je to moguće, a pozicije između određuju se predikcijom uz pomoć inercijalnog sistema koji takođe obezbeđuje i orijentaciju. LiDAR metodologija prevazilazi probleme aerotriangulacije i ortorektifikacije jer je svako merenje zasebno georeferencirano. Konačan proizvod primenom te metodologije snimanja su koordinate detaljnih tačaka, a faktori od kojih zavisi proces obrade su: koordinate lasera u trenutku emitovanja impulsa, visina lasera u trenutku emitovanja impulsa i rotacije oko sve tri ose, ugao skeniranja u trenutku emitovanja impulsa i vreme proteklo u putovanju laserskih impulsa od instrumenta do mete i nazad.

SLIKA 1.19: Višestruka refleksija *Multibeam* LiDAR sistema

Emitovani laserski zrak može imati višestruku refleksiju signala (*multibeam* LiDAR), što uzrokuje da određena tačka ima iste koordinate, ali različitu visinu (Slika 1.19). Prva refleksija može poticati od vegetacije ili ivice objekta, vode ili sličnog, dok poslednja najverovatnije potiče od površi Zemlje ili veštačkog objekta. Moderni LiDAR sistemi mogu imati više refleksija ili povratnih signala, što ne znači da ćemo na otvorenom terenu imati više povratnih signala. U područjima pod šumama, prva refleksija će poticati od viših krošnji, druga od nižih krošnji, a poslednja od terena.

SLIKA 1.20: Struktura signala *multibeam* LiDAR sistema

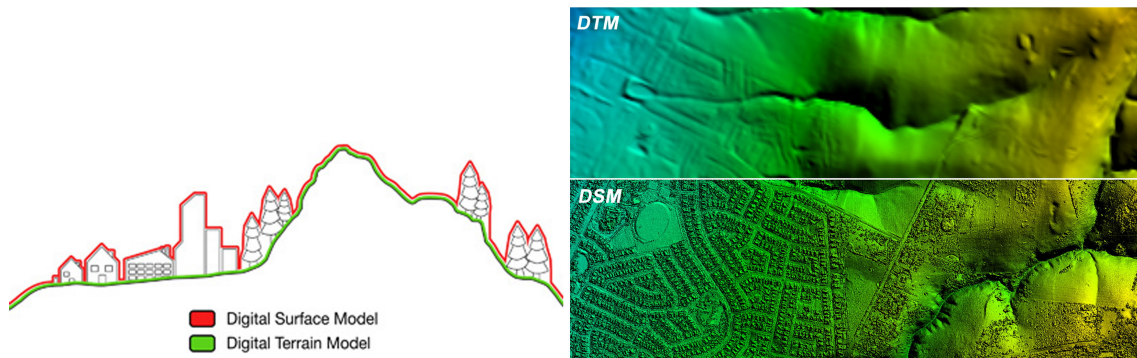
Na slici 1.20 vidi se struktura povratnih signala kod višestruke refleksije. U većini slučajeva tretiraju se tačke dobijene poslednjim odbitkom, tj. tačke koje se odnose na teren. Ostale tačke generisane LiDAR sistemom takođe pružaju dosta korisne informacije pa tako na osnovu višestruke refleksije signala možemo odrediti visinu vegetacije. Osim visine vegetacije može se odrediti vrsta drveća na osnovu snimljenih tačaka koje formiraju krošnje, upotrebom posebnih softverskih rešenja.

Skoro svi moderni LiDAR sistemi pored GNSS-a, IMU jedinice i laserskog skenera imaju integrisane i RGB/NIR kamere visoke rezolucije koje omogućavaju



izradu kvalitetnih ortofoto planova. Kombinovanje laserski skeniranih podataka sa videom i fotografijama omogućava izradu veoma preciznih 3D modela.

Prednost višepulsnih uređaja pored navedenog, može se prikazati i kroz jednostavnije procedure generisanja DSM-a i DTM-a. Digitalni model terena DTM je 3D digitalna predstava terena i ne uključuje veštački izgrađene objekte niti drveće već samo topografsku predstavu terena. Digitalni model površi DSM reprezentuje 3D digitalnu predstavu zemljine površi i uključuje topografsku predstavu terena i sve prirodne i veštačke objekte na površi zemlje (Slika 1.21).



SLIKA 1.21: DSM i DTM

Mala veličina i težina uređaja daju mogućnost za postavljanje na manja vozila, letelice ili plovila što omogućava pristup područjima ograničenog ili otežanog pristupa (duž strmih uskih staza, parkovima, malim rekama (pritokama), uskim vodenim prolazima, itd.). Danas je prikupljanje podataka moguće prilagoditi specifičnim zahtevima korisnika i razvijati posebne vrste senzora za specifične potrebe.

Razvoj savremenih tehnologija za prikupljanje podataka, modernih sistema i uređaja, uslovio je i razvoj računarskih i softverskih rešenja kao potrebu za obradom i interpretacijom. Unapređenjem ovih sistema povećavala se i gustina prikupljenih podataka. Početkom 2000-te godine, softverska rešenja nisu bila u mogućnosti da efikasno procesiraju ovako veliku količinu podataka. Ova godina je obeležena kao godina u kojoj je počeo rapidan razvoj softverskih rešenja za procesiranje, informacionih tehnologija koje su neophodne za manipulisanje sa terabajtima podataka i razvoj znatno bržih procesora i ostalih računarskih komponenti. Došlo je do ubrzanog razvoja CAD i GIS rešenja za interpretaciju i manipulisanje milionima podataka. Razvijeni su specijalizovani softveri za obradu i kontrolu kvaliteta LiDAR podataka. Zbog sve veće primene savremenih sistema premera, postojeća softverska rešenja, koja se ranije nisu bavila ovom problematikom, postaju kompatibilna sa novim tehnologijama. Razvijaju se dodatni alati za učitavanje podataka, vizuelizaciju i druge operacije nad oblakom tačaka. Na tržištu je danas dostupan veliki broj softvera za obradu podataka, pa tako i svaki proizvođač sistema za prikupljanje podataka ima i prateće softversko rešenje za obradu. Sa porastom potražnje za LiDAR podacima rasla je potražnja i za uputstvima za rad, tehničkim specifikacijama i standardima preciznosti. Razvijen je LAS format za razmenu podataka koji je široko prihvaćen od strane mnogih proizvođača senzora. Uskoro je postao standardan format softverskih rešenja za obradu i interpretaciju podataka.

### 1.6.1.4.3 MTLS (Mobilno terestričko lasersko skeniranje)

S obzirom na sve prednosti LiDAR sistema, ova savremena tehnologija za prikupljanje podataka je brzo postala veoma atraktivno rešenje za mapiranje terena. Sa razvojem savremenih metodologija za prikupljanje podataka, razvojem novih i savremenijih mernih uređaja dolazi i do ubrzanog razvoja platformi kao nosača za ove uređaje (Slika 1.22). Imaju mogućnost prikupljanja podataka sa zemlje i iz vazduha, pa se tako mogu podeliti na uređaje koji su montirani na letelice (avione i helikoptere) i uređaje koji su montirani na vozila.

#### LiDAR (Light Detection and Ranging)

- platforme za avione
- platforme za helikoptere
- platforme za vozila (Street Mapper)



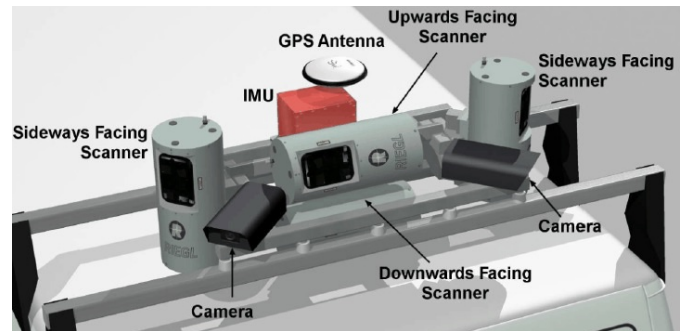
SLIKA 1.22: LiDAR sistemi

MTLS predstavlja relativno novu metodu prikupljanja podataka. Sistem koji je sastavljen iz više komponenti, kao platformu može koristiti automobili ili šinska vozila. Posebno za mapiranje sa vode mogu se koristiti manja ili veća plovila. Svoju primenu nalazi u mapiranju puteva, obalnih linija, urbanih zona itd. Sistem za snimanje iz vazduha ima svoje nedostatke (na primer nije moguće snimiti fasade objekata). Te nedostatke je moguće prevazići upotrebom sistema za MTLS, čime se povećava tačnost i dobijamo veću gustinu tačaka u odnosu na sistem za snimanje iz vazduha.

Razvoj ove metode snimanja počinje oko 2000. godine. Prvi pokušaji razvoja ove metodologije snimanja desili su se 2003–2004. godine. To su uglavnom bile test platforme. Prvi sistem razvijen je u *Institut Cartografic de Catalunya* u Španiji i nosio je naziv „Geomobil”. Početna platforma nije imala laserski skener, nego samo kamere za stereoskopska opažanja, ali 2003. godine sistem je unapređen sa Riegl LMS Z-210 laserskim skenerom.

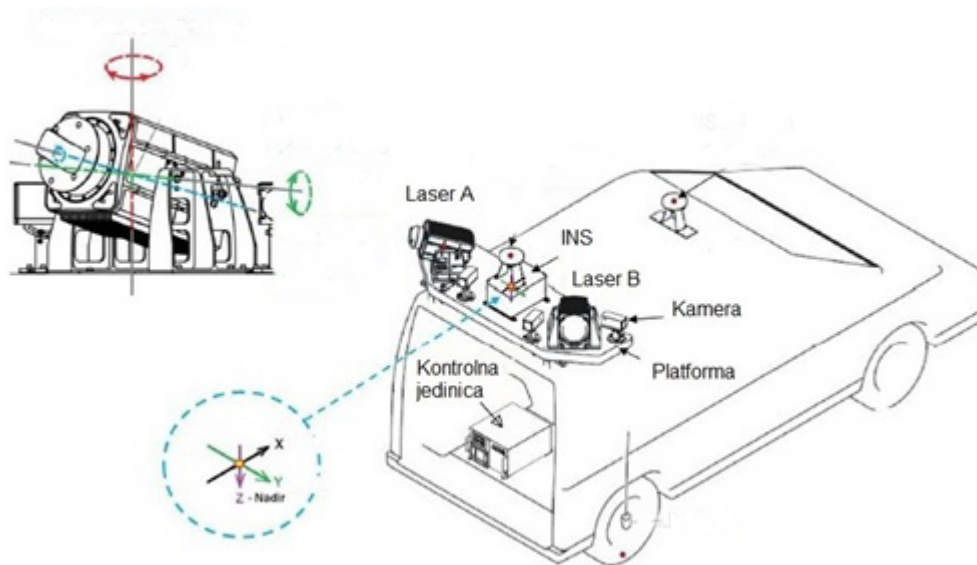
Prvi mobilni terestrički laserski skeneri u fazi razvoja, imali su velike dimenzije (Slika 1.23). Razvojem novih tehnologija današnji sistemi imaju relativno male dimenzije u odnosu na prvobitno razvijene sisteme. Svi elementi nalaze se u jednom kućištu, čime je znatno povećana praktičnost njihovog korišćenja.

MTLS čini nekoliko komponenti ili podsistema. To su laserski skener, GNSS prijemnik, INS, digitalne kamere i odgovarajući softver koji služi za integraciju i vremensku sinhronizaciju svih sistema u jednu celinu. Sistem koristi laserski skener



SLIKA 1.23: StreetMapper

sa pulsним načinom merenja. Različiti sistemi imaju različite konstrukcije – kod nekih postoji rotirajuće ogledalo, tako da se snimaju vertikalni profili dok se laserski skener vrti oko vertikalne ose, a kod nekih se laserski skener vrti oko horizontalne ose.



SLIKA 1.24: Komponente MTLs

U okviru ovog istraživanja analizirani su podaci generisani mobilnim laserskim sistemom „MDL DynaScan S250” (Slika 1.25). Za mobilnu platformu korišćeno je terensko vozilo. Sistem je specijalno dizajniran za brzo 3D mapiranje auto-puteva, puteva, avionskih pista, železničkih pruga, infrastrukturnih objekata itd. Mogućnosti za snimanje podataka normalnom brzinom vožnje obezbeđuje snimanje urbanih sredina za relativno kratko vreme. Omogućava snimanje svakog detalja duž koridora snimanja, uključujući bankine, saobraćajne znakove, nadzemne vodove, fasade objekata i sve što ulazi u vidno polje skenera. Kombinovanje laserski skeniranih podataka sa videom i fotografijama omogućava izradu veoma preciznog 3D modela terena [63].

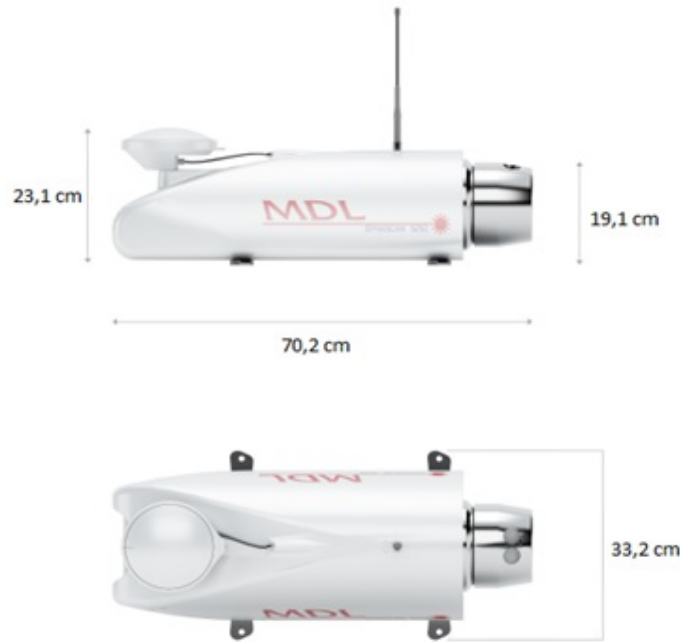
Kod ovog sistema laserska komponenta sistema rotira se oko horizontalne ose i na taj način registruje podatke u vertikalnim profilima.



SLIKA 1.25: „MDL DynaScan S250" sistem montiran na vozilo

„MDL DynaScan S250" je sistem sa jednoosnim laserskim skenerom malih dimenzija. Sledi kratka tehnička specifikacija sistema:

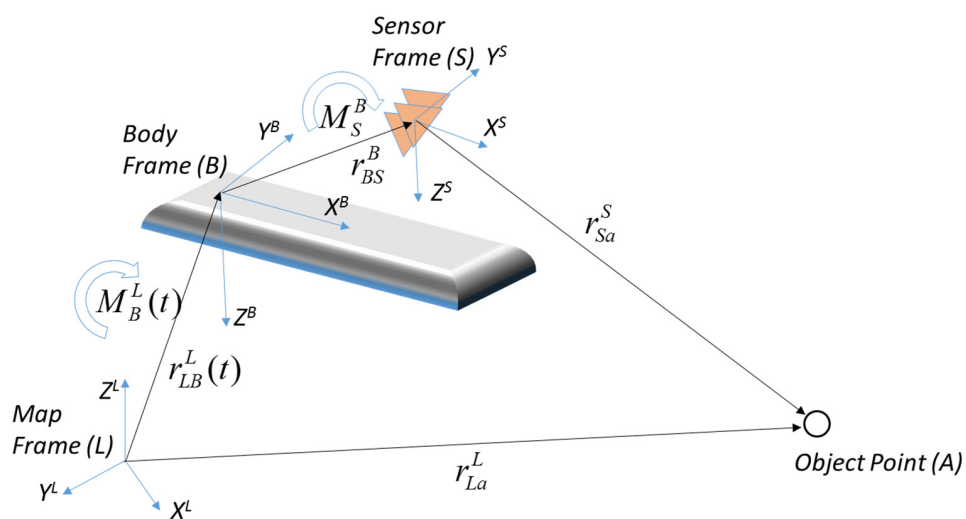
- Jednoosni skener
- Domet: do 250 m
- Tačnost laserskog uređaja:  $\pm 1$  cm na 50 m
- FOV skenera:  $360^\circ$
- Uglovna rezolucija skenera:  $0,01^\circ$
- Frekvencija skeniranja: do 20 Hz
- Frekvencija merenja: do 36.000 tačaka u sekundi
- Tačnost INS: yaw:  $0,1^\circ$ ; roll:  $0,03^\circ$ ; pitch:  $0,03^\circ$
- Težina uređaja: 14,8 kg
- Antene: GNSS antena (A) i 1 radio-antena (B) (za GNSS RTK korekcije)



SLIKA 1.26: Dimenzije MDL-a

#### 1.6.1.4.4 Matematički model određivanja 3D koordinata karakterističnih tačaka terena i objekata

Na slici 1.27 dat je šematski prikaz modela i veze komponenti jednog sistema za mobilno mapiranje. Matematički model određivanja 3D koordinata tačaka određen je parametrima pomoću kojih se može izvršiti transformacija opažanja u koordinatni sistem senzora ili u neki apsolutni koordinatni sistem.



SLIKA 1.27: Konceptualni model MTLs

Geometrijska veza između tačke objekta (A), okvira uređaja (S), okvira sistema (B) i okvira mape (L) može se definisati matematički pomoću translacije i rotacije. Koordinatni sistem uređaja transformiše se u koordinatni sistem mape pomoću informacija o poziciji i orijentaciji prikupljenih pomoću GNSS i INS jedinice. Matematički model definisan je sledećom jednačinom:

$$r_L^{La} = r_L^{Lb}(t) + M_L^B(t)(M_B^S r_S^{Sa} + r_B^{BS}) \quad (1.42)$$

U jednačini  $r_L^{La}$  predstavlja koordinate tačke A u referentnom okviru mape,  $t$  predstavlja trenutak u kojem je izvršeno opažanje,  $r_L^{Lb}(t)$  predstavlja poziciju okvira uređaja u odnosu na okvir mape,  $M_L^B(t)$  predstavlja matricu rotacije iz okvira uređaja u okvir mape,  $M_B^S$  predstavlja matricu rotacije iz okvira senzora u okvir uređaja,  $r_S^{Sa}$  predstavlja poziciju tačke A u okviru senzora i  $r_B^{BS}$  predstavlja poziciju senzora u okviru uređaja.

Ukoliko posmatramo tačku objekta A, koja je projektovana na sliku u okviru koordinatnog sistema kamere C, onda geometrijska veza mora uključiti i parametar skaliranja  $\lambda_a$ . Nakon toga, matematički model je prikazan sledećom jednačinom:

$$r_{La}^L = r_{LB}^L(t) + M_B^L(t)(\lambda_a M_C^B r_{Ca}^C + r_{BC}^B) \quad (1.43)$$

gde je  $M_C^B$  matrica rotacije iz okvira kamere u okvir uređaja,  $r_{Ca}^C$  pozicija tačke A u okviru kamere,  $r_{BC}^B$  pozicija kamere u okviru uređaja [36].

## 1.6.2 Procedure obrade podataka prikupljenih savremenim tehnologijama premera

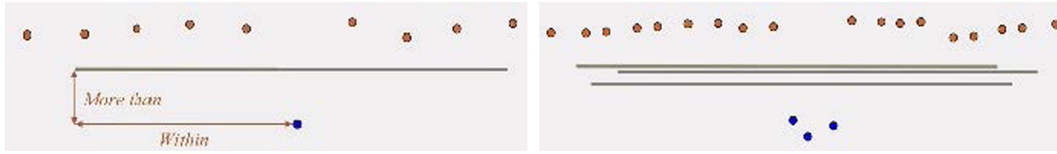
Jedna od prvih radnji na sirovom oblaku tačaka jeste klasifikacija. Ona predstavlja svrstavanje tačaka u različite klase (tačke terena, tačke objekata, tačke vegetacije itd.), a metode klasifikacije mogu biti automatske, poluautomatske i manuelne. Na tržištu postoje razni softveri koji se bave ovom vrstom problematike. U okviru ove doktorske disertacije podaci su obrađivani u softverskom paketu „TerraScan”, koji je implementiran na platformi „Microstation”. Takođe, korišćeni su algoritmi i analize u softverskom paketu „LasTools”. U daljem tekstu biće opisane neke od ključnih rutina klasifikacije. U realnim uslovima na konkretnim projektima parametri algoritama klasifikacije prilagođavaju se uslovima projekta i direktno zavise od gustine snimljenih tačaka i konfiguracije terena koji je bio predmet snimanja.

Postoji više klasifikacionih rutina, tj. skupova matematičkih uslova i računica, koji uzimaju u obzir attribute tačaka. Na primer, na osnovu X, Y i Z koordinata snimljenih tačaka, računaju se međusobna udaljenost, visinska razlika i ugao pod kojim se nalaze u odnosu na druge tačke. Ostali atributi su RGB vrednosti tačaka, intenzitet odbitka, broj ehoa i drugi. U nastavku su data objašnjenja osnovnih rutina na osnovu kojih se, kao i njihovom kombinacijom, mogu dobiti parametri za klasifikaciju bilo kog oblaka tačaka.

Prva i najosnovnija rutina jeste klasifikovanje po klasi *by class*. Ovaj algoritam svrstava sve tačke zadate klase u drugu zadata klasu. Najčešće se koristi kada se uoči greška učinjena prilikom klasifikacije tačaka, pa se sve tačke te klase preklasifikuju u klasu *default*, ili neku drugu klasu, radi ponovne klasifikacije pod drugim uslovima (prema drugim parametrima ili u drugoj zadatoj oblasti).



Rutina niskih tačaka (*Low points*) pronalazi tačke šuma. Taj algoritam se najčešće koristi za pronalaženje pogrešnih tačaka koje su pod zemljom. Ove tačke se izdvajaju u klasu niskih tačaka i ne ulaze u dalje procedure već se tretiraju kao pogrešno određene tačke. Na slici 1.28 je prikazan osnovni princip rutine *Low points*, gde plave tačke predstavljaju tačke ispod površine.

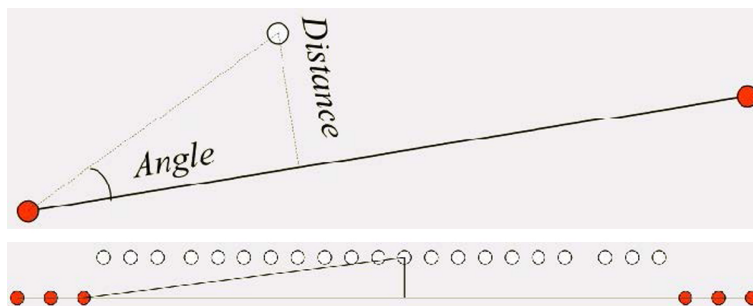


SLIKA 1.28: Rutina niskih tačaka. Klasifikacija jedne tačke (levo). Klasifikacija grupe tačaka (desno).

Rutina izolovanih tačaka (*Isolated points*) traži izolovane tačke (one koje nemaju određen zadati broj susednih tačaka u okviru trodimenzionalnog okruženja određenog zadatog poluprečnika) i klasifikuje ih kao niske tačke, s obzirom da najverovatnije predstavljaju grešku. Ova funkcija je korisna za pronalaženje izolovanih tačaka kako u vazduhu, tako i pod zemljom, ili van zadate zone od interesa u horizontalnoj ravni. Koristi se za uklanjanje verovatno nepouzdanih tačaka.

Rutina koja klasifikuje tačke u vazduhu (*Air points*) koristi se za klasifikovanje tačaka koje su značajno udaljene po vertikali ( $Z$ ) od tačaka u dvodimenzionalnom susedstvu ( $X, Y$ ). To su najčešće ptice, čestice u vazduhu i drugi izvori šuma, koji opterećuju oblak tačaka greškom.

Rutina tačaka terena (*Ground points*) može se istaći kao najvažnija u postupku klasifikacije oblaka tačaka. Ona klasifikuje tačke u klasu terena (*ground*). Funkcionisanje algoritma može se opisati u nekoliko koraka. Procedura kreće od zadatog parametra „najveća veličina građevine u oblaku tačaka” (*Max building size*) i pretpostavlja da se u horizontalnoj ravni, nalazi barem jedna tačka terena. Algoritam gradi početni model terena od najnižih tačaka, a svakom sledećom iteracijom dodaje nove tačke tom modelu, tj. klasi tačaka terena (*ground*). Nove tačke se dodaju na osnovu dva parametra: ugao iteracije (*Iteration angle*) i razdaljina iteracije (*Iteration distance*) 1.29.

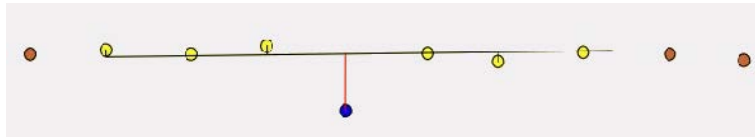


SLIKA 1.29: Rutina *ground*-klasifikacija tačaka terena

Rutina za tvrde površi (*Hard surface*) koristi se prilikom klasifikacije tačaka terena u urbanim sredinama, pod pretpostavkom da je teren pretežno čvrsta površina

(asfaltni putevi i sl.). U šumskim i drugim oblastima u kojima je teren pretežno prirodan materijal (zemlja), koristi se rutina *ground*. Za razliku od ove rutine, *hard surface* rutina nije osetljiva na određene greške šuma u oblaku tačaka, i stoga nije neophodno pozivati funkcije za otklanjanje šuma pre klasifikacije. Ta funkcija teži da klasifikuje tačke koje oblikuju lokalnu ravan. Glavni parametar klasifikacije je (*Rlane tolerance*), koji određuje koliko tačka može da odstupa od ravni tla.

Rutina ispod površi (*Below surface*) klasifikuje tačke ispod horizontalno susednih tačaka klasifikovanih kao tačke terena u klasu *Low points*. Algoritam, obzirom da se te tačke nalaze ispod zemlje, zaključuje da te tačke verovatno predstavljaju grešku. Na slici 1.30 je prikazan osnovni princip ove rutine a plava tačka predstavlja tačku koja se nalazi ispod površine.



SLIKA 1.30: Rutina *below surface*- klasifikacija tačaka terena

Rutina na osnovu visine od zemlje (*By height from ground*) klasifikuje tačke na osnovu vertikalne udaljenosti od terena, odnosno od tačaka svrstanih u (*Ground*) klasu.

Rutina objekti (*Buildings*) prepoznaje krovove na osnovu krovne ravni u okviru zadatih parametara, koji definišu grubost krovne ravni i odstupanja u ravni. Tačke koje predstavljaju krov svrstavaju se u klasu *Buildings*. Za izvršenje ove funkcije neophodno je prethodno obaviti klasifikaciju tačaka terena.

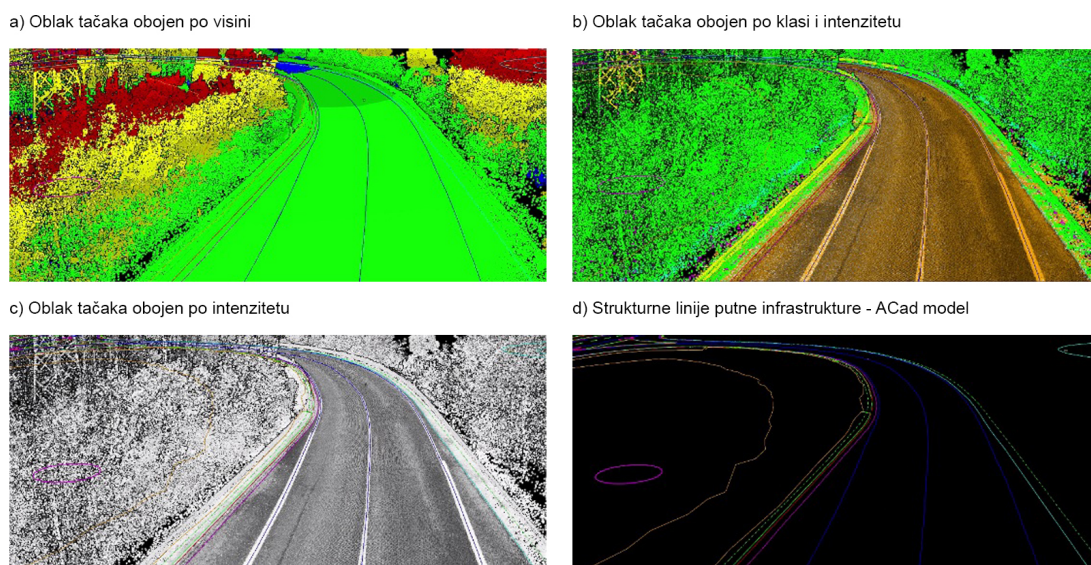
Inicijalna obrada podataka započinje postupkom klasifikacije, primenom nekih od napred navedenih rutina. Najčešće se više rutina grupiše u jednu komandu, kojom se izvršava grupna radnja na celom oblaku tačaka. Nakon završenog postupka automatske klasifikacije, vrši se vizuelna inspekcija i manuelno ispravljanje mogućih grešaka, posle čega je oblak tačaka spreman za dalju obradu. Na slici 1.31 dat je prikaz klasifikovanog oblaka tačaka obojenog prema visini, oblaka tačaka obojenog prema klasi i intenzitetu, oblaka tačaka obojenog prema intenzitetu i ACad model u kojem su prikazane ekstrahovane strukturne linije putne infrastrukture, čime se može steći utisak o značaju klasifikacije i prikaza oblaka tačaka. Svaka od napomenutih radnji ima svoj značaj u postupku obrade i analizi prikupljenih podataka.

Savremene tehnologije premera u postupku prikupljanja podataka nalaze svoju primenu u različitim granama Inženjerske geodezije i uopšte u oblastima gde su podaci o prostoru od velikog značaja. Jedan od finalnih proizvoda i razloga primene ovih tehnologija je i izrada topografskih podloga za potrebe projektovanja. Postupak njihove izrade od trenutka snimanja do finalnog proizvoda sastoji se iz nekoliko faza. U nastavku je predstavljen postupak obrade prikupljenih podataka putne infrastrukture, kao jedan od najkompleksnijih zadataka u obradi podataka prikupljenih savremenim tehnologijama premera.

Prvi korak nakon izvršene klasifikacije je ekstrakcija strukturnih linija putne infrastrukture. Pod strukturnim linijama podrazumevaju se linije ivica i sredina kolovoza, donje i gornje ivice ivičnjaka, ivice koje definišu prateće kanale itd. Za tu



operaciju primenjuju se automatski procesi. Step en automatizacije zavisi od vrste softvera koji se koristi. Trenutno su na tržištu dostupni mnogi softveri koji u velikoj meri nude uglavnom ista rešenja za tu vrstu problematike. Po završenoj automatskoj ekstrakciji, vrši se manualna inspekcija ekstrahovanih elemenata i ispravljanje grešaka automatskog postupka. Kreirane strukturne linije putne infrastrukture definisane su poziciono, dok njihovo definisanje u visinskom smislu zavisi isključivo od kvaliteta kreiranog DTM-a.

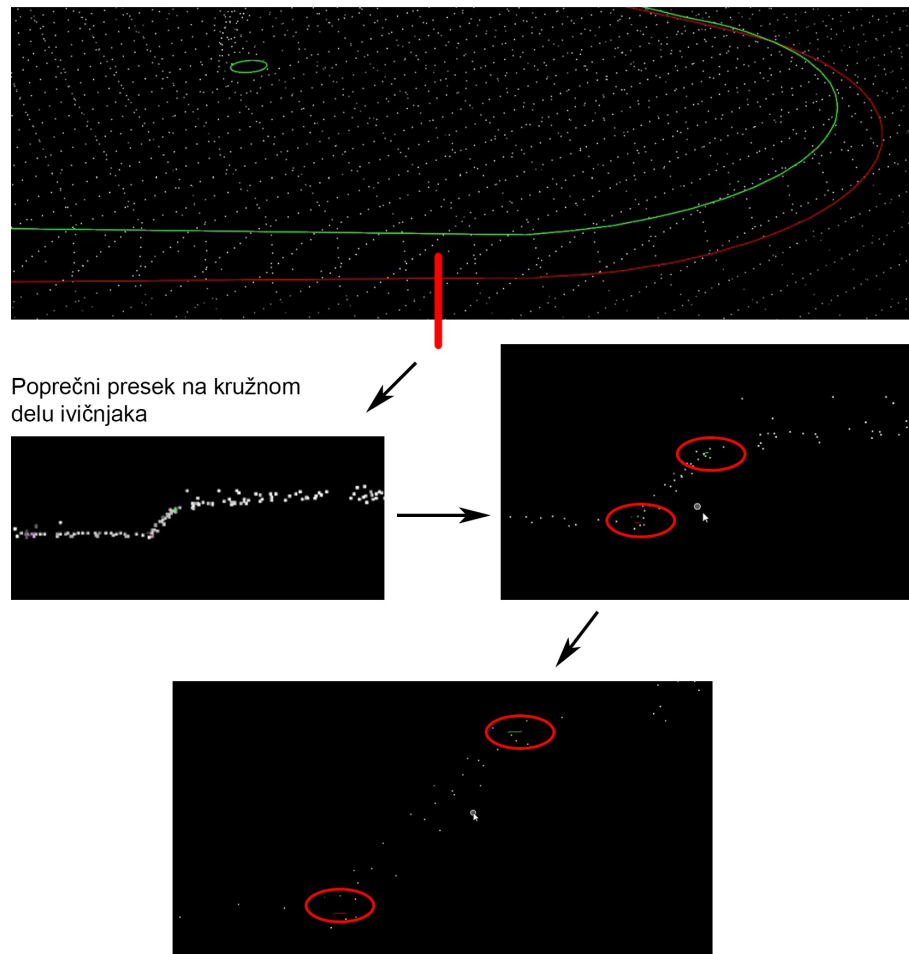


SLIKA 1.31: Različiti prikazi oblaka tačaka sa ekstrahovanim strukturnim linijama putne infrastrukture

O DTM-u i njegovom značaju za samu obradu podataka oblaka tačaka bilo je reči u prethodnim poglavljima. Visinsko definisanje ekstrahovanih strukturnih linija vrši se spuštanjem kreiranih verteksa (tačke preloma digitalizovane linije) na digitalni model terena, gde imamo mogućnost spuštanja originalnih verteksa ili mogućnost kreiranja dodatnih verteksa sa definisanim visinama. Dodatni verteksi kreiraju se na onim mestima gde definisana linija seče liniju koja pripada trouglu kreiranog modela. Na ovaj način dobijamo detaljnije definisane strukturne linije putne infrastrukture (Slika 1.31). Alternativa automatskom procesu generisanja strukturnih linija putne infrastrukture jeste manualna digitalizacija. Taj postupak podrazumeva manualnu digitalizaciju (crtanje linija) u prostoru ili u profilu, pri čemu se svaki verteks linije manualno digitalizuje tako da dobije visinu direktno sa izabrane tačke u klasifikovanom oblaku tačaka. To daje dobre rezultate jedino u uslovima u kojima je oblak tačaka idealno klasifikovan, odnosno u uslovima u kojima nema šuma i gde se može nedvosmisleno digitalizovati željena tačka.

Ekstrakcija strukturnih linija ivičnjaka je poseban postupak. Procedure koje se primenjuju u ovom slučaju zavise isključivo od gustine i kvaliteta prikupljenih podataka. Kvalitet oblaka tačaka je očigledan, što se može videti i po jasnom ocrtavanju kontura ivičnjaka. Na slici 1.32, prikazan je poprečni presek oblaka tačaka na delu na kojem je snimljen kružni ivičnjak. Procedura iscertavanja strukturnih linija

ivičnjaka sprovodi se kroz takozvani postupak digitalizacije u profilu. Na oblaku tačaka se iscrta linija koja prati pravac objekta digitalizacije i duž nje se kreiraju poprečni profili na određenom rastojanju, koje zavisi od toga da li je objekat na pravcu ili u krivini kao što je prikazano na slici 1.32.

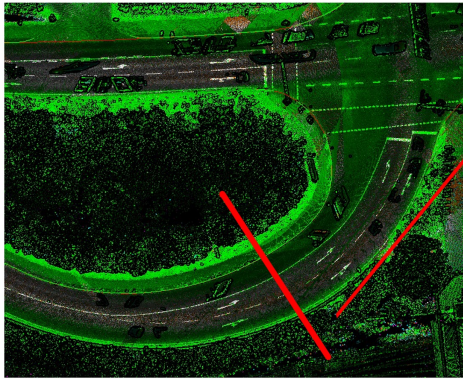


SLIKA 1.32: Oblak tačaka. Gore desno: izdvojen profil ivičnjaka

Kada su u pitanju odvodni kanali koji se nalaze pored puta, ekstrakcija strukturnih linija može biti izvršena primenom slične procedure. Obrada podataka snimljenih kanala, posebno ukoliko imaju veliku visinsku razliku između nožice i dna kanala, često predstavlja problem, posebno ukoliko je snimanje izvršeno MTLIS sistemom. Problemi nastaju zbog oštrog ugla snimanja, zbog čega sistem nije u mogućnosti da snimi sve delove objekta koji je predmet snimanja.

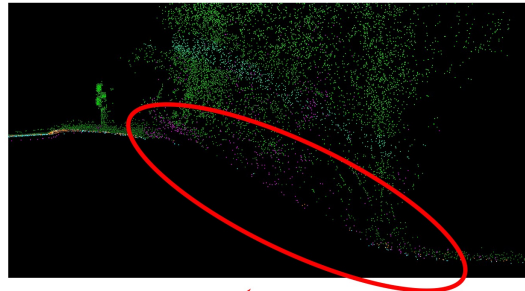
Na slici 1.33 pod a) prikazan je klasifikovan oblak tačaka jednog dela putne infrastrukture. Crvenom bojom je označena pozicija na kojoj je napravljen poprečni presek u kome se jasno vidi pozicija kanala sa desne strane (slika pod b). Na slici pod c) dat je prikaz padine kanala koja nije detaljno snimljena. Ukoliko pri obradi podataka ne postoji mogućnost verodostojne ekstrakcije strukturnih linija, zbog nedostatka podataka, često se izvršeno snimanje mora dopuniti nekom od klasičnih metoda premera kako bi se na kraju dobio kompletan podatak za obradu.

a) Klasifikovan oblak tačaka

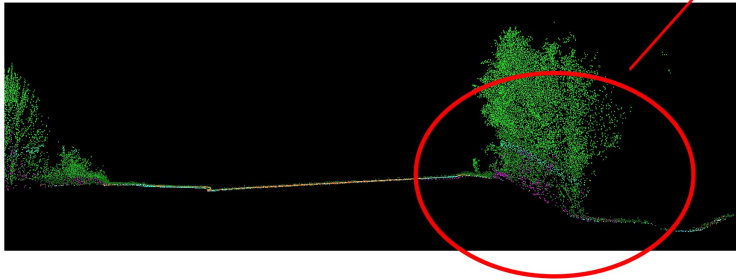


Pozicija kreiranog poprečnog profila na oblaku tačaka.

c) Poprečni profil - prikaz padine kanala koja nije detaljno snimljena



b) Poprečni profil



SLIKA 1.33: Klasifikovan oblak tačaka putne infrastrukture

### 1.6.3 Statističke metode analize podataka

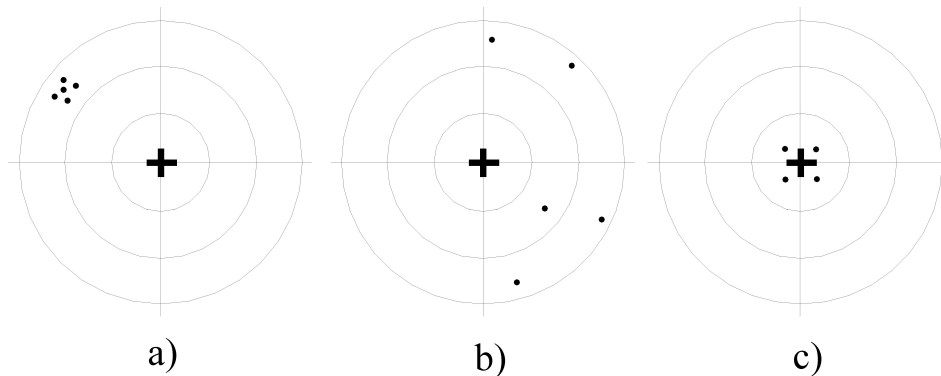
Statistički skupom se naziva skup svih elemenata na kojima se određena pojava statistički posmatra. Pojedinačni elementi iz kojih se sastoji statistički skup zovu se elementi statističkog skupa. Često je prostorno i vremenski neopravdano vršiti statističke analize na čitavom statističkom skupu podataka, pa se zbog toga vrlo često vrši odabir nekih elemenata skupa na kome će se sprovesti dalje analize. Izdvojeni podskup statističkog skupa naziva se uzorak. Sprovedene analize rezultiraju određenim kvantitativnim zaključcima koji važe za čitav statistički skup [46].

Statistički metodi analize masovnih pojava mogu se svrstati u dve grupe [46]:

- Deskriptivna statistička analiza – obuhvata metode prikupljanja, sređivanja i prikazivanja podataka iz statističkog skupa ili uzorka. Takođe, ona obuhvata metode određivanja pojedinih parametara statističkog skupa ili uzorka relevantnih za opis ponašanja posmatranog obeležja u skupu.
- Analitička statistika – bavi se objašnjavanjem i procenjivanjem varijabiliteta, statističkim zaključivanjima na osnovu uzorka i predviđanjima ponašanja posmatranog skupa u budućnosti.

Merenje predstavlja skup postupaka koji imaju za cilj određivanje vrednosti neke veličine. Tačnost merenja je koncept kvaliteta merenja i predstavlja bliskost slaganja između rezultata merenja i tačne vrednosti merene veličine dok preciznost merenja pokazuje slaganje ponovljenih merenja sa srednjom vrednošću merenja (Slika 1.34).

Ako su rezultati merenja bliski u okviru male grupe, merenja su precizna, ali nisu tačna jer su vrednosti udaljene od tačne vrednosti. Ako se rezultati merenja međusobno ne slažu i ako se razlikuju od tačne vrednosti, merenja nisu tačna i nisu precizna. Ako su merenja međusobno saglasna i istovremeno bliska tačnoj vrednosti onda su ona tačna i precizna.



SLIKA 1.34: Tačnost i preciznost merenja

Pri obavljanju određenog zadatka može se unapred definisati tačnost rezultata merenih veličina. Tačnost koja se unapred definiše naziva se tačnost *a priori*. Zatim se preduzimaju odgovarajuće mere kako bi se obezbedila tačnost rezultata merenih veličina koja je *a priori* utvrđena. Ako se neka veličina izmeri  $n$  puta, za nju će se dobiti vrednosti koje će se međusobno razlikovati u granicama tačnosti merenja. Kod preciznih merenja razlike će biti manje i obratno. Ovde se pojavljuje problem da se na osnovu svih vrednosti odredi jedna koja će ih najbolje reprezentovati. Ta jedna vrednost koja zamenjuje niz od  $n$  vrednosti treba da bude najbliža stvarnoj vrednosti. Stvarna vrednost objektivno postoji, ali ona ima više teorijski značaj, jer se do nje može doći kada bi se veličine izmerile neograničeno mnogo puta ( $n \rightarrow \infty$ ).

I pored najveće pažnje nije moguće obaviti merenje koje nije opterećeno čitavim nizom grešaka koje se pojavljuju u procesu rada na terenu. Neke od njih mogu se metodom rada otkloniti ili se može umanjiti njihov uticaj, a mnoge greške ostaju i na njih nije moguće delovati. Istinite vrednosti merenih veličina, strogo uzevši, nikada nisu poznate, pa pored toga egzistira pojam „istinita vrednost”. Istinite vrednosti služe za održavanje istinitih grešaka kada je potrebno proučiti zakonitost ponašanja grešaka ili kada se ocenjuje tačnost rezultata merenja. Kada se ne raspolaže sa istinitom vrednosti merenih veličina, u praksi se iste veličine mere više puta, pa se iz toga niza merenja određuje srednja (najverovatnija) vrednost koja je po verovatnoći najbliža stvarnoj vrednosti merene veličine. Najverovatnija vrednost najbolje reprezentuje niz merenja iz kojih je sračunata, a time i merenu veličinu. Najverovatnija vrednost predstavlja slučajnu veličinu (njena vrednost zavisi

od tačnosti svih merenih veličina koje su učestvovala u određivanju njene vrednosti), za razliku od istinite vrednosti koja je konstantna veličina.

Teorija grešaka je od izuzetne važnosti za rezultate merenja koja se obavljaju na fizičkoj površi zemlje koja je okružena atmosferom čiji se parametri (temperatura, pritisak i vlažnost vazduha) stalno menjaju u toku dana i godine. U primenama metoda merenja koriste se geodetski instrumenti čije konstrukcije nisu savršene. Postoji veliki broj komponenata koje utiču na proces merenja i koje podležu stalnim promenama, pa stoga nije moguće apsolutno tačno izmeriti neku veličinu. One se mogu izmeriti sa ograničenom tačnošću koja se može unapred usloviti.

U procesu merenja pojavljuju se mnoge greške koje nastaju usled nesavršenosti konstrukcije instrumenata i ličnih grešaka operatora, kao i spoljnih uslova u kojima se obavljaju merenja. Ovo su tri osnovna izvora iz kojih potiče mnoštvo grešaka različitog karaktera i zakonitosti delovanja.

Po svome karakteru delovanja i načinu ispoljavanja, naizbežne greške mogu biti slučajne i sistematske. Slučajne greške prate sva merenja i ne mogu se izbeći. Svaka vrednost koja se dobija merenjem mora biti opterećena slučajnom greškom, čiji se iznos i predznak ne mogu unapred predvideti. One poseduju karakter slučajnosti i zato se zovu slučajnim greškama. Pojedinačne slučajne greške  $\varepsilon_i$  posmatrane izolovano ne nagoveštavaju nikakvu zakonitost. Međutim, skup slučajnih grešaka sledi određene statističke zakone koji se mogu analitički opisati pomoću odgovarajućih rasporeda matematičke statistike. Slučajne greške nije moguće eliminisati iz rezultata merenja. Njihov uticaj na najverovatniju vrednost se smanjuje kada se ista veličina meri više puta. Što je veći broj merenja, manji je uticaj slučajnih grešaka.

Greške koje rezultat merenja stalno uvećavaju ili stalno umanjuju, zovu se sistematske greške. Znači, osobina sistematskih grešaka je da stalno povećavaju ili smanjuju rezultat merenja. Zahvaljujući toj osobini, sistematske greške se mogu ukloniti iz rezultata merenja u potpunosti ili delimično, kada se znaju uzrok njihove pojave i zakoni njihovog ponašanja.

U svim naučnim disciplinama u kojima se obavljaju neka merenja i vrše eksperimenti, prisutne su slučajne veličine koje se izražavaju odgovarajućim numeričkim vrednostima. Postoji više modela slučajnih veličina koji se primenjuju pri obradi i izučavanju slučajnih veličina. U geodeziji se permanentno obavljaju merenja ili primenjuju eksperimenti pa je od izuzetne važnosti izučavanje slučajnih veličina i njihovih raspodela.

Slučajna veličina  $X$  može imati bilo koju vrednost u određenom skupu vrednosti  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sa odgovarajućim verovatnoćama  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , pri čemu je verovatnoća celog skupa vrednosti slučajne veličine jednaka 1.

Ako slučajna veličina  $X$  ima konačan broj vrednosti, ona se naziva diskretna slučajna veličina, a ako ima beskonačan broj vrednosti, naziva se neprekidna slučajna veličina. U geodeziji se najčešće izučavaju neprekidne slučajne veličine.

Ako se rezultat eksperimenta izražava jednom numeričkom vrednosti, onda se ta klasa naziva jednodimenzionalna slučajna veličina, a ako se rezultat može izraziti sa više numeričkih vrednosti, te klase se nazivaju višedimenzionalne slučajne veličine.

Skup mogućih vrednosti slučajne veličine  $X_i$  odgovarajućih verovatnoća naziva se zakon raspodele verovatnoća slučajne veličine. Zakon raspodele verovatnoća diskretne slučajne veličine  $X$  u šematskom prikazu glasi:

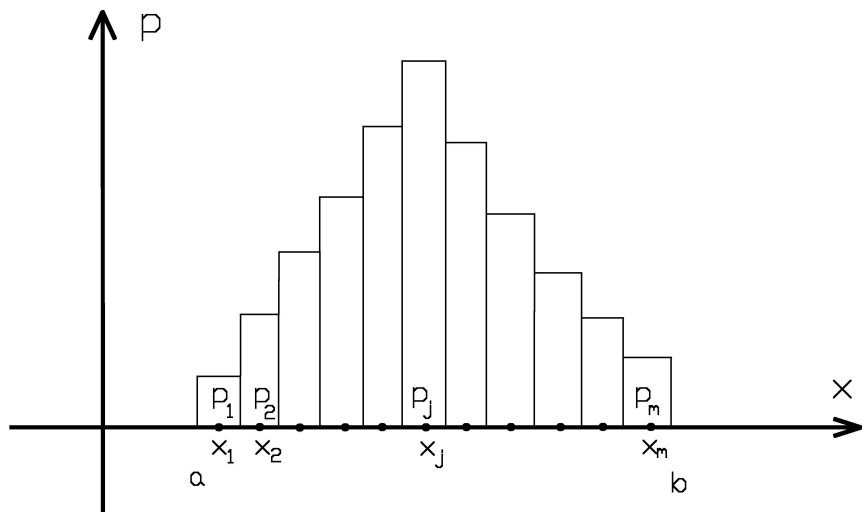
$$X = \left\{ \begin{array}{ccc} x_1 & x_2 \dots & x_n \\ p_1 & p_2 \dots & p_n \end{array} \right\}, \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (1.44)$$

ili

$$P(X = x_i) = p_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (1.45)$$

odnosno, verovatnoća da će slučajna veličina  $X$  imati vrednost  $x_i$  iznosi  $p_i$ .

Zakon verovatnoća slučajne veličine  $X$  predstavlja se grafički u vidu histograma (Slika 1.35). Na  $x$  osi su vrednosti slučajne veličine  $X$ , a na osi  $p$  se konstruišu pravougaonici čija je površina jednaka odgovarajućoj vrednosti verovatnoće.



SLIKA 1.35: Zakon raspodele verovatnoća (funkcija učestalosti)

Kako je zbir verovatnoća slučajne veličine jednak 1, onda je i zbir površina svih pravougaonika na histogramu jednaka 1.

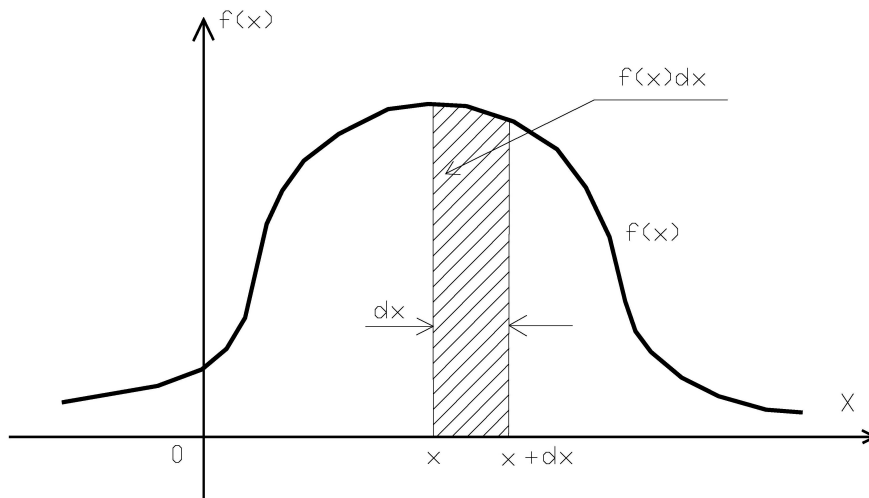
Potpuniju informaciju o diskretnoj slučajnoj promenljivoj  $X$  pruža funkcija raspodele verovatnoća, ili kumulativni zakon raspodele verovatnoća koja se označava sa  $F(x)$ . Funkcija raspodele verovatnoća prikazana je na slici 1.36.

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (1.46)$$

gde  $P$  označava verovatnoću kojom se može tvrditi da će slučajna promenljiva  $X$  biti manja od unapred zadate vrednosti (broja  $x$ )

Pod raspodelom slučajne veličine  $X$  podrazumeva se poznavanje funkcije raspodele  $F(x)$  ili funkcije gustina verovatnoća  $f(x)$ . Raspodelom slučajne veličine određena je maksimalna količina informacija o eksperimentu ili merenju [57]. Detaljnije objašnjenje funkcije i gustine raspodele dato je u Poglavlju 7.4.

Ukoliko greške nastaju delovanjem velikog broja slučajnih i međusobno nezavisnih uzroka, od kojih svaki od njih izaziva različite, ali veoma male greške, merni rezultati će se rasipati prema normalnoj ili Gausovoj raspodeli. Normalnu

SLIKA 1.36: Funkcija gustine raspodele verovatnoća  $f(x)$ 

raspodelu uveo je nemački matematičar Karl Fridrih Gaus u analizi ocene slučajnih grešaka prilikom obrade rezultata merenja, pa se zato i naziva Gausova raspodela.

Normalna raspodela (Slika 1.37) definisana je kao funkcija verovatnoće:

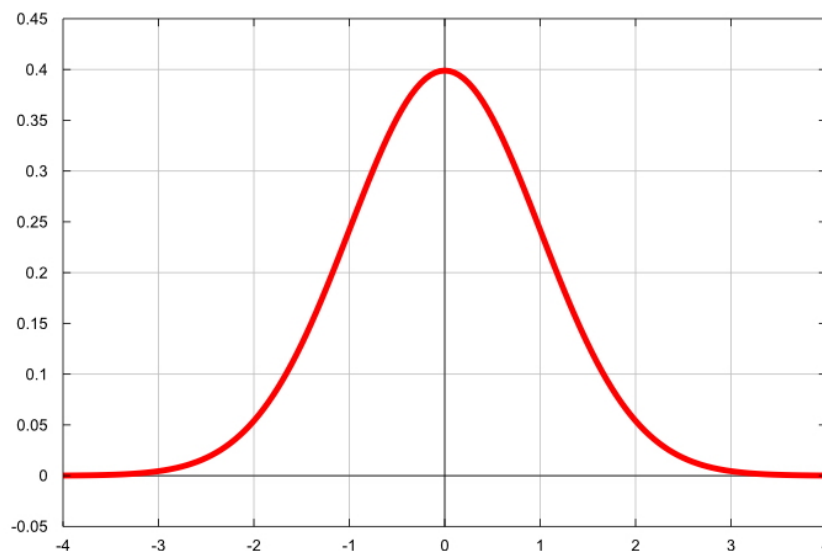
$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}_0}{\sigma}\right)^2} \quad (1.47)$$

gde je:

- $\bar{x}_0$  – aritmetička sredina beskonačnog skupa,
- $\sigma$  – standardna devijacija beskonačnog skupa.

Skup podataka koji predstavlja upoređenje rezultata generisanih jednom od savremenih metoda prikupljanja podataka i uslovno tačnih vrednosti, biće prikazan tabelarno. Na rezultate su primenjene statističke metode analize podataka. Dobijeni rezultati biće grafički prikazani pomoću histograma apsolutnih frekvencija i Gausove raspodele. Na isti način će se analizirati podaci prikupljeni drugom metodom prikupljanja podataka. Nakon kalibrisanja originalnih podataka i ponovne primene statističkih metoda analize podataka, na osnovu numeričkih i grafičkih interpretacija rezultata mogu se doneti zaključci o uspešnosti primenjene metodologije.





SLIKA 1.37: Normalna raspodela

#### 1.6.4 Izvod iz Teorije grešaka merenja

Prilikom ocene tačnosti pojedinog merenja neke veličine neophodno je definisati, u smislu verovatnoće, moguća odstupanja rezultata merenja te veličine od njene istinite vrednosti. Odstupanja rezultata merenja neke veličine od njene istinite vrednosti mogu se predstaviti pomoću dve veličine:

- pomoću njenog odstupanja od matematičkog očekivanja,
- pomoću odstupanja matematičkog očekivanja od istinite vrednosti.

Prvo odstupanje nastaje kao posledica dejstva slučajnih grešaka dok drugo odstupanje nastaje kao posledica delovanja sistematskih grešaka.

Rezultati merenja, dobijeni pod istim mernim uslovima, ponašaju se prema normalnom zakonu rasporeda, pa je njihovo matematičko očekivanje konstantna veličina. Prema tome, konstantno će biti i njegovo odstupanje od istinite vrednosti, pri čemu je to odstupanje rezultat dejstva sistematskih grešaka. Odavde sledi da treba da promenimo i uslove merenja (da izvodimo merenja raznim priborima, pri različitim spoljašnjim prilikama, sa različitim opažačima i sl.) kako bismo oslabili uticaj sistematskih grešaka.

Odstupanje matematičkog očekivanja od istinite vrednosti merene veličine pri datom kompleksu uslova možemo smatrati konkretnom vrednošću slučajne veličine sa matematičkim očekivanjem bliskim nuli, imajući pri tome u vidu sve moguće promene kompleksa uslova. Na taj način, odstupanja rezultata merenja od istinite vrednosti možemo posmatrati kao vrednost zbira dveju slučajnih veličina: odstupanja rezultata merenja od njegovog matematičkog očekivanja i odstupanja matematičkog očekivanja od istinite vrednosti.

Sada se mogu definisati mere i kriterijumi tačnosti i preciznosti merenja. Tako se pozitivan broj dobijen kao matematičko očekivanje (MO) veličine (parametra),



kojom se opisuje odstupanje merenja od prave vrednosti, naziva mera tačnosti, a dozvoljena (granična) vrednost eksperimentalnog MO (ocene MO) te veličine – kriterijum tačnosti merenja. Isto tako, pozitivan broj dobijen kao MO veličine (parametra), kojom se opisuje odstupanje merenja od MO, naziva se mera preciznosti, a dozvoljena (granična) vrednost eksperimentalnog MO (ocene MO) te veličine – kriterijum preciznosti merenja.

Ako uvedemo oznake:

- $A$  – istinita, prava vrednost veličine koja se meri,
- $A=X-A$  – slučajna veličina koja karakteriše moguće odstupanje rezultata jednog merenja od istinite vrednosti  $A$  merene veličine, apsolutna (prava) greška,
- $X$  – slučajna veličina, koja karakteriše moguće rezultate merenja pri nekom kompleksu uslova merenja,
- $M[X] = a$  – matematičko očekivanje slučajne veličine  $X$ ,
- $\varepsilon = X - M[X]$  – slučajna veličina, koja karakteriše odstupanja rezultata merenja od matematičkog očekivanja pri istom kompleksu uslova, slučajna greška, i
- $\delta = M[X] - A$  – slučajna veličina, koja karakteriše odstupanje matematičkog očekivanja od istinite vrednosti  $A$  – sistematska greška,

onda se može izvesti sledeće:

- $\varepsilon = X - a$  – slučajna greška (odstupanje),
- $\delta = a - A$  – sistematska greška (pomeranje),
- $\Delta = X - A = X - a + a - A = \varepsilon + \delta$  – struktura opažanja.

Jedni izvori proizvode elementarne slučajne greške  $\varepsilon^{(1)}, \varepsilon^{(2)}, \dots, \varepsilon^{(n)}$ , čija sumarna greška čini slučajnu grešku rezultata merenja  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \varepsilon^{(1)}, \varepsilon^{(2)}, \dots, \varepsilon^{(n)} \quad (1.48)$$

pa će, s obzirom na centralnu graničnu teoremu, slučajna greška  $\varepsilon$  imati normalni raspored.

Sa druge strane, drugi izvori proizvode sistematske greške  $\delta$ , ali takve da im je matematičko očekivanje različito od nule, osim u nekim specijalnim slučajevima. Pri merenju, sistematske greške  $\delta$  obično proizvode jedan do tri izvora grešaka, odnosno greška  $\delta$  najčešće zavisi od jednog do tri parametra; ređi je slučaj da zavisi od četiri ili više parametara. Na primer, pri merenju rastojanja  $D$  elektrooptičkim daljinomerom, sistematska greška koja deluje proporcionalno merenom rastojanju potiče od dva izvora:

- od greške frekvencije oscilacije  $\delta_f$ ,

- i od greške brzine svetlosti u vazduhu  $\delta_\nu$ , tj.  $\delta_D = (\delta_f/f)D + (\delta_\nu/\nu)D$ . Dakle, po pravilu, matematičko očekivanje sistematske greške nije nula, tj.:  $M[\delta] \neq 0$ .

U slučaju merenja, elementarnim događajima odgovaraju elementarne greške, pa s obzirom na konstataciju da jedni izvori proizvode slučajne, a drugi sistematske greške merenja, sledi uzajamna nezavisnost slučajnih i sistematskih grešaka. Ta nezavisnost, daje rezultate:

$$M[\varepsilon\delta] = M[\varepsilon] \cdot M[\delta] \quad (1.49)$$

kako je  $M[\varepsilon] = 0$ , to je:

$$M[\varepsilon\delta] = M[\varepsilon] \cdot M[\delta] = 0 \cdot M[\delta] = 0 \quad (1.50)$$

Prva mera tačnosti jeste srednja kvadratna greška rezultata merenja. Po definiciji to je:

$$\sigma_{\Delta}^2 = M[\Delta^2] = M[(X - A)^2] = M[(\varepsilon + \delta^2)] = M[\varepsilon^2] + 2M[\varepsilon\delta] + M[\delta^2] \quad (1.51)$$

Veličinu:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = M[\varepsilon^2] = M[(X - a)^2] = D[X] = D[\varepsilon] \quad (1.52)$$

nazivamo disperzijom rezultata merenja (disperzijom slučajnih grešaka), pa s obzirom na (1.52), imamo da je:

$$\sigma_{\Delta}^2 = M[\Delta^2] = \sigma_{\varepsilon}^2 + M[\delta^2] \quad (1.53)$$

Ako smo merenja izveli pod jednim nivoom (vrednošću) faktora koji proizvodi sistematski uticaj (pomeranje)  $\delta$ , onda će  $\delta$  biti konstanta, stoga će i  $\delta^2$  biti konstanta. Međutim, ako smo merenja izveli pod svim mogućim nivoima (vrednostima) faktora koji proizvodi sistematske uticaje, onda za očekivanu vrednost od  $\delta$  možemo uzeti da je nula,  $M[\delta] = 0$ , pa, u tom slučaju, izraz:

$$\sigma_{\delta}^2 = M[(\delta - M[\delta])^2] = M[\delta^2] = D[\delta]; \text{ za } M[\delta] = 0 \quad (1.54)$$

predstavlja disperziju sistematskih grešaka (uticaja).

Zavisno od promene izvora sistematskih grešaka, možemo napisati:

$$M[\delta^2] = \begin{cases} a & \delta^2 - \textit{konstantni sistematski uticaj} \\ b & \sigma_{\sigma}^2 - \textit{randomizirani sistematski uticaj} \end{cases} \quad (1.55)$$

$$\sigma_{\Delta}^2 = \begin{cases} a & \sigma_{\varepsilon}^2 + \delta^2 - \textit{konstantni sistematski uticaj} \\ b & \sigma_{\varepsilon}^2 + \sigma_{\delta}^2 - \textit{randomizirani sistematski uticaj} \end{cases} \quad (1.56)$$

Izrazi (1.53) i (1.56) jesu srednje kvadratne greške ako je X rezultat merenja, odnosno srednja kvadratna odstupanja slučajne veličine X ako X nije rezultat merenja već neka druga slučajna veličina u kojoj ima sistematskih uticaja  $\delta$ , i u tom slučaju veličinu (1.52) nazivamo disperzijom slučajne veličine X.

---

Poželjne su srednje kvadratne greške, odnosno odstupanja sa manjim pomeranjem  $\delta$  od onih sa većim pomeranjem  $\delta$ . Prema teoriji grešaka do srednje kvadratne greške  $\sigma_{\Delta}$ , koju možemo zvati ukupna standardna greška, dolazimo na sledeći način. Izvodimo merenja  $X$  pod raznim kompleksima uslova tako da sistematske uticaje randomiziramo merenjem nivoa faktora koji ih proizvode, ali tako da pri jednom nivou faktora ili pri istim uslovima faktora, sistematski uticaji budu isti ili bar približno isti [66].

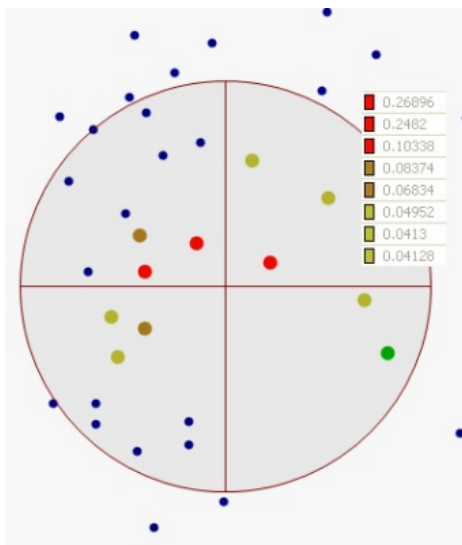
### 1.6.5 Metode interpolacije

U poglavlju broj 7 ove doktorske disertacije, opisan je postupak kalibracije oblaka tačaka koji je zasnovan na primeni određenih metoda interpolacije. U ovom poglavlju je data definicija i opis glavnih karakteristika najznačajnijih metoda interpolacije kao što su IDW (Inverse Distance Weighted), kriging i *Aerial Interpolation*.

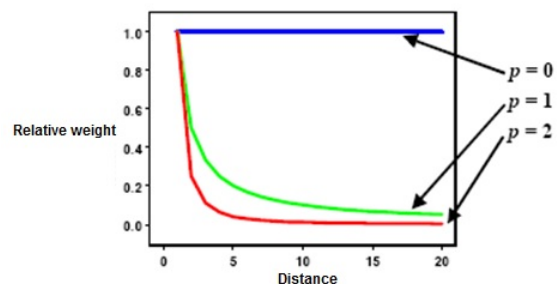
Interpolacija je uopšteno pojam koji se odnosi na postupak umetanja između dve vrednosti. U numeričkoj analizi se ovaj izraz koristi za postupak kojim se između dve poznate vrednosti neke funkcije umeće neka nova, obično jednostavnija funkcija, tako da ova vrednost ne odstupa od date za više od neke željene granice. Osnovni problem interpolacije jeste egzistencija funkcije koja u tačkama  $x_k$  ima zadate vrednosti  $f_k$ . Tačke  $(x_k, f_k)$  nazivamo čvorovima interpolacije, a funkciju  $f$  interpolacionom funkcijom. Zbog jednostavnosti polinomske funkcije, pojam interpolacija se najčešće odnosi na interpolaciju realne funkcije algebarskim polinomom. Najjednostavniji oblik interpolacionog polinoma je  $P(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m$ . Poznati su i Lagranžov interpolacioni polinom, kao i Njutnov interpolacioni polinom [1].

#### 1.6.5.1 Inverse distance weighted (IDW)

IDW metod interpolacije eksplicitno čini pretpostavku da su stvari koje su blizu jedna drugoj sličnije od onih koje su udaljenije. Da bi predvideo vrednost na bilo kojoj lokaciji, IDW metod koristi merene vrednosti koje okružuju lokaciju predviđanja. Merene vrednosti najbliže mestu predviđanja imaće više uticaja na predviđene vrednosti od onih koje se nalaze dalje (Slika 1.38). IDW pretpostavlja da svaka merena tačka ima lokalni uticaj, koji opada sa povećanjem udaljenosti. To daje veću težinu tačkama koje se nalaze bliže mestu predviđanja a težine smanjuju kao funkciju udaljenosti. Odavde potiče i naziv ove metode.



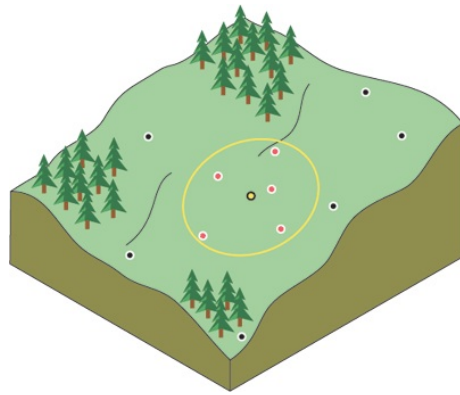
SLIKA 1.38: IDW pretraga susednih tačaka



SLIKA 1.39: IDW smanjenje težina sa smanjenjem udaljenosti

Težine su proporcionalne recipročnoj vrednosti udaljenosti (između tačke i predviđene lokacije) podiže vrednost  $p$ . Kao rezultat toga, kako se povećava udaljenost, težine se rapidno smanjuju. Stopa po kojoj se težine smanjuju zavisi od vrednosti  $p$ . Ako je  $p = 0$ , nema smanjenja sa udaljenošću, jer je svaka težina  $\lambda$  ista, predviđanja će biti srednja vrednost svih vrednosti podataka u oblasti pretraživanja. Kako se  $p$  povećava, težine za udaljene tačke će se brzo smanjiti. Ako je  $p$  vrednost vrlo visoka, samo tačke u neposrednom okruženju će uticati na prognozu (Slika 1.39).

Stvari koje su blizu jedna drugoj sličnije su nego one koje su dalje; što su lokacije dalje jedna od druge i merene vrednosti će imati manju vezu prema vrednostima koje su određene predikcijom. Za brze proračune, isključuje se ili se ne uzima u obzir određeni broj udaljenih tačaka koje će imati mali uticaj na predikciju. Na slici 1.40 pet tačaka će se koristiti za predikciju vrednosti žute tačke .



SLIKA 1.40: IDW predikcija vrednosti tačke

### 1.6.5.2 *Natural neighbor interpolation*

*Natural neighbor interpolation* je metoda prostorne interpolacije. Metoda se temelji na Voronoi mozaiku diskretnog skupa prostornih tačaka. U matematici, Voronoi dijagram je podela površi u određenim regijama na temelju udaljenosti tačaka. Taj skup tačaka (naziva se seme) naznačeno je unapred, a za svako seme postoji odgovarajuće područje koje se sastoji od svih tačaka koje se nalaze bliže tom semenu nego bilo koje druge. Te regije nazvane su Voronoi ćelije (Slika 1.41).

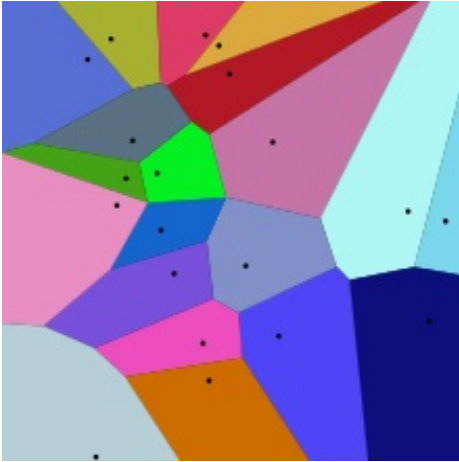
Osnovna 2D jednačina je:

$$G(x, y) = \sum_{i=1}^n \omega_i f(x_i, y_i) \quad (1.57)$$

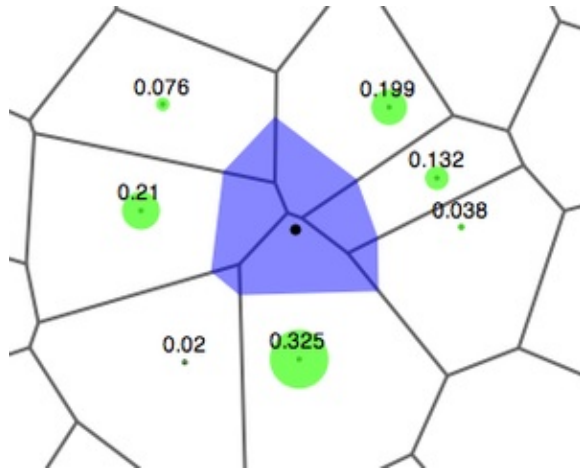
gde je  $G(x, y)$  procena na  $(x, y)$ ,  $\omega_i$  težine a  $f(x_i, y_i)$  su poznati podaci na  $(x_i, y_i)$  [3].

### 1.6.5.3 **Kriging**

Postupak kriginga smatra se naprednom metodom interpolacije za procenu vrednosti promenljive u tačkama odabrane mreže ili grida.



SLIKA 1.41: Voronoi  
mozaik



SLIKA 1.42: *Natural neighbor  
interpolation*

Kriging je, kao statistička metoda procene, dobila ime po južnoafričkom inženjeru Krigeu, koji ju je prvi upotrebio i opisao prilikom procene koncentracije zlata u rudnicima. Zatim je vremenom usledio dalji teoretski razvoj metode, najvećim delom u Francuskoj.

Procena krigingom temelji se na upotrebi postojećih (tzv. kontrolnih tačaka) čiji je uticaj na procenu izražen odgovarajućim težinskim koeficijentima. Procena načinjena krigingom podrazumeva da su zadovoljeni određeni kriterijumi. Prema njima procena mora biti nepristrasna i napravljena tako da je varijanca razlike između stvarnih i procenjenih vrednosti u odabranim tačkama najmanja moguća. To se naziva još i varijanca kriginga. Nakon završetka procene na odabranom gridu algoritam kriginga računa predviđenu i stvarnu grešku procene. Te vrednosti se mogu porediti sa merenom vrednošću na kontrolnoj tački koja je upotrebljena kao ulazni podatak. Na taj način se određuje pouzdanost procene kvaliteta odabranog prostornog modela.

Princip rada kriginga najjednostavnije je prikazati nizom jednačina kojima je definisan. Krigingom se procenjuju vrednosti promenljive na odabranoj lokaciji  $Z_k$ , a na temelju postojećih okolnih vrednosti  $Z_i$ . Svakoju od tih postojećih vrednosti pridružen je odgovarajući težinski koeficijent  $\lambda_i$ . Način računanja težina je najzahtevniji deo algoritma kriginga.

Vrednost i slučajne promenljive mogu se definisati kao:

$$Z_i = Z(x_i) \quad (1.58)$$

gde je  $x_i$  tačka u kojoj je očitana vrednost. Vrednost promenljive procenjene krigingom na osnovu  $n$  okolnih kontrolnih tačaka je:

$$Z_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z_i \quad (1.59)$$

gde su:

$\lambda_i$  – težinski koeficijenti (weights) za svaku lokaciju

$Z_i$  – kontrolne tačke

$Z_k$  – vrednost procenjena krigingom

Sledeći korak kriginga usmeren je na procenu odgovarajućih koeficijenata težina i na kraju na procenu same vrednosti  $Z_k$ . Do tih vrednosti dolazi se rešavanjem sistema linearnih jednačina kriginga.

Rezultat matematičkih jednačina kriginga moguće je napisati u obliku matričnih jednačina. Unutar dveju od tih matrica vrednosti su izražene pomoću vrednosti kovarijance, odnosno zavise od udaljenosti poređenih lokacija. Treća matrica sadrži koeficijente težina koji se na kraju procenjuju iz prve dve spomenute matrice.

$$[W] \times [\lambda] = [B] \quad (1.60)$$

Kriging kao metoda sadrži više tehnika. To su jednostavni kriging (Simple Kriging), obični kriging (*OrdinaryKriging*), indikatorski kriging (*IndicatorKriging*), univerzalni kriging (*UniversalKriging*) i disjunktivni kriging (*DisjunctiveKriging*) [45]. U daljem tekstu opisana je prva metoda.

Kod jednostavnog kriginga, kao najjednostavnije podvarijante, matrična jednačina napisana u punom obliku glasi:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots \gamma(Z_1 - Z_{n1}) \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots \gamma(Z_2 - Z_n) \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots \gamma(Z_n - Z_n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \gamma(x_n - x) \end{bmatrix} \quad (1.61)$$

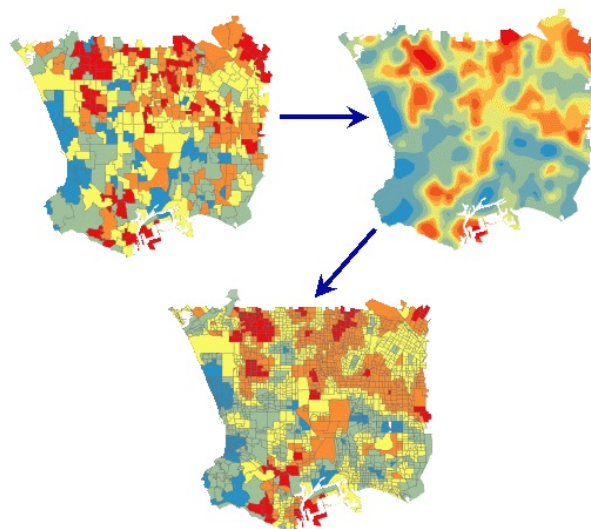
Sve ostale podmetode kriginga imaju dodat neki „faktor ograničenja”. Kod jednostavnog kriginga nije ispunjen uslov da je procena nepristrasna, dok je kod ostalih tehnika taj uslov zadovoljen. Dodatni faktor pomaže kod uključivanja nekog spoljnog ograničenja koje prati ulazni skup podataka. Tako je u tehnici običnog kriginga dodat Lagranžov faktor  $\mu$  kojim se minimalizuje iznos varijanse kriginga. Time dolazi do promene matrične jednačine [56]:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots \gamma(Z_1 - Z_{n1}) & 1 \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots \gamma(Z_2 - Z_n) & 1 \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots \gamma(Z_n - Z_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \gamma(x_n - x) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.62)$$

#### 1.6.5.4 Aerial interpolacija

*Aerial* interpolacija konkretno znači reagraciju ili pridruživanje podataka iz jednog skupa poligona (izvornih poligona) u drugi skup poligona (ciljne poligone). Ona predstavlja geostatističku interpolacionu tehniku koja proširuje Kriging teoriju.

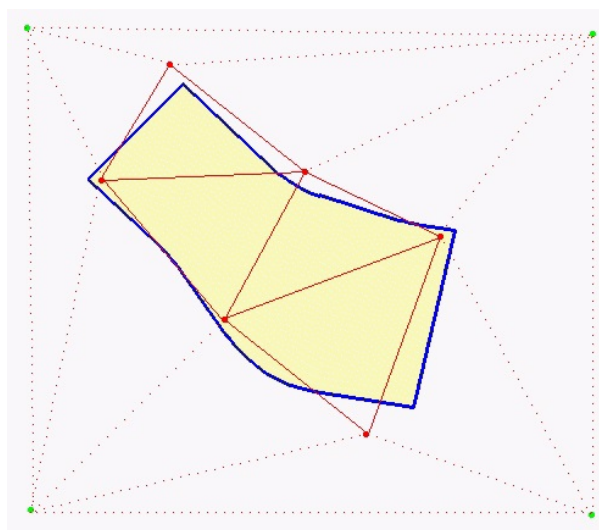
Reagracija podataka je proces u dva koraka. Najpre se kreira glatka površ predikcije za pojedine tačke iz izvornih poligona, zatim se površ predikcije pridružuje nazad u ciljne poligone. Jednom kreirana predikciona površ se pridružuje nazad drugom setu poligona [5]. Na slici 1.43 prikazana je grafička interpretacija toka predikcije *aerial* interpolacije.



---

SLIKA 1.43: Grafička interpretacija toka predikcije *aerial* interpolacije

Kalibracija oblaka tačaka na osnovu poznatih parametara sprovedena je u okviru softverskog rešenja „TerraSolid”. Na delovima terena koji se nalaze između poznatih tačaka sprovodi se postupak interpolacije (Slika 1.44). Područje prikazano žutom bojom predstavlja područje pokriveno prikupljenim podacima. Crvene tačke predstavljaju tačke sa poznatim Y, X i dZ vrednostima. Zelene tačke predstavljaju interpolirane tačke, a crvene linije model triangulacije [4].



---

SLIKA 1.44: Prikaz modela interpolacije



## 1.7 Struktura istraživanja u disertaciji

Savremeni uređaji za akviziciju podataka LiDAR i UAV kao finalni proizvod daju oblak tačaka. U okviru istraživanja, nezavisno će biti analizirani podaci dobijeni sa ova dva sistema. Biće izvršena uporedna analiza podataka generisanih LiDAR sistemom i podataka generisanih metodom precizne elektronske tahimetrije. Na isti način će biti posmatrani podaci generisani UAV sistemom.

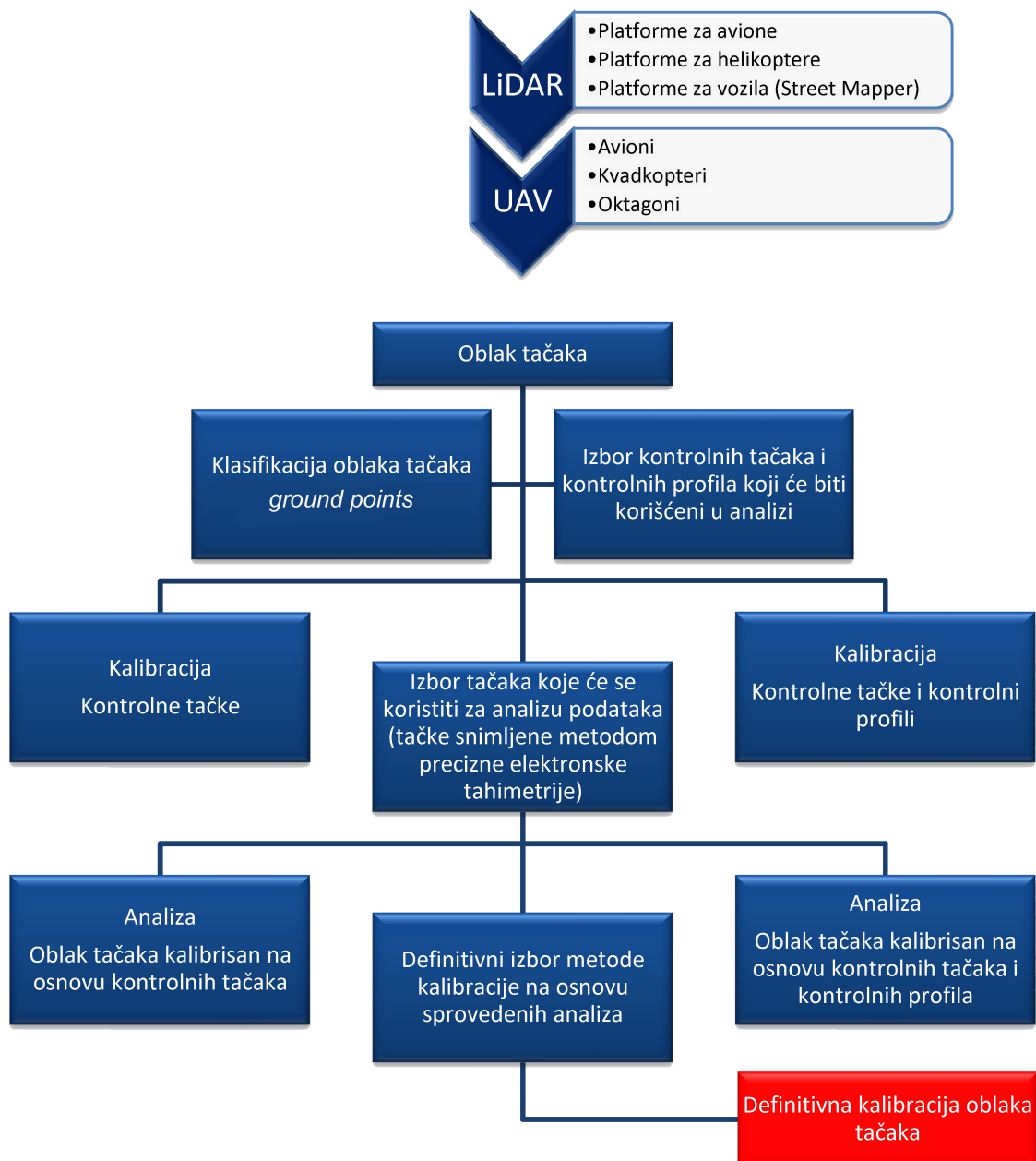
Ideja koja će biti sprovedena zasnovana je na tome da će *raw data* (sirovi oblak tačaka) najpre biti „kalibrisan”, pri čemu se pod kalibracijom podrazumeva poboljšanje tačnosti oblaka tačaka na osnovu kontrolnih tačaka, a nakon toga će biti nastavljena dalja obrada. Sirov oblak tačaka se najpre klasifikuje, pri čemu primenjujemo samo osnovni algoritam za klasifikaciju *ground points* (tačke terena). Nakon izdvojene klase *ground points*, izvršiće se analiza kontrolnih tačaka na osnovu koje ćemo ustanoviti da li je izabrani broj kontrolnih tačaka dovoljan ili se moraju uključiti dodatne kontrolne tačke. Na osnovu kontrolnih tačaka, ili uz pomoć dopunskih kontrolnih tačaka, izvršiće se konačna kalibracija oblaka tačaka. Upoređenje tačaka snimljenih metodom precizne elektronske tahimetrije sa oblakom tačaka, tačnije sa klasom *ground points* pokazaće kolika su odstupanja na nivou celog uzorka. Izvršiće se nekoliko analiza: analiza oblaka tačaka kalibrisanog samo na osnovu kontrolnih tačaka i analiza oblaka tačaka kalibrisanog na osnovu kontrolnih tačaka i dodatnih kontrolnih profila. Analize će biti realizovane primenom matematičkih modela statističke analize. Na osnovu ovih analiza biće moguće precizno definisati metodologiju analize kvaliteta rezultata kod snimanja terena nekom od savremenih tehnologija snimanja, odstranjivanje grubih grešaka i svođenje grešaka na prihvatljivu vrednost. Kako će se analize vršiti na podacima dobijenim sa dva nezavisna sistema tako će biti moguće definisati izbor sistema za prikupljanje podataka ili kombinaciju sistema. Nakon završenih analiza i konačne kalibracije dobijamo definitivni oblak tačaka koji se može dalje obrađivati u cilju kreiranja korektnog digitalnog modela terena i topografskih podloga. Dalja obrada podrazumeva kreiranje ostalih klasa oblaka tačaka, što će detaljno biti objašnjeno u petom poglavlju disertacije.

Na slici 1.45 dat je šematski prikaz strukture disertacije. U okviru šematskog prikaza po segmentima su razloženi glavni koraci, koji vode do definitivnog određivanja parametara kalibracije, što je detaljnije objašnjeno u tekstu koji sledi.

Postupak kalibracije oblaka tačaka definisan u okviru ove disertacije će biti podeljen u nekoliko faza:

- **Osnovna klasifikacija oblaka tačaka (*ground points*)**

podrazumeva definisanje odgovarajućih algoritama za automatsko odvajanje tačaka terena od ostalih tačaka u oblaku tačaka. Osnovna klasifikacija se realizuje na celom oblaku tačaka. Nakon toga se u daljoj analizi tretiraju samo tačke koje se nalaze unutar definisanog poligona, što je objašnjeno u okviru potpoglavlja „Kriterijumi izbora uzorka za eksperiment”. Na slici 1.46 mogu se videti rezultati klasifikacije oblaka tačaka i perspektivni prikaz klase tačaka terena. Za klasifikovanje *ground points* klase primenjuju se postojeći algoritmi, pri čemu se vrše određene korekcije koje zavise od konfiguracije terena i rezolucije snimanja. Nakon automatske klasifikacije tačaka terena sve dalje analize u cilju

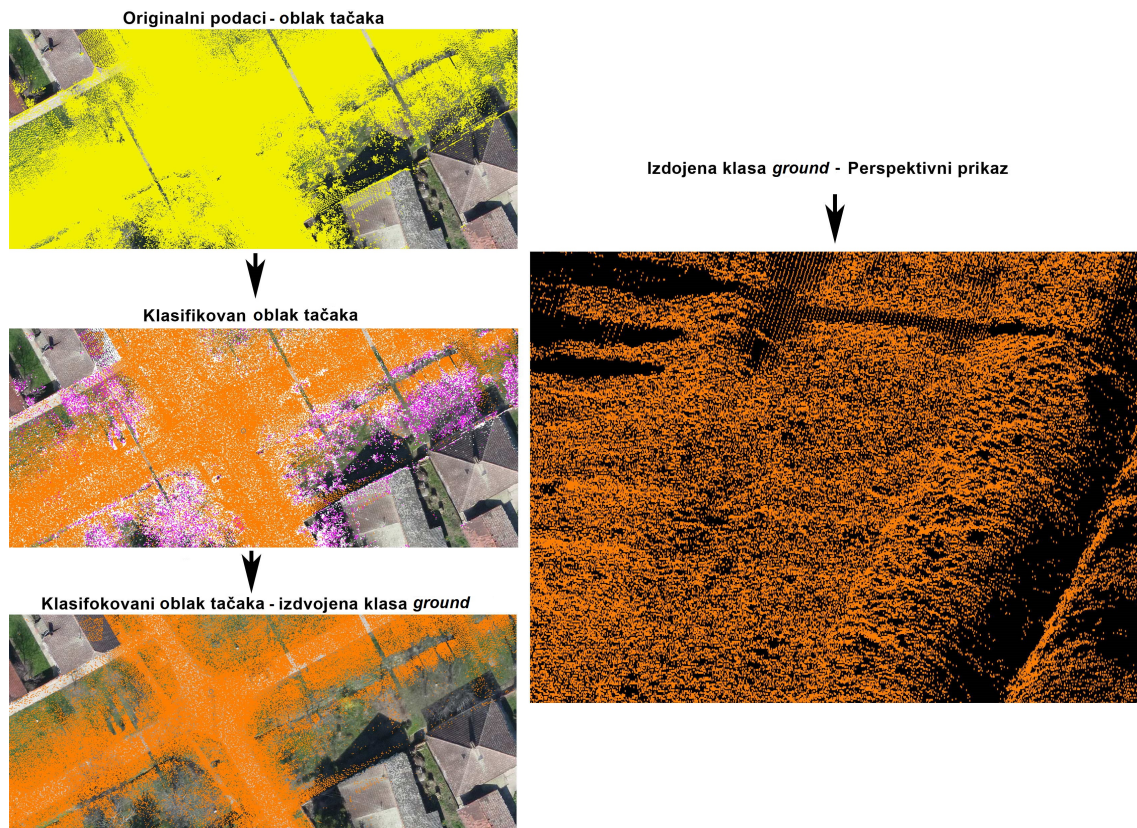


SLIKA 1.45: Šematski prikaz strukture istraživanja

određivanja parametara za kalibraciju sprovode se isključivo analiziranjem ove klase.

#### • Izbor kontrolnih tačaka za kalibraciju

Tačke korišćene kao osnova za kalibraciju su novoodređene poligonske tačke na teritoriji celog naselja (Slika 1.47). Novoodređene poligonske tačke snimane su GNSS metodom sa tačnošću koju ova metoda može obezbediti. Snimanje je izvršeno prema pravilniku za određivanje poligonske mreže u tri epohe od po 30 s, pri čemu su za definitivne vrednosti koordinata tačaka usvojene aritmetičke



SLIKA 1.46: Postupak klasifikacije tačaka

sredine ova tri merenja. Visine tačaka su određene preciznim nivelmanom, pri čemu su merenja vezana za repere sa poznatim visinama.

Definitivni kriterijumi izbora kontrolnih tačaka za kalibraciju biće definisani nakon završenih analiza u okviru disertacije. Kako su ovde korišćene poligonske tačke nove poligonske mreže koja je razvijena za potrebe premera, to je njihov položaj i raspored prilagođen potrebama premera. Za potrebe pogušćavanja mreže kontrolnih tačaka biraju se tačke na terenu od čvrstog materijala na ravnom i pristupačnom terenu, dalje od visokih objekata ili objekata koji bi mogli uticati na kvalitet snimanja. Definisanje visinskih odstupanja ( $dZ$ ) kontrolnih tačaka u odnosu na originalni oblak tačaka, realizuje se upoređenjem kontrolnih tačaka i istih tih tačaka u generisanom oblaku tačaka. Kontrolne tačke (tačke poligonske mreže, koju predstavljaju metalne kape) jasno su i nedvosmisleno uočljive u oblaku tačaka. Određivanje razlika ( $dZ$ ) realizuje se očitavanjem vrednosti  $Z$  (kontrolne tačke) na digitalnom modelu terena generisanom od tačaka terena dobijenih automatskom klasifikacijom oblaka tačaka. Zbog brzog i kvalitetnog očitavanja odstupanja ( $dZ$ ) je bitno da se prethodno realizuje *ground* automatska klasifikacija na celom oblaku tačaka. Pored definisanja visinskih odstupanja, analizirana su odstupanja i u horizontalnom smislu. Izvršeno je upoređenje osnova snimljenih objekata sa istim objektima snimljenim uslovno tačnom metodom.

- **Kalibracija oblaka tačaka**





SLIKA 1.47: Prikaz kontrolnih tačaka na teritoriji naselja Feketić

Sprovodi se na osnovu određenih razlika dZ. Razlika dZ nastaje upoređenjem kontrolnih tačaka (uslovno tačne vrednosti) i oblaka tačaka.

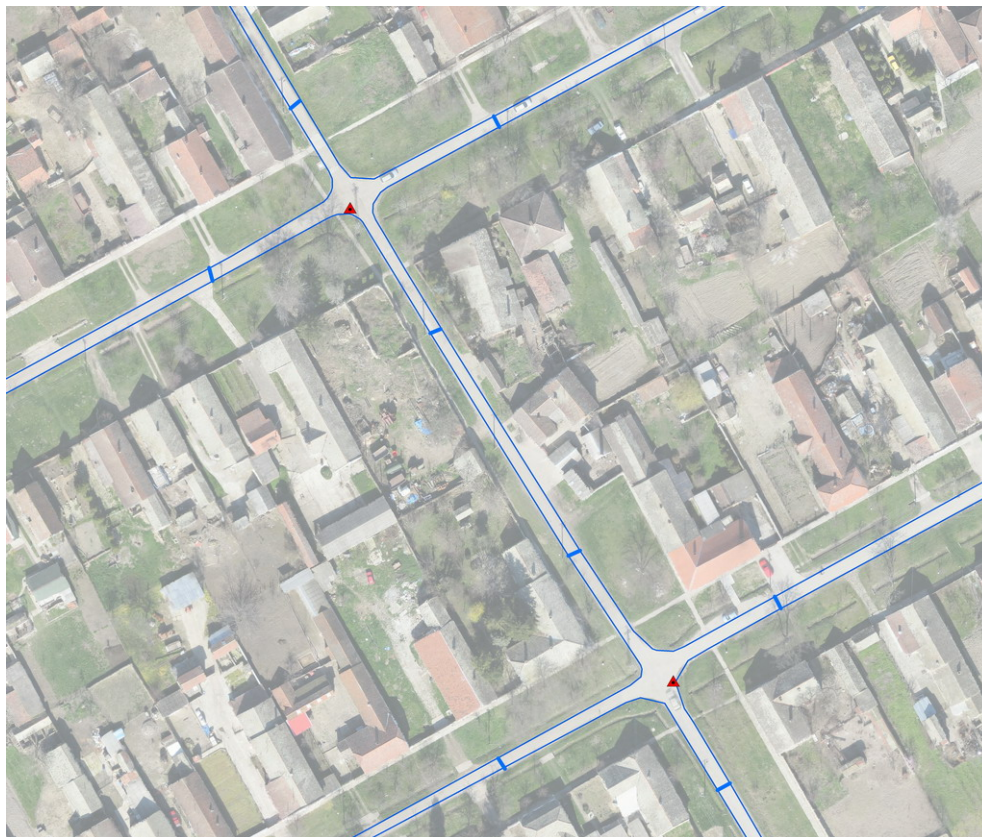
- **Analiza dobijenih podataka**

Realizuje se na uzorku određenom za analizu. Uzorak za analizu dobijenih rezultata definisan je poligonom ulica, što je objašnjeno u prethodnom poglavlju. Analiza podrazumeva definisanje vrednosti odstupanja tačaka određenih za analizu i tačaka generisanih oblakom tačaka. Na osnovu analize možemo doneti neophodne zaključke o tome da li je dovoljan izabrani broj tačaka za kalibraciju ili je neophodno povećati broj tačaka. Definisanjem razlika (odstupanja) tačaka snimljenih metodom precizne elektronske tahimetrije u zoni određenoj za eksperiment, i tačaka generisanih LiDAR i UAV sistemima moguće je definisati kriterijum gustine kontrolnih tačaka neophodnih za kalibraciju. Ukoliko su odstupanja veća nego što je zahtevana tačnost, povećava se gustina kontrolnih tačaka ili uvode kontrolni profili.

- **Poboljšanje kalibracije dodatnim tačkama ili kontrolnim profilima**

Ukoliko je analizom ustanovljeno da je neophodno povećati tačnost, povećava se broj kontrolnih tačaka i definišu se pozicije kontrolnih profila (Slika 1.48). Kontrolni profili su birani na određenim mestima (raskrsnice asfaltnih ulica) kako bi povećali tačnost kalibracije oblaka tačaka.

- **Analiza dobijenih podataka nakon završene kalibracije**



SLIKA 1.48: Šematski prikaz položaja kontrolnih profila

Analiza dobijenih podataka nakon završene kalibracije podrazumeva primenu statističkih metoda analize podataka i teorije grešaka na dobijenim rezultatima u cilju definisanja prirode nastalih odstupanja.

- **Usvajanje definitivnih parametara za kalibraciju**

Usvajanje definitivnih parametara za kalibraciju nastupa nakon završenih analiza, određivanja neophodnog broja kontrolnih tačaka i profila kako bi se zadovoljila tražena tačnost.

- **Kreiranje definitivno kalibrisanog oblaka tačaka spremnog za dalju obradu**

Ako su usvojeni definitivni parametri za kalibraciju, možemo realizovati definitivnu kalibraciju oblaka tačaka, na kome se dalje mogu primenjivati algoritmi klasifikacije i vršiti dalja obrada u cilju generisanja topografskih podloga.

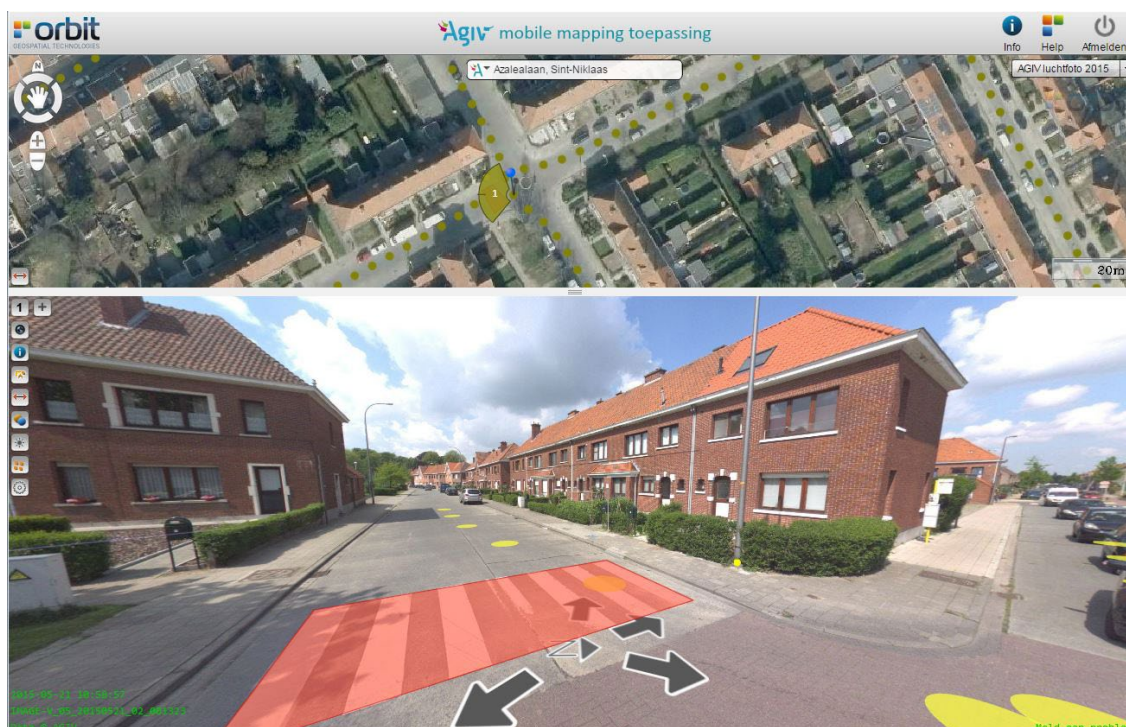


## Poglavlje 2

# Prethodna istraživanja

Savremene tehnologije premera postale su neizostavan faktor projekata iz oblasti inženjerske geodezije u Evropi i svetu danas, a sa njima i metoda mobilnog laserskog skeniranja iz vozila u pokretu, jedna od najpopularnijih metoda u LiDAR industriji danas.

Jedan od referentnih projekata, u kome je istaknut ceo potencijal primene savremenih tehnologija premera, odigrao se u Belgiji. U januaru 2017. godine objavljeni su poslednji podaci seta 3D LiDAR podataka visoke rezolucije. Projekat prikupljanja i obrade podataka trajao je dve godine. Za to vreme snimljena je cela putna infrastruktura oblasti Flandrija u Belgiji (nešto više od 64.000 km puteva).



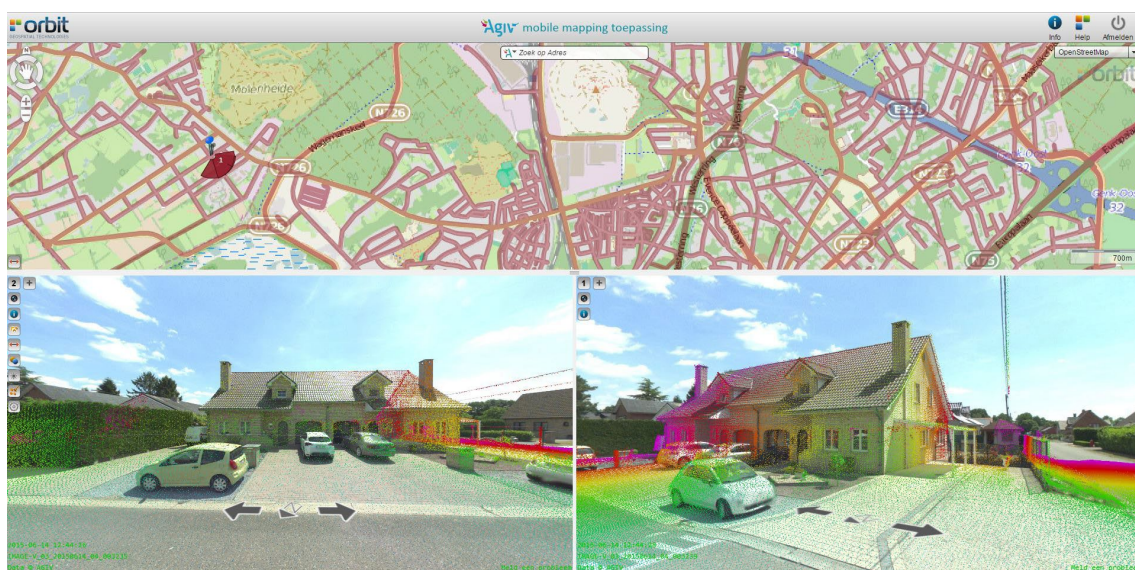
SLIKA 2.1: *Mobile mapping* aplikacija

Pored oblaka tačaka, sistem za mobilno mapiranje opremljen je kamerama visoke rezolucije, pa su dostupne panoramske fotografije. Svi generisani podaci

dostupni su besplatno za lokalne i regionalne vlasti. Kreirane su mrežne aplikacije i GIS softveri koji omogućavaju jednostavan uvid u prikupljene podatke (Slika 2.1).

Kod projekata ovog obima i važnosti do izražaja dolaze organizacija posla i efikasnost prikupljanja i obrade podataka. Za realizaciju je korišćen sistem *Topcon IP-S2 Compact + mobile mapping system*. On je opremljen kamerom od 360° koja snima fotografije na svakih 5 m. Fotografije su obrađene kao panoramske fotografije visoke rezolucije. Sa druge strane sistem poseduje pet skenera i ima mogućnost i brzinu skeniranja od 150.000 tačaka u sekundi.

Onlajn aplikacija omogućava pregled fotografija u bilo kom trenutku putem interneta i kombinuje panoramske fotografije i 3D oblaka tačaka. Softversko rešenje prilagođeno korisnicima (*user-friendly*) daje mogućnost pregleda slike i oblaka tačaka, izvođenje detaljnih merenja i osnovnu ekstrakciju elemenata prostora (Slika 2.2).



SLIKA 2.2: Aplikacija *Mobile mapping* - pregled fotografija i oblaka tačaka

Projekat je koncipiran tako da finalni produkt bude lako dostupan i jednostavan za korišćenje GIS početnicima i inženjerima, ali isto tako i da može obezbediti dovoljan broj kvalitetnih podataka za razne vrste analiza i budućih projekata. Bitno je naglasiti da kreirana aplikacija skladišti podatke mobilnog skeniranja iz prethodnih godina, tako da je moguće izvršiti uvid u stanje pre i posle izgradnje, rekonstrukcije itd. [2]. Slični projekti realizovani su širom Evrope. Nemačka, čija je cela teritorija snimljena ovakvim sistemima, prednjači među razvijenim zemljama.

Primene savremenih tehnologija premera u oblasti snimanja, mapiranja i GIS-a variraju u odnosu na zahteve tačnosti. Što se tiče LiDAR i UAV sistema, uglavnom se postavljaju zahtevi od oko nekoliko centimetara odstupanja. Obradi podataka generisanih nekim od ovih sistema prethodi kalibracija. U daljem tekstu opisana su neka iskustva kod kalibracije LiDAR i UAV sistema.

- Kalibracija LiDAR sistema

Kako bi se ispunili preduslovi definisane tačnosti i da bi se smanjio broj sistematskih grešaka, neophodno je na adekvatan način kalibrisati LiDAR senzor [52]. LiDAR sistemi se mogu kalibrisati u laboratoriji od strane proizvođača, ili na terenu. Međutim, kalibracija od strane proizvođača nije dovoljno stabilna. Usled toga, uobičajena je praksa da se LiDAR sistemi periodično dodatno kalibrišu. Tradicionalne metode podrazumevaju određivanje parametara kalibracije u iterativnom procesu manuelnog izravnjanja parametara. Ovaj postupak zahteva puno vremena i iskusnog i sposobnog operatera, a pored toga lako može doći do pogrešnog tumačenja uzroka nekih sistematskih grešaka. Jedan od najvećih izazova kod podataka LiDAR-a jeste što oblak tačaka ne obezbeđuje redundantnost usled toga što tačke ne padaju na istu lokaciju iako je skeniranje izvršeno više puta [52]. Metode kalibracije LiDAR sistema mogu se podeliti na geometrijske i automatske.

### Geometrijske metode kalibracije LiDAR sistema

Geometrijske metode kalibracije LiDAR sistema mogu se podeliti na rigorozne, kvazirigorozne i pojednostavljene. Rigorozne metode kalibracije zahteva sirova opažanja, dok se u pojednostavljenom modelu i kvazirigoroznom ne zahtevaju. Shodno tome, manje se koriste rigorozne metode, a u daljem tekstu predstavljene su druge dve metode. Pojednostavljena metoda sastoji se iz dva koraka: 1. određivanje odstupanja između paralelnih traka pomoću 3D transformacije i 2. procena odstupanja parametara sistema pomoću dobijenih parametara transformacije u prethodnom koraku. Ključan deo ovog postupka jeste definisanje veze između parametara transformacije i parametara LiDAR sistema. U ovoj metodi se pretpostavlja nekoliko stvari: linije leta su paralelne, putanja platforme je prava, *roll* i *pitch* uglovi platforme su jednaki 0, *boresight* uglovi su smatrani jako malim, površina objekata je gotovo ravna u poređenju sa visinom leta. U ovoj metodi se definiše koordinatni sistem u okviru preklapajućeg područja – Y osa je paralelna sa linijama leta, nalazi se na polovini rastojanja između njih i ima pozitivan smer u pravcu leta. X osa je postavljena duž linije skeniranja. Koriste se dva slučaja preklapanja traka: preklapanje 100 sa suprotnim linijama leta i preklapanje traka manje od 100 sa identičnim pravcem leta [13].

U radu [32] je prikazana metoda geometrijske kvazirigorozne kalibracije i radiometrijske korekcije LiDAR podataka, kojim se procenjuju odstupanja parametara sistema. Tačnost korigovanog oblaka tačaka određuje se na osnovu stepena kompatibilnosti između LiDAR kontrolnih površi pre i posle kalibracije. Kako kvazirigorozna metoda kalibracije zahteva samo vremenski definisan oblak tačaka i podatke o poziciji trajektorije, potrebni su samo podaci u preklapajućem delu traka. Ranije definisan matematički model postupka kalibracije zasnovan je na tačkama. Međutim, poklapanje tačke sa tačkom se ne može pretpostaviti kod LiDAR-a zbog iregularne prirode oblaka tačaka. Inovacija ove metode se ogleda upravo u tome što su, kao primitivni upareni elementi umesto tačaka, predstavljeni parovi tačke i elementa TIN strukture. Odstupanja parametara sistema računaju se pomoću parova tačka – TIN elemenat i stohastičkog Gaus – Markovljevog modela, i konačno se rekonstruiše oblak tačaka. Usled promene oblaka tačaka, poklapanje između tačaka



i TIN elemenata može se promeniti, pa je potrebno napraviti novi set parova i još jednom primeniti matematički model kako bi se dobile još bolje procene parametara sistema. Postupak se ponavlja sve dok se iz Gaus – Markovljevog modela ne dobije da su odstupanja parametara približno jednaka 0 [32].

U pojednostavljenom i kvazirigoroznom modelu kalibracija se vrši pomoću preklapajućih traka. Razlika između pojednostavljenog i kvazirigoroznog modela je u tome što kvazirigorozan model može da radi i sa neparalelnim trakama i linijama leta koje nisu prave, dok pojednostavljeni metod ne može. Takođe, u pojednostavljenom modelu zahtevane su dve različite visine leta kako bi se odredili parametri sistema i nije moguće odrediti odstupanje u lever-arm ofsetu duž Z ose [13].

### Automatska kalibracija

U radu [52] je prikazana metodologija automatske rektifikacije kalibracije parametara senzora putem ekstrakcije segmenata koji pripadaju ravni iz oblaka tačaka. Ovu metodu razvio je Peter Friess i komercijalno je dostupna u LiDAR Mapping Suite (LMS). Naime, metoda je zasnovana na iterativnoj rektifikaciji parametara kalibracije, kojom se smanjuju odstupanja između ravni u najvećoj mogućoj meri. Kao rezultat, sistematske greške se eliminišu ili im se smanjuje broj.

Laserske tačke se najpre organizuju u grid strukturu koja pokriva celo područje snimanja. Linije leta se pretražuju u cilju pronalaženja elemenata koji odgovaraju jednačini ravni. Svaka ravan određena je lokacijom centralne tačke, nagibom, orijentacijom i greškom uklapanja (definiše vertikalnu udaljenost do određene ravni svih tačaka koje je čine). Pomoću tih atributa testiraju se ravni koje se nalaze u preklapajućim zonama kako bi se uspostavila veza između njih [52].

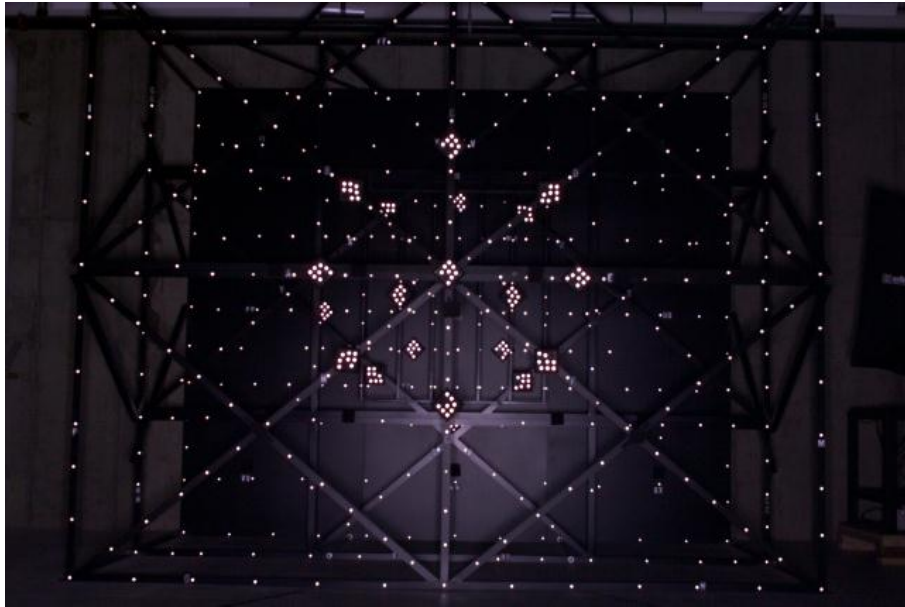
Za kalibraciju se bira samo podskup ravni, i to one ravni koje karakteriše glatkost i mala zakrivljenost. Nagnute ravni sa malom zakrivljenošću definišu se kao krovovi, pri čemu se linija vrha krova definiše dodavanjem iste ravni sa suprotnom orijentacijom. Ove linije se koriste kao dodatna informacija pri kontroli validnosti dobijenih rezultata [52].

Optimizacija parametara sistema postiže se izravnanjem po blokovima. Time se dobijaju korekcije parametara referentne ravni i parametri instalacije i senzora. Kako su mnogi parametri visoko povezani, ne preporučuje se procena svih parametara istovremeno. Zaključeno je da grupisanje parametara i procenjivanje grupe parametara pojedinačno daju najbolje rezultate. Na taj način, postupak određivanja parametara može se sprovesti više puta, pri čemu će uvek jedan deo parametara biti fiksiran i optimizovan, a drugi parametri izravnati [52].

Na osnovu dobijenih parametara preračunava se laserski oblak tačaka. Procene ravni i linija krovova su ažurirane i generišu se konačni parametri i grafici u cilju procene kvaliteta. Kontrolne ravni se mogu iskoristiti da bi se potvrdilo da procenjeni parametri kalibracije obezbeđuju optimalnu unutrašnju tačnost. Udaljenost od tačke do ravni pre i posle izravnanja se može koristiti za proveru kvaliteta. Ofset vrhova krovova koristi se da bi se odredilo u kojoj se ravni ne uklapaju međusobno. Da bi se sprovela potpuna procena kvaliteta, potrebne su kontrolne tačke koje se kod LiDAR-a definišu specijalnim metama [52].

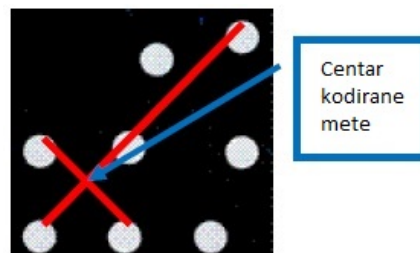
- Kalibracija UAV sistema

Pri bilo kakvom fotogrametrijskom postupku neophodno je tačno poznavanje parametara unutrašnje orijentacije senzora, odnosno kamere. USGS EROS u Južnoj Dakoti koristi dve metode kalibracije kamere, i to kamera sa žižnom daljinom između 20 mm i 120 mm. Obe metode uključuju prikupljanje slika meta sa različitih lokacija i orijentacija kamere. Istraživanjem je utvrđeno da su kalibracioni parametri dobijeni ovim dvema metodama dosta slični.



SLIKA 2.3: Aluminijski kavez za kalibraciju

Postupak kalibracije koristi principe samokalibracije i zajedničkog izravnjanja kodiranih meta lociranih na aluminijskom kavezu. Kavez se sastoji iz tri paralelna panela koji se sastoje iz većeg broja cirkularnih reflektujućih meta i nekoliko kodiranih meta (Slika 2.3). Način rasporeda cirkularnih meta je takav da su pozicije kodiranih meta jedinstvene (Slika 2.4).



SLIKA 2.4: Kodirana meta

Svaka kodirana meta ima 5 tačaka pozicioniranih na isti način kao crvena linija na slici 2.4. Presek crvenih linija definiše se kao centar kodirane mete. Pri kalibraciji, udaljenost kamere do prednjeg panela zavisi od žižne daljine kamere i

dubine izabranog fokusa. Nakon što se prikupe slike u kavezu, podaci se obrađuju u softveru „Australis” koji prepoznaje rasporede 12 kodiranih meta i računa njihov centar. Softver zahteva najmanje 4 kodirane mete na svakoj slici koje su zajedničke i za druge slike. Na osnovu njih određuje se inicijalno relativna orijentacija kamere. Nakon toga se koriste cirkularne metode kako bi se sprovelo zajedničko izravnjanje i da bi se odredila geometrija sistema (sočiva, kamera i mete) [70].



SLIKA 2.5: Kutija za kalibraciju

Druga metoda koristi kodirane mete na maloj rigidnoj kutiji, te pri tome nema potrebe za velikim kalibracionim kavezom. Dizajn kutije dimenzija približno 24 inča (spoljašnja ivica) x 12 (unutrašnja ivica) inča prikazan je na slici 2.4. Unutrašnji zidovi kutije nisu vertikalni već nagnuti za oko 30°. Kodirane mete se nalaze na svim unutrašnjim površinama kutije. Dizajn sistema omogućava jednostavnost izravnjanja slobodne mreže, koja ne zahteva spoljašnju kontrolnu strukturu. Prikuplja se ukupno 16 slika, 3 slike sa svake strane i po jedna slika sa sva četiri ugla. Slike se mogu takođe prikupiti u *landscape* i *portrait* modu [70].

U mnogim slučajevima je teško kreirati georeferencirani mozaik od mnogo malih slika dobijenih pomoću UAV sistema usled grešaka sadržanih u ovim jeftinijim sensorima navigacije. U cilju eliminisanja ovih grešaka definisana je metoda inverzne ortorektifikacije seta slika prikupljenih tokom leta pomoću GPA metode. GPA metoda pronalazi matricu transformacije između 3D koordinata kontrolnih tačaka na slici (okvir kamere) i geodetske pozicije istih tačaka na zemlji (navigacioni okvir). Nakon toga se računa centralna tačka skupa tačaka u oba koordinatna sistema i udaljenost svih tačaka do centralne tačke. Merena pozicija i orijentacija kamere koriste se kao preduslovi metode. Poređenjem podataka inverzne ortorektifikacije i merenih podataka sa senzora, pronalaze se pozicija, orijentacija i mnoge greške, kao što su kašnjenje GPS-a, kašnjenje skladištenja i odstupanja. Ovom metodom greške ortorektifikacije smanjuju se sa 60 m na manje od 1,5 m [44].

Pri ovom postupku kalibracije, kontrolne tačke se najpre postavljaju na terenu bez neke pravilnosti kako bi se dobilo jedinstveno GPA rešenje. Nakon toga, ove tačke se lociraju pomoću GPS prijemnika. UAV sada preleće preko ovih tačaka sve dok ne dostigne predviđenu udaljenost od tačke. Kada se ta udaljenost dostigne, UAV se okreće i preleće još jednom preko te tačke. Nakon što UAV sleti, automatski se identifikuju mete na svim slikama. Pomoću lokacija meta na slici i na terenu, GPA

računa poziciju i orijentaciju UAV sistema na svakoj slici. Poređenjem ovih podataka sa podacima senzora omogućava se pronalaženje pozicije, orijentacije, odstupanja i kašnjenja [44].

Još jedna metoda primenjena za kalibraciju sistema jeste izrada mozaika od serijskih slika prikupljenih sa UAV sistema. Na osnovu poznatih parametara spoljašnje orijentacije kamere, originalne slike se rektifikuju geometrijski pomoću interpolacije metodom najbližeg suseda. Pri tome se najpre preklapajuće područje dve slike prenosi u binarnu sliku. U tom regionu se zatim pronalaze karakteristike koje se ekstrahuju. Pomoću XOR operacije dobijaju se moguće poklapajuće pozicije buduće slike. NC (Normalized Correlation) metoda koristi se u cilju potvrde validnosti optimalnih poklapajućih pozicija čime se dve uzastopne slike prenose u jednu sliku u vidu mozaika. Funkcija transformacije intenziteta između ove dve slike koristi se kako bi se izgladio mozaik. Rezultati istraživanja prikazani u radu [33] pokazuju da se ova metoda izrade mozaika može efikasno primeniti u realnom vremenu u slučaju gustog detalja na području snimanja. Međutim, ukoliko se u području preklapanja dve slike ne nalazi puno karakteristika, ova metoda neće dati najbolje rezultate [43].

## Poglavlje 3

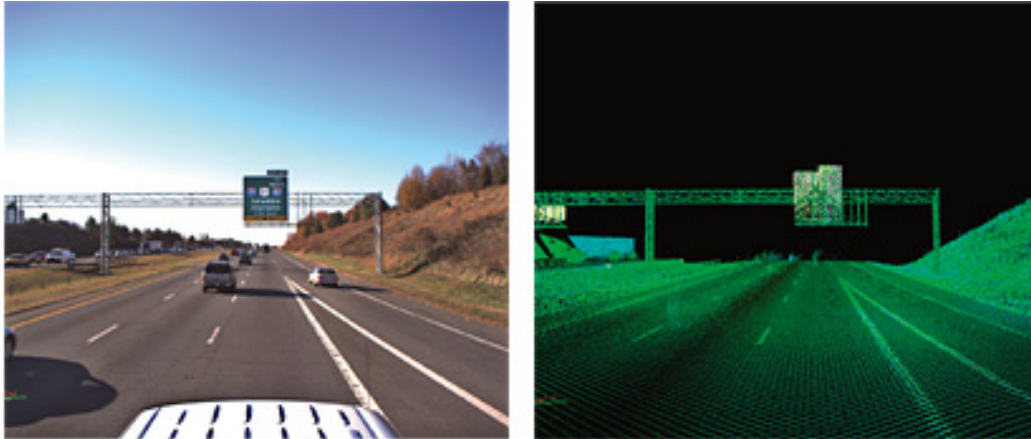
# Oblasti primene savremenih tehnologija premera

Savremene tehnologije premera našle su primenu u mnogim oblastima gde su podaci o prostoru od fundamentalne važnosti. Kako bi se ilustrovala široka primena ovih tehnologija dovoljno je pomenuti da se one koriste čak i u kreiranju realističnih 3D okruženja za filmove, video-igre i obuke pilota, simulaciju kretanja uragana i njegovih efekata, simulaciju zagađenja vazduha usled određene havarije i dr. U nastavku rada biće navedene neke od najvažnijih primena savremenih tehnologija premera.

### 3.1 Primena savremenih tehnologija kod premera urbanih sredina za potrebe izrade topografskih planova državnog premera i inženjerskih projekata

Snimanje saobraćajnica u drumskom i železničkom saobraćaju od velike je važnosti kako za izradu projekata izvedenog stanja, tako i za projekte buduće rekonstrukcije i izgradnje. U tom slučaju LiDAR podaci se mogu koristiti za detektovanje oštećenja kolovoza, odrona, nagiba terena, potrebe projektovanja itd. Na slici 3.1 prikazana je jedna deonica auto-puta snimljena LiDAR sistemom. Sa leve strane nalazi se realna fotografija, a sa desne oblak tačaka.

Postupak prikupljanja podataka o terenu može biti realizovan konvencionalnim geodetskim metodama ili savremenim metodama prikupljanja podataka. Prikupljanje podataka konvencionalnim metodama zahteva značajne investicije u zavisnosti od veličine koridora koji je predmet snimanja i ono je u mnogim slučajevima limitirano ili nemoguće zbog samih aktivnosti na koridoru. Otežavajuće okolnosti za prikupljanje podataka na ovaj način mogu biti doba dana i saobraćajne gužve. Pored toga, tradicionalne metode premera mogu biti i veoma opasne u situacijama kao što su aktivni radovi na izgradnji ili održavanju koridora. Održavanje infrastrukture koridora uključujući i prateću infrastrukturu (trotoari, mostovi, tuneli, petlje, konstrukcije za odvodnjavanje, znakovi i dr.) zahteva

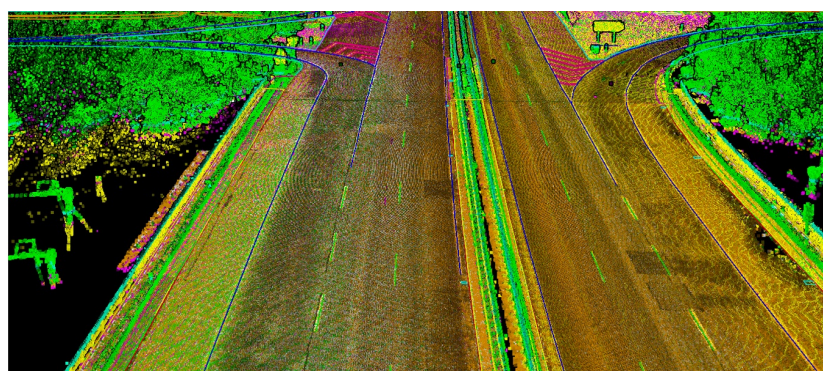


SLIKA 3.1: Mapiranje koridora

periodično praćenje. Aktivnosti na periodičnom prikupljanju takvih podataka koji će služiti za praćenje zahtevaju vreme i velika finansijska sredstva.

Moderne metode daljinske detekcije predstavljaju veoma isplativo i efikasno sredstvo za prikupljanje podataka o terenu i inventaru, kao i za praćenje i održavanje infrastrukture. LiDAR metoda prikupljanja podataka iz vazduha prepoznata je kao metoda koja omogućava brzo i isplativo prikupljanje veoma kvalitetnih podataka za velike površine terena. Ova metoda nudi niže troškove terenskih aktivnosti i troškove obrade podataka u odnosu na tradicionalne metode prikupljanja podataka, što je čini veoma privlačnom za različita istraživanja i obezbeđivanja podataka krajnjim korisnicima koji zahtevaju nižu cenu, visoku gustinu prikupljenih detalja i visoko kvalitetne i tačne proizvode visinske predstave terena i objekata. Sa trenutnim komercijalnim LiDAR sistemima moguće je snimiti preko hiljadu kvadratnih kilometara za manje od 12 sati i obezbediti georeferencirane podatke digitalnog modela terena u roku od 24 sata od završetka leta.

- Ground
- Low vegetation
- Medium vegetation
- High vegetation
- Buildings
- Walls
- Moving objects
- Noise-Low points
- Noise-Isolated points



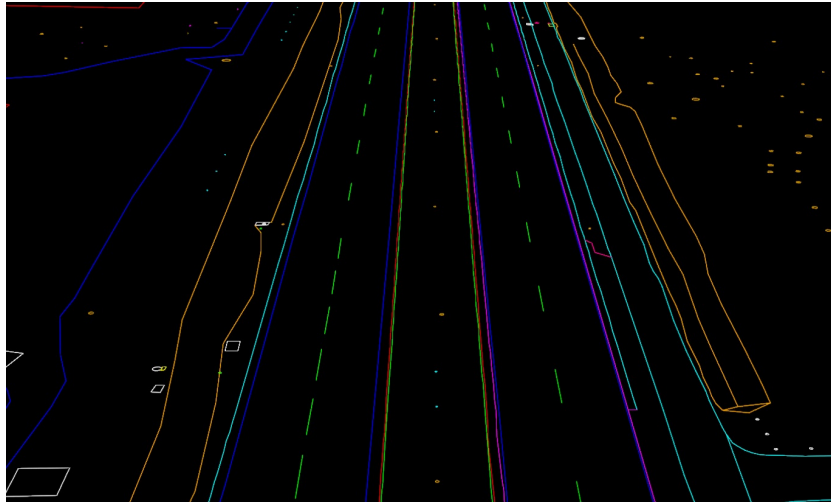
SLIKA 3.2: Klasifikovani oblak tačaka koridora auto-puta

Kao što je već rečeno, za potrebe kartiranja koridora, oblak tačaka je neophodno odrediti sa izuzetnom tačnošću i to sa velikom gustinom, kako bi se teren što detaljnije i tačnije predstavio. U skladu sa tim, LiDAR senzor se najčešće postavlja na helikopter ili sličnu platformu koja omogućava sporiji let, kao i let na nižim visinama.



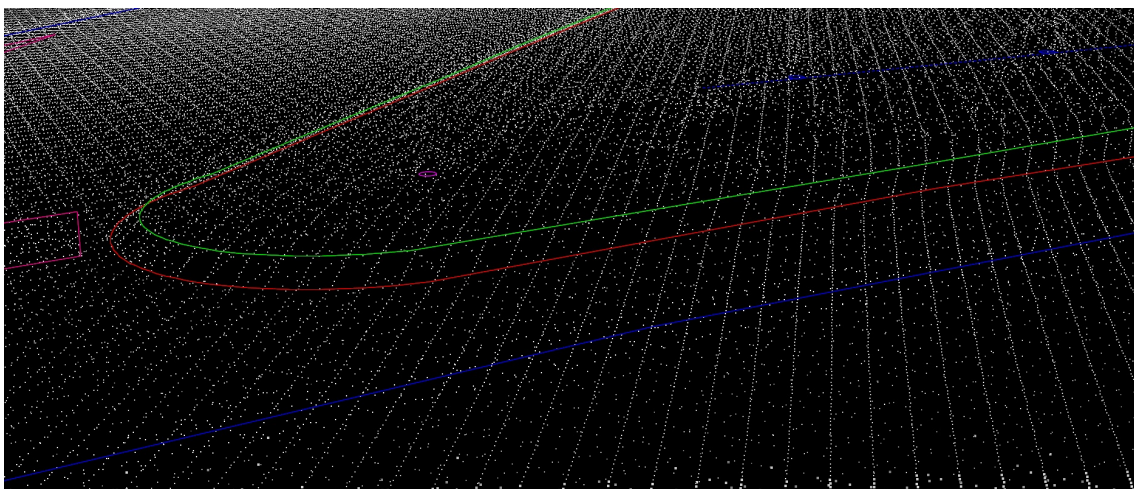
Sa takvim karakteristikama platforme i uz odgovarajuće podešavanje samog LiDAR sistema moguće je prikupiti oblak tačaka izuzetne tačnosti i gustine. Na slici 3.2 prikazan je klasifikovani oblak tačaka jednog dela koridora puta. Prikupljeni podaci su od izuzetne važnosti kod planiranja izgradnje koridora, pri izvođenju radova, pri detektovanju mesta kojima treba popravka i dr. Najčešće se za snimanje koridora puteva koriste LiDAR sistemi montirani na vozilo (*Street Mapper*) pri čemu se snimanje vrši u pokretu. Funkcionisanje ovih sistema je opisano u poglavlju 2.2.3.

Detaljnou obradom prikupljenih podataka vrši se ekstrakcija strukturnih linija prostora u cilju generisanja preciznih *Cad* modela i podloga za projektovanje 3.3.



SLIKA 3.3: AutoCad model koridora auto-puta

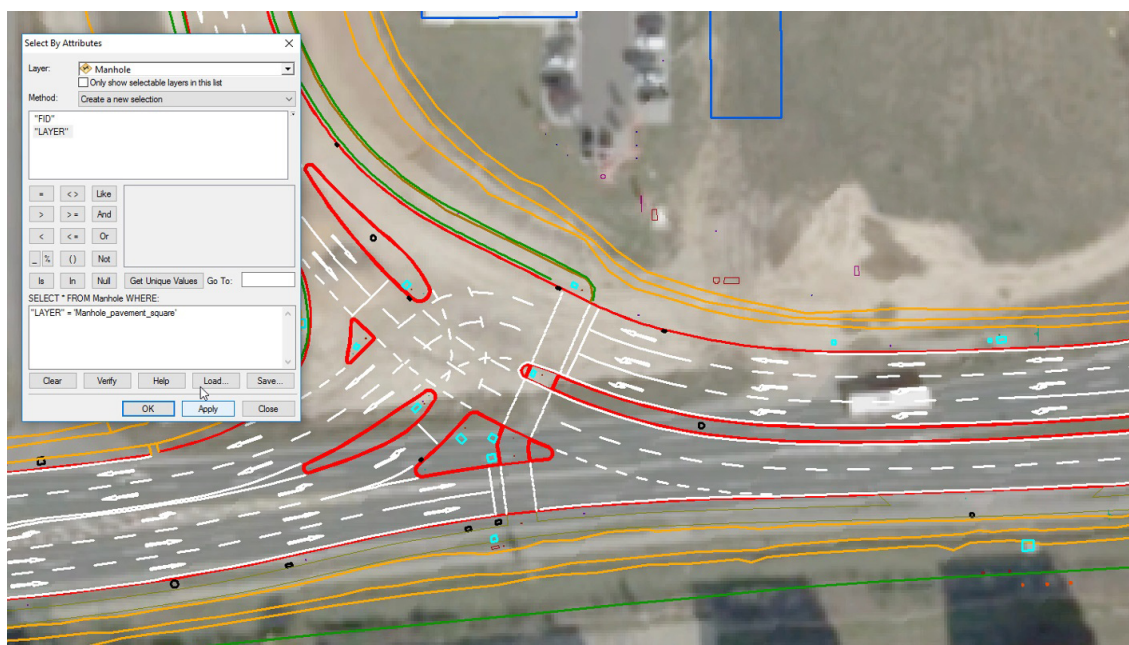
Posebna pažnja u obradi podataka posvećena je ekstrakciji strukturnih linija ivičnjaka i kanala, za čije potrebe generisani oblak tačaka mora imati neophodnu gustinu tačaka kako bi ekstrakcija bila uspešna.



SLIKA 3.4: Ekstrakcija strukturnih linija ivičnjaka

Na slici 3.4 dat je perspektivni prikaz jednog dela oblaka tačaka na kojem se vide ekstrakovane linije ivičnjaka.

Radi efikasnijeg i isplativijeg upravljanja infrastrukturom koridora kreiraju se GIS sistemi koji omogućavaju lakše definisanje lokacija, skladištenja atributivnih podataka i njihovo predstavljanje na kartama, razne analize i dr. Na slici 3.5 prikazana je GIS aplikacija koridora puta, na kojoj se vide različiti tipovi prikupljenih podataka i mogućnost kreiranja različitih vrsta upita.



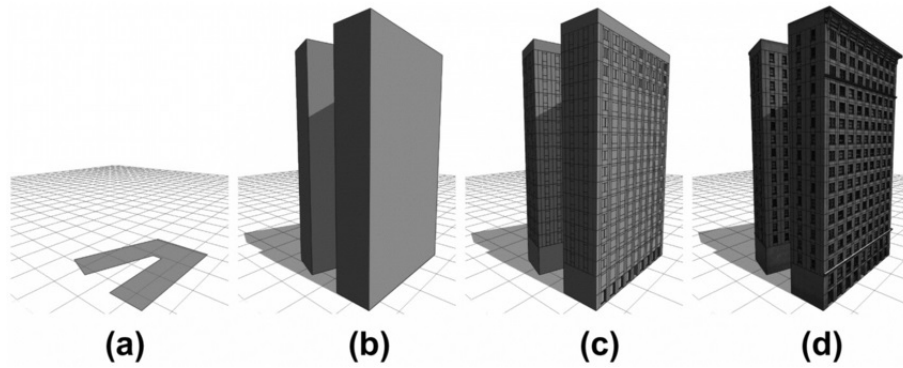
SLIKA 3.5: GIS aplikacija koridora puteva

## 3.2 Primena savremenih tehnologija premera za potrebe urbanizma i prostornog planiranja

Kreiranje modela urbanih područja ima veoma važnu ulogu u raznim aspektima savremenog života, kao što su upravljanje životnom sredinom, prostorno planiranje, nadzor i kontrola šteta nastalih usled elementarnih nepogoda. Savremene tehnologije prikupljanja 3D podataka, kao dokazano efikasne tehnike, stekle su veliku popularnost u generisanju i rekonstrukciji modela objekata. U poslednjih 15 godina došlo je do ubrzanog razvoja automatskih i poluautomatskih procedura za generisanje 3D modela urbanih područja. Pri generisanju ovakvih modela moguće je koristiti pomoćne podatke, kao što su georeferencirani aviosnimci, digitalni ortofoto, 2D katastarski planovi i dr.

Kreirani 3D model objekata predstavlja generalizovan i umanjen virtualni prikaz realnog objekta. Rezolucija u kojoj će model biti prikazan, predstavlja veličinu aproksimacije modela objekta i stvarnog objekta. Na slici 3.6 prikazan je jedan 3D model objekta u različitim nivoima detaljnosti. Prvi nivo detaljnosti (a) predstavlja jednostavan digitalni model površi sa vidljivom osnovom objekta; nivo detaljnosti





SLIKA 3.6: Modeli objekata – prikaz različitih nivoa detaljnosti modela

pod (b) predstavlja strukturu blokova objekata bez informacija o krovu objekata i ostalim detaljima; nivo detaljnosti pod (c) predstavlja strukturu blokova objekata kombinovanu sa informacijama o krovovima objekata; nivo detaljnosti pod (d) daje detaljne informacije o fasadi objekta.

Ukoliko govorimo o 3D modelima objekata generisanih od podataka dobijenih LiDAR sistemima premera iz vazduha, uglavnom se radi o modelima sa nižim nivoom detaljnosti jer se tačke dobijene ovom metodom uglavnom odnose na krovove objekata pa kreirani modeli vrlo retko sadrže informacije o fasadama. U skladu sa tim, razvoj metoda za automatsko generisanje objekata iz LiDAR podataka je uglavnom fokusiran na razvoj algoritama za ekstrakciju geometrijskih oblika krovova. U kombinaciji sa drugim parametrima kao što su lokalne varijance i morfološke karakteristike i primenjujući specifične algoritme moguće je veoma pouzdano detektovati i generisati objekte [80].

Kreirani modeli urbanih područja koriste se i za potrebe procene vrednosti nepokretnosti, u detekciji promena nastalih usled gradnje novih i uklanjanju postojećih objekata. Svoju primenu nalaze i kod planiranja sistema drenaža i vodova u gradskim područjima. Detaljne i precizne topografske podatke, neophodne za navedene primene gotovo je nemoguće prikupiti konvencionalnim metodama prikupljanja podataka usled neprestanih aktivnosti koje diktira urbani način života. Glavne karakteristike LiDAR metode prikupljanja podataka kao što su tačnost, gustina i brzina prikupljanja su karakteristike koje čine ovu metodu nezaobilaznom u kreiranju geoinformacionih sistema urbanih područja koji služe za vizuelizaciju, planiranje, dr.

### 3.3 Primena savremenih tehnologija premera kod prikupljanja podataka za izradu DTM-a

Jedna od najbitnijih oblasti primene savremenih tehnologija premera je svakako DTM kao osnova mnogih vrsta projektovanja. Izvori podataka, kao i metode izrade DTM-a, značajno su evoluirale tokom proteklih 20 godina, od premeravanja i konverzije topografskih mapa u digitalni oblik do metoda daljinske detekcije, LIDAR i RADAR podataka. Ustanovljene su tri osnovne klase podataka DMT-a:

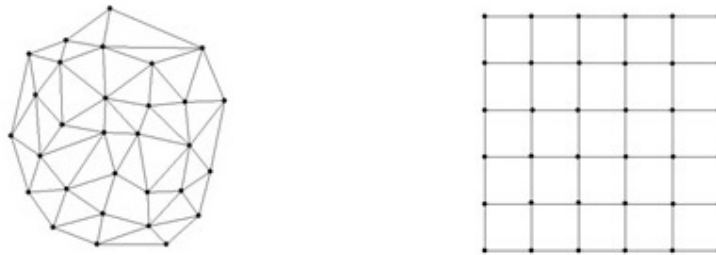
1. podaci prikupljeni metodama premeravanja terena (upotreba elektronskih teodolita, totalnih stanica i GPS uređaja);
2. podaci dobijeni sa postojećih topografskih podloga (digitalizacija i prevođenje topografskih podloga u digitalni oblik);
3. daljinska detekcija (avionska i satelitska fotogrametrija, stereo-metode, laserski sistemi).

Raspolaganje sa potpunim, verodostojnim, jednostavnim za korišćenje i pravovremenim informacijama o geografskim pojavama i činiocima i njihovim uticajima, uslov su donošenja pravilnih odluka prilikom izvršavanja različitih zadataka u različitim situacijama. Dosadašnji pristup prostoru ograničavao se na više ili manje statične informacije, da bi razvojem i uvođenjem GIS tehnologija mnogi, uslovno, neprostorni podaci dobili prostorno značenje. Time je načinjen skokoviti prelaz na kvalitativno viši nivo prikupljanja, čuvanja, analize i prezentacije geografskih informacija. Posebno veliki napredak učinjen je u digitalnom prezentovanju topografske površine i grafičke vizuelizacije njenih morfometrijskih elemenata. Ranije su se skoro svi postupci geomorfometrijskih proračunavanja izvodili manuelno, uglavnom koristeći topografske karte određene razmere. To je zahtevalo dosta vremena i napora, a preciznost i tačnost dobijenih rezultata bila je subjektivno određena. Sada kvantitativna analiza reljefa, na osnovu izrađenih digitalnih modela, omogućava znatno brže, kvalitetnije, kompleksnije i preciznije sagledavanje topografske površine. Kada se posmatra samo vizuelna strana digitalnog modela, njihova prednost jeste u tome da pružaju stvarni doživljaj prostora (vizuelizaciju). Naime, moguće je zumirati i proizvoljno rotirati posmatrani prostor, podešavati pozicije i objekte posmatranja, što omogućava potpuni uvid u situaciju na terenu za samo nekoliko sekundi. Međutim, stvarna namena digitalnog modela je izvođenje brojnih složenih morfometrijskih analiza u okruženju GIS alata: automatskom izračunavanju površina, automatskom iscertavanju uzdužnih i poprečnih profila, sagledavanju ekspozicije padina, izračunavanju nagiba reljefa, analizi konkavnih površina, analizi dogledanja i drugog. Prednost navedenog načina analize je očigledna. Pre svega, prednost je u uštedi vremena, a takođe i u tačnosti dobijenih podataka.

Osnovni i do sada najširi primenjivani vid prikaza terena je topografska karta. Ona predstavlja bogat izvor podataka o svojstvima reljefa neophodnim za kvantitativnu i kvalitativnu analizu. Topografska karta može se javiti u dva suštinski različita vida. Prvi, konvencionalni način predstavljanja terena obuhvata prikaz reljefa izohipsama i drugi, savremeniji prikaz terena, nastao sa razvojem računarske tehnike, jeste digitalni model terena (DTM). Sam DTM predstavlja matematički definisanu kontinualnu površ u digitalnom obliku koja reprezentuje teren. To podrazumeva da se radi o „modelu” terena u kojem je površ egzaktno matematički definisana i koji omogućava dobijanje vrednosti površi u svim tačkama terena, a ne samo u tačkama u kojima su izvršena merenja. To se obično izvodi primenom neke od metoda interpolacije. Na ovako definisanom digitalnom modelu terena, korišćenjem standardnog GIS alata, moguće je izvoditi sve željene proračune: visina za datu poziciju u horizontalnom smislu, vrednost nagiba u zadatoj tački, pravac maksimalnog nagiba, krivina (zakrivljenost) površi u zadatoj tački, vizuelizacija

modela terena, geostatistička analiza i drugo. Dakle, DTM predstavlja verno prikazan matematički model površi terena koji omogućava razne analize. Da bi se analize mogle efikasno izvoditi, imajući u vidu da se DTM sastoji od velike količine podataka, potrebna je posebna organizacija i struktura podataka. U suštini, sam proces formiranja DTM-a sastoji se iz izbora i implementacije odgovarajuće strukture i organizacije podataka i odgovarajuće metode interpolacije.

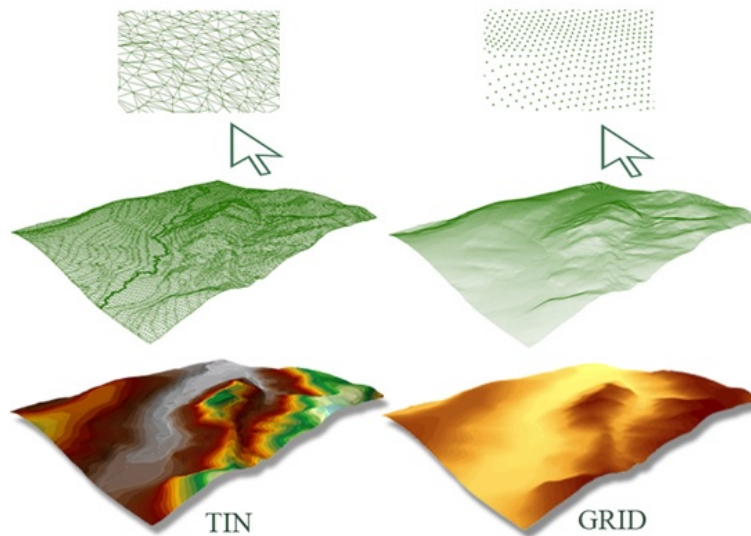
Najpoznatiji i najrasprostranjeniji modeli terena su modeli zasnovani na gridnoj (rasterskoj) strukturi i digitalni modeli bazirani na TIN (Triangulated Irregular Network) strukturi podataka. Grid (pravilna mreža) predstavlja najjednostavniji način i najčešće primenjivani način za predstavljanje površi terena. Predstavljanje terena preko grida sastoji se u tome da se površ terena predstavi preko skupa tačaka sa poznatim visinama uređenim u pravilnu mrežu tačaka. Za razliku od običnog rasterskog formata, gde vrednost piksela prikazuje određenu boju, kod grida svaki piksel ima vrednost nadmorske visine. Prednosti ovakog načina predstavljanja terena jeste da se za manipulaciju DMT-om mogu koristiti jednostavne operacije i formati zapisa podataka koji se standardno primenjuju u oblasti GIS-a. Glavni nedostatak grida je to što nije prilagođen za predstavljanje karakterističnih zemljišnih objekata zadovoljavajućom tačnošću. Naime, prelomne linije terena, vododelnice, vodoslivnice, vrhovi, dna i sitni zemljišni oblici ne mogu se na ovaj način dovoljno tačno modelovati. Zato optimalni izbor veličine elemenata grida (rastera) predstavlja važan faktor, koji u velikoj meri utiče na kasniju obradu podataka i kvaliteta dobijenih podataka. S obzirom na razvoj performansi računarskih komponenti, nedostaci grid DTM modela su sve manje izraženi (Slika 3.7).



SLIKA 3.7: TIN i grid modeli

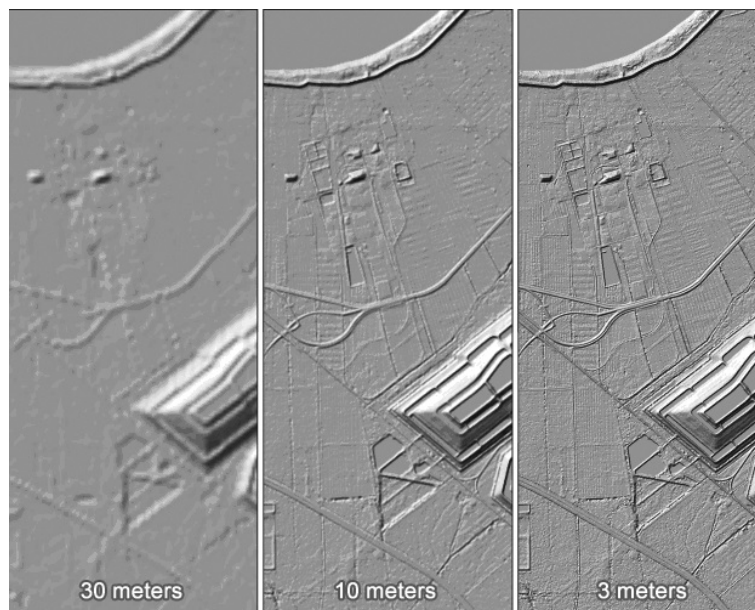
TIN pripada grupi nestrukturiranih mreža, a njihovo korišćenje za modelovanje DTM-a je veoma zastupljeno u brojnim GIS softverskim paketima. Kod ovog modelovanja površi terena čvorovi TIN-a su tačke trouglova sa poznatim visinama. Trouglovi TIN-a su međusobno povezani u kontinuitetu, tako da što bolje aproksimuju površ terena. Glavna prednost TIN strukture podataka, u odnosu na grid, jeste što se TIN vrlo lako prilagođava svim vrstama ulaznih podataka i raznim oblicima terena, dok osnovni nedostatak modelovanja TIN-a, s obzirom na nepravilnu strukturu podataka, jesu komplikovani algoritmi za obradu podataka (Slika 3.8).

Do pojave UAV i LiDAR sistema, primarne metode za prikupljanje podataka bile su tahimetrija i GPS. Te metode se koriste kao primarne metode za prikupljanje podataka, posebno za mikrolokacije i projekte koji zahtevaju visoku tačnost. Nisu



SLIKA 3.8: TIN i grid vizuelizacija

efikasne za premeravanje većih površina i, u poređenju sa savremenim tehnologijama premera, neuporedivo su sporije.



SLIKA 3.9: Prikaz različitih rezolucija DTM-a

Metoda koja se koristila za rapidno prikupljanje podataka na većim površinama je fotogrametrijska metoda koja uz pomoć odgovarajućeg preklopa digitalnih fotogrametrijskih snimaka ima mogućnost generisanja oblaka tačaka velike gustine. Problemi prilikom upotrebe ove metode javljaju se kod snimanja područja koja su obrasla vegetacijom i šumom. Takođe, problemi se javljaju pri obradi podataka koji su pokriveni senkom, gde je automatska i vizuelna identifikacija skoro nemoguća.

Pored ovih problema, koji su razmatrani u prethodnim poglavljima, UAV sistemi su veoma pogodni za mapiranje područja koja nisu obrasla vegetacijom kao što su površinski kopovi rudnika. Na ovaj način se jednostavnim snimanjima u iteracijama između perioda iskopa, može doći do DTM-a iz svake faze napredovanja radova. Analize i mogućnosti koje proizlaze iz ovakvog načina snimanja su višestruke, a jedna od mogućnosti je i računanje kubatura iskopa, za šta se najčešće i koriste ovakvi sistemi.

Sa druge strane, prednost LiDAR sistema je u tome što emitovani laserski zrak može imati višestruku refleksiju signala, što je objašnjeno u potpoglavlju 1.6.1.4.1. Po završetku snimanja dobijamo veoma detaljan oblak tačaka sa već razdvojenim klasama (na primer, tačaka terena i vegetacije). Primenom dodatnih algoritama klasifikacije kreiramo klasu tačaka terena koja je osnova dobijanja korektnog DTM-a. Od gustine snimljenih tačaka, tačnosti klasifikacije i kreiranja ove klase zavisi i rezolucija i tačnost kreiranog DTM-a, što se vidi na slici 3.9, na kojoj su prikazani modeli rezolucije 30 metara, 10 metara i 3 metra.

Jedna od značajnijih oblasti u kojima važnu ulogu igra kvalitet DTM-a je zaštita od poplava. U današnje vreme promena klimatskih uslova na teritoriji cele planete, poplave su postale pitanje od sve većeg značaja širom sveta. One su sve češće, a njihove posledice sve ozbiljnije. Uzrokovane su kao posledica sve većih padavina uslovljenih novim klimatskim promenama. Sa druge strane, rizik od poplava u urbanim područjima je sve veći. Nastaje kao posledica povećane izgradnje na plavnim područjima, kao i zbog kontinualnog razvoja korišćena zemljišta. Zbog gore navedenog, dolazi do oticanja voda u površinskim slivovima i u kanalizacijama čime se značajno povećava rizik od poplava u urbanim sredinama.

Glavni sastavni deo svih hidrauličkih modela i proračuna je DTM koji igra važnu ulogu u automatskoj ekstrakciji hidroloških karakteristika, čime doprinosi efikasnosti procesiranja i povećanoj tačnosti. Bitno je napomenuti da tačnost hidroloških modela direktno zavisi od tačnosti i rezolucije DTM-a. Po svim ovim parametrima LiDAR metoda se izdvaja kao primarna metoda koja obezbeđuje najbolju tačnost i gustinu prikupljenih podataka kao i zbog svoje isplativosti kod snimanja većih površina.

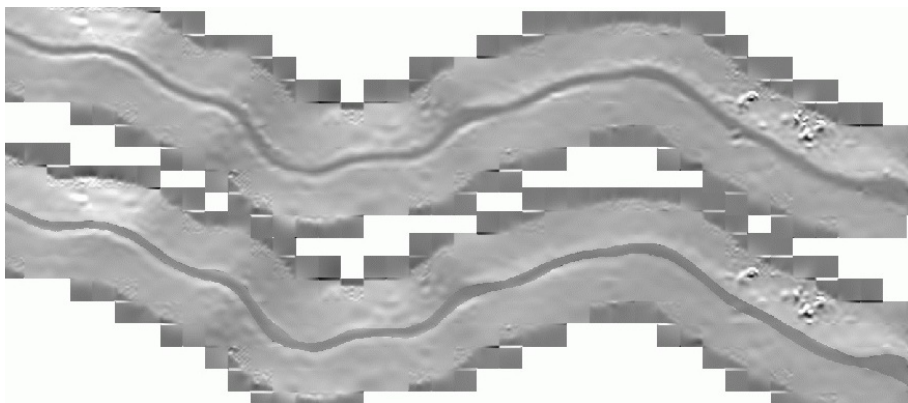
Za potrebe preciznih hidrauličkih proračuna neophodno je imati precizno definisane strukturne linije rečnih korita i nasipa. Georeferencirani ortofoto-planovi područja reka mogu biti iskorišćeni za dobijanje preciznih strukturnih linija rečnih korita i nasipa. Strukturne linije obrađene na ovaj način omogućavaju popravljavanje DTM-a u široj zoni projekta i njegovu kalibraciju u zonama očekivanih plavnih površina (Slika 3.10). Na slici 3.11 prikazan je primer integracije strukturnih linija u DTM. U gornjem delu slike 3.11 prikazan je model bez integrisanih strukturnih linija, dok je na slici ispod prikazan model sa integrisanim strukturnim linijama.

Metoda automatizovane digitalne fotogrametrije upotrebom UAV sistema, takođe je primenljiva kod ovakve vrste problema. UAV sistemi se uveliko koriste za potrebe mapiranja, ali je neophodno istaći njihov glavni nedostatak koji dolazi do izražaja kod područja koja su prekrivena vegetacijom. U takvim slučajevima koristi se kombinacija ove i neke druge metode snimanja.

Značajno unapređenje performansi hidroloških modela postiže se implementiranjem koeficijentata trenja na mikrolokacijama. Ovo se postiže integrisanjem objekata i ostale nadzemne infrastrukture koju je moguće obezbediti



SLIKA 3.10: Zona očekivanih plavnih površina



SLIKA 3.11: Integracija strukturnih linija u DTM-u

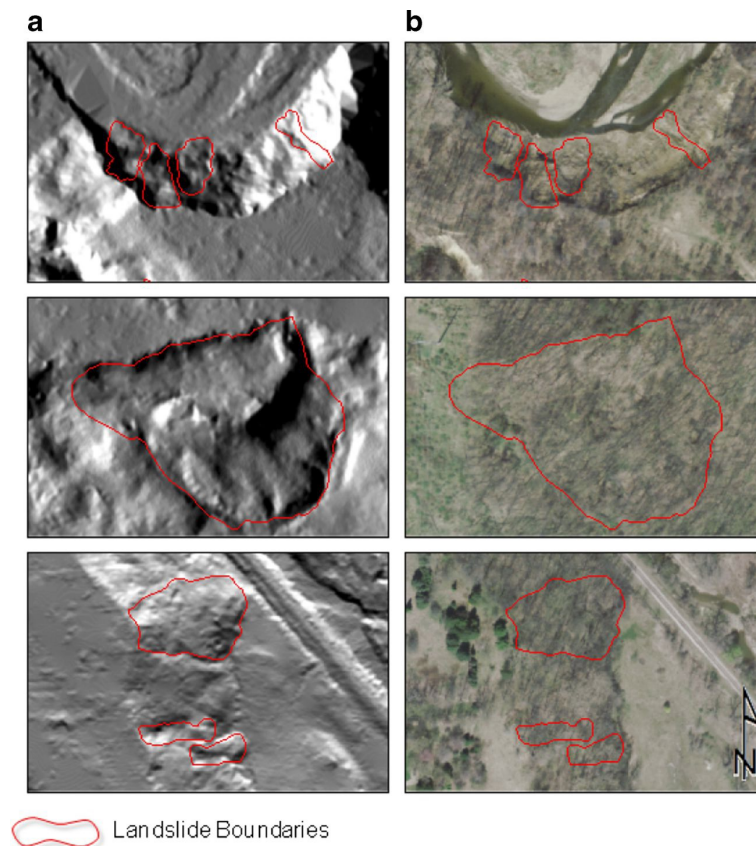
LiDAR snimanjem. Sa ovakvim podacima i detaljnim DTM-om, imamo mogućnost vršenja simulacija poplava i odbrane od poplava.

Još jedna bitna oblast primene, značaja i važnosti DTM-a je zaštita i saniranje klizišta. Ona predstavljaju izvor čestih i stalnih deformacija na površini Zemlje. Efekat klizišta ima vrlo važne društvene i ekonomske posledice na ljudsko društvo u celini, pa je njihovo kontinuirano praćenje obaveza savremenog društva.

Pre postojanja savremenih tehnologija premera, kao što su LiDAR, UAV, RADAR i fotogrametrija, praćenje klizišta bilo je zasnovano na opažanju pojedinačnih tačaka. Za ove potrebe koristile su se totalne stanice i GPS uređaji. Na taj način se monitoring vršio samo na pojedinačnim tačkama na onim mestima koja su proglašena mestima visokog rizika. Ipak, na taj način nije bilo moguće dobiti kompletnu sliku pomeranja koja je od velikog značaja za razumevanje kinematike klizišta i utvrđivanje trenda pomeranja [40].

DTM modeli generisani LiDAR sistemima koriste se za identifikaciju klizišta kroz modele visoke rezolucije (*hillshade*) u kombinaciji sa mapama nagiba i konturama. *Hillshade* je primarni set podataka kada govorimo o mapiranju klizišta i dobija se iz DTM-a sa određenim parametrima osvetljenja. Korišćenjem ovakvih derivata DTM-a, dobija se 3D pseudoslika pejzaža. Osvetljenje i senčenje koriste se za naglašavanje geomorfoloških funkcija klizišta [28].





SLIKA 3.12: Vizuelizacija klizišta

Efikasnost LiDAR izvedenih proizvoda, posebno obojenih mapa reljefa, omogućava veće poverenje u tumačenju klizišta i obezbeđuje više podataka za analiziranje u odnosu na tradicionalne metode i fotogrametrijska tumačenja [28]. Glavna prednost LiDAR sistema kod mapiranja i analiziranja klizišta je vizuelizacija terena kroz više kombinacija, što omogućava bolje razumevanje tih procesa i dovodi do mogućnosti predikcije i sprečavanja šteta većeg obima (Slika 3.12). Sa napretkom tehnologije radi se na poboljšavanju postojeće metode praćenja i saniranja klizišta, ili na uspostavljanju novih, gde je LiDAR tehnologija svakako nezaobilazna.

Sa druge strane, UAV sistemi su se pokazali kao pogodno rešenje za dokumentovanje klizišta, analizu pomeranja i tipova pukotina. U Francuskoj je vršeno snimanje terena pogođeno klizištem Super-Sauze. Pomoću UAV sistema prikupljene su slike i kreiran je ortomozaik visoke rezolucije celog klizišta, kao i digitalni modeli terena. Procenjena je mogućnost korišćenja UAV sistema za predstavljanje pukotina i pomeranja površine klizišta. Za klizište Super-Sauze izmereno je horizontalno pomeranje od 7 m do 55 m na osnovu ortofoto-snimaka iz maja 2007. i ortomozaika dobijenog pomoću UAV sistema oktobra 2008. godine, što daje dnevno pomeranje od oko 0,1 m do 0,01 m. Na osnovu svih informacija identifikovana su područja perzistentnih deformacija [60].

Drugi primer primene UAV sistema kod praćenja klizišta je nestabilno područje u opštini La Guardia na jugu severne pokrajine Alava u Španiji. To područje je snimano od 2012. do 2014. godine. Izvršeno je upoređenje dobijenih podataka

sa podacima prethodnih konvencionalnih, aerofotogrametrijskih i LIDAR snimanja. UAV je opremljen GPS-om i INS jedinicom; visina leta je oko 90 m, što je omogućilo pokrivanje područja od oko 250 m x 100 m sa veličinom piksela 2,5 cm. Orijehtacija UAV leta sprovedena je pomoću kontrolnih tačaka na zemlji merenih pomoću GPS-a, dok je prethodno snimanje direktno georeferencirano u okviru pozicije leta i podataka inercijalne jedinice. Nekoliko kontrolnih tačaka iskorišćeno je kako bi se svi snimci preveli u isti referentni sistem. Digitalni modeli svih snimanja su napravljeni na osnovu automatske korelacije slike, pa su na osnovu njih sračunati diferencijalni modeli kako bi se odredila horizontalna i vertikalna pomeranja tačaka. Izvršena je i analiza veza razmeštaja i padavina u poslednje vreme na tom području. Na slici 3.13 prikazani su ortofoto-snimci i dobijeni vektori pomeranja tačaka između 2010. i 2012 godine. [25].

### **3.4 Primena savremenih tehnologija premera za potrebe izrade topografskih podloga šumskih područja.**

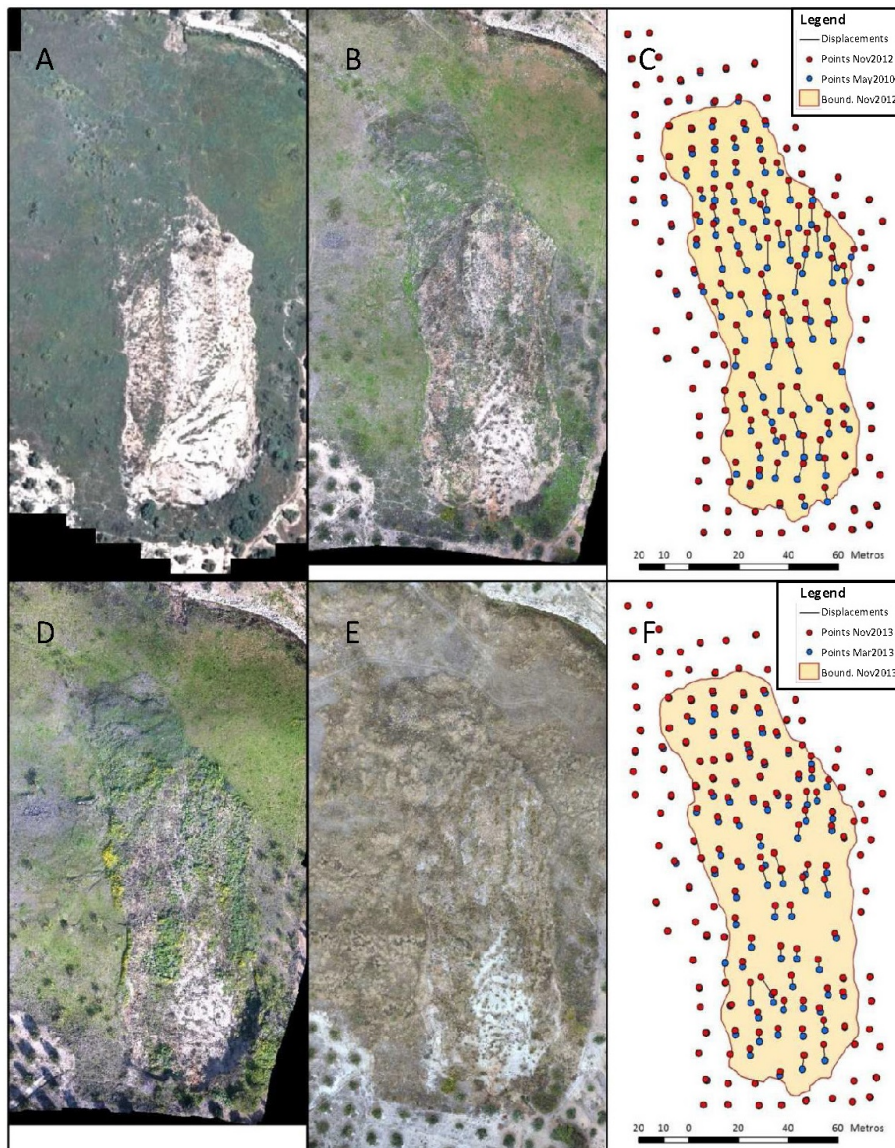
Daljinska detekcija predstavlja jedan od primarnih alata za analizu šumskih sistema. Pored savremenih tehnologija premera, postoji mogućnost snimanja konvencionalnim metodama, ali sa neuporedivo manje detalja i za neuporedivo duži vremenski period. Oblak tačaka, kao primarni produkt generisan LiDAR sistemom, bilo na avionskoj ili helikopterskoj platformi, može biti korišćen za potrebe određivanja broja stabala u šumama, merenje prečnika stabala, merenje prečnika krune drveta, određivanje zapremine biomase, razdvajanje zimzelenih i četinarskih šuma itd. (Slika 3.14).

U novije vreme, uz razvijanje senzorske tehnologije koja je napredovala i dobila mogućnost postizanja bolje rezolucije kao i LiDAR sistemi, postalo je moguće detektovati individualna stabla [41]. Kako je opisano u [41], za potrebe određivanja položaja pojedinačnih stabala u mešovitoj šumi četinara korišćeni su vektorski podaci i algoritam za segmentaciju oblaka tačaka, rasterski podaci OBIA (Object-Based Image Analysis) i CHM (Canopy Height Model) (Slika 3.15).

Osnovni principi inventurizacije šumskih prostora zasnovani su na uporednoj analizi oblaka tačaka. Analizom DMT-a i DSM-a (o čemu je bilo reči u potpoglavlju 2.2.2) moguće je odrediti visinu vegetacije u šumskim područjima. Naime, prvi odbitak potiče od krošnje drveta (najviše tačke), dok poslednji potiče od površine zemlje (najniže tačke). Detektovanje zimzelene i četinarske vegetacije moguće je ciljnim snimanjima područja. Ukoliko je LiDAR snimanje izvršeno u zimskom periodu (periodu smanjene vegetacije), moguće je detektovati zimzelene šume zahvaljujući činjenici da se lišće na ovom tipu vegetacije zadržava i u toku zimskog perioda. Kod zimzelenih šuma, u poređenju sa četinarskim, slabija je penetracija lasera usled veće količine lišća, dok je broj tačaka dobijenih iz prvog odbitka znatno veći kod zimzelene nego kod četinarske vegetacije.

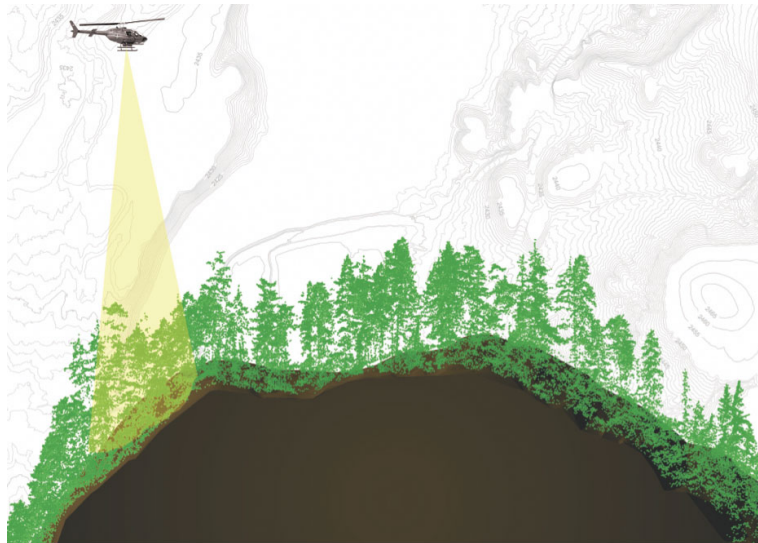
Rezultati primene savremenih metoda premera za potrebe inventurizacije šumskih područja direktno zavise od nekoliko parametara. Jedan od glavnih parametara je homogenost podataka. Ukoliko su obezbeđene homogenost i dovoljna



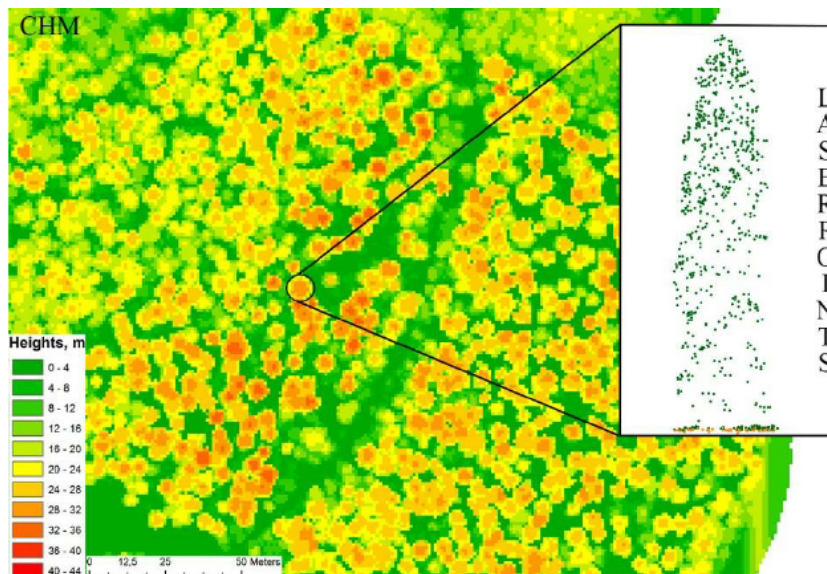


SLIKA 3.13: Ortofoto i detektovana pomeranja klizišta u Španiji: A – maj 2010, B – novembar 2012, C – vektori pomeranja (maj 2010 – novembar 2012), D – mart 2013, E – novembar 2013, F – vektori pomeranja (mart 2013 – novembar 2013)

gustina oblaka tačkica, obezbeđena je i homogenost strukture šuma, pa su procesi automatske obrade uspešniji. Gustina generisanog oblaka tačkica i doba godine u kome je izvršeno prikupljanje podataka imaju veoma važnu ulogu u inventORIZACIJI šumskog prostora. Kao primer za to, kvalitet i upotrebljivost generisanih podataka kod snimanja područja pokrivenih četinarskom i zimzelenom šumom direktno zavise od doba godine kada je izvršeno snimanje. Obrada generisanih podataka i klasifikacija oblaka tačkica za potrebe izrade DTM-a i DSM-a direktno utiču na kvalitet modela, od čega zavise i rezultati budućih analiza.



SLIKA 3.14: Snimanje šumskih područja LiDAR sistemom

SLIKA 3.15: *Canopy Height Model*

### 3.5 Primena savremenih tehnologija premera za potrebe snimanja i projektovanja dalekovoda

Pod pojmom snimanja nadzemnih instalacija podrazumeva se snimanje dalekovoda, visokonaponske i niskonaponske mreže, snimanje gasnih postrojenja itd.

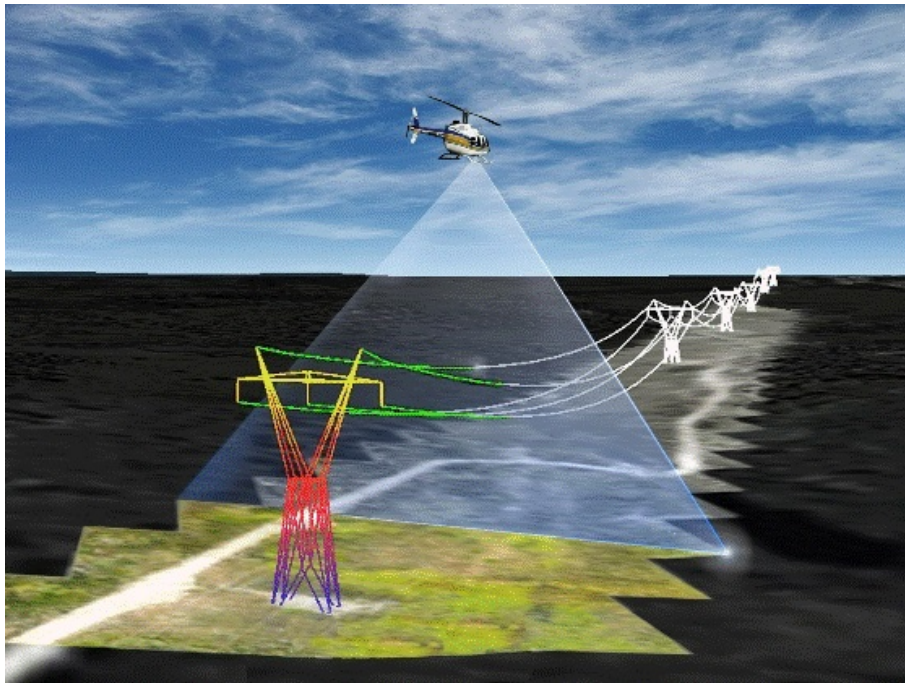
U slučaju dalekovoda, neophodno je da se vegetacija koja se nalazi u njihovoj blizini redovno nadgleda. Vegetacija može porasti do visine dalekovoda što dovodi do kratkotrajnog preopterećenja i požara. Ovakav scenario, naročito u vetrovitom području, može dovesti do kompletnog prekida dalekovoda. Metodologija snimanja i



praćenja stanja dalekovoda, pored snimanja i inspekcije stanja stubova, podrazumeva snimanje i vektorizaciju žica.

U gasnim postrojenjima predmet snimanja su cevi za distribuciju gasa, a u naftnim cevi za distribuciju nafte itd. Konvencionalne metode premera u ovoj oblasti, ili su davale loše rezultate ili nisu bile primenljive, pa je pojava savremenih tehnologija premera, kao što su LiDAR i UAV, uvela i nove standarde.

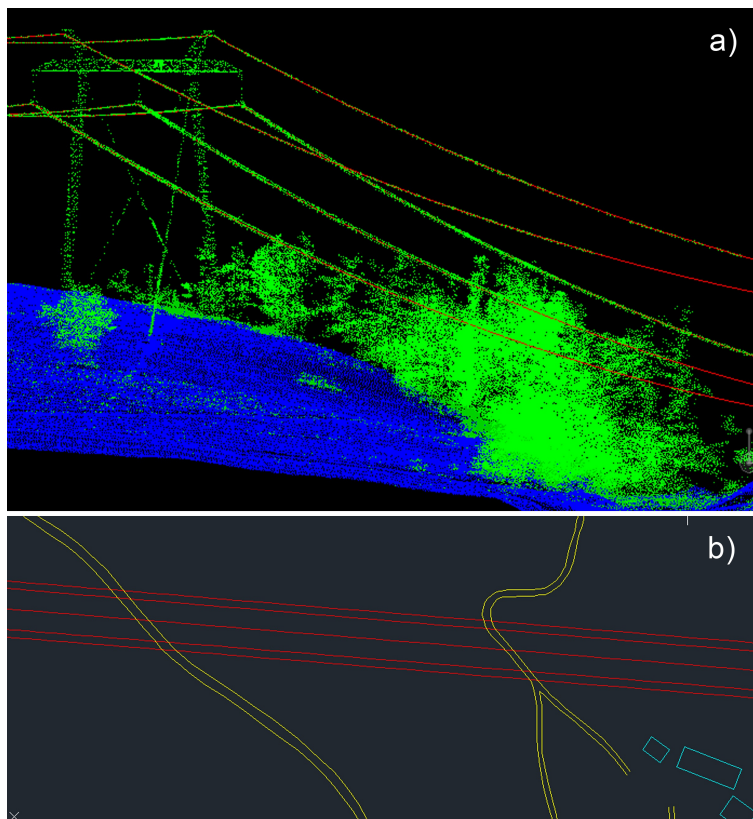
Dalekovodi su često smešteni na najnepristupačnijim terenima što zahteva nisku visinu leta i mogućnosti lakšeg upravljanja letelicom. Za ove potrebe izbor helikoptera kao platforme za LiDAR sistem je pravo rešenje. Korišćenje helikoptera za snimanje nadzemnih vodova pokazalo se kao mnogo efikasnije od aviona ili drugih letelica sa fiksnim krilima. Prednost je u tome što pilot može lako pratiti trasu voda, pozicionirajući se direktno iznad kablova za električno napajanje ili cevovoda (ako su u pitanju gasna ili druga postrojenja) u svakom trenutku i po potrebi izvršiti kruženje oko stuba dalekovoda radi vizuelne inspekcije (Slika 3.16).



SLIKA 3.16: Helikopter kao platforma za snimanje koridora dalekovoda LiDAR sistemom

Nakon završenog snimanja LiDAR sistemom sledi postupak obrade podataka koja podrazumeva klasifikaciju oblaka tačaka i ekstrakciju strukturnih linija prostora. U ovom slučaju, kod snimanja dalekovoda i niskonaponskih mreža, primarni cilj je vektorizacija žica i modelovanje stubova dalekovoda. Postupak klasifikacije započinje odvajanjem klase tačaka terena koja služi za kreiranje DTM-a, ali i kao osnova za dalju klasifikaciju i kreiranje klasa niske, srednje i visoke vegetacije.

Na slici 3.17 a) prikazan je klasifikovani oblak tačaka. Plave tačke predstavljaju tačke terena, dok zelene tačke predstavljaju klasu srednje vegetacije. Na osnovu odvojenih tačaka, koje predstavljaju žice dalekovoda, koriste se algoritmi koji su u mogućnosti da vektorizuju žice dalekovoda. Na tržištu postoje razni softveri i

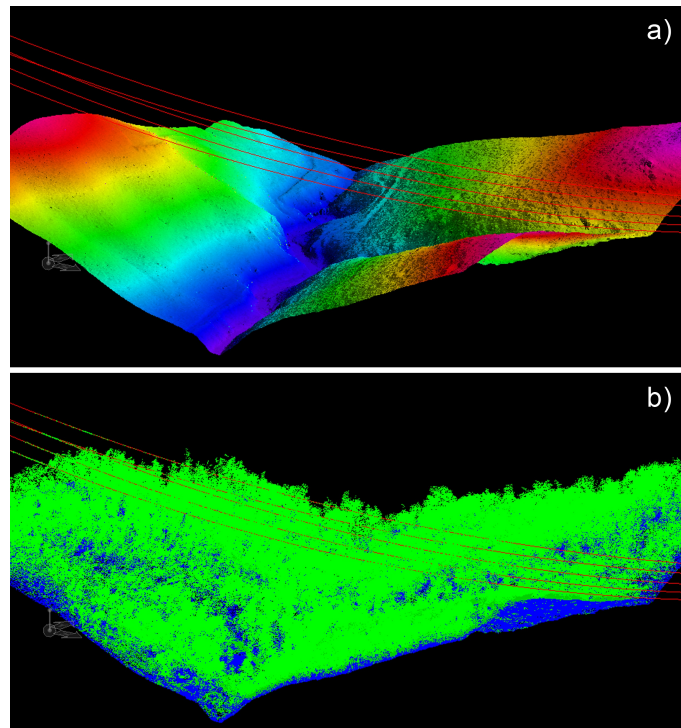


SLIKA 3.17: Klasifikovani oblak tačaka - snimanje dalekovoda: a) klasifikovani oblak tačaka snimljenog dela trase dalekovoda, b) ekstrahovane strukturne linije puteva (žuta boja), konture objekata (plava boja) i vektorizovane žice dalekovoda (crvena boja)

algoritmi specijalizovani za ovu vrstu problematike, ali kod svih su obavezni manuelni rad i inspekcija. Bitnu ulogu u detektovanju žica dalekovoda i kasnije modelovanju stubova igra gustina oblaka tačaka. Što je oblak gušći postoje veće mogućnosti modelovanja i detekcije žica dalekovoda i obratno. Na slici 3.17 b) prikazane su ekstrahovane strukturne linije puteva (žuta boja), konture objekata (plava boja) i vektorizovane žice dalekovoda (crvena boja).

Pored snimanja nadzemnih instalacija, LiDAR sistem dodatno prikuplja informacije o prirodnim i veštačkim objektima koji se nalaze ispod vodova i u njihovoj neposrednoj blizini. Vegetacija je ključan faktor za planiranje nove trase dalekovoda i održavanje postojećeg. Klasifikacijom oblaka tačaka i kreiranjem klasa vegetacije po zadatim kriterijumima u zavisnosti od visine žica dalekovoda, postoji mogućnost detektovanja mesta koja predstavljaju potencijalnu opasnost po postojeću infrastrukturu. Nakon obrade podataka lako je detektovati lokacije na kojima eventualno može doći do ugrožavanja nadzemnih vodova, pa se na takvim mestima može blagovremeno reagovati u cilju otklanjanja opasnosti.

Sa druge strane, prikupljeni podaci mogu se iskoristiti za projektovanje moguće buduće trase dalekovoda. Prilikom planiranja i projektovanja trase budućeg dalekovoda, neophodne su precizne informacije o topološkim i geomorfološkim karakteristikama terena. Na osnovu takvih informacija može se veoma brzo proceniti



SLIKA 3.18: a) kreiran DTM oblaka tačaka, b) klasifikovan oblak tačaka

izvodljivost izgradnje u pojedinim nepristupačnim oblastima kao što su doline, jaruge, kanali i slično. Na slici 3.18 a), prikazan je kreirani DTM oblaka tačaka, dok je na istoj slici pod b) prikazan klasifikovan oblak tačaka za isto područje. Plavom bojom su prikazane tačke terena, a zelenom one koje predstavljaju vegetaciju.



SLIKA 3.19: Inspekcija trase dalekovoda UAV sistemom

UAV sistemi (najčešće kvadkopteri) se u poslednje vreme sve češće koriste za snimanje i inspekciju trasa dalekovoda. Posebno su korisni za inspekciju stanja stubova dalekovoda. Stanje stubova se vremenom menja i potrebno je vršiti permanentno praćenje i otklanjanje mogućih oštećenja na vreme, kako bi im se produžio vek trajanja i smanjili ekonomski troškovi u slučaju havarije i većih oštećenja koji mogu nastati ako se ne preduzme ništa da bi se otklonila nastala šteta.

## Poglavlje 4

# Postojeća pravilnička dokumentacija o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima

### 4.1 Problemi kod korišćenja postojeće dokumentacije i neusaglašenosti postojećih pravilnika

U okviru ovog poglavlja predstavljeni su postojeći pravilnici i postojeća dokumentacija za definisanje kvaliteta topografskih radova, savremenih tehnologija prikupljanja i obrade podataka u geodeziji i dat je kratak prikaz Pravilnika o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima zakona o državnom premeru i katastru („Službeni glasnik RS”, br. 72/09, 18/10 i 65/13).

Ovim pravilnikom propisani su tehnički normativi, metode i način rada kod topografskog premera, sadržaj topografsko-kartografskih proizvoda, sadržaj tehničke dokumentacije za realizaciju topografskog premera i izradu topografsko-kartografskih proizvoda, kontrola kvaliteta kod topografskog premera i izrade topografsko-kartografskih proizvoda, arhiviranje i distribucija topografsko-kartografskih proizvoda (Prilog 1).

Pravilnik sadrži nekoliko poglavlja, a analizirana su sledeća:

- Prikupljanje podataka aerofotogrametrijskom metodom snimanja,
- Prikupljanje podataka metodom daljinske detekcije,
- Prikupljanje podataka LiDAR metodom.

U nastavku je analiziran deo Pravilnika o prikupljanju podataka LiDAR metodom. Delovi pravilnika koji se odnose na aerofotogrametrijsku metodu snimanja i metodu daljinske detekcije nisu analizirani jer je deo koji se odnosi na LiDAR snimanja direktno vezan za temu ove doktorske disertacije.

## 4.2 Prikupljanje podataka LiDAR sistemom

U članu 95 ovog pravilnika (Prilog 1) kaže se da LiDAR metoda premera predstavlja postupak kojim se, na osnovu laserskog skeniranja iz vazduha i podataka koji se prikupljaju korišćenjem dodatnih uređaja ugrađenih u LiDAR sistem, dobijaju koordinate za svaku tačku površi od koje se odbio laserski zrak (teren, prirodni i izgrađeni objekti).

Članovi od 96 do 104 (Prilog 1) se odnose na tehničku dokumentaciju i normative, neophodne za prikupljanje podataka ovom metodom. Članovi od 105 do 109 odnose se na planiranje leta i definisanje linija skeniranja u državnom referentnom sistemu i pratećih parametara laserskog skeniranja.

Članovi od 110 do 117 (Prilog 1) odnose se na pripremne radove, članovi od 118 do 123 na realizaciju laserskog skeniranja, članovi od 124 do 129 na obradu prikupljenih podataka i izradu oblaka tačaka, a članovi od 130 do 136 na kontrolu kvaliteta realizovanog laserskog skeniranja.

Pošto je u ovoj doktorskoj disertaciji analizirana problematika obrađena u napred navedenim članovima Pravilnika o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima, deo ovog pravilnika je u daljem tekstu dat u originalnog verziji

Analizom postojećih pravilnika i postojeće dokumentacije za definisanje kvaliteta topografskih radova, proizašlih iz podataka prikupljenih savremenim tehnologijama premera u geodeziji izvedeni su sledeći zaključci: postojeći pravilnici se odnose na metode prikupljanja podataka aerofotogrametrijskom metodom snimanja, metodom daljinske detekcije i LiDAR metodom snimanja. Kod LiDAR metode snimanja obuhvaćeni su postupci i procedure koji se odnose na LiDAR sisteme koji kao platforme koriste letelice. Konkretno se misli na snimanja iz vazduha gde se kao platforma koristi avion. U okviru ove doktorske disertacije kao savremene tehnologije prikupljanja podataka analizirane su metoda automatizovane digitalne fotogrametrije (UAV sistemi) i metoda mobilnog laserskog terestričkog skeniranja.

Iz ovih analiza proističe da se nameće potreba za dopunom postojećih pravilnika, ili izradom novih, koji će prepoznati nove tehnologije prikupljanja i obrade podataka kod projekata premera i izrade topografskih osnova projekata iz oblasti inženjerske geodezije. U daljim poglavljima su prikazane izvršene analize i dati predlozi modela geodetskog premera primenom savremenih akvizicionih tehnologija, konkretno primenom UAV sistema i sistema za mobilno lasersko terestričko skeniranje.



## Poglavlje 5

# Predlog modela geodetskog premera primenom savremenih akvizicionih tehnologija

### 5.1 Uvod

Kako je navedeno u prethodnim poglavljima, u okviru ove doktorske disertacije analizirani su podaci prikupljeni savremenim tehnologijama premera, UAV i LiDAR sistemima. Na slici 5.1 prikazani su oblaci tačaka generisani navedenim sistemima u naselju Feketić (poglavlje 5.2). Na slici levo, prikazan je oblak tačaka generisan UAV sistemom, koji zbog svoje velike gustine tačaka, koje se nalaze na rastojanju od 2 cm, izgleda kao ortofoto-snimak. Na slici desno, može se videti oblak tačaka generisan LiDAR sistemom. Te dve metodologije prikupljanja podataka su same po sebi različite, dok su procedure obrade podataka vrlo slične.



---

SLIKA 5.1: Oblak tačaka – UAV sistem (levo); oblak tačaka – LiDAR sistem (desno)

Postupak obrade podataka u okviru ove doktorske disertacije izvršen je u okviru softverskog paketa „TerraScan”. Za dodatne analize, pored ovog korišćen je



i „LasTools” softverski paket, kao i niz GIS alata među kojima je najzastupljeniji „ArcGIS”.

## 5.2 Kriterijumi izbora uzorka za eksperiment

Područje na kojem je realizovan eksperiment nalazi se u selu Feketić u Opštini Mali Idoš u Severnobačkom okrugu u Vojvodini. Feketić je smešten u ravničarskom kraju na Telečkoj visoravni, na nadmorskoj visini od 96 m i površini od 59,3 km<sup>2</sup>.

Premer ovog naselja izvršen je za potrebe komasacije i uređenja zemljišta. Realizovan je metodom precizne elektronske tahimetrije, koja u potpunosti ispunjava kriterijume kvaliteta prostornih podataka, definisane Zakonom o premeru i katastru Republike Srbije. Podatke realizovanog premera predstavljaju 3D koordinate detaljnih tačaka i prostorne pozicije strukturnih entiteta prostora. Ti podaci će se u istraživanjima i analizama ove disertacije koristiti kao „date”, uslovno tačne vrednosti kod upoređivanja sa 3D koordinatama i strukturnim linijama generisanim iz procesa obrade podataka prikupljenih savremenim tehnologijama premera. Za potrebe eksperimentalnih istraživanja disertacije, područje naselja snimljeno je savremenim uređajima za akviziciju podataka. Realizovana su paralelna premeravanja terena mobilnim laserskim skenerom „MDL DynaScan S250” sa 36.000 merenih tačaka u sekundi i fotogrametrijsko snimanje bespilotnom letelicom „SenseFly Ebee”.

Numeričko-grafičkom obradom prikupljenih podataka obezbeđeni su uslovi za ekstrakciju entiteta prostora koji će se koristiti za upoređenje sa datim, uslovno tačnim vrednostima. Definisan je deo na kome će se vršiti dalje analize i na osnovu kojega će se definisati kalibracioni parametri za ceo projekat. Na području naselja određen je poligon, koji obuhvata samo asfaltne ulice naselja, iz razloga što kod betoniranih površina imamo mogućnost jednoznačnog određivanja koordinata sa svakom od analiziranih metoda premera. Kako je detaljna obrada oblaka tačaka veliki i obiman posao i kako je cilj istraživanja definisanje predloga modela geodetskog premera savremenim tehnologijama, jako je bitno da sam postupak kalibracije oblaka tačaka i analize kvaliteta dobijenih podataka ne zahteva detaljnu obradu oblaka tačaka. Tačke korišćene u daljoj analizi izdvojene su kao tačke unutar definisanog poligona (Slika 5.2). Izdvojene tačke snimljene su metodom precizne elektronske tahimetrije i kao uslovno tačne vrednosti upoređivane sa podacima generisanim LiDAR i UAV sistemom. Dakle, unutar definisanog poligona imamo tačke snimljene tahimetrijskom metodom i tačke snimljene LiDAR i UAV sistemima. Na ovom setu podataka će se vršiti analize, definisati kalibracioni parametri oblaka tačaka u cilju definisanja metodologije analize kvaliteta dobijenih podataka.

## 5.3 Modelovanje objekta istraživanja

U ovom poglavlju opisane su i pojašnjene predradnje i priprema prikupljenih podataka za dalje analiziranje. Objašnjena je inicijalna obrada podataka – obrada oblaka tačaka i izdvajanje određene klase tačaka, definisanje i izbor kontrolnih tačaka koje će predstavljati osnovu za ocenu kvaliteta sprovedenih analiza i izbor kontrolnih profila u cilju poboljšanja kvaliteta kalibracije oblaka tačaka.



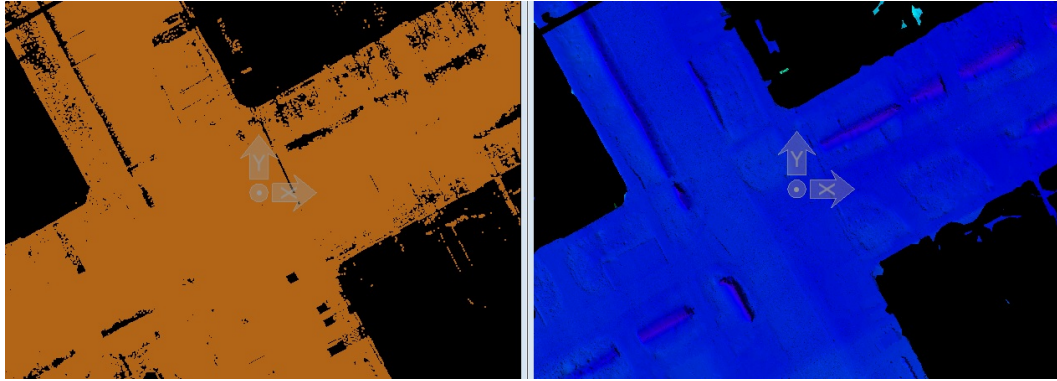
SLIKA 5.2: Postupak definisanja poligona ulica

### 5.3.1 Osnovna klasifikacija oblaka tačaka

U okviru ovog istraživanja, osnovna klasifikacija primenjuje se na oblake tačaka prikupljene UAV i LiDAR sistemom. Osnovna klasifikacija oblaka tačaka primenjena je na kompletnom oblaku tačaka na području na kojem je realizovan eksperiment. Podrazumeva definisanje klase tačaka terena u cilju kreiranja preciznog DTM-a.

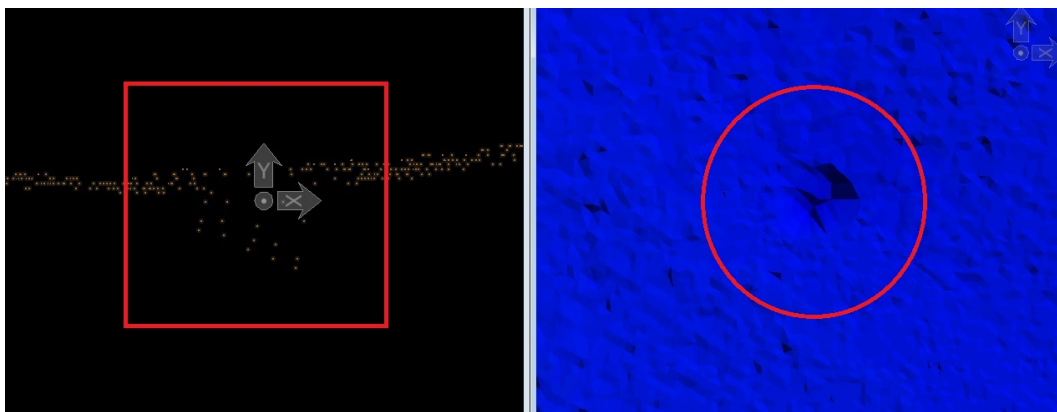
Klasifikacija *ground*, odvaja tačke terena od ostalih tačaka iz oblaka, iterativno gradeći model površi 1.6.2. Zadati parametri zavise pre svega od konfiguracije terena. Iterativni ugao je maksimalni ugao između tačke i njene projekcije na formirani trougao modela dok iterativna dužina obezbeđuje da se ne prave veliki skokovi u slučajevima kada imamo velike trouglove u modelu. Na ovaj način, zadavanjem parametara iteracije obezbeđujemo isključivanje niskih objekata iz modela [77].

Po završenoj automatskoj klasifikaciji, kreira se DTM i vrši se vizuelna inspekcija u cilju otklanjanja nastalih grešaka. Greške nastale u postupku automatske klasifikacije mogu nastati iz nekoliko izvora, pa se i greške mogu otkloniti na nekoliko načina. Jedan deo nastalih grešaka moguće je otkloniti izborom odgovarajućih parametara klasifikacije, dok je drugi moguće otkloniti metodom manuelne klasifikacije. Na slici 5.3 levo može se videti klasifikovan oblak tačaka. Izdvojena je klasa tačaka terena i prikazana narandžastom bojom. Na slici 5.3 desno prikazan je kreiran DTM. Kako je na području naselja Feketić definisan poligon unutar koga se nalaze kontrolne tačke, što je objašnjeno u poglavlju 5.2, to se vizuelna inspekcija i korekcija kreiranog modela metodama manuelne klasifikacije vrši samo unutar tog poligona.



SLIKA 5.3: Oblak tačaka (levo); kreiran DTM (desno)

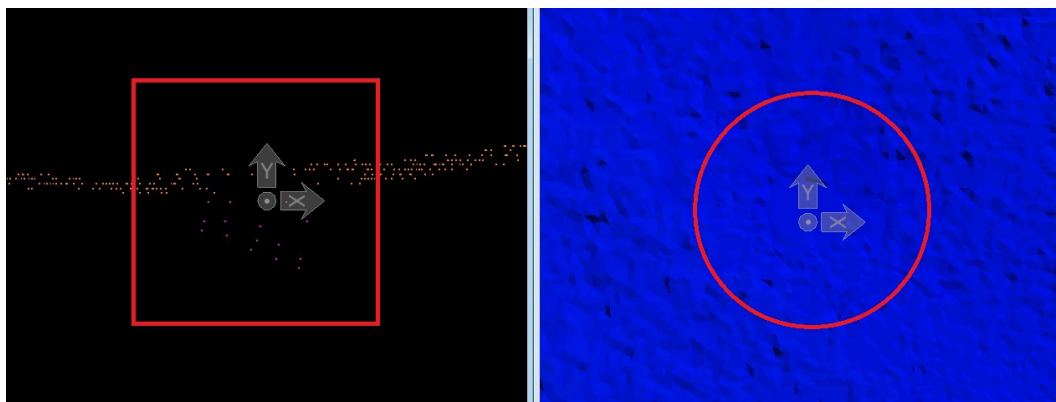
Na slici 5.4 prikazana je jedna od mogućih grešaka automatske klasifikacije. Na slici desno prikazan je kreirani DTM sa markiranim delom u kojem je nastala greška. Slika levo pokazuje oblak tačaka prikazan u poprečnom preseku na mestu na kojem je uočena greška.



SLIKA 5.4: *ground* klasifikacija, profil(levo); kreiran DTM(desno )

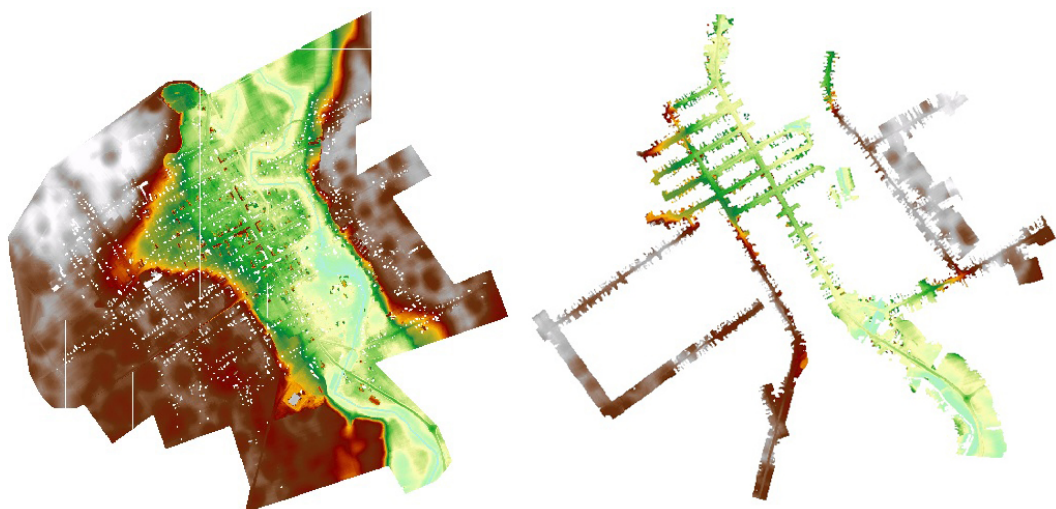
Greška je nastala kao posledica penetracije laserskog zraka između rešetaka slivnika koji se nalazi pored puta. Ona se otklanja postupkom manuelne klasifikacije, na taj način što se tačke, koje ne pripadaju klasi tačaka terena, manuelno premeštaju u drugu klasu. Rezultat manuelne klasifikacije može se videti na slici 5.5. Tačke koje ne pripadaju klasi tačaka terena, preklasifikovane su u drugu klasu i kreiran je novi model terena. Postoji niz faktora koji mogu uzrokovati pogrešnu klasifikaciju. Različite vrste nastalih šumova koji se otklanjaju algoritmima automatske klasifikacije i šumovi koji zapravo nisu greške nego posledica snimljenog faktičkog stanja.

Na slici 5.6 prikazan je rezultat osnovne klasifikacije tačaka terena na području eksperimenta. Slika levo pokazuje DTM kreiran na osnovu obrađenih podataka UAV sistema, dok slika desno pokazuje DTM kreiran na osnovu obrađenih podataka LiDAR sistema. Nakon završene automatske klasifikacije, izvršena je manuelna inspekcija kreiranih modela. Uočene greške su otklonjene u postupku manuelne



SLIKA 5.5: Manuelna klasifikacija, profil (levo); kreiran DTM (desno)

klasifikacije i kao rezultat su dobijeni korektni modeli na kojima se mogu vršiti dalje analize.



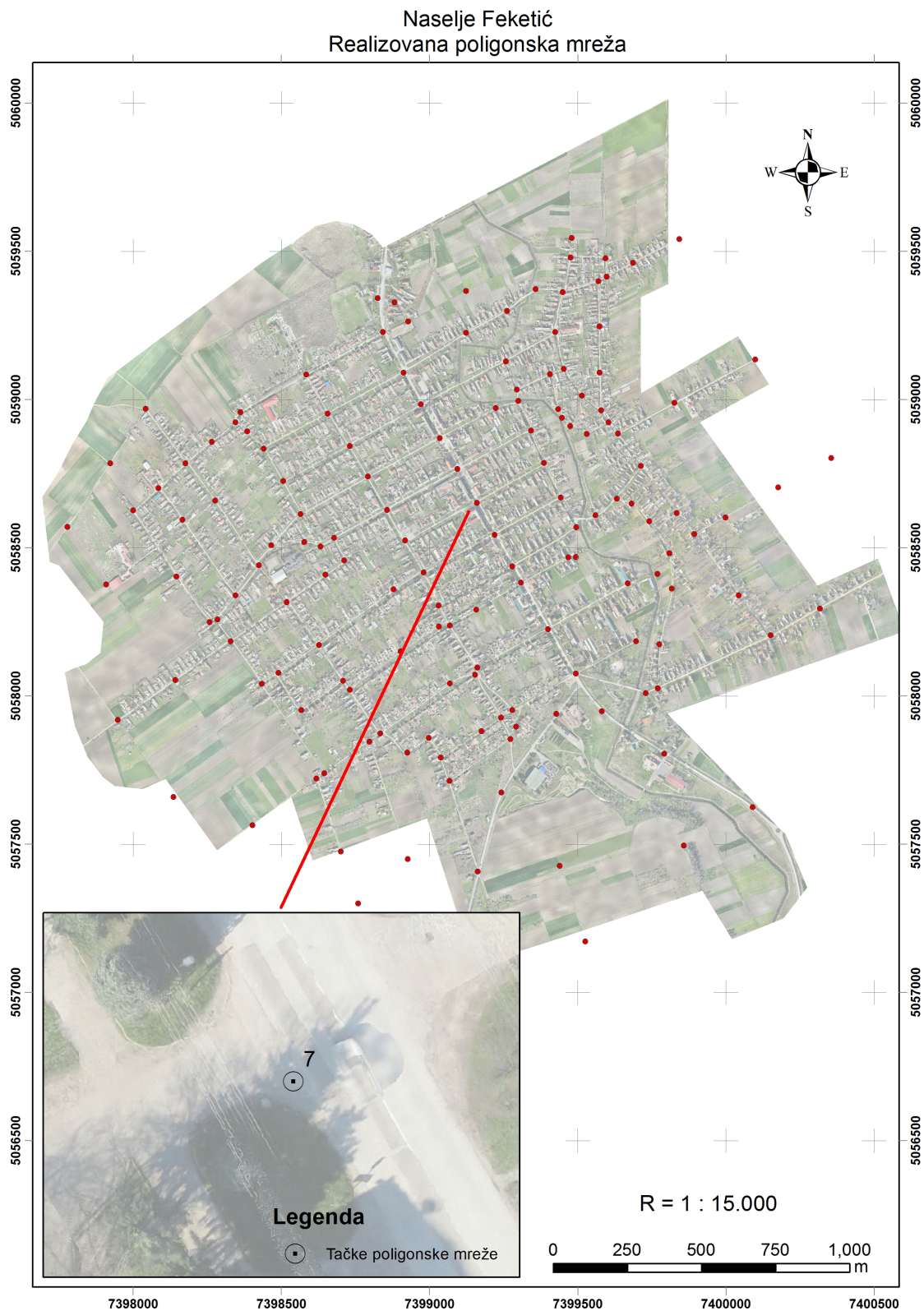
SLIKA 5.6: UAV i LiDAR model

### 5.3.2 Izbor kontrolnih tačaka za kalibraciju

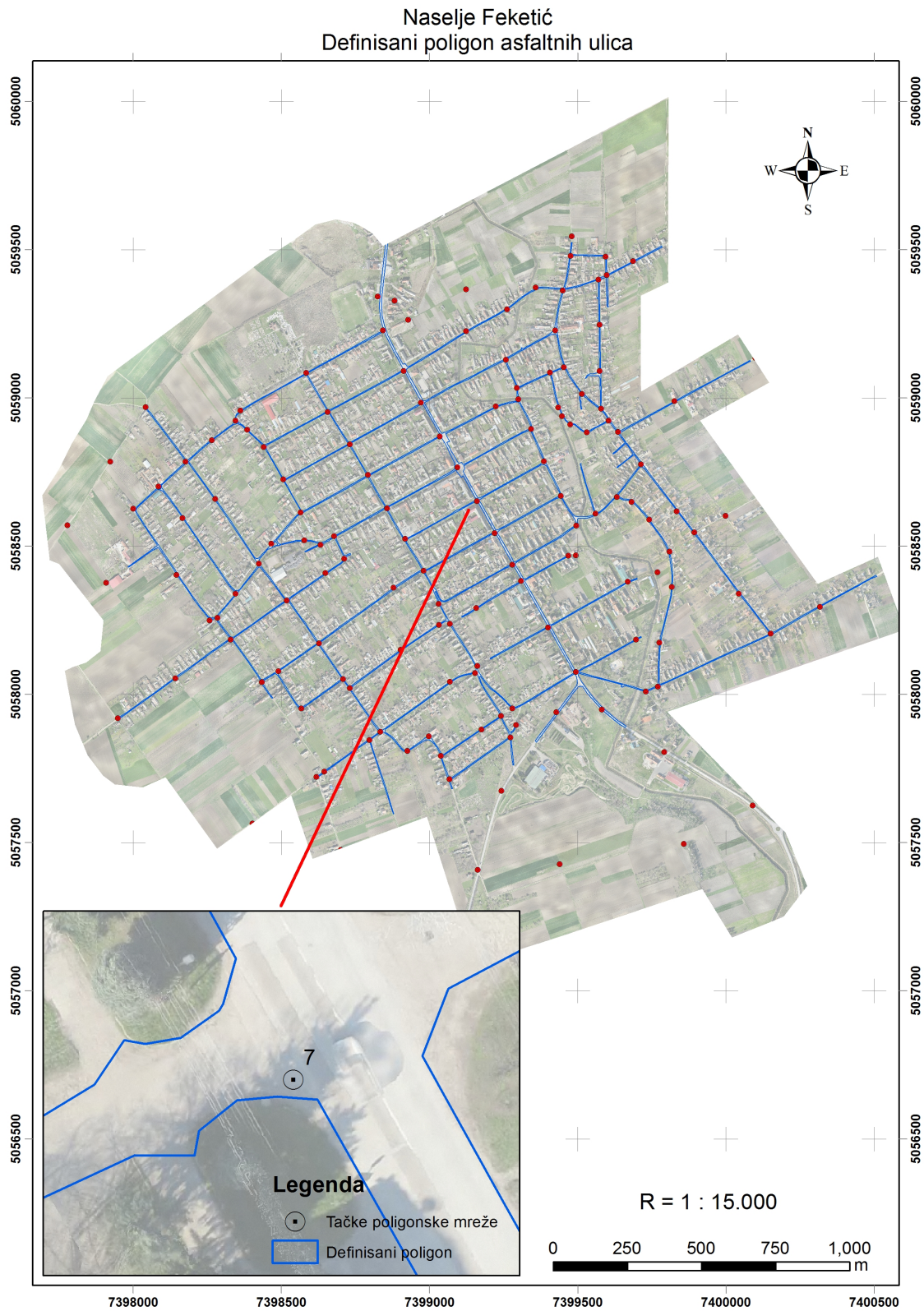
Tačke korišćene kao osnova za kalibraciju su novoodređene tačke poligonske mreže na teritoriji celog naselja. Novoodređene poligonske tačke su snimane GPS metodom. Snimanje je izvršeno prema Pravilniku za određivanje poligonske mreže u tri epohe od po 30 s, pri čemu su za definitivne vrednosti koordinata tačaka usvojene aritmetičke sredine ta tri merenja. Visine tačaka određene su preciznim nivelmanom, pri čemu su merenja vezana za repere sa poznatim visinama 1.7. Na teritoriji naselja Feketić razvijena je poligonska mreža sa ukupno 153 poligonske tačke. Skica realizovane mreže prikazana je na slici 5.7.

Na području naselja određen je poligon koji obuhvata samo asfaltne ulice naselja (Slika 5.8). Izabran je poligon asfaltnih ulica zbog toga što kod betoniranih površina





SLIKA 5.7: Realizovana poligonska mreža na području naselja Feketić



SLIKA 5.8: Definisani poligon ulica na području naselja Feketić

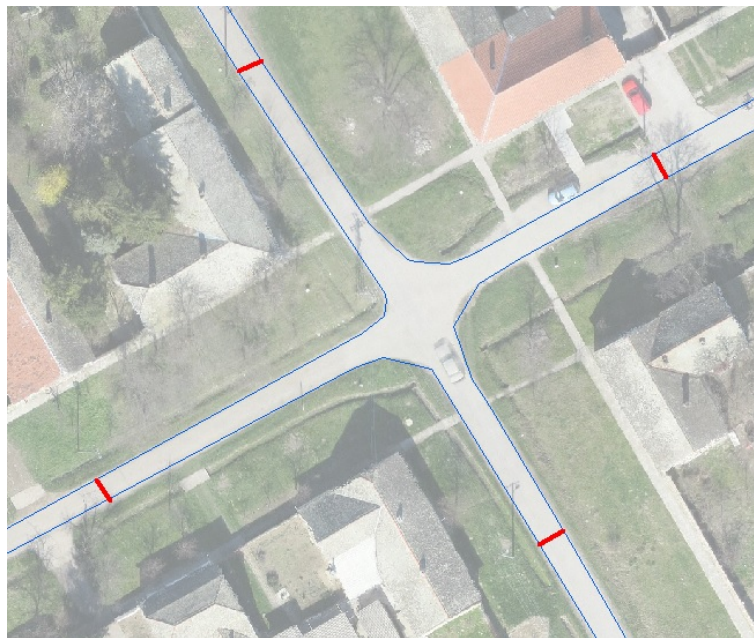
imamo mogućnost jednoznačnog određivanja koordinata sa svakom od analiziranih metoda premera. Kako je detaljna obrada oblaka tačaka velik i obiman posao i kako je cilj istraživanja da definiše predlog metodologije analize kvaliteta rezultata dobijenih primenom savremenih uređaja za akviziciju podataka, veoma je bitno da sam postupak kalibracije oblaka tačaka i analize kvaliteta dobijenih podataka ne zahteva detaljnu obradu oblaka tačaka 1.7. Za kalibraciju oblaka tačaka koriste se samo one tačke poligonske mreže koje se nalaze na području snimljenom LiDAR ili UAV sistemom.



### 5.3.3 Izbor kontrolnih profila za kalibraciju

Kao dodatni podatak za poboljšanje tačnosti snimljenog oblaka tačaka, mogu se koristiti kontrolni profili. Pored kontrolnih tačaka, u našem slučaju tačke novopostavljene poligonske mreže, mogu se koristiti dodatne kontrolne tačke na kontrolnim profilima snimljenim na unapred definisanim lokacijama. Na slici 5.10 prikazan je raspored kontrolnih profila na jednoj karakterističnoj raskrsnici u naselju Feketić, a na slici 5.11 raspored na području celog naselja.

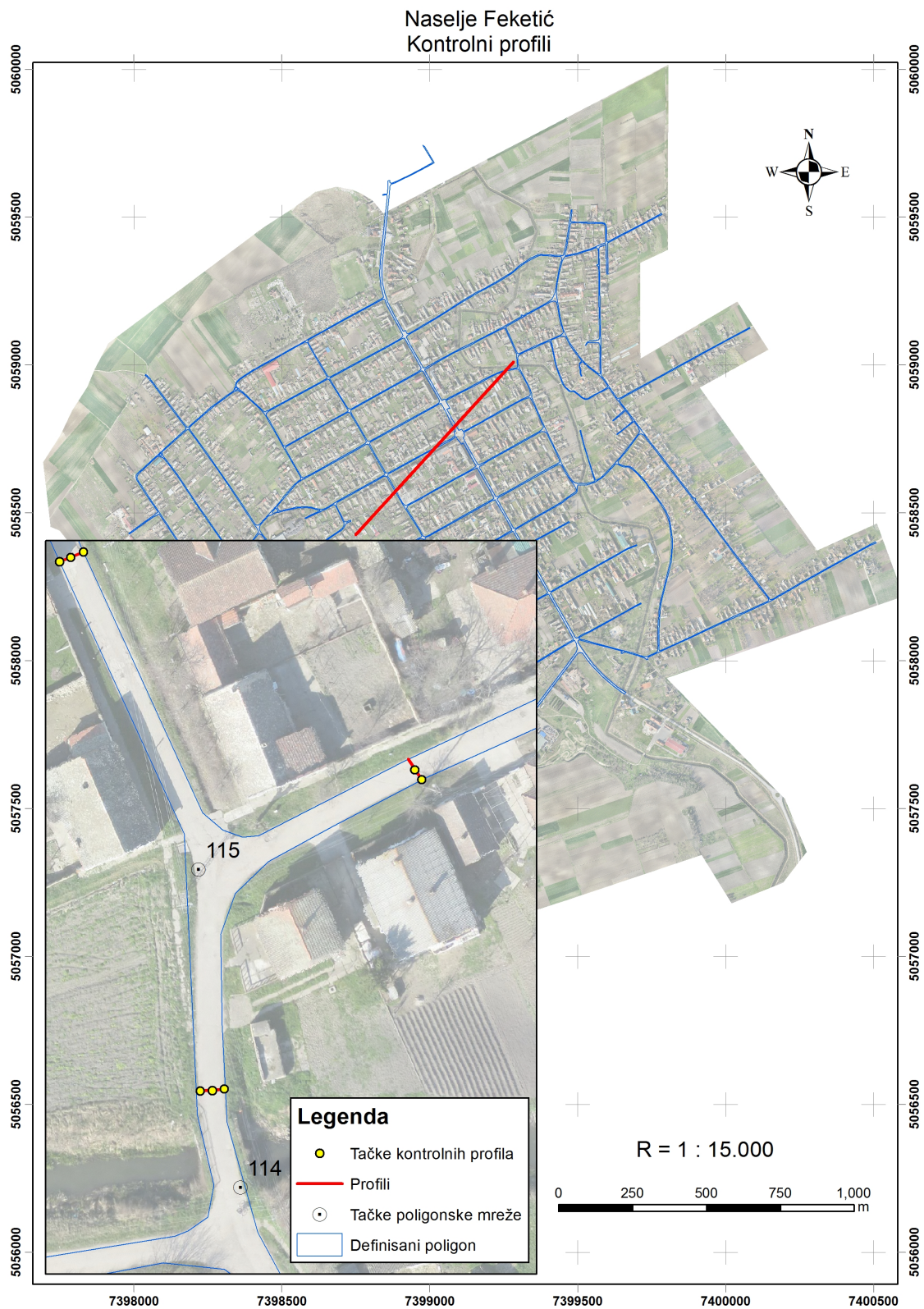
Kontrolni profili definisani su na svakoj raskrsnici na teritoriji naselja Feketić (u granicama definisanog poligona eksperimenta), i na pravcima većih ulica kako bi teritorija koja je predmet projekta bila pokrivena, a profili i kontrolne tačke ravnomerno raspoređeni. Broj profila na raskrsnicama određen je shodno broju ulica koje se susstiču u raskrsnici. Najčešći slučaj jeste susticanje četiri profila na jednoj raskrsnici (Slika 5.9).



---

SLIKA 5.9: Najčešći slučaj rasporeda kontrolnih profila na jednoj raskrsnici





SLIKA 5.10: Prikaz kontrolnih profila u naselju Feketić na jednoj od raskrsnica. Na svakom kontrolnom profilu se nalazi određen broj snimljenih tačaka.





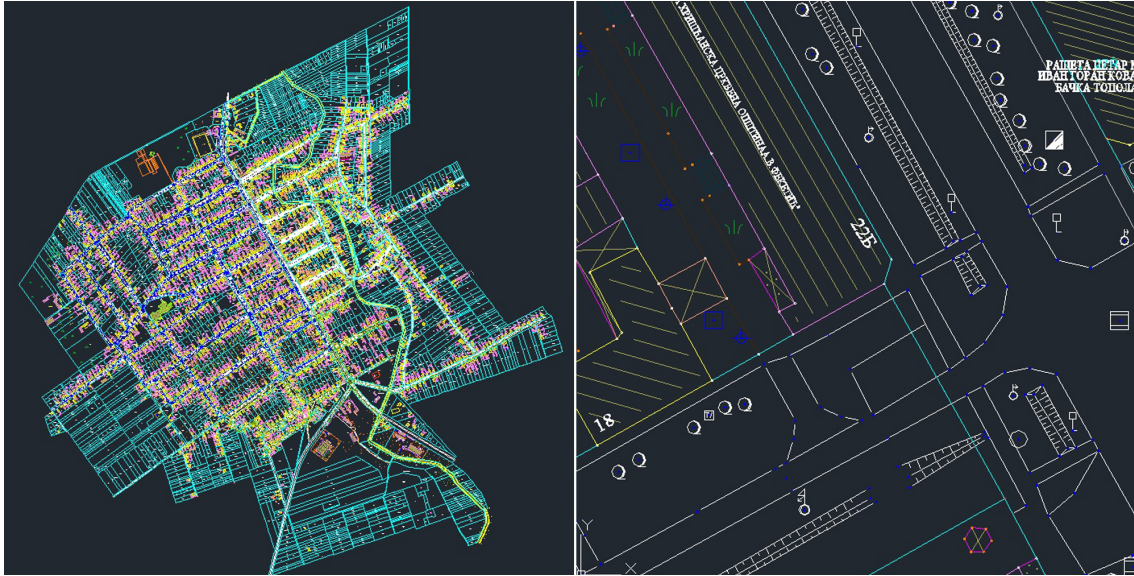
SLIKA 5.11: Prikaz rasporeda kontrolnih profila na području naselja Feketić. Na slici je dat prikaz kontrolnih profila u njegovom centralnom delu.



### 5.3.4 Definicija i izrada uslovno tačnog modela

Premer naselja Feketić realizovan je metodom precizne elektronske tahimetrije koja u potpunosti ispunjava kriterijume kvaliteta prostornih podataka definisane Zakonom o državnom premeru i katastru Republike Srbije. Ti podaci će u daljim istraživanjima i analizama biti korišćeni kao „dati”, što je detaljnije objašnjeno u poglavlju 5.2.

Na slici 5.12 levo prikazano je područje naselja Feketić snimljeno tahimetrijskom metodom. Na slici desno dat je uvećan prikaz jedne raskrsnice.



SLIKA 5.12: Levo: Područje naselja Feketić snimljeno metodom precizne elektronske tahimetrije. Desno: Izdvojena raskrsnica snimljena metodom precizne elektronske tahimetrije

Za potrebe uporedne analize originalno generisanih i kalibrisanih podataka nisu korišćeni svi prikupljeni podaci, već je izvršeno filtriranje. Na slici 5.13 prikazane su snimljene tačke korišćene kao uslovno tačne vrednosti. Te tačke su izdvojene unutar definisanog poligona ulica. Izbor i definicija poligona ulica objašnjen je u poglavlju 5.2. Na teritoriji naselja Feketić unutar definisanog poligona ulica izdvojeno je 3.162 tačke snimljene metodom precizne elektronske tahimetrije.

## 5.4 Predlog modela geodetskog premera

Realizacija geodetskih projekata primenom savremenih tehnologija premera, kao što su metoda digitalne fotogrametrije primenom UAV sistema i metoda mobilnog laserskog skeniranja primenom LiDAR sistema, odvija se u nekoliko faza. U ovom poglavlju dat je predlog definicije modela, po kome je potrebno raditi kako bi izlazni podatak bio u granicama propisane tačnosti. Definisano je šest glavnih faza:

1. priprema projekta,



SLIKA 5.13: Precizna elektronska tahimetrija, izdvojene tačke unutar definisanog poligona ulica

2. akvizicija podataka,
3. inicijalna obrada podataka,
4. kalibracija,
5. kontrola,
6. finalni oblak tačaka.

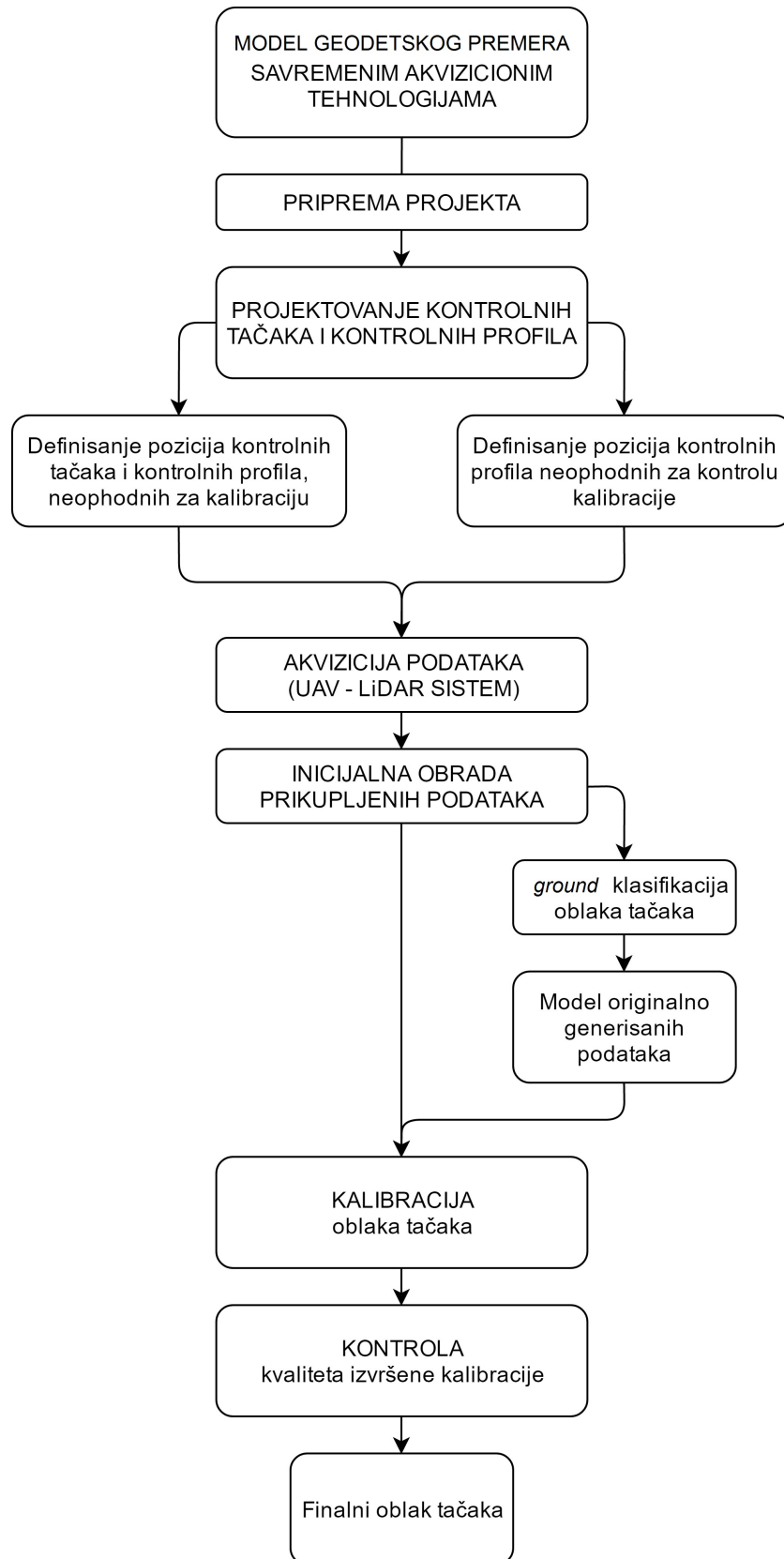
Šematski prikaz faza realizacije projekta prikazan je na slici 5.14.

#### 1. Priprema projekta

Priprema projekta podrazumeva projektovanje pozicija kontrolnih tačaka i kontrolnih profila na teritoriji projekta. Predlog izbora pozicija u direktnoj meri zavisi od konfiguracije terena koji je predmet snimanja.

Preporuka za izbor kontrolnih tačaka i kontrolnih profila je da se oni isključivo biraju na asfaltnim ili betonskim površinama, zato što, kako je objašnjeno u poglavlju u kojem su definisani kriterijumi izbora uzorka za eksperiment, kod betoniranih površina imamo mogućnost jednoznačnog određivanja koordinata sa svakom od analiziranih metoda premera. Rastojanje između izabranih kontrolnih tačaka i kontrolnih profila ne bi trebalo da bude veće od 100 m.

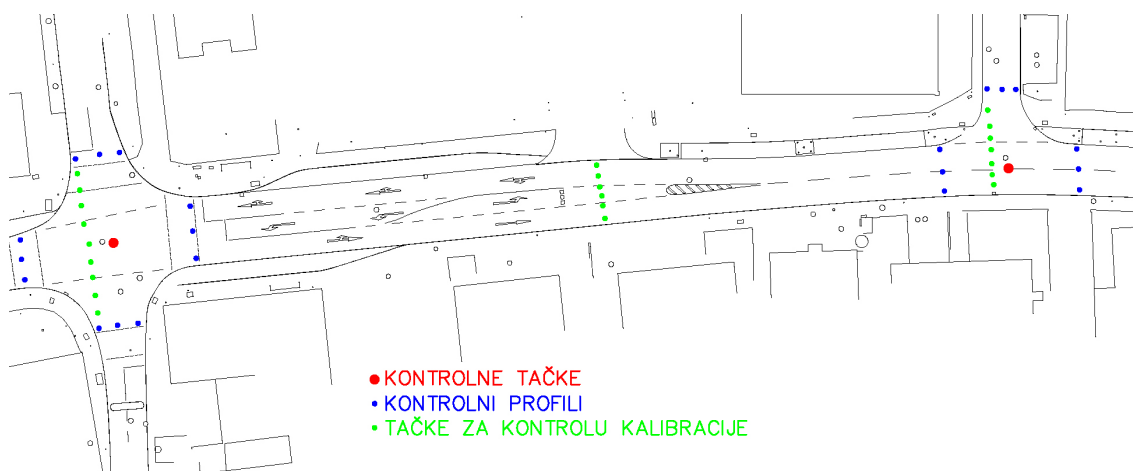
U praksi (kada je u pitanju premer urbanih područja) razlikujemo dva slučaja:



SLIKA 5.14: Model geodetskog premera primenom savremenih akvizicionih tehnologija

- snimanje pojedinačnih ulica,
- snimanje blokova ulica.

Izbor kontrolnih tačaka i kontrolnih profila razlikuje se u ova dva slučaja. Na slici 5.15 prikazan je prvi slučaj, kada je predmet snimanja jedna ulica, gde su kontrolne tačke postavljene na rastojanju od oko 100 m na centrima raskrsnica. Kontrolni profili su postavljeni na istom rastojanju (Slika 5.15). Dodatni profili, koji služe za kontrolu kvaliteta izvršene kalibracije, obeleženi su zelenom bojom.



SLIKA 5.15: Raspored kontrolnih tačaka i kontrolnih profila na primeru jedne ulice

Drugi slučaj predstavlja blok ulica. Na slici je prikazan jedan blok ulica sa rasporedom kontrolnih tačaka, kontrolnih profila i profila za kontrolu kalibracije.

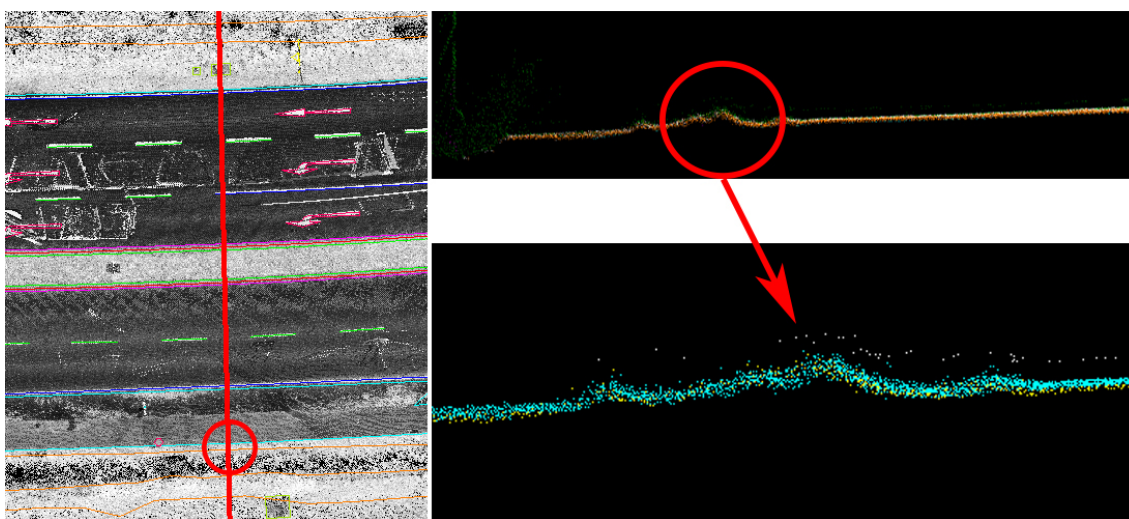
U gradskim sredinama, gde postoje asfaltni putevi, kontrolne tačke i kontrolne profile treba birati isključivo na asfaltnim površinama, zato što je na asfaltnim površinama mogućnost greške klasifikacije oblaka tačaka u cilju određivanja klase *ground* minimalna. Kod drugih tipova površina definisanje te klase zahteva dodatni napor i pažnju, pa i pored dobro definisanih parametara automatske klasifikacije u manuelnom delu postoji mogućnost pogrešno određenih tačaka koje čine klasu *ground*. Ukoliko se kontrolna tačka postavi na zelenu površinu, ili na primer na obod kanala koji je obrastao niskim rastinjem, određivanje klase *ground* će nedvosmisleno biti teže i sa manjom pouzdanošću nego što bi bio slučaj kod betonskih i asfaltnih površina.

Na slici 5.17 levo dat je prikaz profila jedne ulice. U desnom delu se jasno vide tačke koje leže u jednoj ravni i u odnosu na koje se primenom odgovarajućih parametara klasifikacije može dobiti klasa *ground*. Deo na slici zaokružen crvenom bojom je deo koji predstavlja kraj asfalta i početak zelene površine (na slici levo takođe označen crvenom bojom). Ukoliko bi taj deo bio izabran za poziciju kontrolne tačke, jasno je da bi bila napravljena greška. Pozicija snimljene tačke ne bi odgovarala poziciji tačke očitane na kreiranom modelu.





SLIKA 5.16: Raspored kontrolnih tačaka i kontrolnih profila na primeru jedne ulice



SLIKA 5.17: Primer lošeg izbora mesta za kontrolnu tačku ili za tačku kontrolnog profila

Samim tim bi određeni parametri kalibracije oblaka tačaka bili pogrešni.

## 2. Akvizicija podataka

Nakon izbora pozicija za kontrolne tačke i kontrolne profile, sledi postupak akvizicije podataka nekim od savremenih sistema premera, UAV ili LiDAR sistemom

## 3. Inicijalna obrada prikupljenih podataka

Nakon završene akvizicije podataka sledi postupak inicijalne obrade i određivanja klase *ground*. Na generisani oblak tačaka se primenjuju algoritmi automatske klasifikacije. Od nastale klase tačaka se kreira DTM i na njemu se izvodi postupak manuelne klasifikacije. Kroz taj postupak otklanjaju se greške automatske klasifikacije.

Od kreiranja klase *ground* direktno zavisi određivanje kvalitetnih parametara kalibracije, tako da se toj fazi projekta mora posvetiti pažnja bez obzira na to što se radi samo osnovna klasifikacija.

## 4. Kalibracija oblaka tačaka

Definisani parametri kalibracije dobijeni na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila koriste se za definitivnu kalibraciju oblaka tačaka.

## 5. Kontrola kvaliteta izvršene kalibracije

Za kontrolu kalibracije koriste se profili određeni za kontrolu (Slika 5.16), tačke obojene zelenom bojom. Kontrola podrazumeva upoređivanje  $Z$  vrednosti tačaka kontrolnih profila sa modelom kreiranim od *ground* klase tačaka kalibrisanog oblaka tačaka. Na osnovu dobijenih rezultata može se doneti zaključak o kvalitetu generisanog oblaka tačaka.

## 6. Finalni oblak tačaka

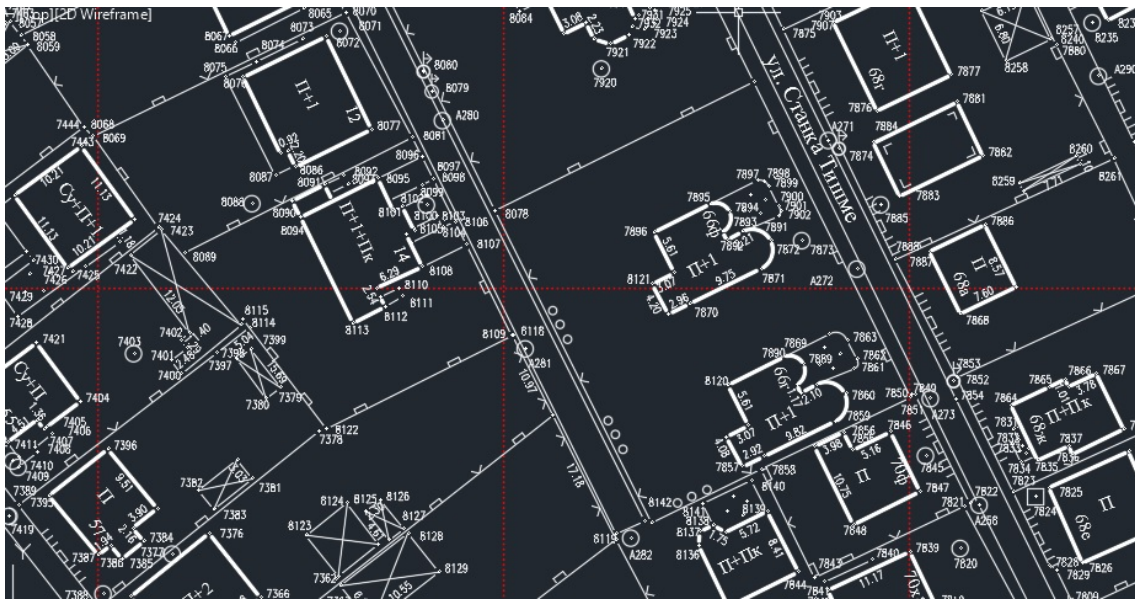
Po završenoj kalibraciji, oblak tačaka je spreman za dalju obradu. Dalji postupak obrade i ekstrakcije entiteta prostora iz oblaka tačaka zavisi od namene projekta, a tačnost izlaznih podataka zavisi isključivo od primenjene metodologije rada i iskustva operatera.

Dalja obrada finalnog oblaka tačaka primenom dostupnih softverskih rešenja i procedura obrade, objašnjena je u poglavlju 1.6.2. Opisani su osnovni algoritmi klasifikacije i objašnjeni osnovni postupci ekstrakcije 3D entiteta prostora.

Finalni proizvod predstavljaju 3D podloge za projektovanje. Način prikupljanja podataka, koji služe za kreiranje 3D podloga, može biti klasičan, primenom konvencionalnih metoda i primenom savremenih tehnologija premera. Klasičan način prikupljanja podataka podrazumeva primenu konvencionalnih metoda premera,



iziskuje više vremena i gustina snimljenog detalja zavisi od zahteva ili uslova projekta. Mana te metode je što se gustina jednom snimljenog detalja ne može povećati. Na slici 5.18 dat je primer jednog dela Katastarsko-topografskog plana (KTP) snimljenog klasičnim geodetskim metodama na kome se vidi gustina snimljenog detalja. Detaljne tačke snimane su na rastojanju koje je definisano razmerom snimanja i na onim pozicijama koje su neophodne za definisanje 3D položaja objekta koji je predmet snimanja. Svaka intervencija na kreiranim podlogama, u smislu pogašćavanja detalja ili iscertavanja nekih dodatnih detalja koji nisu bili neophodni u prvoj fazi snimanja, zahteva naknadni izlazak na teren i ponovno snimanje. Kod snimanja primenom savremenih tehnologija premera situacija je drugačija.



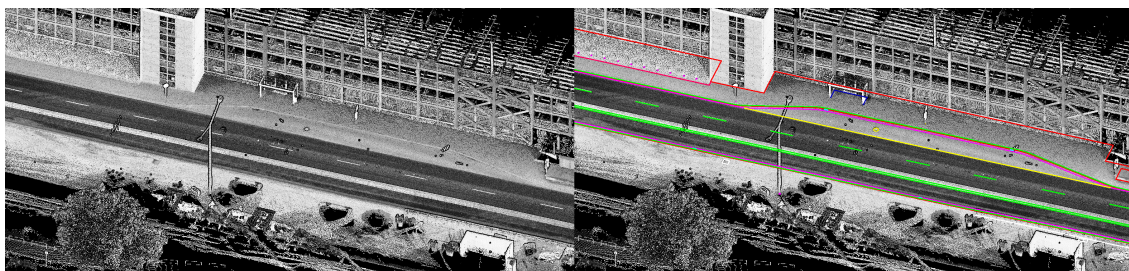
SLIKA 5.18: Prikaz KTP-a snimljenog klasičnim geodetskim metodama

Postupak ekstrakcije entiteta prostora iz oblaka tačaka je uglavnom manualni. Na nekim delovima oblaka tačaka, ukoliko je kvalitetno realizovan postupak klasifikacije, ekstrakcija nekih strukturalnih linija može biti automatska. Naravno, svaki automatski proces podleže kontroli, dok se ekstrakcija ostalih elemenata vrši manualno.

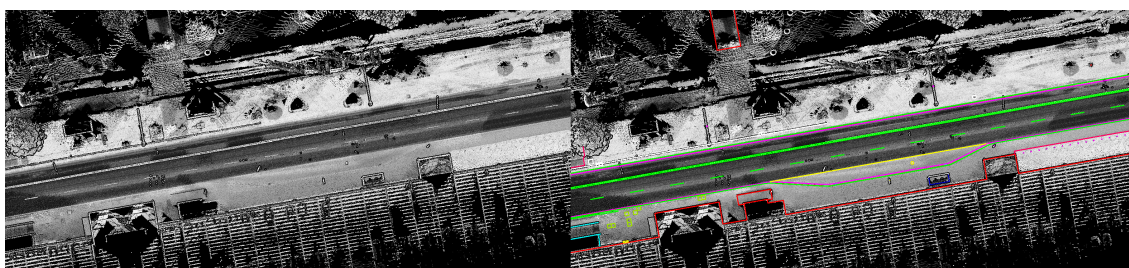
Na slici 5.19 levo prikazan je snimljeni oblak tačaka, dok je sa desne strane dat prikaz istog oblaka sa preklapljenim digitalizovanim sadržajem. Digitalizovane su ivice kolovoza, ivičnjaci, objekti i svi elementi osnovnih strukturalnih linija putne infrastrukture koji bi bili predmet snimanja primenom konvencionalnih metoda premera.

Predmet snimanja su, pored strukturalnih linija i šahtovi, ventili, drveće, ograde, i svi ostali elementi prostora koje je neophodno prikazati na kreiranim 3D topografskim podlogama. Na slici 5.20 dat je prikaz dela puta na kojem je izvršena ekstrakcija ovih elemenata.

Na slici 5.21 prikazan je deo puta na kome se nalazi nadvožnjak. Slika je izdvojena kao ilustracija prednosti primene savremenih tehnologija premera u odnosu na konvencionalne. Prilikom upotrebe konvencionalnih metoda u ovakvoj situaciji,



SLIKA 5.19: Primer preklopljenog KTP-a i oblaka tačaka putne infrastrukture – perspektivni prikaz



SLIKA 5.20: Primer preklopljenog KTP-a i oblaka tačaka putne infrastrukture

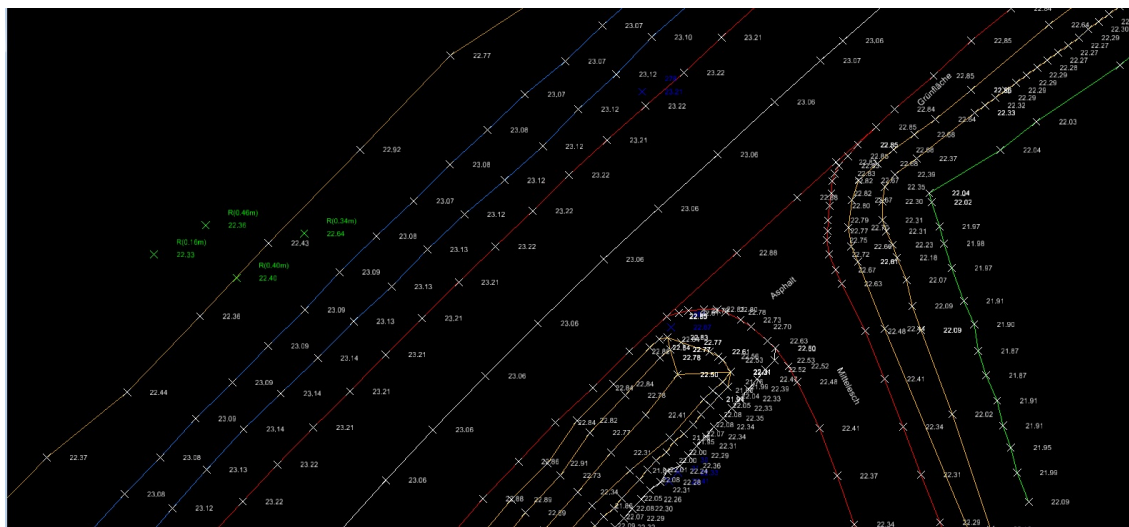
nadvožnjak bi bio snimljen u osnovi sa eventualno prikazanom visinom u jednoj tački. Kod snimanja savremenim metodama imamo znatno veće mogućnosti, pa je i pristup ekstrakciji strukturnih linija drugačiji. Elementi nadvožnjaka su iscrtani u celosti, pa pored podatka o osnovi, imamo celokupne informacije o objektu. Perspektivni prikaz sadržaja dobijenog ekstrakcijom daje mogućnost potpunog sagledavanja situacije na terenu.



SLIKA 5.21: Primer digitalizovanog sadržaja i oblaka tačaka sa prikazanim nadvožnjakom – perspektivni prikaz

Primena savremenih tehnologija premera u odnosu na konvencionalne ima dosta prednosti, što je prikazano kroz nekoliko prethodnih primera, a jedna od bitnijih jeste gustina snimljenog detalja. Kod konvencionalnih metoda premera gustina snimljenog detalja vezana je za zahteve projekta, ali se, recimo pri snimanju ivice kolovoza, retko zahteva da rastojanje između snimljenih tačaka na pravcu bude manje od 5 m. U tom slučaju se kota svake tačke koja upada u taj opseg od 5 m dobija interpolacijom jer stvarni položaj nije snimljen. Kod savremenih tehnologija premera je velika gustina

snimljenog oblaka tačaka, neretko rastojanje između snimljenih tačaka može biti i po nekoliko centimetara, što predstavlja veliku gustinu (Slika 5.22). Prilikom ekstrakcije sadržaja, recimo ivice kolovoza, klikom miša određujemo poziciju jednog verteksa linije. Rastojanje između verteksa može biti 5 m, ali se u kasnijoj obradi broj verteksa može pogustiti i jednostavnim alatima dodeliti kota novonastalim verteksima.



SLIKA 5.22: Prikaz 3D topografske podloge dobijene ekstrakcijom entiteta prostora iz oblaka tačaka

Ukoliko se primenjuje taj način snimanja, zabeleženi oblak tačaka, nakon digitalizacije neophodnih elemenata, ostaje u bazi podataka spreman da da mogućnost ekstrakcije različitog sadržaja i gustine i odgovori različitim zahtevima budućih projekata.

# Poglavlje 6

## Verifikacija modela

### 6.1 Kalibracija podataka

U ovom poglavlju analizirani su originalni i kalibrisani podaci generisani savremenim sistemima premera.

U **prvom delu poglavlja** izvršena je analiza na originalnim podacima generisanim UAV i LiDAR sistemom i izvršeno je njihovo upoređenje sa izabranim kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima (kasnije korišćenim za kalibraciju).

U **drugom delu poglavlja** izvršena je analiza na kalibrisanim UAV i LiDAR podacima i izvršeno je njihovo upoređenje sa izabranim kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima (istim kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima koji su korišćeni za kalibraciju).



### 6.1.1 Rezultati analize originalno generisanih UAV i LiDAR podataka

Analiza originalnih UAV i LiDAR podataka podrazumeva ocenu kvaliteta sirovo prikupljenih podataka. Na originalno generisanim podacima sa ova dva sistema izvršena je inicijalna obrada koja podrazumeva izdvajanje onih tačaka koje su neophodne za kreiranje korektnog digitalnog modela terena, što je objašnjeno u poglavlju 5.3.1. Kreirani digitalni model terena Mo (model kreiran od originalnih podataka kreirane klase *ground*) će u daljim analizama biti korišćen kao sredstvo upoređenja sa uslovno tačnim modelom, koji je određen kontrolnim tačkama MCP (model kreiran od kontrolnih tačaka) ili kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima MCPP (model kreiran od kontrolnih tačaka i kontrolnih profila). Izbor kontrolnih tačaka i kontrolnih profila, korišćenih u okviru analiza, objašnjen je u poglavljima 5.3.2 i 5.3.3.

Upoređenje originalno generisanih podataka sa kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima realizovano je na sledeći način: oblak tačaka je klasifikovan i dobijena je klasa tačaka terena (eng. *ground*). Ova klasa je iskorišćena za generisanje modela Mo koji se koristi za preliminarne analize i definisanje parametara neophodnih za kalibraciju. Izdvojene kontrolne tačke se postavljaju na model i računa im se Z vrednost. Na taj način za svaku tačku imamo dve Z vrednosti, jednu originalnu  $Z_t$  (Z vrednost kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izdvojenih za kalibraciju) vrednost poligonske tačke i drugu  $Z_{Mo}$  (Z vrednost (kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izdvojenih za kalibraciju) očitana na modelu Mo) vrednost očitane na kreiranom modelu. Na isti način se postupa i sa kontrolnim profilima.

#### 6.1.1.1 Rezultati analize originalno generisanih UAV i LiDAR podataka sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka

Kontrolne tačke koje su korišćene u procesu kalibracije oblaka tačaka 5.3.2 su tačke poligonske mreže i prikazane su na slici 5.7. Na području na kojem je realizovano snimanje UAV sistemom, unutar definisanog poligona (Slika 5.8), nalazi se ukupno 133 kontrolne tačke, dok se na području na kojem je snimanje realizovano LiDAR sistemom, unutar definisanog poligona (Slika 5.8), nalazi ukupno 78 kontrolnih tačaka.

#### Analiza originalnih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka

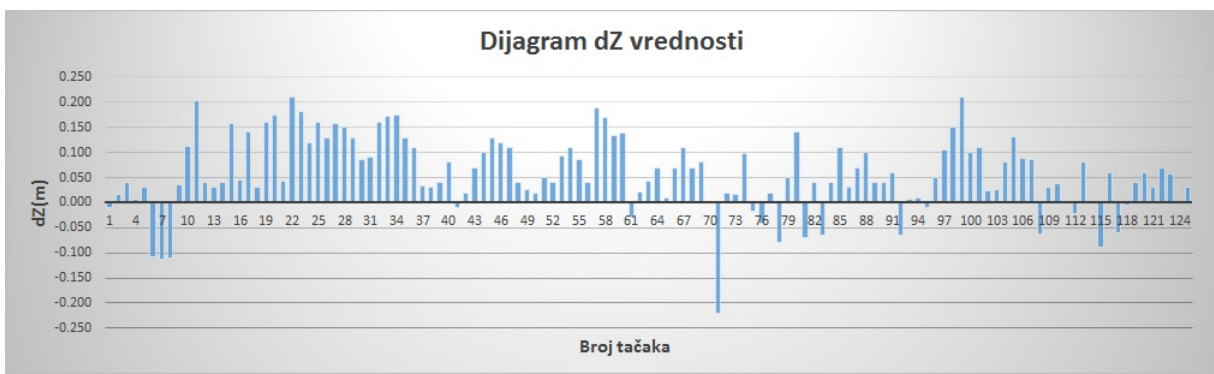
Najpre su analizirani podaci generisani metodom automatizovane digitalne fotogrametrije primenom UAV sistema. U tabeli 10.1 dat je prikaz kontrolnih tačaka čije su Z vrednosti očitane na UAVMo modelu, pri čemu  $dZ$  predstavlja razliku  $Z_t$  vrednosti kontrolne tačke i  $Z_{Mo}$  iste te tačke očitane na UAVMo modelu. Na osnovu dobijenih vrednosti prikazanih u tabeli 6.1, može se sagledati kvalitet inicijalno generisanih podataka.

Grafička interpretacija analize prikazana je na osnovu dijagrama dobijenih  $dZ$  vrednosti i dijagrama broja tačaka po intervalu odstupanja. Na slici 6.1 prikazan je dijagram dobijenih  $dZ$  vrednosti. Vertikalnom osom dijagrama predstavljene su  $dZ$  vrednosti, a horizontalnom osom broj tačaka. Iz dijagrama se vidi da je trend odstupanja pozitivan. Na slici 6.2 prikazan je dijagram broja tačaka po

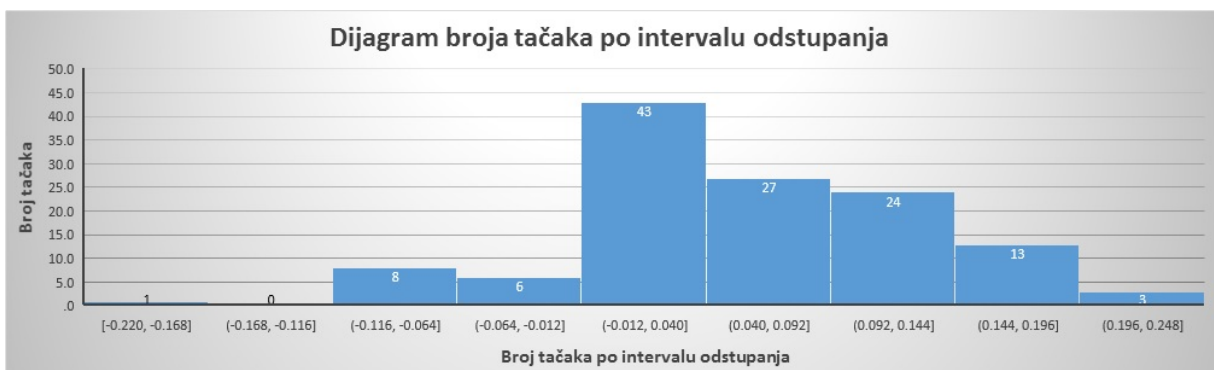
TABELA 6.1: Parametri kvaliteta inicijalno generisanih podataka, UAVMo - kontrolne tačke

Srednja vrednost dZ	- 0,001 m
dZ min	-1,390 m
dZ max	+ 0,210 m
Srednja kvadratna greška	0,253 m
Standardna devijacija	0,253 m

intervalu odstupanja na kome se vidi da se najveći broj tačaka (43) nalazi u intervalu odstupanja (-0.012, -0.040).



SLIKA 6.1: Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od kreiranog UAVMo modela



SLIKA 6.2: Prikaz kontrolnih tačaka. Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od UAVMo modela



Analiza originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka

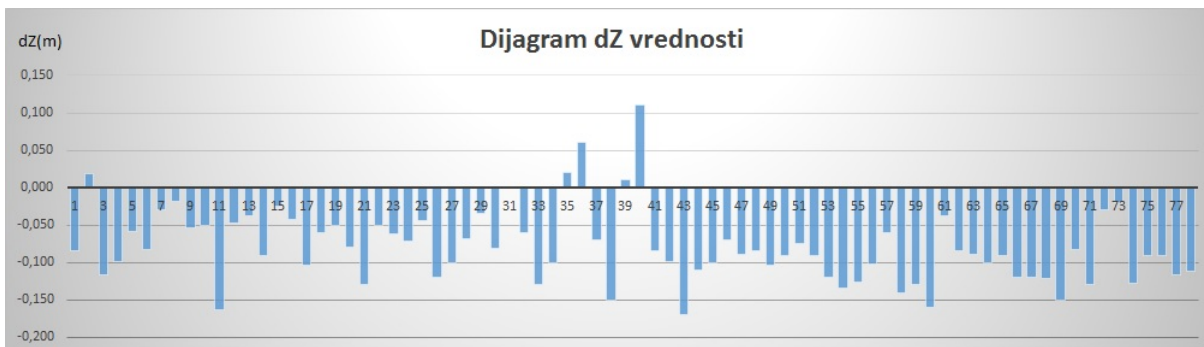
Nakon završene analize UAV podataka, analizirani su podaci generisani LiDAR sistemom. U tabeli 10.2 dat je prikaz kontrolnih tačaka čije su Z vrednosti očitane na modelu LiDARMo, pri čemu dZ predstavlja razliku Z vrednosti kontrolne tačke i iste te tačke očitane na LiDARMo modelu. Na osnovu dobijenih vrednosti prikazanih u tabeli 6.2, može se sagledati kvalitet inicijalno generisanih podataka.

TABELA 6.2: Parametri kvaliteta inicijalno generisanih podataka, LiDARMo - kontrolne tačke

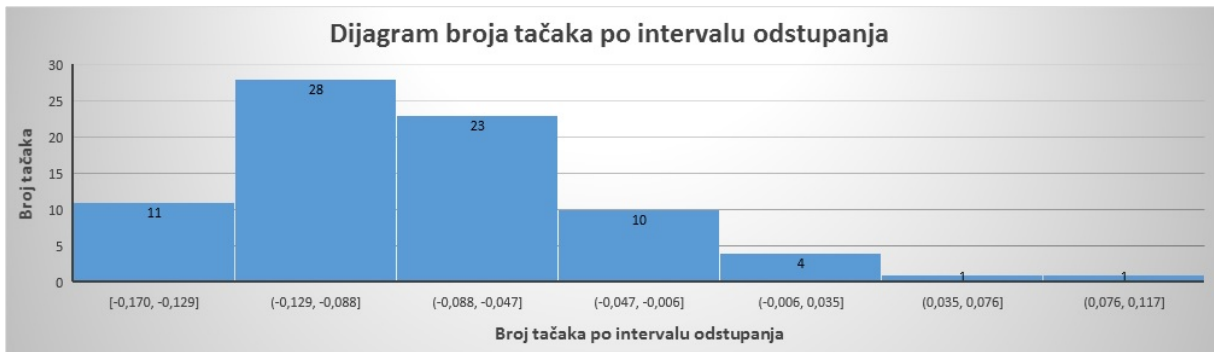
Srednja vrednost dZ	- 0,081 m
dZ min	- 0,170 m
dZ max	+ 0,110 m
Srednja kvadratna greška	0,095 m
Standardna devijacija	0,050 m

Na slici 6.3 prikazan je dijagram dobijenih dZ vrednosti. Vertikalnom osom dijagrama predstavljeno je odstupanje dZ. Iz dijagrama se vidi da je veći deo odstupanja negativan, dok je na slici 6.4 prikazan dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja. Na dijagramu se vidi da se najveći broj tačaka (28) nalazi u intervalu odstupanja (-0.129, -0.088).

Daljim analizama i kalibracijom oblaka tačaka biće iskazan trend smanjenja odstupanja po intervalima odstupanja.



SLIKA 6.3: Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od kreiranog LiDARMo modela



SLIKA 6.4: Prikaz kontrolnih tačaka. Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja LiDARMo modela

### 6.1.1.2 Rezultati analize originalno generisanih UAV i LiDAR podataka sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

Kao dodatni podatak za poboljšanje tačnosti dobijenog oblaka tačaka, pored kontrolnih tačaka izdvojeni su i kontrolni profili. Na teritoriji celog projekta izdvojeni su kontrolni profili sa 514 tačkaka. Skica kontrolnih profila data je na slici 5.11. Tačke kontrolnih profila snimljene su metodom precizne elektronske tahimetrije.

Kao i u slučaju analize sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka, ovde su posmatrane tačke izdvojene u kontrolnim profilima, čije su Z vrednosti očitane na modelima kreiranim od podataka generisanih UAV i LiDAR sistemima. Formirane su razlike dZ koje predstavljaju razliku Z vrednosti tačke kontrolnog profila i iste te tačke očitane na generisanom modelu.

#### Analiza originalnih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

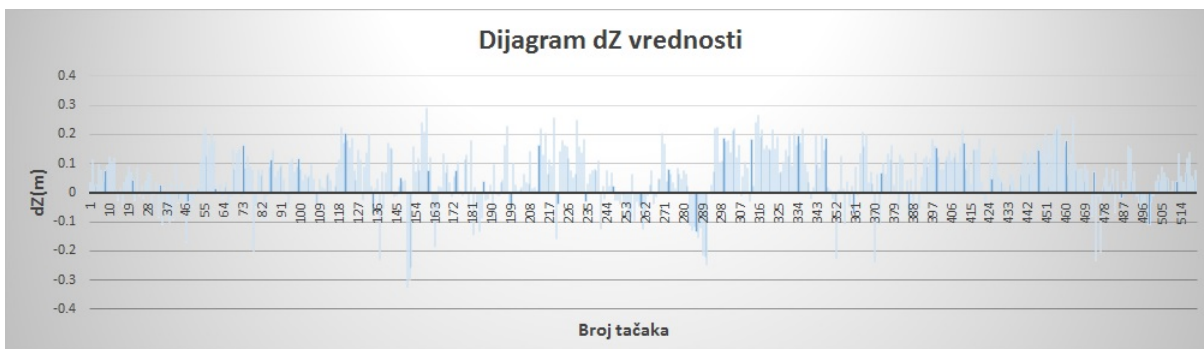
U tabeli 10.3 dat je prikaz kontrolnih tačaka čije su Z vrednosti očitane na modelu UAVMo, pri čemu dZ predstavlja razliku Z vrednosti kontrolne tačke i iste te tačke očitane na UAVMo modelu. Na osnovu dobijenih vrednosti prikazanih u tabeli 6.3, može se sagledati kvalitet inicijalno generisanih podataka.

TABELA 6.3: Parametri kvaliteta inicijalno generisanih podataka, UAVMo - kontrolne tačke i kontrolni profili

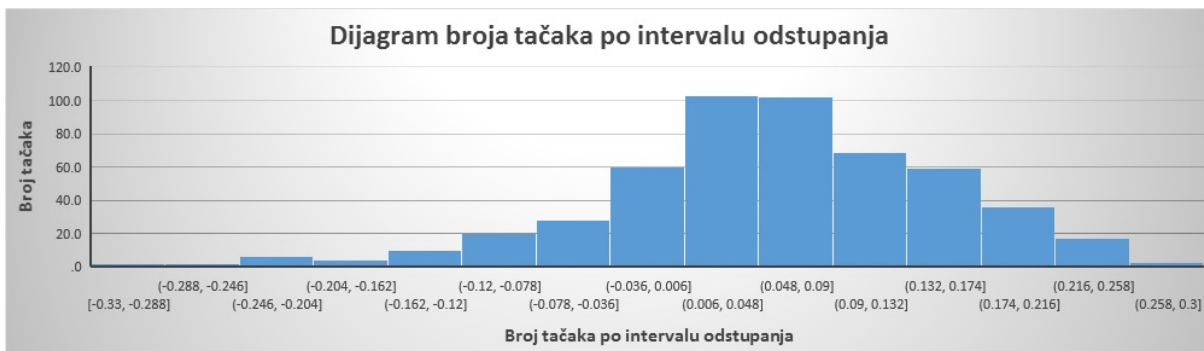
Srednja vrednost dZ	+ 0,056 m
dZ min	- 0,330 m
dZ max	+ 0,290 m
Srednja kvadratna greška	0,112 m
Standardna devijacija	0,097 m

Na slici 6.5 prikazan je dijagram dobijenih dZ vrednosti. Vertikalna osa dijagrama predstavljena je rasponom odstupanja Z vrednosti. Iz dijagrama se vidi da je veći deo odstupanja pozitivan, dok je na slici 6.6 prikazan dijagram broja tačaka

po intervalu odstupanja. Na dijagramu se vidi da se najveći broj tačaka (100) nalazi u intervalima odstupanja (0.006, 0.048) i (0.048, 0.090).



SLIKA 6.5: Prikaz odstupanja tačaka kontrolnih profila od kreiranog UAVMo modela



SLIKA 6.6: Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja UAVMo modela

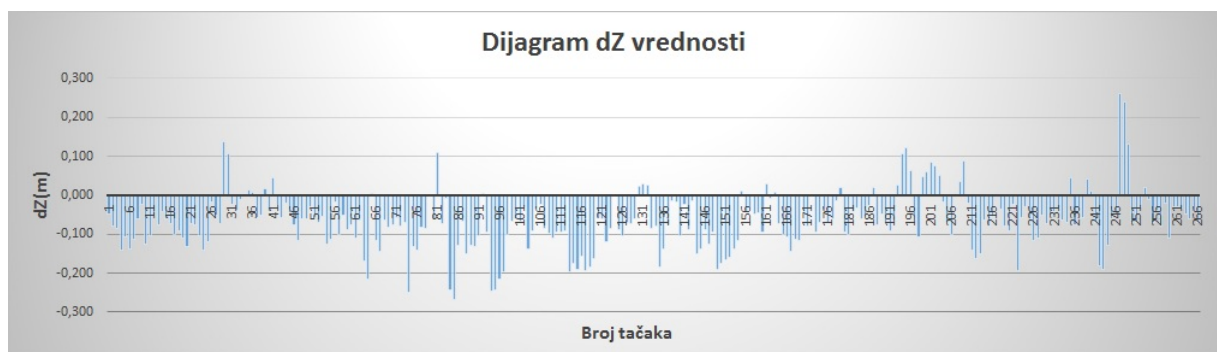
*Analiza originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila*

Kod analize podataka generisanih LiDAR sistemom izdvojeno je 266 tačke na kontrolnim profilima. Inicijalno je izdvojeno 514 tačaka, ali se skoro polovina nalazi u delovima koji nisu pokriveni LiDAR snimanjem. U tabeli 10.4 dat je prikaz kontrolnih tačaka i kontrolnih profila čije su Z vrednosti očitane na modelu LiDARMo, pri čemu dZ predstavlja razliku Z vrednosti kontrolne tačke i iste te tačke očitane na LiDARMo modelu. Na osnovu dobijenih vrednosti prikazanih u tabeli 6.4, može se sagledati kvalitet inicijalno generisanih podataka.

TABELA 6.4: Parametri kvaliteta inicijalno generisanih podataka, LiDARMo - kontrolne tačke i kontrolni profili

Srednja vrednost dZ	- 0,074 m
dZ min	-1,487 m
dZ max	+ 0,260 m
Srednja kvadratna greška	0,127 m
Standardna devijacija	0,104 m

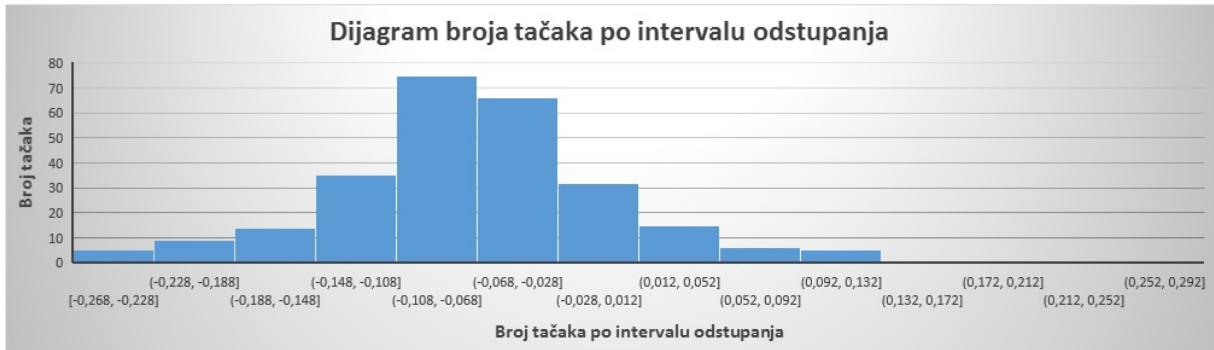
Na slici 6.7 prikazan je dijagram dobijenih dZ vrednosti. Vertikalna osa dijagrama predstavljena je rasponom odstupanja Z vrednosti. Iz dijagrama se vidi da je veći deo odstupanja negativan, dok je na slici 6.8 prikazan dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja. Na dijagramu se vidi da se najveći broj tačaka (75) nalazi u intervalu odstupanja (-0.108, -0.068). Daljim analizama i kalibracijom oblaka tačaka biće iskazan trend smanjenja odstupanja po intervalima odstupanja.



SLIKA 6.7: Prikaz odstupanja tačaka kontrolnih profila od kreiranog LiDARMo modela

### 6.1.2 Rezultati analize kalibrisanih UAV i LiDAR podataka

Analiza kalibrisanih UAV i LiDAR podataka podrazumeva ocenu kvaliteta definisanog modela kalibracije. Analiziraćemo dva modela: jedan je kreiran na osnovu kontrolnih tačaka, a drugi na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila. Nakon



SLIKA 6.8: Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja LiDARMo modela

izvršenih analiza ustanovljen je stepen odstupanja generisanih podataka u odnosu na definisane uslovno tačne vrednosti koje predstavljaju kontrolne tačke i kontrolni profili.

Na osnovu prikupljenih informacija o evidentiranim odstupanjima originalno prikupljenih podataka, pri poređenju sa kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima, sagledana je tačnost i **izvršena kalibracija originalno generisanih podataka**.

Postupak kalibracije podrazumeva modifikaciju originalno prikupljenih podataka prema ustanovljenim odstupanjima ili lokalnom modelu konverzije visina, koji kod većih područja mora biti definisan korišćenjem lokalnih tačaka kod kojih je definisana visinska razlika. Lokalni model visina definisan je kao tekstualni dokument, koji sadrži spisak Y i X koordinata tačaka na osnovu kojih se vrši kalibracija, i dZ vrednost, koja predstavlja odstupanje generisanih laserskih podataka od definisanog uslovno tačnog modela u visinskom smislu.

#### 6.1.2.1 Rezultati analize kalibrisanih UAV i LiDAR podataka sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka

Nakon završene kalibracije izvršeno je upoređenje kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama na osnovu kojih je izvršena kalibracija.

Uvedene su sledeće skraćenice:

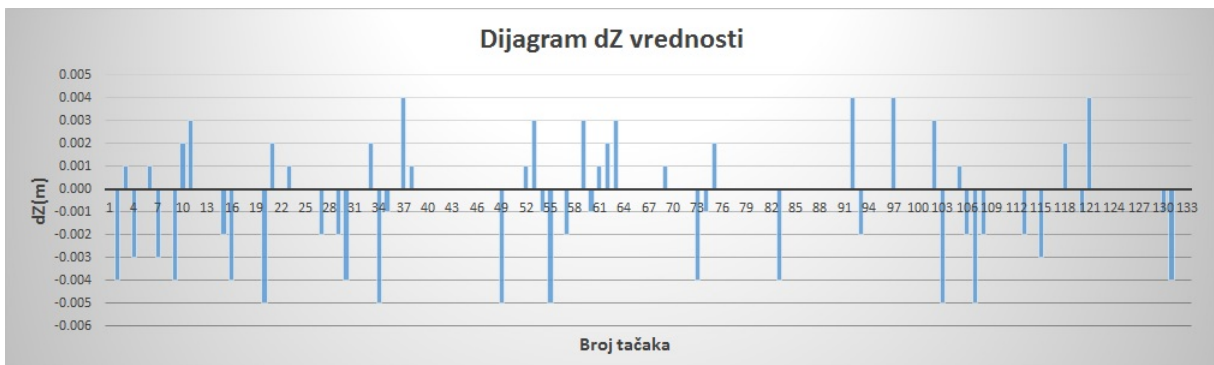
- UAVMmCP – model kreiran od kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka
- LiDARMmCP – model kreiran od kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka

##### Analiza kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka

U tabeli 10.5 dat je prikaz kontrolnih tačaka čije su Z vrednosti očitane na modelu UAVMmCP modelu, pri čemu dZ predstavlja razliku Z vrednosti kontrolne tačke i iste te tačke očitane na UAVMmCP modelu. Na osnovu dobijenih vrednosti prikazanih u tabeli 6.5, može se sagledati kvalitet kalibrisanih podataka.

TABELA 6.5: Parametri kvaliteta kalibriranih podataka, UAVMmC - kontrolne tačke

Srednja vrednost dZ	- 0,000 m
dZ min	- 0,005 m
dZ max	+ 0,010 m
Srednja kvadratna greška	0,002 m
Standardna devijacija	0,002 m



SLIKA 6.9: Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od UAVMmC modela



SLIKA 6.10: Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od UAVMmC modela

Na slici 6.9 je prikazan dijagram dobijenih dZ vrednosti. Vertikalnom osom dijagrama predstavljeno je odstupanje Z vrednosti. Iz dijagrama se vidi da je sada trend odstupanja i pozitivan i negativan. Na slici 6.10 prikazan je dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja na kome se vidi da se najveći broj tačaka (85) nalazi u intervalu odstupanja od (-0,001, -0,000).

#### Analiza kalibriranih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka

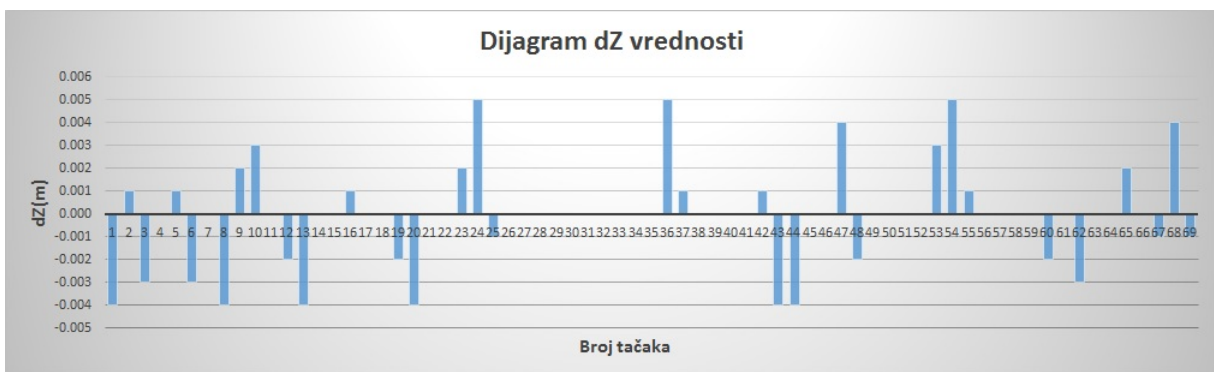
U tabeli 10.6 dat je prikaz kontrolnih tačaka čije su Z vrednosti očitane na modelu LiDARMmCP modelu, pri čemu dZ predstavlja razliku Z vrednosti kontrolne



tačke i iste te tačke očitane na LiDARmCP modelu. Na osnovu dobijenih vrednosti prikazanih u tabeli 6.6, može se sagledati kvalitet kalibrisanih podataka.

TABELA 6.6: Parametri kvaliteta kalibrisanih podataka, LiDARmC - kontrolne tačke

Srednja vrednost dZ	- 0,000 m
dZ min	- 0,004 m
dZ max	+ 0,005 m
Srednja kvadratna greška	0,002 m
Standardna devijacija	0,002 m



SLIKA 6.11: Prikaz kontrolnih tačaka. Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od LiDARmC modela



SLIKA 6.12: Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od LiDARmC modela

Na slici 6.11 prikazan je dijagram dobijenih dZ vrednosti. Vertikalnom osom dijagrama predstavljeno je odstupanje Z vrednosti. Iz dijagrama se vidi da je sada trend odstupanja i pozitivan i negativan. Na slici 6.12 prikazan je dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja na kome se vidi da se najveći broj tačaka (43) nalazi u intervalu odstupanja od (-0.001, 0.001).

### 6.1.2.2 Rezultati analize kalibriranih UAV i LiDAR podataka sprovedene na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

Nakon završene kalibracije i upoređenja sa kontrolnim tačkama izvršeno je upoređenje kalibriranih podataka sa kontrolnim tačkama i profilima na osnovu kojih je izvršena kalibracija.

- UAVMmCPP – model kreiran od kalibriranih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila
- LiDARMmCPP – model kreiran od kalibriranih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

#### *Analiza kalibriranih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila*

U tabeli 10.7 dat je prikaz kontrolnih tačaka čije su Z vrednosti očitane na modelu LiDARMmCP modelu, pri čemu dZ predstavlja razliku Z vrednosti kontrolne tačke i iste te tačke očitane na LiDARMmCP modelu. Na osnovu dobijenih vrednosti prikazanih u tabeli 6.7, može se sagledati kvalitet kalibriranih podataka.

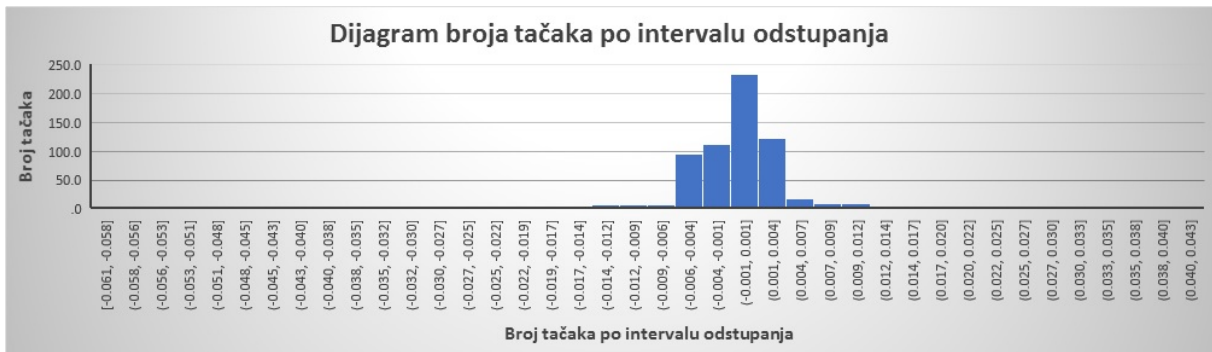
TABELA 6.7: Parametri kvaliteta kalibriranih podataka, UAVmCP - kontrolne tačke i kontrolni profili

Srednja vrednost dZ	- 0,001 m
dZ min	- 0,061 m
dZ max	+ 0,042 m
Srednja kvadratna greška	0,002 m
Standardna devijacija	0,006 m



SLIKA 6.13: Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od kalibriranog UAVMmCP modela

Na slici 6.13 prikazan je dijagram dobijenih dZ vrednosti. Vertikalnom osom dijagrama predstavljeno je odstupanje Z vrednosti. Iz dijagrama se vidi da je sada trend odstupanja i pozitivan i negativan. Na slici 6.14 prikazan je dijagram broja



SLIKA 6.14: Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od UAVMmCP modela

tačaka po intervalu odstupanja na kome se vidi da se najveći broj tačaka (235) nalazi u intervalu odstupanja od (-0.001, +0.001).

#### *Analiza kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila*

U tabeli 10.8 dat je prikaz kontrolnih tačaka čije su Z vrednosti očitane na modelu LiDARMmCP modelu, pri čemu dZ predstavlja razliku Z vrednosti kontrolne tačke i iste te tačke očitane na LiDARMmCPP modelu. Na osnovu dobijenih vrednosti prikazanih u tabeli 6.8, može se sagledati kvalitet kalibrisanih podataka.

Pri očitavanju Z vrednosti kontrolnih tačaka na profilima na LiDARMmCP, dobijene su sledeće vrednosti:

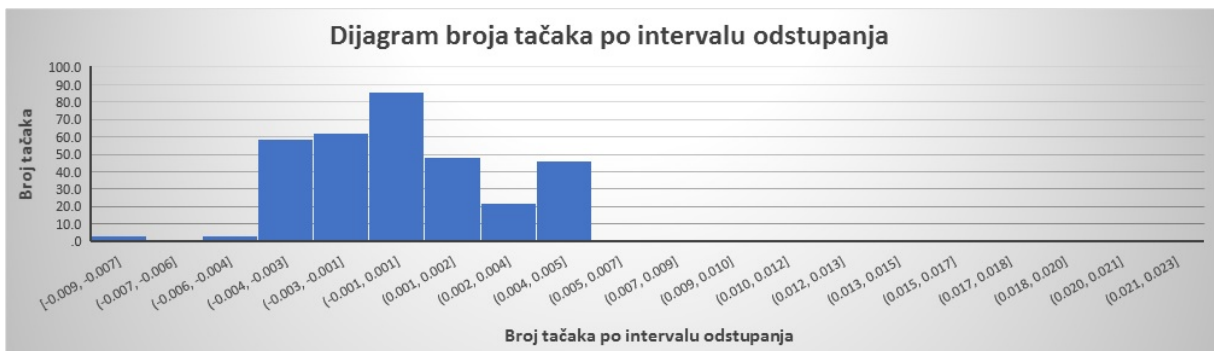
TABELA 6.8: Parametri kvaliteta kalibrisanih podataka, LiDARMCP - kontrolne tačke i kontrolni profili

Srednja vrednost dZ	- 0,000 m
dZ min	- 0,009 m
dZ max	+ 0,022 m
Srednja kvadratna greška	0,002 m
Standardna devijacija	0,003 m

Na slici 6.15 prikazan je dijagram dobijenih dZ vrednosti. Vertikalnom osom dijagrama predstavljeno je odstupanje Z vrednosti. Iz dijagrama se vidi da je sada trend odstupanja i pozitivan i negativan. Na slici 6.16 prikazan je dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja na kome se vidi da se najveći broj tačaka (85) nalazi u intervalu odstupanja od (-0.001, -0.000).



SLIKA 6.15: Prikaz odstupanja kontrolnih tačaka od LiDARMmCP modela



SLIKA 6.16: Dijagram broja tačaka po intervalu odstupanja od LiDARMmCP modela

## 6.2 Rezultati analize kalibriranih podataka - upoređenje sa uslovno tačnim modelom

Analiza kalibriranih podataka izvršena je na osnovu upoređenja sa uslovno tačnim modelom, kojeg definišu tačke snimljene metodom precizne elektronske tahimetrije. Upoređenje je izvršeno tako što su rezultati posmatrani u intervalima odstupanja koji se smatraju relevantnim za rezultate istraživanja. Posmatrani su intervali od -15 cm do +15 cm. Na osnovu Zakona rasporeda slučajne promenljive, određene su gustina i funkcija raspodele i na osnovu njih su kreirani dijagrami tih funkcija i histogrami apsolutnih frekvencija.

Ako nađemo limes količnika verovatnoće događaja da slučajna veličina  $X$  padne na elementarni odsečak od  $x$  do  $x + \Delta x$  i dužine tog odsečka  $\Delta x$ , kada  $\Delta x$  teži nuli, dobijamo gustinu rasporeda slučajne veličine u tački  $x$  sa oznakom  $f(x)$ ,

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x \leq X < x + \Delta x)}{\Delta x} = f(x), -\infty < x < \infty \quad (6.1)$$

Funkciju  $f(x)$  definisanu u 6.1 nazivamo gustinom ili zakonom ili diferencijalnim zakonom rasporeda verovatnoća neprekidne slučajne promenljive  $X$ .

Smisao gustine rasporeda je u tome da ukazuje na to koliko se često pojavljuje slučajna veličina  $X$  u nekoj okolini tačke  $x$  pri ponavljanju opažanja ili merenja.

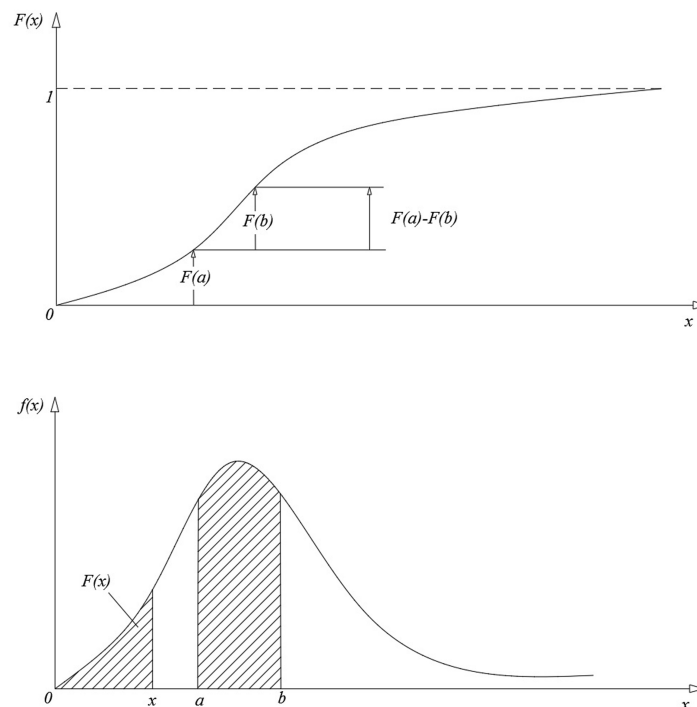
Osobine gustine rasporeda su:

- Gustina rasporeda je nenegativna,  $f(x) \geq 0$ , za svako  $x$ .
- Normiranost. Integral gustine rasporeda u beskonačnim granicama slučajne veličine  $X$  jednak je jedinici,  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$ .
- Verovatnoća da neprekidna slučajna veličina  $X$  padne na odsečak  $[a, b]$  jednaka je određenom integralu od gustine rasporeda na tom odsečku,  $P[a \leq X \leq b] = \int_a^b f(x)dx$ .

Neka je  $(X > x)$  događaj takav da slučajna veličina  $X$  može dobiti vrednosti manje od određenog broja  $x$ . Verovatnoća događaja  $(X > x)$  zapisuje se u vidu  $P(X > x)$ . Ona je funkcija od  $x$  i označava se sa  $F(x)$ , tj:

$$F(x) = P(X < x) \quad (6.2)$$

i naziva se Funkcijom rasporeda ili integralnim zakonom rasporeda slučajne veličine  $X$ . Grafik funkcije rasporeda prikazan je na slici 6.17



SLIKA 6.17: Grafik funkcije raspodele  $F(X)$  i kriva rasporeda  $f(x)$  ispod koje šrafirana oblast predstavlja verovatnoću  $p(a < X < b)$

Definicija funkcije rasporeda dovodi do zaključka da ona ima jednostavnu geometrijsku interpretaciju.

### **6.2.1 Analiza kalibriranih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM**

Nakon završene kalibracije, na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila, dobijeni su UVAVMmC, UAVMmCP kalibrirani oblaci tačaka. U cilju ocene tačnosti tih podataka, izvršeno je njihovo upoređenje sa uslovno tačnim modelom, kojeg reprezentuje detalj snimljen metodom precizne elektronske tahimetrije (Poglavlje 5.3.4) (u daljem tekstu PTM).

Pre upoređenja kalibriranih podataka izvršeno je upoređenje originalnih podataka sa PTM modelom, što nam u daljim analizama omogućuje uvid u stepen poboljšanja tačnosti kalibriranih podataka u odnosu na originalno generisane podatke.

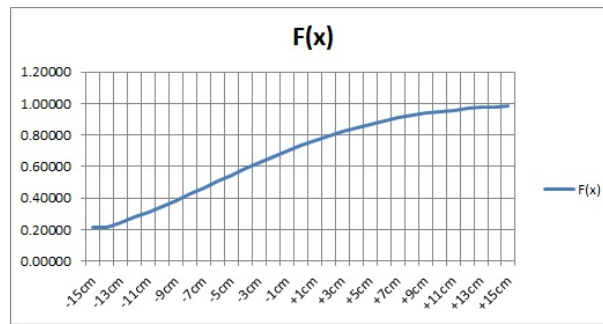


### 6.2.1.1 Analiza originalnih UAV podataka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM

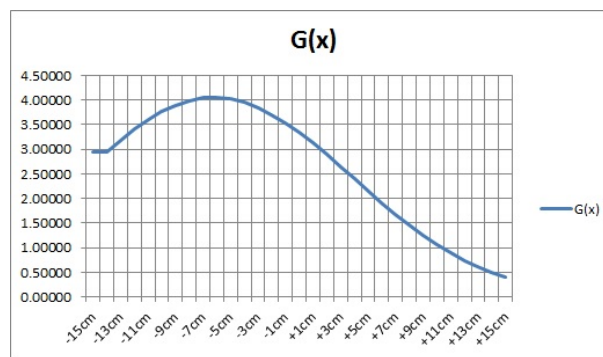
Izvršena je analiza odstupanja originalno generisanih podataka od PTM modela, tačnije analizirane su 3.162 tačke i njihovo odstupanje od originalno generisanih podataka. Za potrebe analize izvršeno je filtriranje i odstranjivanje grubih grešaka, da bi se na kraju analizirali intervali na kojima se očekuju najveća odstupanja. Analizirani su intervali odstupanja od -15 cm do +15 cm. U tabeli 6.9 dat je prikaz intervala odstupanja sa brojem tačaka u svakom od intervala. Na slikama 6.18 i 6.19 prikazane su funkcija i gustina raspodele. Na dijagramu 6.20 vidi se da se najveći broj tačaka nalazi u intervalima odstupanja od -7 cm i od -10 cm.

Intervali	Broj tačaka	Mediana	F(x)	G(x)
-15cm	89	-0.1397024	0.2121436	2.9518745
-14cm	113	-0.1397024	0.2121436	2.9518745
-13cm	117	-0.1295532	0.2433176	3.1888702
-12cm	123	-0.1194700	0.2765882	3.4069470
-11cm	138	-0.1095495	0.3113593	3.5988447
-10cm	144	-0.0994831	0.3484503	3.7651482
-9cm	128	-0.0895392	0.3865726	3.8965730
-8cm	111	-0.0797500	0.4252058	3.9902809
-7cm	147	-0.0694464	0.4666529	4.0476791
-6cm	131	-0.0596455	0.5064241	4.0613511
-5cm	141	-0.0493729	0.5480336	4.0324000
-4cm	143	-0.0395130	0.5874865	3.9638125
-3cm	129	-0.0292222	0.6277353	3.8518464
-2cm	121	-0.0193137	0.6652177	3.7083589
-1cm	108	-0.0095909	0.7004654	3.5375849
0	100	-0.0000122	0.7334453	3.3448265
+1cm	74	0.0094561	0.7641357	3.1351697
+2cm	74	0.0192813	0.7938078	2.9028333
+3cm	59	0.0296154	0.8224971	2.6482630
+4cm	58	0.0396818	0.8478876	2.3961273
+5cm	39	0.0497500	0.8707463	2.1452988
+6cm	45	0.0595854	0.8906638	1.9062046
+7cm	37	0.0699643	0.9091829	1.6645326
+8cm	31	0.0795600	0.9241339	1.4539298
+9cm	39	0.0892813	0.9372904	1.2554482
+10cm	30	0.0992083	0.9488172	1.0698275
+11cm	26	0.1099091	0.9592845	0.8901117
+12cm	22	0.1204118	0.9677983	0.7345828
+13cm	18	0.1296923	0.9740443	0.6140578
+14cm	10	0.1396667	0.9795934	0.5014594
+15cm	16	0.1499231	0.9842165	0.4028132

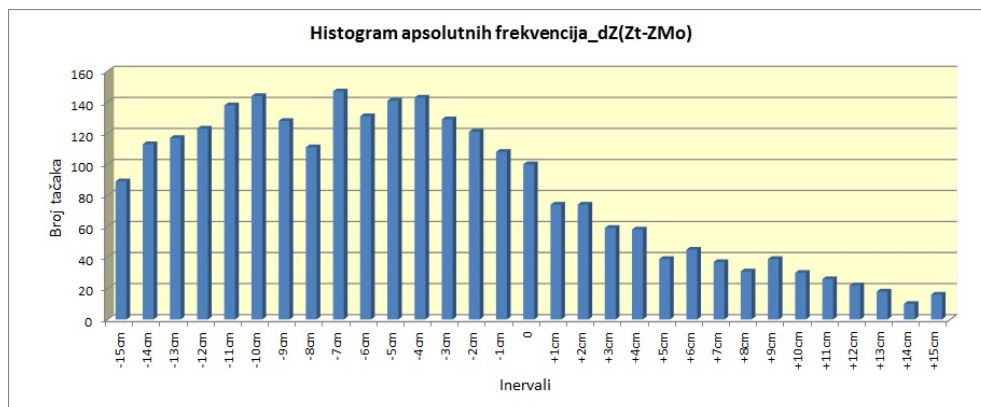
TABELA 6.9: Tabelarni prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja originalnih UAV podataka u odnosu na PTM



SLIKA 6.18: Funkcija raspodele originalnih UAV podataka u odnosu na PTM



SLIKA 6.19: Gustina raspodele originalnih UAV podataka u odnosu na PTM



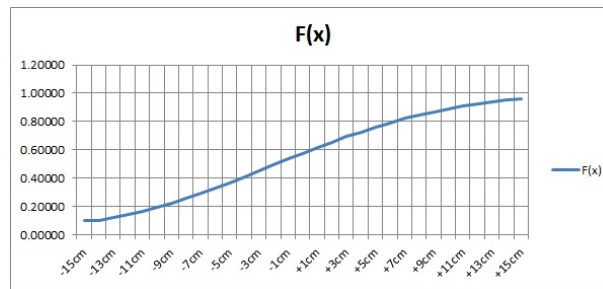
SLIKA 6.20: Histogram apsolutnih frekvencija originalnih UAV podataka u odnosu na PTM

### 6.2.1.2 Analiza kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM

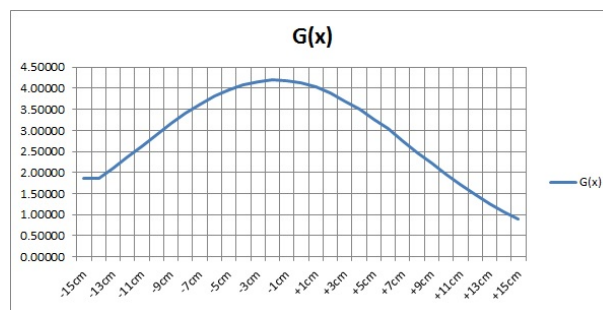
Nakon završene analize originalno generisanih podataka UAV sistemom i njihove kalibracije korišćenjem samo kontrolne tačke, izvršena je analiza kalibrisanih podataka. Kao i kod upoređenja originalno generisanih podataka, kreirana su odstupanja originalnih podataka od uslovno tačnog modela podeljena na intervale odstupanja i to je prikazano u tabeli 6.10. Na slikama 6.21 i 6.22 prikazane su funkcija i gustina raspodele. Upoređenjem kalibrisanih podataka sa uslovno tačnim modelom ustanovljeno je da se najveći broj tačaka nalazi u intervalu odstupanja od -3 cm, što se može videti na dijagramu 6.23.

Intervali	Broj tačaka	Mediana	F(x)	G(x)
-15cm	28	-0.1391563	0.1010489	1.8602769
-14cm	39	-0.1391563	0.1010489	1.8602769
-13cm	41	-0.1295000	0.1201940	2.1067383
-12cm	53	-0.1195625	0.1424268	2.3688548
-11cm	61	-0.1097551	0.1669446	2.6311540
-10cm	80	-0.0992857	0.1959502	2.9089174
-9cm	83	-0.0895238	0.2255793	3.1595510
-8cm	110	-0.0790842	0.2598964	3.4114847
-7cm	124	-0.0697766	0.2926180	3.6160303
-6cm	149	-0.0594758	0.3309133	3.8138669
-5cm	182	-0.0497027	0.3689696	3.9682558
-4cm	168	-0.0394552	0.4102957	4.0901603
-3cm	228	-0.0295632	0.4511625	4.1652200
-2cm	207	-0.0196011	0.4928483	4.1960310
-1cm	184	-0.0096443	0.5345903	4.1809206
0	209	-0.0001341	0.5741135	4.1240763
+1cm	149	0.0097177	0.6142810	4.0233153
+2cm	137	0.0193652	0.6524642	3.8863674
+3cm	120	0.0298384	0.6922208	3.6995821
+4cm	114	0.0396629	0.7275783	3.4937705
+5cm	69	0.0496042	0.7611736	3.2615121
+6cm	77	0.0587119	0.7898475	3.0330502
+7cm	69	0.0696863	0.8215631	2.7452378
+8cm	54	0.0798182	0.8480067	2.4743762
+9cm	47	0.0891351	0.8699029	2.2265165
+10cm	20	0.0993529	0.8912903	1.9613606
+11cm	38	0.1096129	0.9100965	1.7069196
+12cm	19	0.1197857	0.9262423	1.4702341
+13cm	25	0.1301053	0.9402553	1.2489445
+14cm	19	0.1398824	0.9515198	1.0585277
+15cm	20	0.1496429	0.9610032	0.8879751

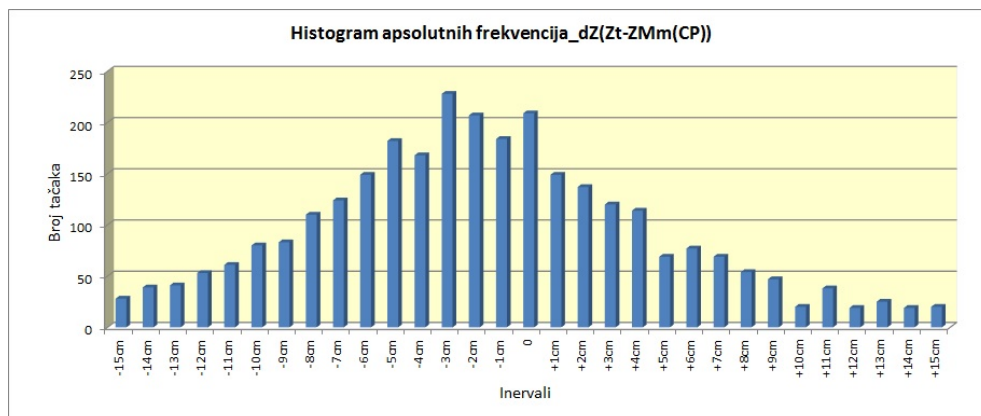
TABELA 6.10: Tabelarni prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja UAV kalibrisanih podataka na osnovu kontrolnih tačaka



SLIKA 6.21: Funkcija raspodele UAV podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka



SLIKA 6.22: Gustina raspodele UAV podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka



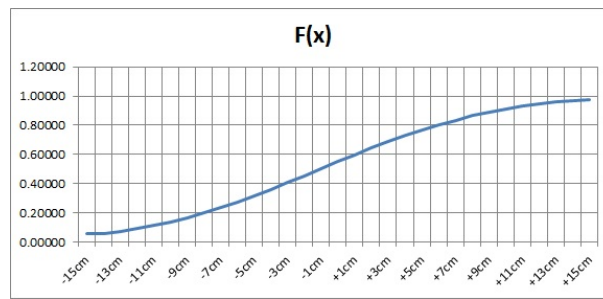
SLIKA 6.23: Histogram apsolutnih frekvencija kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka

### 6.2.1.3 Analiza kalibriranih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM

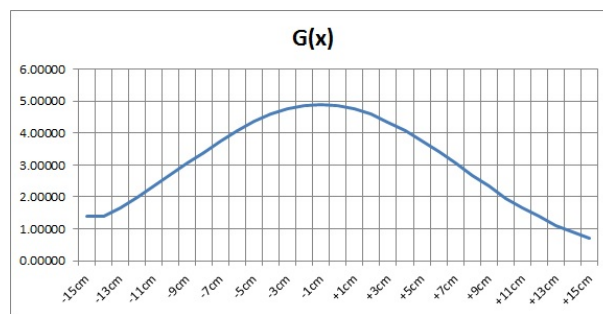
Nakon završene analize podataka kalibriranih samo pomoću kontrolnih tačaka, izvršena je kalibracija podataka pomoću kontrolnih tačaka i kontrolnih profila kako bi se povećala tačnost. U tabeli 6.11 prikazana su odstupanja podataka kalibriranih pomoću kontrolnih tačaka i kontrolnih profila od uslovno tačnog modela. Na slikama 6.24 i 6.25 prikazane su funkcija i gustina raspodele. Upoređenjem kalibriranih podataka sa uslovno tačnim modelom ustanovljeno je da se najveći broj tačaka nalazi u intervalu odstupanja od 0 cm, što se može videti na dijagramu 6.26.

Intervali	Broj tačaka	Mediana	F(x)	G(x)
-15cm	29	-0.1398065	0.0557551	1.3810238
-14cm	38	-0.1398065	0.0557551	1.3810238
-13cm	40	-0.1299091	0.0707964	1.6634378
-12cm	53	-0.1194348	0.0899207	1.9931192
-11cm	46	-0.1088108	0.1129930	2.3541830
-10cm	59	-0.0993556	0.1368377	2.6913757
-9cm	79	-0.0889706	0.1667488	3.0695586
-8cm	93	-0.0797308	0.1966598	3.4036244
-7cm	105	-0.0695385	0.2331739	3.7578987
-6cm	125	-0.0594151	0.2728877	4.0824538
-5cm	142	-0.0497739	0.3135925	4.3545418
-4cm	156	-0.0395339	0.3594503	4.5923593
-3cm	204	-0.0296047	0.4059479	4.7628714
-2cm	194	-0.0196500	0.4539367	4.8669744
-1cm	202	-0.0094419	0.5038503	4.8994435
0	257	-0.0002121	0.5489496	4.8627432
+1cm	185	0.0094625	0.5955434	4.7584773
+2cm	187	0.0193287	0.6416980	4.5872616
+3cm	144	0.0298707	0.6888081	4.3401224
+4cm	129	0.0393048	0.7285192	4.0719785
+5cm	110	0.0495176	0.7684561	3.7432629
+6cm	82	0.0590323	0.8025117	3.4122949
+7cm	59	0.0690000	0.8347351	3.0518794
+8cm	58	0.0794043	0.8645144	2.6731462
+9cm	44	0.0891471	0.8888598	2.3265219
+10cm	36	0.0998846	0.9118702	1.9634974
+11cm	31	0.1094444	0.9291883	1.6637152
+12cm	14	0.1192308	0.9440786	1.3842727
+13cm	26	0.1305000	0.9580390	1.1002508
+14cm	12	0.1399000	0.9673951	0.8952414
+15cm	20	0.1491875	0.9748781	0.7207348

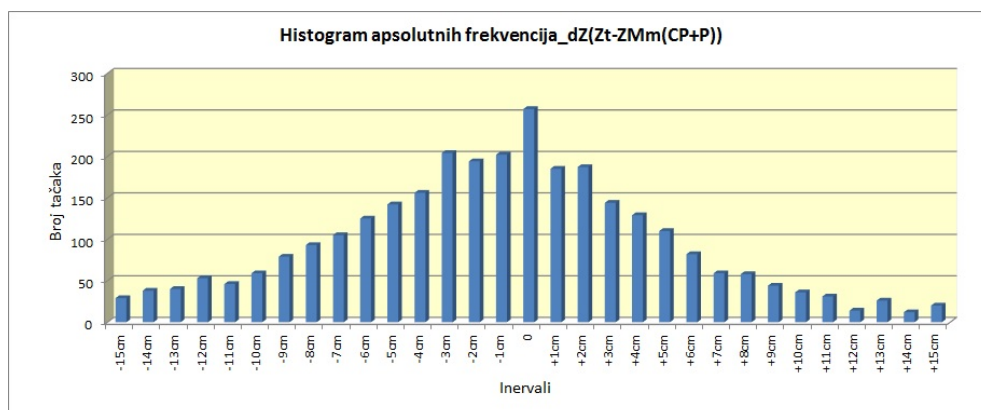
TABELA 6.11: Tabelarni prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja UAV kalibriranih podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila



SLIKA 6.24: Funkcija raspodele UAV podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila



SLIKA 6.25: Gustina raspodele UAV podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila



SLIKA 6.26: Histogram apsolutnih frekvencija kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

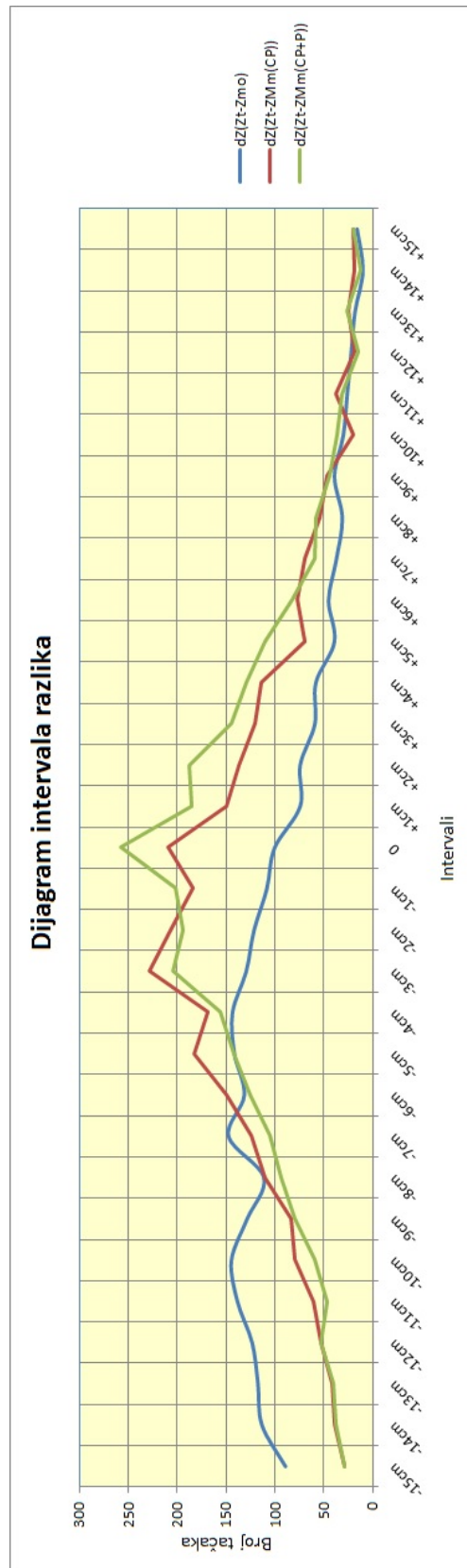


#### 6.2.1.4 Analiza originalnih i kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM

Nakon završene analize originalnih i kalibrisanih podataka, definisana su odstupanja od uslovno tačnog modela. Na osnovu analiza ustanovljen je trend poboljšanja tačnosti generisanih podataka primenom metoda kalibracije. U tabeli 6.12 dat je prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja originalno generisanih podataka, kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama i kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima.

Intervali	dZ(Zt-Zmo)	dZ(Zt-ZMm(CP))	dZ(Zt-ZMm(CP+P))
-15cm	89	28	29
-14cm	113	39	38
-13cm	117	41	40
-12cm	123	53	53
-11cm	138	61	46
-10cm	144	80	59
-9cm	128	83	79
-8cm	111	110	93
-7cm	147	124	105
-6cm	131	149	125
-5cm	141	182	142
-4cm	143	168	156
-3cm	129	228	204
-2cm	121	207	194
-1cm	108	184	202
0	100	209	257
+1cm	74	149	185
+2cm	74	137	187
+3cm	59	120	144
+4cm	58	114	129
+5cm	39	69	110
+6cm	45	77	82
+7cm	37	69	59
+8cm	31	54	58
+9cm	39	47	44
+10cm	30	20	36
+11cm	26	38	31
+12cm	22	19	14
+13cm	18	25	26
+14cm	10	19	12
+15cm	16	20	20

TABELA 6.12: Tabelarni prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja UAV originalno generisanih podataka, UAV kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama i UAV kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima



SLIKA 6.27: Grafički prikaz intervala razlika odstupanja originalnih UAV podataka, UAV podataka kalibrisanih kontrolnim tačkama i UAV podataka kalibrisanih kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima od uslovno tačnog modela PTM

### **6.2.2 Analiza kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM**

Posle završene analize podataka prikupljenih UAV sistemom, po istom principu je realizovana analiza podataka generisanih LiDAR sistemom.

Nakon završene kalibracije na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila dobijeni su LiDARMmC i LiDARMmCP kalibrisani oblaci tačaka. U cilju ocene tačnosti ovih podataka, izvršeno je njihovo upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM.

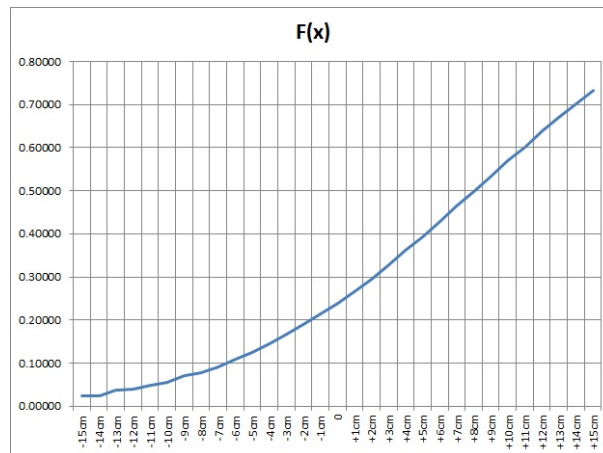
Pre upoređenja kalibrisanih podataka izvršeno je upoređenje originalnih podataka sa PTM modelom što nam u daljim analizama omogućuje uvid u stepen poboljšanja tačnosti kalibrisanih podataka u odnosu na originalno generisane podatke.

### 6.2.2.1 Analiza originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM

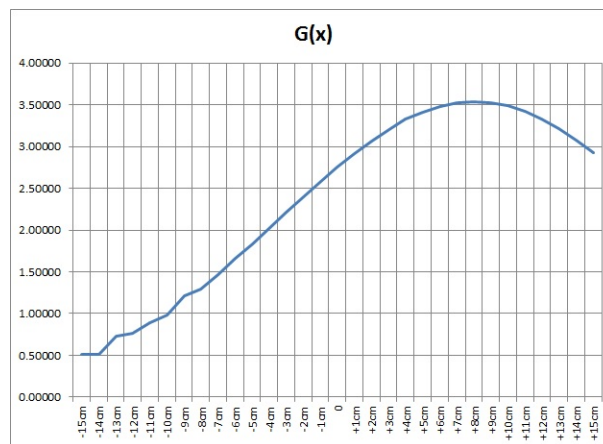
Kao kod analize podataka prikupljenih UAV sistemom i ovde je izvršena analiza odstupanja originalno generisanih podataka od PTM modela. Analizirane su 3.162 tačke i njihovo odstupanje od originalno generisanih podataka. Analizirani su intervali odstupanja od -15 cm do +15 cm. U tabeli 6.13 dat je prikaz intervala odstupanja sa brojem tačaka u svakom od intervala. Na slikama 6.28 i 6.29 prikazane su funkcija i gustina raspodele. Na dijagramu 6.30 se vidi da se najveći broj tačaka nalazi u intervalu odstupanja od +9 cm.

Intervali	Broj tačaka	Mediana	F(x)	G(x)
-15cm	0	-0.142000	0.024330	0.507173
-14cm	3	-0.142000	0.024330	0.507173
-13cm	0	-0.120000	0.037846	0.731315
-12cm	6	-0.117667	0.039584	0.758562
-11cm	2	-0.107500	0.047929	0.885188
-10cm	0	-0.100000	0.054945	0.986794
-9cm	1	-0.085000	0.071389	1.210134
-8cm	6	-0.079833	0.077854	1.292916
-7cm	6	-0.069667	0.091859	1.463690
-6cm	22	-0.058455	0.109375	1.662517
-5cm	13	-0.049231	0.125490	1.832513
-4cm	19	-0.039632	0.143947	2.013524
-3cm	16	-0.029125	0.166153	2.213698
-2cm	35	-0.019286	0.188854	2.400156
-1cm	36	-0.009250	0.213879	2.586117
0	50	0.000220	0.239174	2.754664
+1cm	43	0.009535	0.265570	2.911021
+2cm	59	0.019288	0.294709	3.061735
+3cm	73	0.029671	0.327257	3.204257
+4cm	108	0.040111	0.361363	3.325635
+5cm	94	0.049415	0.392726	3.412879
+6cm	101	0.059802	0.428573	3.484788
+7cm	107	0.070121	0.464782	3.527897
+8cm	100	0.079480	0.497881	3.541656
+9cm	109	0.089349	0.532796	3.529732
+10cm	101	0.099525	0.568533	3.489317
+11cm	104	0.109125	0.601746	3.425886
+12cm	80	0.119862	0.638028	3.327547
+13cm	74	0.129639	0.670028	3.214953
+14cm	48	0.139479	0.701023	3.081948
+15cm	56	0.149893	0.732304	2.922780

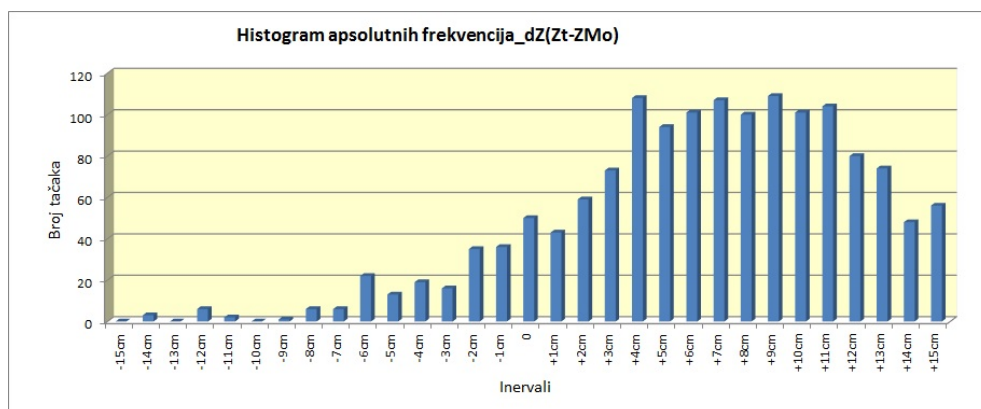
TABELA 6.13: Tabelarni prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka



SLIKA 6.28: Funkcija raspodele originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka



SLIKA 6.29: Gustina raspodele originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka



SLIKA 6.30: Histogram apsolutnih frekvencija originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka

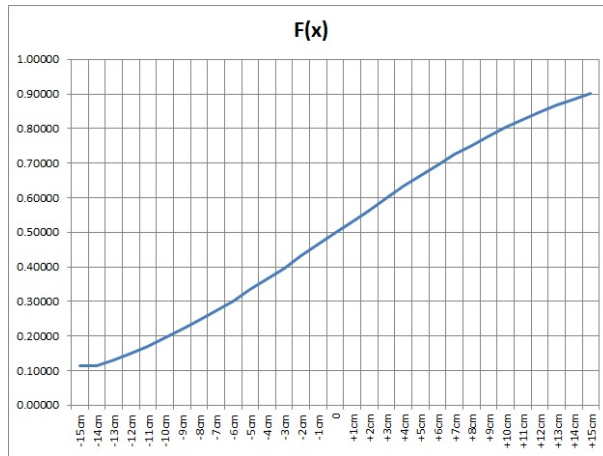
### 6.2.2.2 Analiza kalibriranih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM

Nakon završene analize originalno generiranih podataka LiDAR sistemom i njihove kalibracije korišćenjem samo kontrolne tačke, izvršena je analiza kalibriranih podataka. Kao i kod upoređenja originalno generiranih podataka, kreirana odstupanja originalnih podataka od uslovno tačnog modela, podeljena su na intervale odstupanja (od -15 cm do +15 cm) i to je prikazano u tabeli 6.14. Na slikama 6.31 i 6.32 prikazane su funkcija i gustina raspodele. Upoređenjem kalibriranih podataka sa uslovno tačnim modelom ustanovljeno je da se najveći broj tačaka nalazi u intervalu odstupanja od 0 cm, što se može videti na dijagramu 6.33.

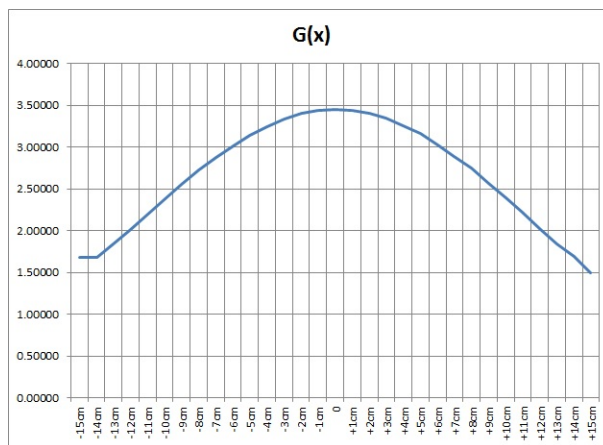
Intervali	Broj tačaka	Mediana	F(x)	G(x)
-15cm	4	-0.138333	0.114842	1.677348
-14cm	15	-0.138333	0.114842	1.677348
-13cm	16	-0.129077	0.131121	1.840771
-12cm	26	-0.119385	0.149806	2.015086
-11cm	26	-0.109346	0.170946	2.196711
-10cm	31	-0.098903	0.194866	2.383894
-9cm	31	-0.089065	0.219170	2.555667
-8cm	51	-0.079000	0.245745	2.723706
-7cm	54	-0.069222	0.273134	2.876578
-6cm	66	-0.059439	0.301971	3.016444
-5cm	88	-0.049250	0.333379	3.145319
-4cm	106	-0.039538	0.364450	3.249697
-3cm	108	-0.029565	0.397307	3.335891
-2cm	115	-0.019339	0.431769	3.400267
-1cm	111	-0.009676	0.464826	3.437440
0	125	0.000160	0.498722	3.450844
+1cm	97	0.009546	0.531082	3.440383
+2cm	83	0.019108	0.563836	3.406589
+3cm	86	0.029593	0.599245	3.343522
+4cm	71	0.039732	0.632732	3.258053
+5cm	56	0.049143	0.662940	3.158868
+6cm	46	0.059804	0.695927	3.025820
+7cm	38	0.069763	0.725369	2.884362
+8cm	37	0.078676	0.750467	2.746049
+9cm	21	0.089571	0.779412	2.565142
+10cm	23	0.099609	0.804286	2.390191
+11cm	16	0.109188	0.826362	2.218718
+12cm	16	0.120000	0.849295	2.023138
+13cm	16	0.130231	0.869050	1.839107
+14cm	4	0.138500	0.883652	1.692950
+15cm	6	0.149833	0.901731	1.498808

TABELA 6.14: Tabelarni prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja LiDAR kalibriranih podataka na osnovu kontrolnih tačaka

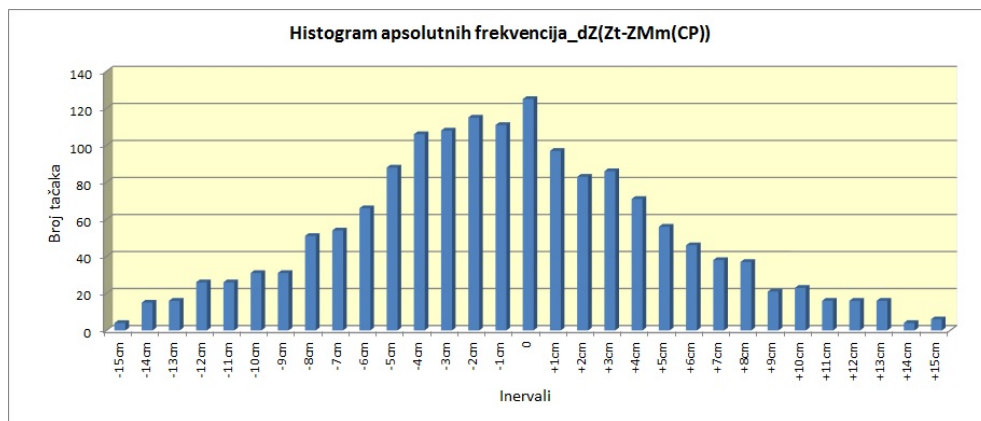




SLIKA 6.31: Funkcija raspodele LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka



SLIKA 6.32: Gustina raspodele LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka



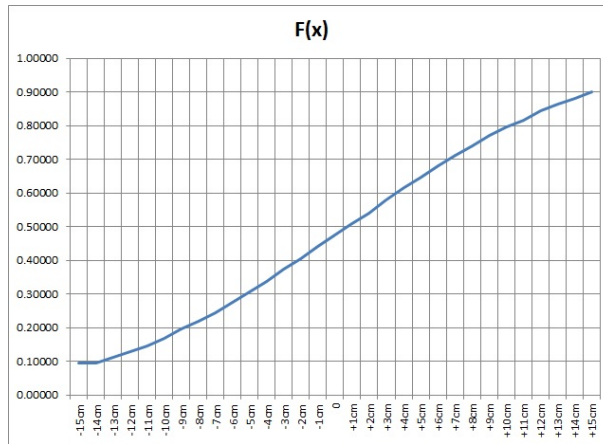
SLIKA 6.33: Histogram apsolutnih frekvencija kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka

### 6.2.2.3 Analiza kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM

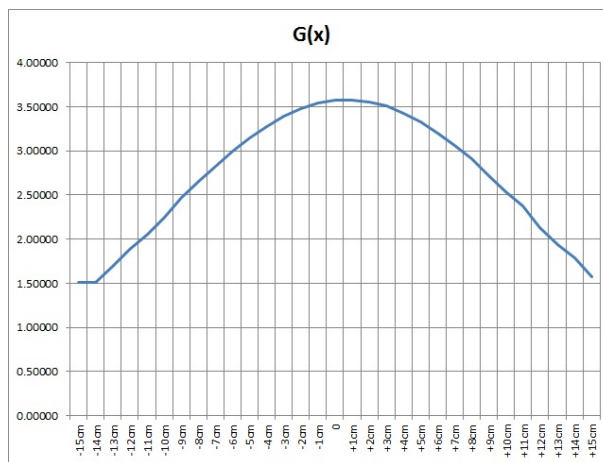
Nakon završene analize podataka kalibrisanih samo pomoću kontrolnih tačaka, izvršena je kalibracija podataka pomoću kontrolnih tačaka i kontrolnih profila u cilju povećanja tačnosti. U tabeli 6.15 prikazana su odstupanja podataka kalibrisanih pomoću kontrolnih tačaka i kontrolnih profila od uslovno tačnog modela. Na slikama 6.34 i 6.35 prikazane su funkcija i gustina raspodele. Upoređenjem kalibrisanih podataka sa uslovno tačnim modelom ustanovljeno je da se najveći broj tačaka nalazi u intervalu odstupanja od 0 cm, što se može videti na dijagramu 6.36.

Intervali	Broj tačaka	Mediana	F(x)	G(x)
-15cm	7	-0.139455	0.094259	1.507340
-14cm	11	-0.139455	0.094259	1.507340
-13cm	7	-0.129286	0.110521	1.692368
-12cm	16	-0.118937	0.129040	1.887800
-11cm	14	-0.110000	0.146681	2.060325
-10cm	18	-0.100333	0.167507	2.248392
-9cm	24	-0.088625	0.195158	2.474277
-8cm	30	-0.079067	0.219670	2.653618
-7cm	47	-0.069660	0.245435	2.822479
-6cm	59	-0.059136	0.276079	2.998744
-5cm	68	-0.049162	0.306756	3.149930
-4cm	100	-0.039400	0.338155	3.279762
-3cm	113	-0.028991	0.372916	3.395303
-2cm	113	-0.019310	0.406213	3.479090
-1cm	141	-0.009532	0.440543	3.538620
0	139	-0.000022	0.474371	3.571049
+1cm	127	0.009764	0.509368	3.577450
+2cm	89	0.018787	0.541581	3.558982
+3cm	82	0.029366	0.578991	3.508061
+4cm	86	0.039779	0.615131	3.428368
+5cm	74	0.049405	0.647679	3.330364
+6cm	58	0.059672	0.681235	3.202501
+7cm	33	0.069424	0.711792	3.061464
+8cm	31	0.078710	0.739536	2.912167
+9cm	24	0.089625	0.770297	2.721696
+10cm	20	0.099850	0.797166	2.532471
+11cm	12	0.108000	0.817173	2.376751
+12cm	15	0.120533	0.845439	2.133392
+13cm	16	0.130357	0.865460	1.942954
+14cm	5	0.138400	0.880468	1.789392
+15cm	6	0.150167	0.900232	1.571523

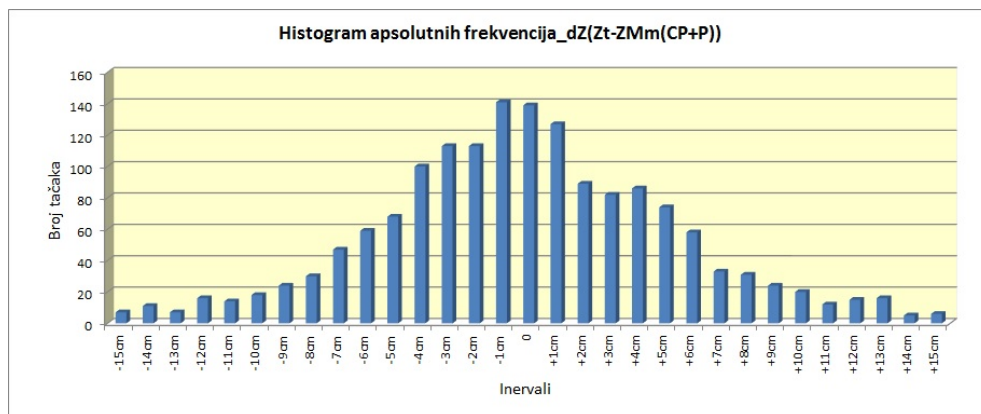
TABELA 6.15: Tabelarni prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja LiDAR kalibrisanih podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila



SLIKA 6.34: Funkcija raspodele LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila



SLIKA 6.35: Gustina raspodele LiDAR podataka kalibrisanih na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila



SLIKA 6.36: Histogram apsolutnih frekvencija kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

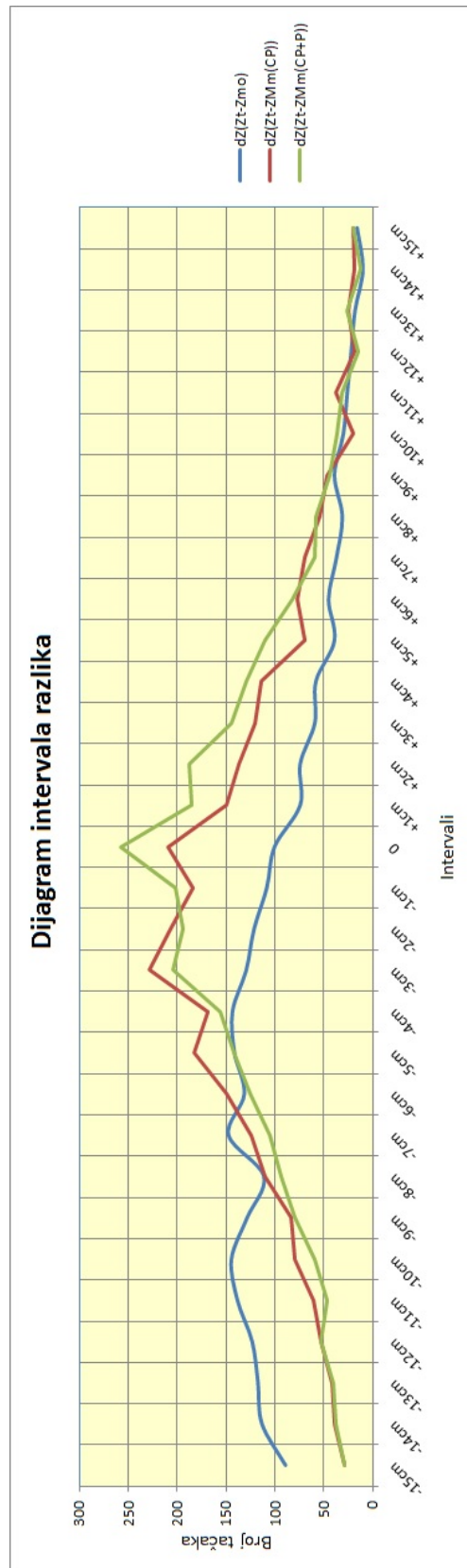
#### 6.2.2.4 Analiza originalnih i kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila-upoređenje sa uslovno tačnim modelom PTM

Nakon završene analize originalnih i kalibrisanih podataka i uslovno tačnog modela, ustanovljena su odstupanja od uslovno tačnog modela. Na osnovu analiza ustanovljen je trend poboljšanja tačnosti generisanih podataka primenom metoda kalibracije. U tabeli 6.16 dat je prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja originalno generisanih podataka, kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama i kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima.

Intervali	dZ(Zt-Zmo)	dZ(Zt-ZMm(CP))	dZ(Zt-ZMm(CP+P))
-15cm	89	28	29
-14cm	113	39	38
-13cm	117	41	40
-12cm	123	53	53
-11cm	138	61	46
-10cm	144	80	59
-9cm	128	83	79
-8cm	111	110	93
-7cm	147	124	105
-6cm	131	149	125
-5cm	141	182	142
-4cm	143	168	156
-3cm	129	228	204
-2cm	121	207	194
-1cm	108	184	202
0	100	209	257
+1cm	74	149	185
+2cm	74	137	187
+3cm	59	120	144
+4cm	58	114	129
+5cm	39	69	110
+6cm	45	77	82
+7cm	37	69	59
+8cm	31	54	58
+9cm	39	47	44
+10cm	30	20	36
+11cm	26	38	31
+12cm	22	19	14
+13cm	18	25	26
+14cm	10	19	12
+15cm	16	20	20

TABELA 6.16: Tabelarni prikaz broja tačaka po intervalu odstupanja LiDAR originalno generisanih podataka (dZ(Zt-Zmo)), LiDAR kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama (dZ(Zt-ZMm(CP))) i LiDAR kalibrisanih podataka sa kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima (dZ(Zt-ZMm(CP+P)))

Na dijagramu 6.37 je dat grafički prikaz intervala razlika odstupanja originalnih podataka, podataka kalibrisanih kontrolnim tačkama i podataka kalibrisanih kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima od uslovno tačnog modela PTM.



SLIKA 6.37: Grafički prikaz intervala razlika odstupanja originalnih LiDAR podataka ( $dZ(Zt-Zmo)$ ), LiDAR podataka kalibrisanih kontrolnim tačkama ( $dZ(Zt-ZMm(CP))$ ) i LiDAR podataka kalibrisanih kontrolnim tačkama i kontrolnim profilima ( $dZ(Zt-ZMm(CP+P))$ ) od uslovno tačnog modela PTM

Iz tabele 6.12 i dijagrama 6.27 koji predstavlja grafičku interpretaciju postignute tačnosti, jasno se vidi trend poboljšanja tačnosti kalibrisanih podataka.

## Poglavlje 7

# Diskusija rezultata

Tema ove doktorske disertacije je „**Model geodetskog premera savremenim akvizicionim tehnologijama**”, a cilj naučnog istraživanja **definisanje predloga metodologije analize kvaliteta rezultata dobijenih primenom savremenih tehnologija prostornog prikupljanja podataka u premeru, obnovi premera i inženjerskoj geodeziji**. Ovo poglavlje je bazirano na diskusiji postignutih rezultata u cilju definisanja modela geodetskog premera sa optimalno preduzetim radnjama, kako bi se postigao zahtevani kvalitet izlaznog podatka.

U praksi je proces prikupljanja i obrade podataka kod projekata za čiju realizaciju se koriste savremene metodologije premera maksimalno automatizovan. Svi dodatni radovi, koji se odnose na naknadno prikupljanje podataka nekom od konvencionalnih metoda premera, zahtevaju dodatne terenske ekipe i dodatno utrošeno vreme. Primena i smisao savremenih metodologija premera jeste brzo i efikasno prikupljanje podataka, pa je shodno tome u ovoj doktorskoj disertaciji dat predlog postupka po fazama radnji koje moraju biti preduzete kako bi se postigao željeni rezultat.

U cilju definisanja optimalnog modela geodetskog premera savremenim akvizicionim tehnologijama koji će zadovoljiti sve kriterijume (maksimalne automatizacije prikupljanja podataka, minimalne terenske radove i postizanje zahtevane tačnosti), izvršene su dodatne analize. Dosadašnje analize uključivale su sve dostupne kontrolne tačke i kontrolne profile na teritoriji naselja Feketić. U realnim uslovima nekog projekta to nije izvodljivo, pa je u cilju definisanja minimalno zahtevanih radnji koje je potrebno preduzeti u cilju postizanja zadovoljavajuće tačnosti na nekom projektu, izdvojen deo naselja na kome su izvršene analize.



### 7.0.1 Kalibracija podataka generisanih UAV sistemom – optimizacija broja kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

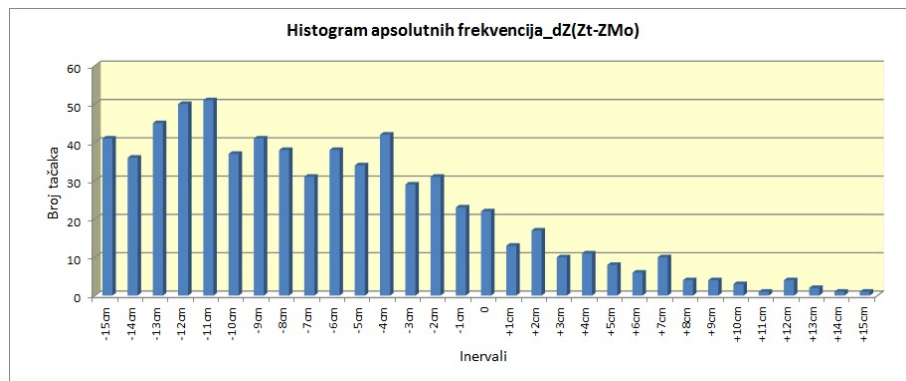
Izdvojeni deo ulica u naselju Feketić, na kojima će biti izvršene neophodne analize, obuhvata centralni deo naselja površine od 0,68 km<sup>2</sup> i ulica dužine 7 km (Slika 7.1). Kao i u prethodnim slučajevima, kod upoređivanja originalnih modela i kalibrisanih modela na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila, kao uslovno tačni model korišćene su tačke prikupljene metodom precizne elektronske tahimetrije.



SLIKA 7.1: PTM - izdvojene tačke za potrebe ocene kvaliteta kalibrisanih podataka (ukupno 961 tačka)

Za potrebe definisanja modela geodetskog premera primenom savremenih akvizicionih tehnologija sa optimalnim brojem kontrolnih tačaka i kontrolnih profila, izvršena je analiza uticaja njihovog broja i rasporeda na tačnost kalibrisanih podataka.

Najpre je izvršena analiza originalno generisanih podataka. Analizirana je ukupno 961 tačka (tačke označene zelenom bojom na slici 7.1). Na slici 7.2 prikazan je histogram apsolutnih frekvencija, a u tabeli 7.1 srednja vrednost razlike dZ, minimalna i maksimalna vrednost dZ, kao i RMS i Std. Na histogramu se vidi da su odstupanja od uslovno tačnog modela značajna. Najveća odstupanja zabeležena su u intervalu od -11 cm do -12 cm.



SLIKA 7.2: Histogram apsolutnih frekvencija originalnih UAV podataka – analiza izvršena na osnovu 961 izdvojene tačke

TABELA 7.1: Parametri kvaliteta dobijenih analizom 961 tačke na modelu kreiranom od originalnih UAV podataka – dZ(Zt-ZMo)

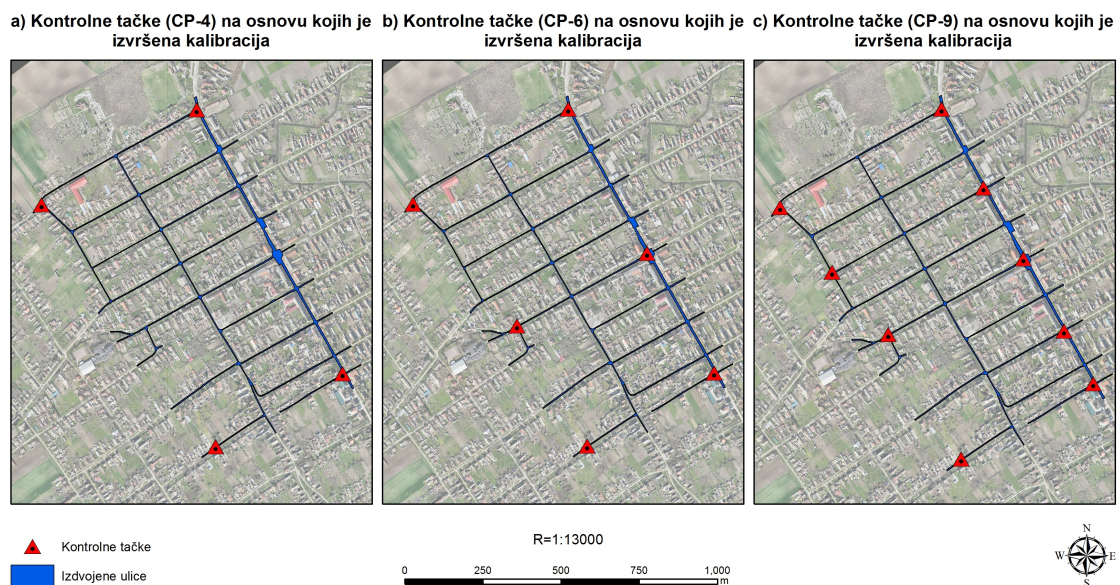
Average dZ	+0.089 m
min dZ	-0.303 m
max dZ	+0.353 m
RMS	+0.124 m
Std	+0.086 m



### 7.0.1.1 Kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 4, 6 i 9 kontrolnih tačaka

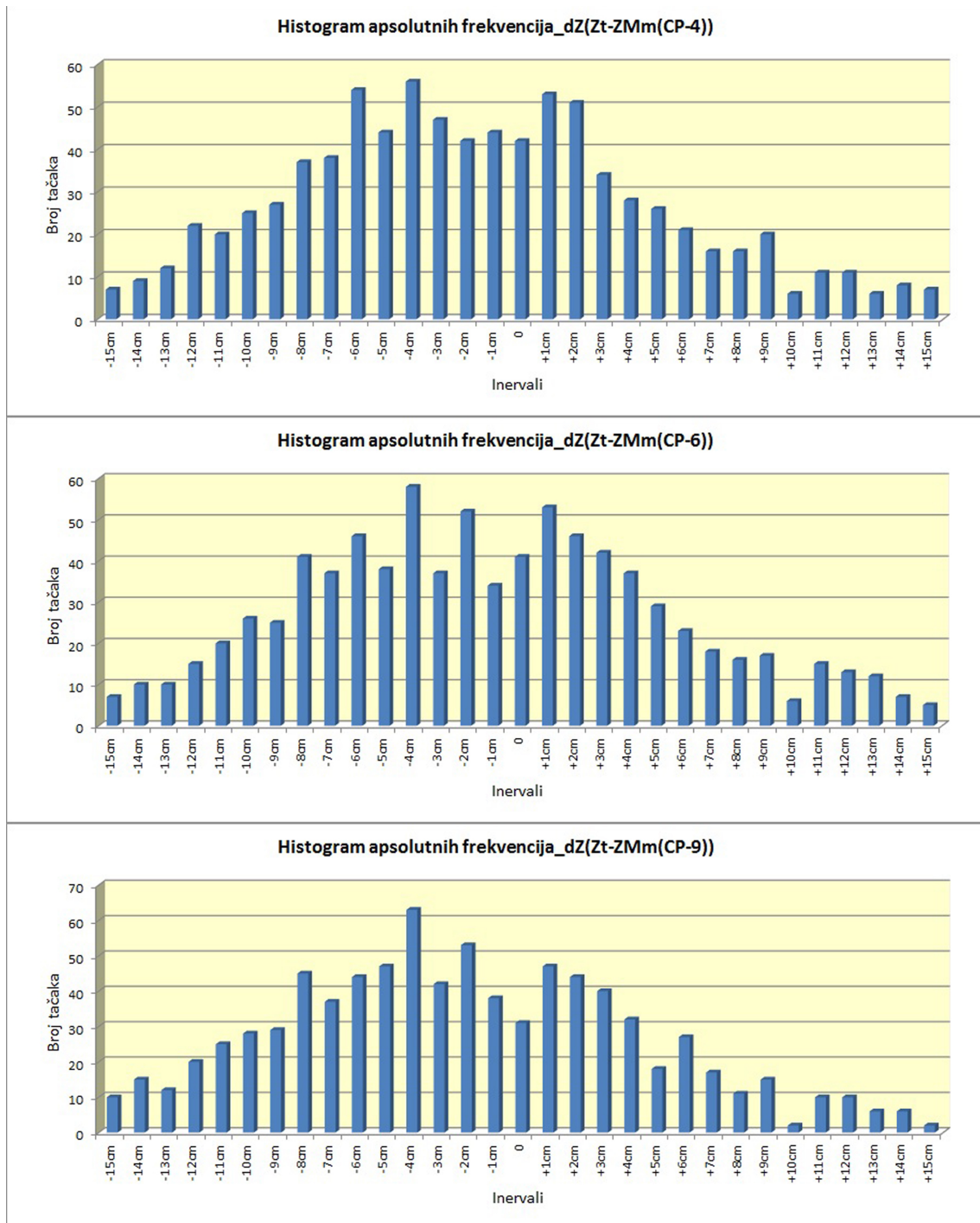
Analiza poboljšanja kvaliteta generisanih podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila, najpre je izvršena sa minimalnim brojem kontrolnih tačaka raspoređenih po obodu područja predviđenog za kalibraciju. Korišćene su četiri, zatim šest i devet kontrolnih tačaka čiji je raspored prikazan na slici 7.3.

U slučaju prikazanom pod a), gde su korišćene samo četiri tačke, rastojanje između njih je 580 m i 1000 m; u slučaju prikazanom pod b) rastojanja između tačaka određenih za kalibraciju su oko 500 m, dok je u trećem slučaju, pod c), rastojanje između nekih tačaka smanjeno i iznosi 500 m i 250 m.



SLIKA 7.3: Raspored kontrolnih tačaka na osnovu kojih je izvršena kalibracija

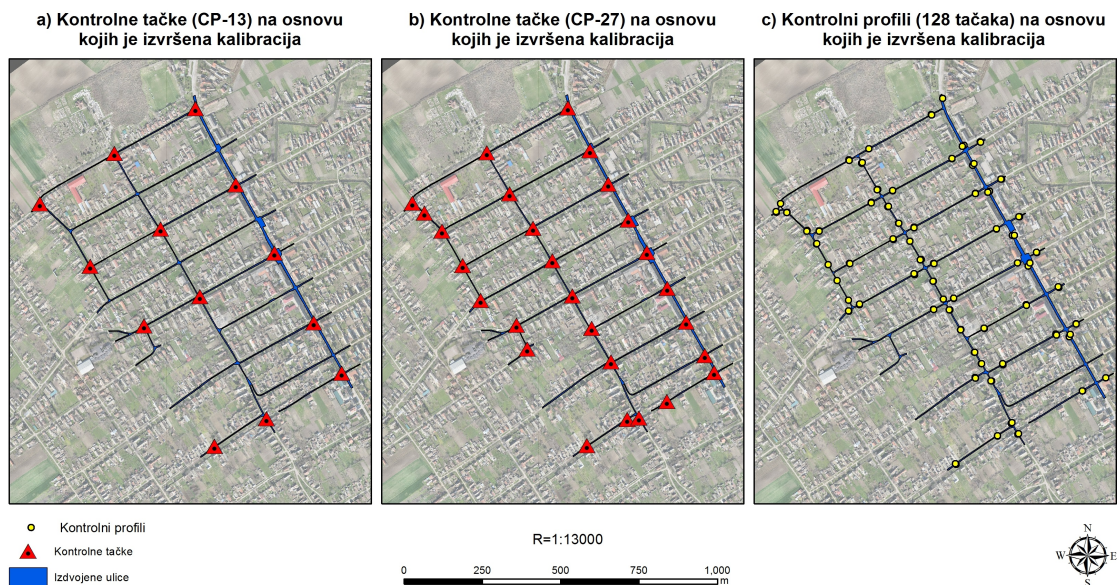
Na osnovu histograma apsolutnih frekvencija vidi se da se povećanjem broja kontrolnih tačaka na području na kojem se izvodi kalibracija, povećava i tačnost kalibrisanih podataka, ali ne u onoj meri u kojoj je to bilo očekivano. Dalje analize pokazaće da u velikoj meri, pored broja kontrolnih tačaka, na tačnost kalibrisanih podataka utiče i njihov raspored.



SLIKA 7.4: Histogrami apsolutnih frekvencija nastali na osnovu podataka dobijenih kalibracijom originalnih podataka pomoću 4, 6 i 9 kontrolnih tačaka

### 7.0.1.2 Kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 13 i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

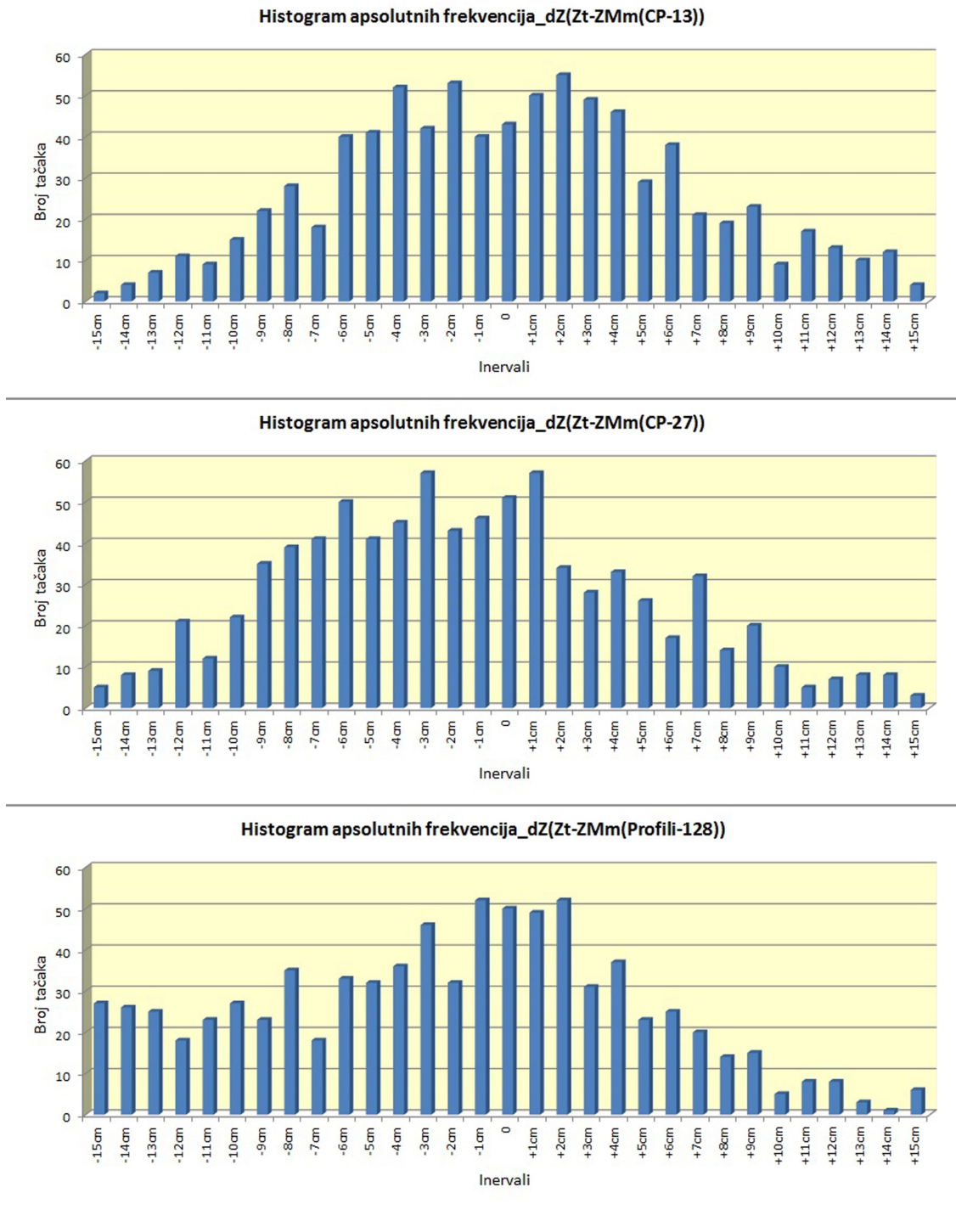
Kako kalibracija na osnovu 4, 6 i 9 kontrolnih tačaka nije u značajnoj meri uticala na kvalitet izlaznih podataka, u ovom poglavlju je izvršeno povećanje broja kontrolnih tačaka. Na slici 7.5 pod a) prikazano je 13 kontrolnih tačaka raspoređenih tako da rastojanja između njih budu oko 280 m. Na istoj slici pod c) prikazano je 27 kontrolnih tačaka raspoređenih tako da rastojanje između njih bude oko 150 m i 250 m. Na istoj slici pod c) prikazani su kontrolni profili raspoređeni na rastojanjima od 150 m.



SLIKA 7.5: Raspored kontrolnih tačaka i kontrolnih profila na osnovu kojih je izvršena kalibracija

Na slici 7.6 su prikazani histogrami apsolutnih frekvencija za slučajeve kalibracije na osnovu 13 i 27 kontrolnih tačaka i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila.





SLIKA 7.6: Histogrami apsolutnih frekvencija nastali na osnovu podataka dobijenih kalibracijom originalnih podataka pomoću 13 i 27 kontrolnih tačaka i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

### 7.0.1.3 Kalibracija izdvojenih podataka generisanih UAV sistemom na osnovu 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

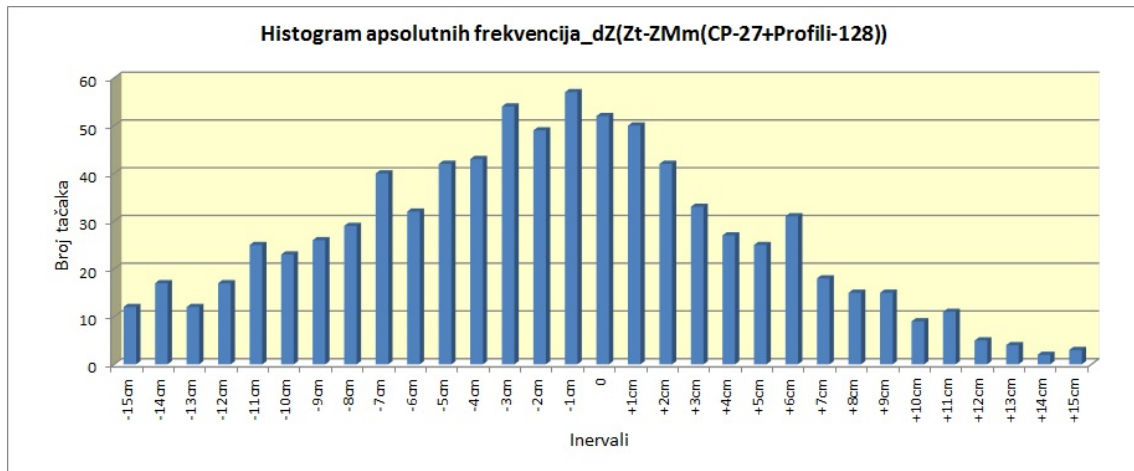
Daljim analizama se pokazalo da kombinacija kontrolnih tačkaka i kontrolnih profila, raspoređenih na mestima gde se nalaze i kontrolne tačke (Slika 7.7) donosi najbolje rezultate.



SLIKA 7.7: Histogrami apsolutnih frekvencija nastali na osnovu podataka dobijenih kalibracijom originalnih podataka pomoću 13 i 27 kontrolnih tačaka i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

Na histogramu apsolutnih frekvencija (Slika 7.8) vidi se da se posle primenjene kalibracije i analize dobijenih podataka sprovedene na osnovu uslovno tačnog modela, koncentracija najvećeg broja tačaka nalazi oko intervala odstupanja nula.





SLIKA 7.8: Histogrami apsolutnih frekvencija – podaci dobijeni kalibracijom originalnih podataka pomoću 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

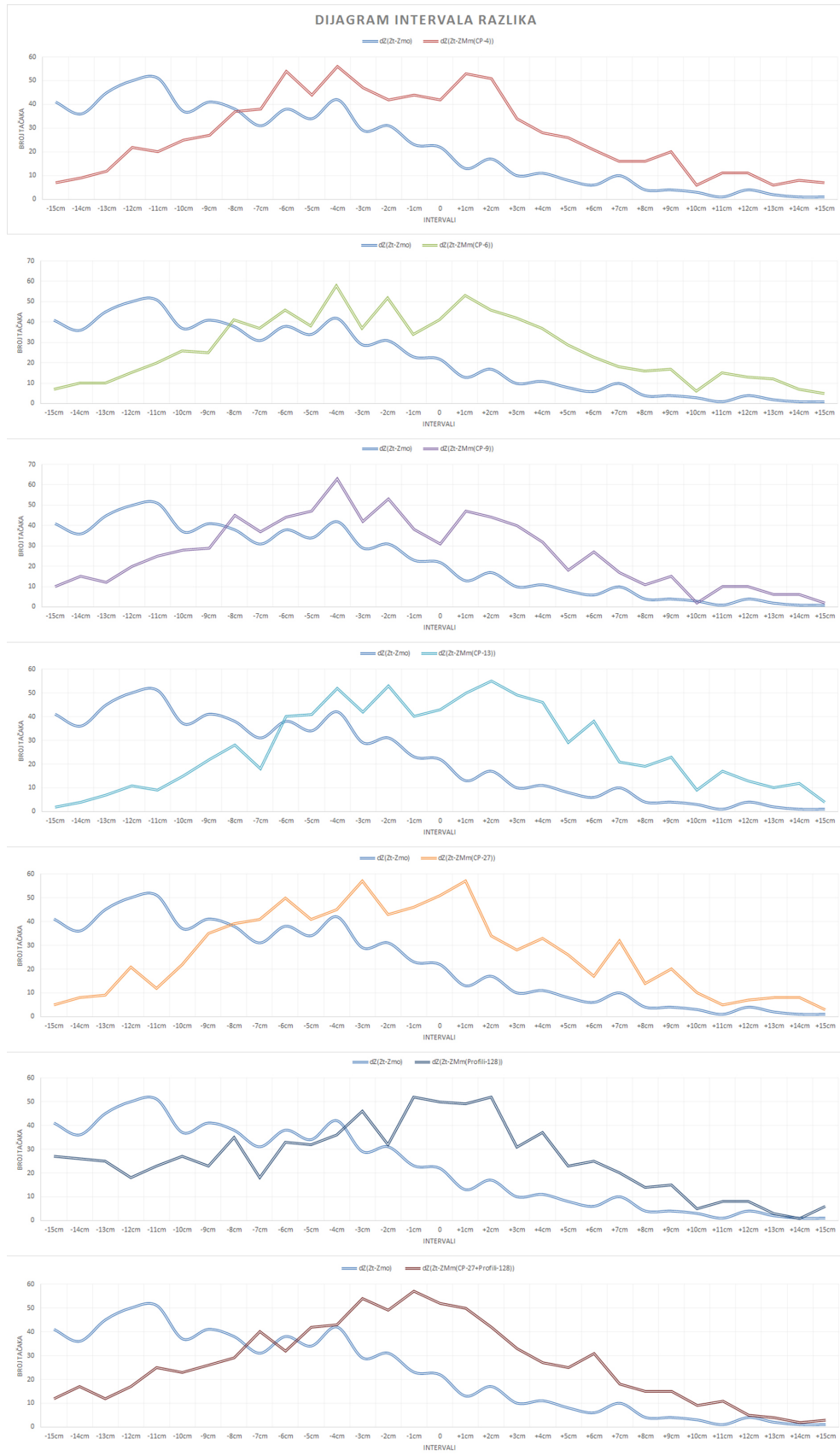
## 7.0.2 Sumarni prikaz analize kalibriranih podataka sa 4, 6, 9, 13 i 27 kontrolnih tačaka i kontrolnih profila

TABELA 7.2: Vrednosti dobijene analizom 961 tačke. Kao osnova za upoređenje korišćeni su modeli kreirani na osnovu kalibriranih podataka sa 4, 6, 9, 13, 27 kontrolnih tačaka, kontrolnih profila i 27 kontrolnih tačaka + profila.

	Broj kontrolnih tačaka i kontrolnih profila						
	4	6	9	13	27	KP	27+KP
Average dZ	+0.011	+0.006	+0.019	-0.011	+0.010	+0.026	+0.017
min dZ	-0.402	-0.392	-0.392	-0.442	-0.412	-0.382	-0.382
max dZ	+0.243	+0.243	+0.243	+0.220	+0.223	+0.330	+0.340
RMS	+0.082	+0.083	+0.085	+0.082	+0.081	+0.089	+0.081
Std	+0.081	+0.083	+0.083	+0.082	+0.080	+0.085	+0.079

Izvod iz pravilnika o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima:

„Ovim pravilnikom propisani su tehnički normativi, metode i način rada kod topografskog premera, sadržaj topografsko-kartografskih proizvoda, sadržaj tehničke dokumentacije za realizaciju topografskog premera i izradu topografsko-kartografskih proizvoda, kontrola kvaliteta kod topografskog premera i izrade topografsko-kartografskih proizvoda, arhiviranje i distribucija topografsko-kartografskih proizvoda.”



SLIKA 7.9: Sumarni prikaz dijagrama intervala razlika

## Poglavlje 8

# Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja

Geodetski premer se danas u projektima premera i obnove premera, različitim projektima iz oblasti inženjerske geodezije, realizuje konvencionalnim metodama, koje najčešće obezbeđuju traženu tačnost izlaznih podataka. Pod konvencionalnim metodama se podrazumevaju, pre svega, metoda precizne elektronske tahimetrije i GPS metoda premera. Te dve metode su primarne za prikupljanje podataka o prostoru i uvek će postojati potreba za njima. Sa druge strane, razvojem novih tehnologija i uređaja za prikupljanje podataka nameću se i nove metode prikupljanja podataka, koje su ne samo efikasnije nego, po tačnosti prikupljenih podataka, ne odstupaju značajno od konvencionalnih metoda. Neažurnost geodetskih podloga i oštećenost planova koji se koriste u pojedinim katastarskim opštinama u Srbiji, kao i neefikasnost konvencionalnih metoda premera na većim površinama, nameću neophodnost savremenih tehnologija premera.

Implementacija tih metoda u Srbiji i njihovo uključivanje u redovne metode prikupljanja podataka nailazi na određene probleme. Postoje pravilnici za definisanje kvaliteta topografskih radova koji se odnose na savremene metode prikupljanja podataka: aerofotogrametrijskom metodom snimanja, metodom daljinske detekcije i LiDAR metodom snimanja. Izvod iz tih pravilnika dat je u Poglavlju 4. Analiza tih pravilnika i postojeće dokumentacije za definisanje kvaliteta topografskih radova pokazala je da je neophodno da se oni dopune i koriguju. Kod LiDAR metode snimanja obuhvaćeni su postupci i procedure koji se odnose na LiDAR sisteme koji kao platforme koriste letelice, a nedostaju postupci i procedure koji se odnose na LiDAR metode snimanja koje kao platforme koriste vozila, kao i postupci i procedure za upotrebu UAV sistema.

U okviru ove doktorske disertacije, geodetska istraživanja zasnovana su na analizi rada savremenih sistema premera, pre svega UAV sistema i *Street Mapper* sistema i pokazala su direktnu zavisnost kvaliteta izlaznih podataka, broja kontrolnih tačaka i kontrolnih profila dobijenih metodom GPS/GNSS pozicioniranja, uključenih u proces kalibracije podataka.

Analiza dobijenih rezultata realizovana je na području naselja Feketić i sprovedena je kroz nekoliko faza:

- Analiza originalno generisanih UAV i LiDAR podataka;

- Analiza originalno generisanih UAV i LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka;
- Analiza originalno generisanih UAV i LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila;
- Analiza kalibrisanih UAV i LiDAR podataka;
- Analiza kalibrisanih UAV i LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka;
- Analiza kalibrisanih UAV i LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila;
- Analiza kalibrisanih UAV i LiDAR podataka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM);
- Analiza originalnih UAV podataka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM);
- Analiza kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM);
- Analiza kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM);
- Analiza originalnih i kalibrisanih UAV podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM);
- Analiza originalnih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM);
- Analiza kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM);
- Analiza kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM);
- Analiza originalnih i kalibrisanih LiDAR podataka na osnovu kontrolnih tačaka i kontrolnih profila – upoređenje sa uslovno tačnim modelom (PTM).

Na osnovu dobijenih rezultata, koji se odnose na analizu prikupljenih podataka i kontrolu kvaliteta istih, u disertaciji je dat predlog modela geodetskog premera primenom savremenih tehnologija premera, u okviru koga su definisane procedure i postupci koje je neophodno poštovati kako bi se postigao zadovoljavajući kvalitet izlaznih podataka. Istaknuta je neophodnost donošenja pravilnika i procedura u okviru kojih je jasno definisan model geodetskog premera, a predlog za to dat je u Poglavlju 5 ove doktorske disertacije.

Finalni proizvod geodetskog premera jesu 3D topografske podloge, koje mogu biti sa različitim zahtevima u pogledu tačnosti i gustine snimljenog detalja. Prikupljanje podataka za njihovu izradu konvencionalnim metodama premera ima svoje prednosti i mane. Prednosti se definitivno odnose na postignutu tačnost, pa

su zato konvencionalne metode i korišćene kao metode za kontrolu kvaliteta izlaznih podataka u okviru ovog istraživanja. Za snimanje većih površina dolaze do izražaja mane tih metoda, kao što su neuporedivo duži vremenski period neophodan za prikupljanje podataka, potreba za angažovanjem većeg broja stručnjaka i, pored svega, nedovoljna gustina snimljenog detalja.

Savremene tehnologije premera nametnule su se kao rapidne metode za prikupljanje podataka i kasnije kreiranje 3D topografskih podloga. Istaknuta je njihova prednost u odnosu na konvencionalne metode premera i data je ilustracija kroz konkretne primere. Prikazano je da su kreirane 3D topografske podloge kreirane po istim principima, sa većim nivoom detaljnosti, istom tačnošću i za neuporedivo kraće vreme nego što bi to bio slučaj kod konvencionalnih metoda, istaknute su prednosti nivoa detaljnosti kreiranih podloga i dato pojašnjenje kasnije eksploatacije prikupljenih podataka.

U cilju jasnijeg razumevanja primene savremenih tehnologija premera u poslovima geodetskog premera i inženjerske geodezije, pravci budućih istraživanja odnosili bi se na dodatna istraživanja implementacije ovih savremenih tehnologija u standardne procedure rada. Dodatna istraživanja bi bila fokusirana na razumevanju upotrebe kombinacije više uređaja. Za poslove geodetskog premera, obnove premera i inženjerske geodezije, neophodno je izraditi model geodetskog premera kod upotrebe kombina

# Poglavlje 9

## Literatura

- [1] Interpolacija — vikipedija, slobodna enciklopedija. <https://sr.wikipedia.org/sr-el/>, month = , year = , note = (Accessed on 02/20/2017).
- [2] LiDAR magazine - large scale mobile mapping project in belgium combines images and LiDAR. <http://www.lidarmag.com/content/view/12138/198/>. (Accessed on 05/15/2017).
- [3] Natural neighbor interpolation - wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Natural\\_neighbor\\_interpolation](https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_neighbor_interpolation). (Accessed on 02/20/2017).
- [4] Terrascan users' guide. <https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>. (Accessed on 02/20/2017).
- [5] What is areal interpolation?—help | arcgis desktop. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/what-is-areal-interpolation>. (Accessed on 02/23/2017).
- [6] [www.lidar-uk.com/a-brief-history-of-lidar/](http://www.lidar-uk.com/a-brief-history-of-lidar/). <http://www.lidar-uk.com/a-brief-history-of-lidar/>. (Accessed on 03/14/2017).
- [7] AL-BAYARI, O., AL-HANBALI, N., BARBARELLA, M., AND NASHWAN, A. Quality assessment of DTM and orthophoto generated by Airborne laser scanning system using automated digital photogrammetry. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34, 3/B (2002), 7–11.
- [8] AL-BAYARI, O., AND AL-ZOUBI, A. Preliminary study of the gravimetric local geoid model in Jordan: case study (GeoJordan Model).
- [9] AL-ROUSAN, N., CHENG, P., PETRIE, G., TOUTIN, T., AND ZOEJ, M. V. Automated DEM extraction and orthoimage generation from SPOT level 1B imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63, 8 (1997), 965–974.
- [10] ALEKSIĆ, IVAN., K. M. Koncepti mreža u geodetskom premeru.



- 
- [11] AXELSSON, P. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33, B4/1; PART 4 (2000), 111–118.
- [12] BALTSAVIAS, E. P. Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, 2 (1999), 164–198.
- [13] BANG, K. I., HABIB, A. F., AND MÜLLER, M. LiDAR system calibration using overlapping strips. *Boletim de Ciências Geodésicas* 15, 5 (2009).
- [14] BUCK, A. L. B., SILVA, M. N., LINGNAU, C., MACHADO, Á. M. L., NETO, M., AND PEREIRA, R. Algorithm for filtering the trunk in terrestrial laser point cloud of Pinus spp. trees. *Boletim de Ciências Geodésicas* 20, 4 (2014), 806–829.
- [15] BULATOVIĆ, V., NINKOV, T., SUŠIĆ, Z., AND DEJAN, V. Inertial navigation system in survey. In *XXIV Meeting of Serbian Surveyors* (2011), pp. 144–147.
- [16] BULATOVIĆ, V., SUŠIĆ, Z., AND NINKOV, T. Estimate of the ASTER GDEM regional systematic errors and their removal. *International Journal of Remote Sensing* 33, 18 (2012), 5915–5926.
- [17] BULATOVIĆ, V., VASIĆ, D., AND NINKOV, T. Method for generating natural colour from false colour images based on Normalized Difference Vegetation Index clustering. *Advanced Science Letters* 19, 1 (2013), 207–211.
- [18] CHANG, Y., HABIB, A., LEE, D., AND YOM, J. Automatic classification of LiDAR data into ground and non - ground points. *International archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 37 (2008), 463–468.
- [19] COLLINSON, R. P. G., AND COLLINSON, R. P. G. I. T. A. *Introduction to avionics systems*, 2nd ed ed. Dordrecht : Springer, 2006.
- [20] DONEUS, M., BRIESE, C., AND STUDNICKA, N. *Analysis of full-waveform ALS data by simultaneously acquired TLS data: Towards an advanced DTM generation in wooded areas*. na, 2010.
- [21] EISENBEISS, H. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. *International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36, 5/W1 (2004).
- [22] EISENBEISS, H., AND ZHANG, L. Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36, 5 (2006), 90–96.
- [23] EVERAERTS, J., ET AL. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37, 2008 (2008), 1187–1192.

- [24] FABRIS, M., AND PESCI, A. Automated DEM extraction in digital aerial photogrammetry: precisions and validation for mass movement monitoring. *Annals of Geophysics* 48, 6 (2005).
- [25] FERNÁNDEZ, T., PÉREZ, J., CARDENAL, F., LÓPEZ, A., GÓMEZ, J., COLOMO, C., DELGADO, J., AND SÁNCHEZ, M. Use of a light UAV and photogrammetric techniques to study the evolution of a landslide in jaén (Southern Spain). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40, 3 (2015), 241.
- [26] FITZGIBBON, A. W., AND ZISSERMAN, A. Automatic camera recovery for closed or open image sequences. In *European Conference on Computer Vision* (1998), Springer, pp. 311–326.
- [27] FRITZ, A., KATTENBORN, T., AND KOCH, B. UAV - based photogrammetric point clouds—Tree stem mapping in open stands in comparison to terrestrial laser scanner point clouds. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci* 40 (2013), 141–146.
- [28] GORSEVSKI, P. V., BROWN, M. K., PANTER, K., ONASCH, C. M., SIMIC, A., AND SNYDER, J. Landslide detection and susceptibility mapping using LiDAR and an artificial neural network approach: a case study in the Cuyahoga Valley National Park, Ohio. *Landslides* 13, 3 (2016), 467–484.
- [29] GUPTA, S. G., GHONGE, M. M., AND JAWANDHIYA, P. Review of unmanned aircraft system (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)* 2, 4 (2013), pp–1646.
- [30] HAALA, N., CRAMER, M., AND ROTHERMEL, M. Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-1 W 2* (2013), 183–188.
- [31] HAARBRINK, R., AND EISENBEISS, H. Accurate DSM production from unmanned helicopter systems. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci* 37 (2008), 1259–1264.
- [32] HABIB, A. F., KERSTING, A. P., SHAKER, A., AND YAN, W.-Y. Geometric calibration and radiometric correction of LiDAR data and their impact on the quality of derived products. *Sensors* 11, 9 (2011), 9069–9097.
- [33] HAN, X., ZHAO, H., YAN, L., AND YANG, S. An approach of fast mosaic for serial remote sensing images from UAV. In *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007. FSKD 2007. Fourth International Conference on* (2007), vol. 4, IEEE, pp. 11–15.
- [34] HARWIN, S., AND LUCIEER, A. An accuracy assessment of georeferenced point clouds produced via multi - view stereo techniques applied to imagery acquired via unmanned aerial vehicle. 475–480.

- [35] HARWIN, S., AND LUCIEER, A. Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi - view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing* 4, 6 (2012), 1573–1599.
- [36] HONG, S., PARK, I., LEE, J., LIM, K., CHOI, Y., AND SOHN, H.-G. Utilization of a terrestrial laser scanner for the calibration of mobile mapping systems. *Sensors* 17, 3 (2017), 474.
- [37] HOPKINSON, C., PIETRONIRO, A., AND POMEROY, J. W. Hydroscan: Airborne laser mapping of hydrological features and resources. *Environment Canada and the Canadian Water Resources Association* (2008).
- [38] HUNDLEY, R. O. Past Revolutions, Future Transformations. What Can the History of Revolutions in Military Affairs Tell us about Transforming the US Military? Tech. rep., DTIC Document, 1999.
- [39] HYYPPÄ, H., YU, X., HYYPPÄ, J., KAARTINEN, H., KAASALAINEN, S., HONKAVAARA, E., AND RÖNNHOLM, P. Factors affecting the quality of DTM generation in forested areas. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36, 3/W19 (2005), 85–90.
- [40] JABOYEDOFF, M., OPPIKOFER, T., ABELLÁN, A., DERRON, M.-H., LOYE, A., METZGER, R., AND PEDRAZZINI, A. Use of LiDAR in landslide investigations: a review. *Natural Hazards* 61, 1 (2012), 5–28.
- [41] JAKUBOWSKI, M. K., LI, W., GUO, Q., AND KELLY, M. Delineating individual trees from LiDAR data: a comparison of vector-and raster-based segmentation approaches. *Remote Sensing* 5, 9 (2013), 4163–4186.
- [42] JAWAK, S., PANDITRAO, S., AND LUIS, A. Airborne LIDAR and high resolution satellite data for rapid 3D feature extraction. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40, 8 (2014), 573.
- [43] JENSEN, A. M., HAN, Y., AND CHEN, Y. Using aerial images to calibrate the inertial sensors of a low-cost multispectral autonomous remote sensing platform (AggieAir). In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009* (2009), vol. 2, IEEE, pp. II–555.
- [44] JENSEN, A. M., WILDMANN, N., CHEN, Y., AND VOOS, H. In-situ unmanned aerial vehicle (UAV) sensor calibration to improve automatic image orthorectification. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International* (2010), IEEE, pp. 596–599.
- [45] JENSEN, J. L. *Statistics for petroleum engineers and geoscientists*, vol. 2. Gulf Professional Publishing, 2000.
- [46] JOKSIMOVIĆ, D. *Poslovna statistika*. Megatrend univerzitet primenjenih nauka, 2006.

- [47] KEMENY, J. *Ground-based LiDAR: rock slope mapping and assessment*. Central Federal Lands Highway Division, 2008.
- [48] KRAUS, K., AND PFEIFER, N. Advanced DTM generation from LiDAR data. *International Archives Of Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences* 34, 3/W4 (2001), 23–30.
- [49] KRAUS, K., WALDHÄUSL, P., AND JOKSIĆ, D. *Fotogrametrija: osnove i standardni postupci*. No. bk. 1. Naučna knjiga, 1987.
- [50] LI, Y., SASAGAWA, T., AND GONG, P. A system of the shadow detection and shadow removal for high resolution city aerial photo. vol. 35, pp. 802–807.
- [51] LI, Z., ZHU, C., AND GOLD, C. *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC Press, 2010.
- [52] LINDENTHAL, S., USSYSHKIN, V., WANG, J., AND POKORNY, M. Airborne lidar: a fully-automated self-calibration procedure. *ISPRS Achieves, ISPRS Calgary 2011 Workshop* (2011), 29–31.
- [53] LINDER, W. *Digital photogrammetry*. Springer, 2009.
- [54] LINDER, W. *Digital photogrammetry*. Springer, 2009.
- [55] LUETHYA, J., AND STENGELEB, R. 3D mapping of Switzerland - challenges and experiences. *Foot 3000* (2005), 4900.
- [56] MALVIĆ, T. Kriging, geostatistička interpolacijska metoda. 2. izdanje. zagreb, 2005.
- [57] MIHAILOVIĆ, K., AND ALEKSIĆ, I. R. *Koncepti mreža u geodetskom premeru: monografija*. Geokarta, 2008.
- [58] MINH, L., CENTER, V. R. S., AND KE, L. C. DEM accuracy generated by LiDAR technology for Cuu Long River Delta in Vietnam.
- [59] NEX, F., AND RINAUDO, F. Multi-image matching: An “Old and New” photogrammetric answer to LiDAR techniques. *Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37 (2008), 621–626.
- [60] NIETHAMMER, U., JAMES, M., ROTHMUND, S., TRAVELLETTI, J., AND JOSWIG, M. UAV-based remote sensing of the super-sauze landslide: evaluation and results. *Engineering Geology* 128 (2012), 2–11.
- [61] NILSSON, M. Estimation of tree heights and stand volume using an Airborne LiDAR system. *Remote Sensing of Environment* 56, 1 (1996), 1–7.
- [62] NINKOV, T., BULATOVIĆ, V., SUŠIĆ, Z., AND VASIĆ, D. Savremene tehnologije izrade 3D topografskih podloga i modela kao osnova urbanističkog planiranja i projektovanja. 51–60.

- [63] NINKOV, T., BULATOVIĆ, V., VASIĆ, D., AND SUŠIĆ, Z. Modern methods of data collecting and treating in projects of hydraulic engineering. In *FIG Working Week* (2013), p. 12.
- [64] OSTROWSKI, S., JOZKOW, G., TOTH, C., AND VANDER JAGT, B. Analysis of point cloud generation from UAS images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2, 1 (2014), 45.
- [65] PAMADI, B., AND PERFORMANCE, S. Dynamics, and control of airplanes, ser. *AIAA Education Series*. AIAA Reston VA (1998).
- [66] PEROVIĆ, G. Teorija grešaka merenja, Monografija 3.
- [67] PETRIE, G., AND TOTH, C. K. Terrestrial laser scanners. *Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and Processing* (2009), 87–128.
- [68] REMONDINO, F., AND FRASER, C. Digital camera calibration methods: considerations and comparisons. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36, 5 (2006), 266–272.
- [69] ROSNELL, T., AND HONKAVAARA, E. Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadrocopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors* 12, 1 (2012), 453–480.
- [70] SAMPATH, A., MOE, D., AND CHRISTOPHERSON, J. Two methods for self calibration of digital camera. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 39 (2012), B1.
- [71] SCHENK, T. Introduction to photogrammetry. *The Ohio State University, Columbus* (2005).
- [72] SCHMID, K., WATERS, K., DINGERSON, L., HADLEY, B., MATAOSKY, R., CARTER, J., AND DARE, J. LiDAR 101: an introduction to LiDAR technology, data, and applications. *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center* (2008).
- [73] SERNA, A., AND MARCOTEGUI, B. Detection, segmentation and classification of 3D urban objects using mathematical morphology and supervised learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 93 (2014), 243–255.
- [74] SIEBERT, S., AND TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction* 41 (2014), 1–14.
- [75] TOLA, E., LEPETIT, V., AND FUA, P. Daisy: An efficient dense descriptor applied to wide-baseline stereo. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 32, 5 (2010), 815–830.
- [76] TOLA, E., STRECHA, C., AND FUA, P. Efficient large-scale multi-view stereo for ultra high-resolution image sets. *Machine Vision and Applications* 23, 5 (2012), 903–920.

- [77] VASIĆ, D., NINKOV, T., BULATOVIĆ, V., SUŠIĆ, Z., AND MARKOVIĆ, M. Metodologija klasifikacije vegetacije urbanih sredina primenom bespilotnih letelica. 154–162.
- [78] VASIĆ, D., NINKOV, T., BULATOVIĆ, V., SUŠIĆ, Z., AND MARKOVIĆ, M. Terrain mapping by applying unmanned aerial vehicle and LiDAR system for the purpose of designing in serbia. vol. 6, pp. 217–222.
- [79] VASOVIĆ, O., AND GUČEVIĆ, J. Praktična geodezija. 324.
- [80] WANG, Y., WEINACKER, H., AND KOCH, B. Automatic non-ground objects extraction based on multi-returned LiDAR data. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 2006*, 2 (2006), 127.
- [81] WU, J., AND BAUER, M. E. Evaluating the effects of shadow detection on QuickBird image classification and spectroradiometric restoration. *Remote Sensing* 5, 9 (2013), 4450–4469.
- [82] XIE, W., AND ZHOU, G. Experimental realization of urban large-scale true orthoimage generation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37 (2008).
- [83] YUNFEI, B., GUOPING, L., CHUNXIANG, C., XIAOWEN, L., HAO, Z., QISHENG, H., LINYAN, B., AND CHAOYI, C. Classification of LiDAR point cloud and generation of DTM from LiDAR height and intensity data in forested area. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37, 7 (2008), 313–318.
- [84] ZHANG, L., AND GRUEN, A. Multi-image matching for DSM generation from IKONOS imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60, 3 (2006), 195–211.
- [85] ZHOU, W., HUANG, G., TROY, A., AND CADENASSO, M. Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: a comparison study. *Remote Sensing of Environment* 113, 8 (2009), 1769–1777.



# Poglavlje 10

## Prilozi

### 10.0.1 Prilog 1 - Izvod iz Pravilnika o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima

#### Član 110

Pripremni radovi koji se obavljaju pre početka laserskog skeniranja izvode se u skladu sa utvrđenim planom određivanja kontrolnih tačaka i obuhvataju prikupljanje podataka neophodnih za definisanje položaja kontrolnih tačaka, pripremu terena i određivanje kontrolnih tačaka.

#### Član 111

Za potrebe kontrole apsolutne visinske tačnosti podataka prikupljenih LiDAR metodom na terenu meri se grid (mreža) kontrolnih tačaka na definisanim lokacijama u okviru područja skeniranja.

#### Član 112

Plan određivanja kontrolnih tačaka obuhvata:

- definisanje broja i rasporeda gridova kontrolnih tačaka u okviru područja skeniranja;
- definisanje dimenzija gridova i rastojanje tačaka u gridovima;
- definisanje tačnosti, metode i načina određivanja koordinata kontrolnih tačaka;
- izradu pregledne skice rasporeda gridova kontrolnih tačaka.

U izuzetnim slučajevima može se definisati skup kontrolnih tačaka duž linijskih objekata od stabilnog materijala (asfaltni put, pruga i sl.).

#### Član 113

Broj i raspored gridova kontrolnih tačaka zavisi od karakteristika područja obuhvaćenog skeniranjem i karakteristika proizvoda koji se izrađuje na osnovu skeniranja. Gridovi kontrolnih tačaka moraju biti ravnomerno raspoređeni na području skeniranja i ne smeju biti u blizini visokih objekata. Ukoliko se na području skeniranja nalazi oblast sa posebnim topografskim karakteristikama postavlja se dodatni broj gridova kontrolnih tačaka u toj oblasti ili njenoj neposrednoj blizini. Radi efektivnije kontrole prikupljenih podataka, lokacije gridova kontrolnih tačaka biraju se tako da budu na području preklopa skeniranja ukoliko fizičke karakteristike područja to dozvoljavaju.

#### **Član 114**

Teren na kome se nalaze tačke kontrolnog grida mora biti od čvrstog materijala (beton, asfalt i sl.) sa ravnomernim nagibom manjim od 20°. Krajnje tačke grida moraju biti udaljene najmanje 0,5 m od ivica površina čije karakteristike utiču na kvalitet prikupljanja podataka (travnate, vodene i druge površine) i od mesta gde teren naglo menja pad. Broj tačaka u gridu kontrolnih tačaka ne sme biti manji od 25.

#### **Član 115**

Pregledna skica rasporeda gridova kontrolnih tačaka izrađuje se na odgovarajućim geodetskim podlogama i naročito sadrži:

- granicu područja skeniranja;
- linije skeniranja sa oznakama linija;
- planiran položaj gridova kontrolnih tačaka;
- jedinstvene oznake svih lokacija gridova kontrolnih tačaka.

#### **Član 116**

Tačke kontrolnog grida određuju se neposredno pre skeniranja. Određivanje tačaka kontrolnog grida može se vršiti i neposredno posle skeniranja radi otklanjanja eventualnih odstupanja utvrđenih prilikom kontrole relativne tačnosti prikupljenih podataka. Koordinate kontrolnih tačaka grida moraju biti određene sa najmanje trostruko većom tačnošću od položajne i visinske tačnosti podataka prikupljenih LiDAR metodom.

#### **Član 117**

Posle završenih pripremnih radova izrađuje se izveštaj o izvršenim pripremnim radovima, koji naročito sadrži:

- osnovne informacije o vrsti, obimu i načinu realizacije pripremnih radova;
- elaborat o izvršenom određivanju kontrolnih tačaka grida sa spiskom koordinata i ocenom tačnosti;

- preglednu skicu realizovanog rasporeda gridova kontrolnih tačaka.

### **Član 118**

Neposredno pre početka laserskog skeniranja vrši se provera opreme, sistema za globalno pozicioniranje i vremenskih uslova, o čemu se izrađuje izveštaj.

### **Član 119**

O realizaciji laserskog skeniranja izrađuje se izveštaj koji naročito sadrži:

- osnovne informacije o području skeniranja i korišćenoj opremi;
- oznake linija skeniranja;
- vreme početka i završetka skeniranja za svaku liniju;
- informacije o kvalitetu GPS podataka (GDOP, broj satelita).

### **Član 120**

Ukoliko u toku laserskog skeniranja dođe do pojava koje onemogućavaju njegovu adekvatnu realizaciju na većem delu ili u potpunosti, skeniranje se prekida uz navođenje razloga za njegovo prekidanje u izveštaju iz člana 119. ovog pravilnika.

### **Član 121**

Neposredno posle realizacije laserskog skeniranja vrši se preliminarna kontrola podataka GPS/INS sistema i podataka prikupljenih laserskim skeniranjem. Preliminarna kontrola podataka GPS/INS sistema obuhvata:

- kontrolu intervala prikupljanja podataka;
- proveru postojanja prekida u prikupljanju podataka;
- kontrolu pokrivenosti područja od interesa podacima;
- proveru da Rinex fajl sadrži podatak o visini antene;
- proveru da Rinex fajl sadrži zvanične koordinate permanentne GNSS stanice;
- proveru minimalnog broja satelita pri laserskom skeniranju i vrednost GDOP.

Preliminarna kontrola podataka prikupljenih laserskim skeniranjem obuhvata:

- proveru pokrivenosti područja podacima;
- proveru kompletnosti i ispravnosti prikupljenih podataka;
- proveru gustine prikupljenog oblaka tačaka.

### Član 122

Posle realizovanog laserskog skeniranja izrađuje se grafički deo realizovanog plana leta koji naročito sadrži:

- granicu područja skeniranja;
- linije skeniranja sa oznakama i realizovanim pravcima leta;
- realizovanu apsolutnu visinu leta za svaku liniju skeniranja.

Grafički deo realizovanog plana leta izrađuje se na geodetskim podlogama koje imaju iste karakteristike kao i geodetske podloge korišćene za izradu grafičkog dela plana leta.

### Član 123

Ako se preliminarnom kontrolom podataka realizovanog laserskog skeniranja utvrde propusti, greške ili nedostaci, isti se moraju otkloniti ponovnim skeniranjem. O izvršenoj preliminarnoj kontroli podataka GPS/INS sistema i podataka laserskog skeniranja izrađuje se izveštaj koji sadrži i grafički deo realizovanog plana leta iz člana 122. ovog pravilnika.

### Član 124

Posle obavljene preliminarne kontrole podataka GPS-INS sistema računa se optimalna trajektorija laserskog skeniranja. Za potrebe kontrole pouzdanosti izračunate trajektorije vrši se nezavisno računanje trajektorije korišćenjem podataka druge permanentne GNSS stanice na odabranom delu područja obuhvaćenog laserskim skeniranjem. Posle određivanja optimalne trajektorije laserskog skeniranja izrađuje se izveštaj o računanju optimalne trajektorije koji predstavlja sastavni deo izveštaja o obradi prikupljenih podataka.

### Član 125

Na osnovu izračunate optimalne trajektorije laserskog skeniranja i drugih neophodnih podataka (nagib laserskog zraka, vrednosti odstojanja za svaku tačku i dr.) formira se oblak prikupljenih tačaka za svaku liniju skeniranja.

### Član 126

Podaci koji su prikupljeni na području preklopa linija skeniranja koriste se za relativno izravnjanje prikupljenih podataka radi otklanjanja sistematskih grešaka LiDAR sistema.

### Član 127

Ako se u postupku obrade podataka prikupljenih LiDAR metodom utvrdi da nije postignuta zadata visinska tačnost proizvoda, koristi se grid tačaka veće tačnosti za ponovnu obradu podataka.

### Član 128

Format prikupljenog i obrađenog oblaka tačaka je LAS format. Za svaki skup podataka iz stava 1. ovog člana, koji imaju identične karakteristike, izrađuje se fajl koji sadrži metapodatke.

### Član 129

O obradi prikupljenih podataka laserskog skeniranja izrađuje se izveštaj.

### Član 130

Kontrola kvaliteta realizovanog laserskog skeniranja obuhvata:

- kontrolu parametara realizovanog laserskog skeniranja;
- kontrolu podataka GPS/INS sistema;
- kontrolu prikupljenih podataka (oblak tačaka).

O izvršenim kontrolama iz stava 1. ovog člana izrađuju se izveštaji koji naročito sadrže:

- predmet kontrole;
- obim kontrole (veličina uzorka ili kompletno);
- način sprovođenja kontrole;
- činjenice utvrđene prilikom kontrole;
- ispunjenost kriterijuma prihvatljivosti;
- mere za otklanjanje nedostataka;
- datum kontrole;
- podatke o licu koje je izvršilo kontrolu.

### Član 131

Kontrola parametara realizovanog laserskog skeniranja naročito obuhvata:

- kontrolu uslova realizovanog laserskog skeniranja (atmosferski uslovi, stanje terena, i dr.);
- kontrolu izveštaja o izvršenoj kalibraciji korišćenog LiDAR senzora;
- kontrolu realizovanih linija skeniranja;
- kontrolu realizovane visine leta;
- kontrolu realizovanog poprečnog preklopa skeniranja.

### Član 132

Kontrola podataka GPS/INS sistema naročito obuhvata:

- kontrolu uslova prilikom prikupljanja podataka (vrsta opreme, prijem signala u letelici i na GNSS permanentnoj stanici, konstelacija satelita i dr.);
- kontrolu izveštaja o izvršenoj kalibraciji korišćenog GPS/INS sistema;
- kontrolu kompletnosti i tačnosti podataka GPS/INS sistema;
- kontrolu procesa određivanja i kvaliteta optimalne trajektorije.

### Član 133

Kontrola kvaliteta prikupljenih podataka naročito obuhvata:

- kontrolu pokrivenosti područja skeniranja;
- kontrolu kompletnosti podataka skeniranja;
- kontrolu gustine prikupljenog oblaka tačaka;
- kontrolu relativne visinske tačnosti prikupljenog oblaka tačaka;
- kontrolu apsolutne visinske tačnosti prikupljenog oblaka tačaka.

### Član 134

Gustina prikupljenog oblaka tačaka izražava se brojem tačaka po kvadratnom metru. Srednja gustina prikupljenog oblaka tačaka računa se na osnovu tačaka prvog povratnog signala iz centralnih delova područja zahvaćenih skeniranjem za svaku liniju skeniranja. Srednja gustina prikupljenog oblaka tačaka mora da bude u skladu sa vrednostima definisanim glavnim projektom. Srednje rastojanje tačaka u pravcu linije leta ( $dx$ ) i srednje rastojanje tačaka u pravcu upravnom na liniju leta ( $dy$ ) treba da budu približno jednaki.

### Član 135

Kontrola relativne visinske tačnosti prikupljenog oblaka tačaka vrši se upoređenjem visina tačaka iz dve linije skeniranja na području preklopa skeniranja. Izbor lokacija za kontrolu relativne visinske tačnosti mora biti na terenu od čvrstog materijala (beton, asfalt i sl.) sa ravnomernim nagibom manjim od  $20^\circ$ . Srednja kvadratna greška odstupanja visina mora biti manja ili jednaka vrednosti definisanoj glavnim projektom.

### Član 136

Kontrola apsolutne visinske tačnosti obrađenog oblaka tačaka vrši se upoređenjem interpolovanih visina iz obrađenog oblaka tačaka i visina grida kontrolnih tačaka. Srednja kvadratna greška odstupanja visina obrađenog oblaka tačaka ne sme biti veća od vrednosti definisane projektnim zadatkom.

Pravilnikom o topografskom premeru i topografsko-kartografskim proizvodima propisani su tehnički normativi, metode i način rada kod topografskog premera, sadržaj topografsko-kartografskih proizvoda, sadržaj tehničke dokumentacije za realizaciju topografskog premera i izradu topografsko-kartografskih proizvoda, kontrola kvaliteta kod topografskog premera i izrade topografsko-kartografskih proizvoda, arhiviranje i distribucija topografsko-kartografskih proizvoda nastalih od podataka prikupljenih LiDAR metodom premera.

## 10.0.2 Prilog 2

Br.T.	Yt	Xt	Zt	Zmo	dZ	Br.T.	Yt	Xt	Zt	Zmo	dZ
1	7398825.640	5059343.760	86.710	86.700	-0.010	66	7397948.760	5057920.020	100.150	100.220	0.070
2	7398843.460	5059228.410	87.264	87.280	0.016	67	7398136.770	5057659.850	99.300	99.410	0.110
3	7399095.220	5058767.350	87.559	87.600	0.041	68	7398403.550	5057565.070	98.460	98.530	0.070
4	7399160.430	5058652.980	87.653	87.660	0.007	69	7398618.990	5057721.940	98.319	98.400	0.081
5	7399220.510	5058545.440	87.690	87.720	0.030	70	7398567.990	5057953.250	99.280	99.280	0.000
6	7399280.340	5058438.450	87.479	87.370	-0.109	71	7398708.830	5058052.920	98.720	98.500	-0.220
7	7399310.170	5058383.870	87.113	87.000	-0.113	72	7398731.820	5058022.230	98.410	98.430	0.020
8	7399400.900	5058226.000	87.020	86.910	-0.110	73	7398797.940	5057846.680	97.534	97.550	0.016
9	7399495.070	5058076.460	86.704	86.740	0.036	74	7398998.650	5057859.250	95.431	95.530	0.099
10	7399582.380	5057949.040	87.048	87.160	0.112	75	7399038.820	5057793.240	95.758	95.740	-0.018
11	7399792.720	5057805.490	87.417	87.620	0.203	76	7399067.890	5057714.650	98.060	98.020	-0.040
12	7400091.130	5057625.870	87.470	87.510	0.040	77	7398701.550	5057475.430	98.530	98.550	0.020
13	7399858.780	5057496.670	95.410	95.440	0.030	78	7398929.320	5059264.920	86.280	86.200	-0.080
14	7399439.770	5057427.580	97.740	97.780	0.040	79	7399124.110	5059366.800	87.250	87.300	0.050
15	7399163.960	5057409.270	98.052	98.210	0.158	80	7399124.410	5059226.430	86.380	86.520	0.140
16	7399243.000	5057674.920	95.674	95.720	0.046	81	7399262.310	5059299.990	86.880	86.810	-0.070
17	7399429.370	5057940.700	89.420	89.560	0.140	82	7399359.510	5059373.780	87.100	87.140	0.040
18	7399274.510	5057856.050	95.750	95.780	0.030	83	7399450.420	5059363.800	88.524	88.460	-0.064
19	7399293.280	5057897.290	94.250	94.410	0.160	84	7399477.350	5059480.500	89.470	89.510	0.040
20	7399280.770	5057953.860	91.435	91.610	0.175	85	7399481.350	5059546.280	87.970	88.080	0.110
21	7399176.060	5057882.090	98.338	98.380	0.042	86	7399595.210	5059477.410	95.160	95.190	0.030
22	7399069.710	5058043.320	97.340	97.550	0.210	87	7399570.750	5059400.230	95.300	95.370	0.070
23	7399154.890	5058073.030	98.089	98.270	0.181	88	7399598.380	5059416.090	96.760	96.860	0.100
24	7399162.460	5058096.110	96.510	96.630	0.120	89	7399687.930	5059462.550	100.190	100.230	0.040
25	7398903.840	5058151.250	97.700	97.860	0.160	90	7400100.450	5059136.630	101.250	101.290	0.040
26	7399032.820	5058234.870	97.670	97.800	0.130	91	7399827.630	5058990.650	100.890	100.950	0.060
27	7399070.000	5058239.260	96.852	97.010	0.158	92	7399605.270	5058923.730	97.956	97.890	-0.066
28	7399158.870	5058292.220	87.750	87.900	0.150	93	7399579.990	5058965.460	98.862	98.870	0.008
29	7398879.660	5058361.280	97.892	98.020	0.128	94	7399574.780	5059092.130	101.240	101.250	0.010
30	7398981.130	5058418.420	91.984	92.070	0.086	95	7399574.990	5059248.170	100.920	100.910	-0.010
31	7398918.930	5058525.330	89.580	89.670	0.090	96	7399424.610	5059229.160	88.150	88.200	0.050
32	7398857.690	5058628.310	88.940	89.100	0.160	97	7399258.220	5059129.590	87.076	87.180	0.104
33	7398793.240	5058741.400	88.048	88.220	0.172	98	7399225.010	5058972.610	86.720	86.870	0.150
34	7398732.020	5058844.590	87.875	88.050	0.175	99	7399300.710	5058996.360	86.350	86.560	0.210



35	7398657.520	5058953.930	90.141	90.270	0.129	100	7399295.650	5059034.680	86.040	86.140	0.100
36	7398584.900	5059085.470	93.450	93.560	0.110	101	7399407.730	5059086.570	87.600	87.710	0.110
37	7398363.110	5058958.390	101.246	101.280	0.034	102	7399454.670	5059104.820	92.437	92.460	0.023
38	7398346.620	5058924.880	101.749	101.780	0.031	103	7399515.370	5059014.210	98.345	98.370	0.025
39	7398385.080	5058893.290	101.550	101.590	0.040	104	7399435.740	5058968.430	86.360	86.440	0.080
40	7398441.350	5058835.620	95.520	95.600	0.080	105	7399344.460	5058896.710	87.099	87.230	0.131
41	7398507.240	5058725.870	91.050	91.040	-0.010	106	7399447.350	5058940.020	86.102	86.190	0.088
42	7398565.150	5058614.640	90.510	90.530	0.020	107	7399475.940	5058911.910	87.455	87.540	0.085
43	7398467.060	5058508.790	92.390	92.460	0.070	108	7399531.280	5058884.630	90.392	90.330	-0.062
44	7398578.720	5058521.080	91.730	91.830	0.100	109	7399387.000	5058786.940	87.520	87.550	0.030
45	7398632.630	5058505.830	91.310	91.440	0.130	113	7399714.470	5058777.000	98.382	98.420	0.038
46	7398678.910	5058534.770	90.880	91.000	0.120	114	7399834.790	5058618.950	99.700	99.700	0.000
47	7398713.240	5058458.820	93.460	93.570	0.110	115	7399894.430	5058547.520	99.543	99.520	-0.023
48	7398649.000	5058410.450	97.070	97.110	0.040	116	7399999.860	5058603.380	100.410	100.490	0.080
49	7398518.480	5058317.720	99.245	99.270	0.025	117	7400319.290	5058296.590	99.510	99.510	0.000
50	7398424.360	5058442.330	94.310	94.330	0.020	118	7400152.760	5058205.820	93.028	92.940	-0.088
51	7398277.250	5058660.650	96.240	96.290	0.050	119	7400044.890	5058340.750	98.650	98.710	0.060
52	7398266.680	5058857.790	102.479	102.520	0.041	120	7399771.840	5058026.690	86.561	86.500	-0.061
53	7398177.510	5058786.160	100.537	100.630	0.093	121	7399731.580	5058010.490	86.206	86.200	-0.006
54	7398085.570	5058702.140	101.621	101.730	0.109	124	7399810.820	5058482.460	90.670	90.710	0.040
55	7398001.010	5058627.440	101.885	101.970	0.085	125	7399742.710	5058590.250	94.090	94.150	0.060
56	7398167.260	5058595.330	99.430	99.470	0.040	126	7399682.900	5058650.200	92.600	92.630	0.030
57	7398147.470	5058403.900	98.652	98.840	0.188	130	7399241.990	5057928.440	97.331	97.400	0.069
58	7398346.660	5058340.330	95.710	95.880	0.170	131	7398042.780	5058969.810	101.114	101.170	0.056
59	7398258.280	5058249.870	98.387	98.520	0.133	132	7397922.870	5058785.850	104.520	104.520	0.000
60	7398284.710	5058259.310	98.131	98.270	0.139	133	7397778.880	5058571.740	100.220	100.250	0.030
61	7398330.210	5058185.910	97.899	97.870	-0.029						
62	7398434.460	5058042.100	97.858	97.880	0.022						
63	7398627.960	5058173.280	99.127	99.170	0.043						
64	7397909.490	5058377.590	99.780	99.850	0.070						
65	7398143.500	5058055.340	97.810	97.820	0.010						

TABELA 10.1: Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačkica izabраниh za kalibraciju na UAVMo modelu

Br.T.	Yt	Xt	Zt	Zmo	dZ	Br.T.	Yt	Xt	Zt	Zmo	dZ
1	7398843.460	5059228.410	87.264	87.180	-0.084	51	7399450.420	5059363.800	88.524	88.450	-0.074
2	7398913.380	5059091.580	87.012	87.030	0.018	52	7400100.450	5059136.630	101.250	101.160	-0.090
3	7398972.020	5058985.490	87.107	86.990	-0.117	53	7399827.630	5058990.650	100.890	100.770	-0.120
4	7399036.000	5058870.700	87.319	87.220	-0.099	54	7399636.780	5058885.650	98.045	97.910	-0.135
5	7399095.220	5058767.350	87.559	87.500	-0.059	55	7399605.270	5058923.730	97.956	97.830	-0.126
6	7399160.430	5058652.980	87.653	87.570	-0.083	56	7399579.990	5058965.460	98.862	98.760	-0.102
7	7399220.510	5058545.440	87.690	87.660	-0.030	57	7399424.610	5059229.160	88.150	88.090	-0.060
8	7399280.340	5058438.450	87.479	87.460	-0.019	58	7399225.010	5058972.610	86.720	86.580	-0.140
9	7399310.170	5058383.870	87.113	87.060	-0.053	59	7399300.710	5058996.360	86.350	86.220	-0.130
10	7399400.900	5058226.000	87.020	86.970	-0.050	60	7399295.650	5059034.680	86.040	85.880	-0.160
11	7399495.070	5058076.460	86.704	86.540	-0.164	61	7399454.670	5059104.820	92.437	92.400	-0.037
12	7399582.380	5057949.040	87.048	87.000	-0.048	62	7399515.370	5059014.210	98.345	98.260	-0.085
13	7399792.720	5057805.490	87.417	87.380	-0.037	63	7399344.460	5058896.710	87.099	87.010	-0.089
14	7400091.130	5057625.870	87.470	87.380	-0.090	64	7399387.000	5058786.940	87.520	87.420	-0.100
15	7399073.210	5057015.620	97.694	97.670	-0.024	65	7399443.790	5058670.630	86.790	86.700	-0.090

16	7399163.960	5057409.270	98.052	98.010	-0.042	66	7399496.650	5058570.780	85.930	85.810	-0.120
17	7399243.000	5057674.920	95.674	95.570	-0.104	67	7399561.510	5058610.410	86.590	86.470	-0.120
18	7399274.510	5057856.050	95.750	95.690	-0.060	68	7399714.470	5058777.000	98.382	98.260	-0.122
19	7399069.710	5058043.320	97.340	97.290	-0.050	69	7399834.790	5058618.950	99.700	99.550	-0.150
20	7399154.890	5058073.030	98.089	98.010	-0.079	70	7399894.430	5058547.520	99.543	99.460	-0.083
21	7399162.460	5058096.110	96.510	96.380	-0.130	71	7399999.860	5058603.380	100.410	100.280	-0.130
22	7399032.820	5058234.870	97.670	97.620	-0.050	72	7400613.410	5058462.420	96.720	96.690	-0.030
23	7399070.000	5058239.260	96.852	96.790	-0.062	73	7400319.290	5058296.590	99.510	99.490	-0.020
24	7399031.570	5058306.170	95.142	95.070	-0.072	74	7400152.760	5058205.820	93.028	92.900	-0.128
25	7398981.130	5058418.420	91.984	91.940	-0.044	75	7400044.890	5058340.750	98.650	98.560	-0.090
26	7398918.930	5058525.330	89.580	89.460	-0.120	76	7399771.840	5058026.690	86.561	86.470	-0.091
27	7398857.690	5058628.310	88.940	88.840	-0.100	77	7399731.580	5058010.490	86.206	86.090	-0.116
28	7398793.240	5058741.400	88.048	87.980	-0.068	78	7399241.990	5057928.440	97.331	97.220	-0.111
29	7398732.020	5058844.590	87.875	87.840	-0.035						
30	7398657.520	5058953.930	90.141	90.060	-0.081						
31	7398584.900	5059085.470	93.450	93.450	0.000						
32	7398441.350	5058835.620	95.520	95.460	-0.060						
33	7398507.240	5058725.870	91.050	90.920	-0.130						
34	7398565.150	5058614.640	90.510	90.410	-0.100						
35	7398467.060	5058508.790	92.390	92.410	0.020						
36	7398578.720	5058521.080	91.730	91.790	0.060						
37	7398632.630	5058505.830	91.310	91.240	-0.070						
38	7398678.910	5058534.770	90.880	90.730	-0.150						
39	7398713.240	5058458.820	93.460	93.470	0.010						
40	7398649.000	5058410.450	97.070	97.180	0.110						
41	7398518.480	5058317.720	99.245	99.160	-0.085						
42	7398330.210	5058185.910	97.899	97.800	-0.099						
43	7398143.500	5058055.340	97.810	97.640	-0.170						
44	7397948.760	5057920.020	100.150	100.040	-0.110						
45	7398136.770	5057659.850	99.300	99.200	-0.100						
46	7398403.550	5057565.070	98.460	98.390	-0.070						
47	7398618.990	5057721.940	98.319	98.230	-0.089						
48	7398645.500	5057740.620	99.224	99.140	-0.084						
49	7398797.940	5057846.680	97.534	97.430	-0.104						
50	7398835.440	5057874.420	96.141	96.050	-0.091						

TABELA 10.2: Očitane Z vrednosti koordinat kontrolnih tačkica izabranih za kalibracijo na LiDARMo modelu

Br.T.	Yt	Xt	Zt	Zmo	dZ	Br.T.	Yt	Xt	Zt	Zmo	dZ
1	7399752.119	5058572.420	93.724	93.760	0.036	262	7400131.413	5058192.704	92.405	92.330	-0.075
2	7399753.324	5058573.553	93.739	93.850	0.111	263	7400179.450	5058217.038	93.890	93.880	-0.010
3	7399726.700	5058608.443	94.258	94.280	0.022	264	7400296.690	5058284.699	99.142	99.170	0.028
4	7399725.578	5058607.666	94.254	94.280	0.026	265	7400295.964	5058285.868	99.183	99.260	0.077
5	7399676.030	5058654.360	91.934	92.030	0.096	266	7400338.368	5058307.904	99.459	99.420	-0.039
6	7399698.324	5058640.615	93.314	93.390	0.076	267	7400337.554	5058309.124	99.516	99.500	-0.016
7	7399697.355	5058639.522	93.300	93.340	0.040	268	7400029.689	5058360.966	99.094	99.140	0.046
8	7399696.244	5058638.343	93.236	93.310	0.074	269	7400062.435	5058323.017	98.142	98.190	0.048
9	7399675.712	5058655.897	91.919	92.010	0.091	270	7400060.933	5058322.181	98.168	98.370	0.202
10	7399649.625	5058695.278	90.939	91.060	0.121	271	7400059.771	5058321.448	98.162	98.330	0.168
11	7399650.136	5058695.923	90.997	91.100	0.103	272	7400032.681	5058361.959	99.102	99.140	0.038
12	7399651.347	5058695.078	91.094	91.210	0.116	273	7400030.203	5058360.255	99.100	99.180	0.080

13	7399814.707	5058333.594	87.115	87.120	0.005	274	7399736.218	5058749.878	98.917	98.980	0.063
14	7399813.400	5058333.926	87.068	87.040	-0.028	275	7399201.027	5058677.349	87.564	87.600	0.036
15	7399816.990	5058380.001	87.725	87.740	0.015	276	7399199.507	5058680.159	87.574	87.590	0.016
16	7399818.663	5058379.838	87.809	87.760	-0.049	277	7399382.993	5058796.748	87.594	87.680	0.086
17	7399815.341	5058441.776	89.365	89.400	0.035	278	7399371.955	5058776.209	87.437	87.500	0.063
18	7399813.885	5058441.542	89.344	89.400	0.056	279	7399384.306	5058796.824	87.675	87.720	0.045
19	7399797.659	5058506.626	91.263	91.350	0.087	280	7399358.549	5058858.971	87.546	87.620	0.074
20	7399796.167	5058506.013	91.252	91.320	0.068	281	7399357.018	5058854.812	87.675	87.740	0.065
21	7399909.456	5058522.206	99.579	99.620	0.041	282	7399358.070	5058855.729	87.667	87.690	0.023
22	7399910.915	5058523.415	99.599	99.570	-0.029	283	7399399.982	5058767.435	87.453	87.340	-0.113
23	7399882.960	5058559.798	99.444	99.530	0.086	284	7399398.683	5058766.809	87.469	87.340	-0.129
24	7399854.903	5058598.531	99.530	99.520	-0.010	285	7399397.127	5058766.172	87.410	87.290	-0.120
25	7399823.396	5058639.495	99.927	99.950	0.023	286	7399431.882	5058698.606	86.956	86.820	-0.136
26	7399822.063	5058638.551	99.909	99.890	-0.019	287	7399253.677	5058566.808	87.695	87.540	-0.155
27	7399820.925	5058637.749	99.883	99.920	0.037	288	7399254.488	5058565.495	87.651	87.530	-0.121
28	7399706.897	5058764.556	96.942	97.010	0.068	289	7399345.050	5058400.715	86.799	86.580	-0.219
29	7399705.321	5058767.777	97.035	97.100	0.065	290	7399441.011	5058251.414	86.590	86.370	-0.220
30	7399706.159	5058791.949	98.437	98.360	-0.077	291	7399440.649	5058252.569	86.541	86.290	-0.251
31	7399704.711	5058791.093	98.385	98.380	-0.005	292	7399358.193	5058203.789	87.053	87.050	-0.003
32	7399646.702	5058867.742	98.111	98.140	0.029	293	7399357.756	5058204.950	87.055	87.080	0.025
33	7399647.921	5058868.456	98.137	98.050	-0.087	294	7399356.954	5058206.469	87.070	87.140	0.070
34	7399649.194	5058869.416	98.113	98.140	0.027	295	7399229.442	5058136.574	89.311	89.530	0.219
35	7399684.781	5058910.300	98.551	98.440	-0.111	296	7399229.550	5058133.435	89.455	89.680	0.225
36	7399683.997	5058911.572	98.544	98.560	0.016	297	7399151.683	5058101.074	97.764	97.870	0.106
37	7399619.652	5058905.463	97.982	97.940	-0.042	298	7399152.745	5058101.809	97.792	97.900	0.108
38	7399620.956	5058906.242	97.981	97.880	-0.101	299	7399075.672	5058227.377	97.023	97.210	0.187
39	7399592.656	5058943.823	98.260	98.290	0.030	300	7399076.946	5058228.644	97.014	97.190	0.176
40	7399594.035	5058944.708	98.283	98.190	-0.093	301	7399055.011	5058260.855	96.400	96.580	0.180
41	7399584.653	5058914.866	96.405	96.500	0.095	302	7399057.174	5058263.127	96.373	96.510	0.137
42	7399585.392	5058913.875	96.375	96.340	-0.035	303	7399041.997	5058288.427	95.647	95.860	0.213
43	7399578.031	5058982.019	99.433	99.410	-0.023	304	7399043.365	5058289.184	95.631	95.850	0.219
44	7399579.344	5058982.047	99.425	99.460	0.035	305	7399023.601	5058324.454	94.617	94.740	0.123
45	7399569.240	5058968.471	98.985	98.950	-0.035	306	7399026.255	5058326.026	94.637	94.800	0.163
46	7399570.012	5058969.724	99.051	98.880	-0.171	307	7398994.242	5058391.083	92.701	92.690	-0.011
47	7399570.744	5058971.020	99.071	99.040	-0.031	308	7398992.816	5058390.435	92.703	92.760	0.057
48	7399574.943	5059065.296	100.948	100.960	0.012	309	7399032.532	5058329.770	93.304	93.410	0.106
49	7399576.367	5059065.201	100.958	100.910	-0.048	310	7399258.047	5058426.793	87.534	87.620	0.086
50	7399577.503	5059065.204	100.909	100.920	0.011	311	7399256.851	5058429.580	87.473	87.440	-0.033
51	7399575.704	5059109.977	101.420	101.430	0.010	312	7399274.318	5058359.872	87.058	87.240	0.182
52	7399576.688	5059109.870	101.408	101.430	0.022	313	7399272.900	5058360.377	87.087	87.110	0.023
53	7399073.870	5058752.603	87.696	87.810	0.114	314	7399178.724	5058303.699	87.448	87.690	0.242
54	7398816.344	5058697.263	88.312	88.510	0.198	315	7399179.366	5058302.629	87.413	87.680	0.267
55	7398815.163	5058696.512	88.334	88.560	0.226	316	7399147.138	5058284.894	87.887	88.080	0.193
56	7398866.460	5058609.206	89.144	89.270	0.126	317	7399147.747	5058283.782	87.862	88.080	0.218
57	7398864.919	5058608.558	89.143	89.310	0.167	318	7399171.554	5058061.678	97.918	98.070	0.152
58	7398900.917	5058548.441	89.635	89.840	0.205	319	7399167.565	5058059.905	98.136	98.300	0.164
59	7398899.491	5058547.696	89.670	89.850	0.180	320	7399264.616	5057968.056	92.289	92.440	0.151
60	7399572.446	5059218.647	101.147	101.160	0.013	321	7399265.927	5057969.108	92.182	92.330	0.148
61	7399573.646	5059218.638	101.198	101.190	-0.008	322	7399293.717	5057958.271	90.793	91.010	0.217
62	7399574.918	5059218.645	101.180	101.210	0.030	323	7399294.052	5057957.029	90.808	90.960	0.152
63	7399571.717	5059266.648	100.625	100.610	-0.015	324	7399378.302	5058006.014	89.569	89.760	0.191
64	7399572.894	5059266.602	100.651	100.670	0.019	325	7399447.891	5058045.829	87.132	87.200	0.068

65	7399574.186	5059266.586	100.640	100.680	0.040	326	7399447.230	5058047.206	87.109	87.180	0.071
66	7399571.071	5059379.405	95.979	95.940	-0.039	327	7399446.567	5058048.466	87.116	87.220	0.104
67	7399569.829	5059379.331	95.931	95.910	-0.021	328	7399481.433	5058005.430	87.536	87.680	0.144
68	7399596.138	5059410.537	96.510	96.660	0.150	329	7399483.489	5058003.549	87.473	87.600	0.127
69	7399595.918	5059410.940	96.572	96.650	0.078	330	7399392.103	5057881.266	90.893	91.090	0.197
70	7399529.792	5059388.983	93.114	93.250	0.136	331	7399390.002	5057883.204	90.937	91.030	0.093
71	7399593.689	5059413.313	96.509	96.660	0.151	332	7399144.970	5058074.554	98.398	98.600	0.202
72	7399595.494	5059442.470	96.429	96.410	-0.019	333	7399145.613	5058073.376	98.448	98.610	0.162
73	7399596.776	5059442.706	96.396	96.560	0.164	334	7399087.094	5058053.785	97.614	97.810	0.196
74	7399595.712	5059463.496	95.866	95.950	0.084	335	7399087.672	5058052.079	97.558	97.730	0.172
75	7399594.193	5059463.610	95.855	95.980	0.125	336	7399047.709	5058024.003	97.060	97.280	0.220
76	7399594.869	5059411.957	96.528	96.620	0.092	337	7399046.956	5058025.113	97.152	97.250	0.098
77	7399622.397	5059425.186	97.940	98.020	0.080	338	7398861.679	5057865.084	95.827	95.900	0.073
78	7399621.692	5059426.302	97.951	97.750	-0.201	339	7398860.351	5057862.396	95.876	95.910	0.034
79	7399620.971	5059427.686	97.968	97.920	-0.048	340	7398827.036	5057886.572	96.062	96.040	-0.022
80	7399664.596	5059448.677	99.821	99.900	0.079	341	7398825.981	5057885.823	96.132	96.150	0.018
81	7399664.095	5059450.147	99.842	99.900	0.058	342	7399012.988	5058221.916	98.514	98.710	0.196
82	7399665.119	5059447.478	99.809	99.890	0.081	343	7399012.514	5058223.077	98.573	98.670	0.097
83	7399704.843	5059469.811	100.392	100.300	-0.092	344	7398934.579	5058170.936	97.745	97.830	0.085
84	7399704.110	5059471.166	100.403	100.390	-0.013	345	7398885.292	5058134.351	97.759	97.960	0.201
85	7399577.654	5059480.471	93.681	93.770	0.089	346	7398884.779	5058135.583	97.784	97.930	0.146
86	7399492.029	5059484.455	90.026	90.140	0.114	347	7398884.107	5058136.953	97.781	97.970	0.189
87	7399478.475	5059504.390	88.915	89.060	0.145	348	7398770.347	5058050.659	97.693	97.710	0.017
88	7399476.678	5059504.614	88.863	88.920	0.057	349	7398716.300	5058037.146	98.661	98.670	0.009
89	7399472.350	5059458.355	89.825	89.900	0.075	350	7398718.851	5058038.887	98.572	98.550	-0.022
90	7399470.553	5059457.415	89.823	89.910	0.087	351	7398702.261	5058057.630	98.811	98.780	-0.031
91	7399472.169	5059457.325	89.814	89.910	0.096	352	7398703.279	5058058.407	98.830	98.600	-0.230
92	7399440.975	5059369.210	88.272	88.320	0.048	353	7398704.453	5058059.384	98.702	98.710	0.008
93	7399440.718	5059367.707	88.261	88.250	-0.011	354	7398604.451	5058157.564	99.214	99.340	0.126
94	7399458.104	5059391.358	88.945	88.900	-0.045	355	7398602.759	5058160.054	99.314	99.330	0.016
95	7399476.518	5059372.250	89.884	89.990	0.106	356	7398497.954	5058085.127	98.479	98.370	-0.109
96	7399476.233	5059373.752	89.894	90.010	0.116	357	7398461.569	5058064.281	98.161	98.200	0.039
97	7399444.018	5059343.738	88.847	88.920	0.073	358	7398462.329	5058062.965	98.158	98.110	-0.048
98	7399445.538	5059343.397	88.860	88.950	0.090	359	7398462.977	5058061.517	98.107	98.130	0.023
99	7399424.025	5059247.872	88.092	88.210	0.118	360	7398440.692	5058051.677	97.831	97.760	-0.071
100	7399425.303	5059247.564	88.161	88.240	0.079	361	7398497.845	5058053.347	98.010	98.100	0.090
101	7399396.510	5059211.142	87.747	87.790	0.043	362	7398496.764	5058052.422	98.050	98.040	-0.010
102	7399432.753	5059211.856	88.346	88.410	0.064	363	7398495.613	5058051.657	98.026	98.160	0.134
103	7399431.277	5059211.632	88.308	88.360	0.052	364	7399298.780	5059008.238	86.230	86.440	0.210
104	7399429.822	5059211.259	88.230	88.290	0.060	365	7399297.344	5059008.072	86.242	86.400	0.158
105	7399428.312	5059247.091	88.204	88.300	0.096	366	7399295.899	5059008.018	86.221	86.420	0.199
106	7399426.550	5059247.354	88.205	88.250	0.045	367	7399340.387	5059360.323	87.084	87.120	0.036
107	7399450.702	5059118.996	91.836	91.790	-0.046	368	7399339.821	5059361.252	87.028	87.100	0.072
108	7399452.429	5059119.500	91.860	91.820	-0.040	369	7399341.050	5059359.101	87.040	87.070	0.030
109	7399462.406	5059098.158	93.082	93.130	0.048	370	7399341.737	5059357.631	86.953	86.710	-0.243
110	7399459.895	5059096.368	92.990	93.010	0.020	371	7399274.689	5059311.915	86.878	86.940	0.062
111	7399461.189	5059097.131	93.068	93.080	0.012	372	7399275.608	5059310.761	86.858	86.750	-0.108
112	7399508.838	5059023.360	97.741	97.800	0.059	373	7398116.562	5058035.994	97.573	97.640	0.067
113	7399510.103	5059024.336	97.763	97.830	0.067	374	7398115.874	5058037.035	97.629	97.730	0.101
114	7399526.151	5059004.883	98.916	98.960	0.044	375	7398115.207	5058038.020	97.636	97.700	0.064
115	7399527.268	5059005.971	98.943	98.950	0.007	376	7398336.662	5058184.587	97.827	97.960	0.133
116	7399509.535	5059006.354	98.498	98.520	0.022	377	7398339.439	5058191.301	97.827	97.940	0.113

117	7399268.145	5058982.998	85.981	86.070	0.089	378	7398338.888	5058194.600	97.839	98.000	0.161
118	7399101.601	5059208.666	86.355	86.470	0.115	379	7398181.358	5058083.331	97.802	97.830	0.028
119	7399100.883	5059209.903	86.356	86.580	0.224	380	7398334.472	5058182.133	97.855	97.950	0.095
120	7399321.704	5059046.687	86.251	86.420	0.169	381	7398180.333	5058084.666	97.885	97.830	-0.055
121	7399322.603	5059045.517	86.208	86.410	0.202	382	7398298.041	5058167.353	98.279	98.410	0.131
122	7399278.931	5059071.807	86.252	86.430	0.178	383	7398297.021	5058168.447	98.301	98.420	0.119
123	7399280.282	5059072.295	86.296	86.450	0.154	384	7398287.548	5058247.814	98.255	98.250	-0.005
124	7399281.806	5059072.981	86.281	86.470	0.189	385	7398286.271	5058247.094	98.377	98.420	0.043
125	7399311.539	5058971.869	86.196	86.270	0.074	386	7398495.266	5058302.430	99.391	99.310	-0.081
126	7399267.832	5058984.503	86.079	86.120	0.041	387	7397970.154	5057934.278	99.905	99.950	0.045
127	7399310.167	5058971.005	86.135	86.280	0.145	388	7397971.084	5057932.841	99.911	99.830	-0.081
128	7399147.613	5059239.853	86.509	86.620	0.111	389	7398193.838	5058773.600	100.273	100.410	0.137
129	7399242.188	5059289.693	86.926	86.900	-0.026	390	7398263.001	5058679.967	96.954	96.960	0.006
130	7399241.045	5059290.987	86.970	87.060	0.090	391	7398261.755	5058679.103	96.966	96.910	-0.056
131	7399381.460	5059075.364	87.021	87.160	0.139	392	7398260.625	5058678.252	96.943	97.000	0.057
132	7399382.176	5059072.526	86.912	87.110	0.198	393	7398144.631	5058752.221	100.461	100.580	0.119
133	7399025.090	5059009.998	86.948	86.970	0.022	394	7398143.956	5058753.590	100.506	100.630	0.124
134	7399022.980	5059010.527	87.034	86.960	-0.074	395	7398163.792	5058807.055	100.413	100.500	0.087
135	7399080.571	5058894.184	87.156	87.170	0.014	396	7398165.147	5058807.813	100.382	100.500	0.118
136	7399200.462	5058958.395	87.085	87.130	0.045	397	7398197.378	5058798.686	100.788	100.970	0.182
137	7399314.742	5058885.062	87.023	86.790	-0.233	398	7398197.006	5058800.672	100.829	100.990	0.161
138	7399275.097	5059312.302	86.859	86.930	0.071	399	7398198.014	5058799.393	100.797	100.950	0.153
139	7399267.106	5059102.200	86.776	86.720	-0.056	400	7398290.159	5058879.444	101.788	101.910	0.122
140	7399378.069	5059371.623	87.281	87.350	0.069	401	7398291.137	5058878.154	101.818	101.900	0.082
141	7399292.554	5059152.100	87.190	87.360	0.170	402	7398291.951	5058877.029	101.799	101.880	0.081
142	7399292.808	5059150.503	87.167	87.320	0.153	403	7398246.747	5058845.522	102.323	102.430	0.107
143	7399228.693	5059115.793	87.200	87.350	0.150	404	7398247.765	5058844.414	102.363	102.490	0.127
144	7399078.694	5058894.985	87.185	87.170	-0.015	405	7398248.730	5058843.239	102.343	102.490	0.147
145	7399337.961	5058915.116	87.182	87.170	-0.012	406	7398053.429	5058953.850	101.219	101.330	0.111
146	7399133.384	5058784.742	87.207	87.230	0.023	407	7398052.252	5058952.842	101.218	101.340	0.122
147	7399132.724	5058785.899	87.187	87.240	0.053	408	7398260.740	5058246.393	98.484	98.620	0.136
148	7399398.230	5059208.630	87.693	87.730	0.037	409	7398275.260	5058257.131	98.035	98.140	0.105
149	7399397.677	5059210.050	87.746	87.790	0.044	410	7398274.466	5058260.359	98.063	98.220	0.157
150	7399327.853	5058469.886	87.670	87.340	-0.330	411	7398296.684	5058278.006	97.663	97.880	0.217
151	7399328.784	5058468.633	87.630	87.330	-0.300	412	7398295.557	5058279.056	97.719	97.890	0.171
152	7399397.011	5059211.327	88.049	87.790	-0.259	413	7398327.945	5058364.662	95.190	95.270	0.080
153	7398878.678	5058643.931	88.652	88.810	0.158	414	7398337.989	5058326.948	96.047	96.150	0.103
154	7398878.036	5058645.340	88.680	88.750	0.070	415	7398336.817	5058327.990	95.980	96.010	0.030
155	7398816.157	5058611.219	89.483	89.600	0.117	416	7398402.092	5058405.200	94.589	94.740	0.151
156	7398816.602	5058609.906	89.465	89.540	0.075	417	7398399.178	5058406.624	94.655	94.800	0.145
157	7399614.528	5057928.265	87.031	87.270	0.239	418	7398368.745	5058365.375	95.219	95.370	0.151
158	7399612.805	5057926.002	87.071	87.280	0.209	419	7398367.639	5058366.478	95.192	95.380	0.188
159	7399560.684	5057975.399	86.790	87.080	0.290	420	7398405.065	5058469.689	93.961	94.000	0.039
160	7399524.160	5058021.244	86.864	86.940	0.076	421	7398403.821	5058468.936	94.022	94.010	-0.012
161	7399521.897	5058019.572	86.809	86.930	0.121	422	7398305.165	5058617.750	94.873	94.810	-0.063
162	7399009.854	5058856.629	87.482	87.380	-0.102	423	7398304.055	5058616.836	94.859	94.860	0.001
163	7399009.063	5058858.047	87.528	87.340	-0.188	424	7399233.795	5057941.702	97.592	97.710	0.118
164	7398756.129	5058862.733	87.920	87.840	-0.080	425	7399252.801	5057903.807	96.622	96.670	0.048
165	7398756.849	5058861.313	87.838	87.860	0.022	426	7398972.418	5057841.219	95.405	95.560	0.155
166	7398692.574	5058825.307	88.580	88.600	0.020	427	7398973.543	5057839.783	95.363	95.490	0.127
167	7398691.663	5058826.676	88.568	88.700	0.132	428	7399026.329	5057822.431	95.512	95.570	0.058
168	7398558.776	5058751.701	90.303	90.370	0.067	429	7399024.079	5057820.352	95.485	95.530	0.045

169	7398559.327	5058750.701	90.223	90.320	0.097	430	7399009.459	5057839.577	95.334	95.370	0.036
170	7398520.391	5058699.202	90.717	90.750	0.033	431	7399013.153	5057841.363	95.392	95.410	0.018
171	7398555.245	5058638.894	90.474	90.460	-0.014	432	7399011.737	5057840.481	95.404	95.400	-0.004
172	7398778.520	5058763.348	88.205	88.260	0.055	433	7398949.928	5057827.346	95.414	95.440	0.026
173	7398777.275	5058762.696	88.204	88.280	0.076	434	7398950.807	5057826.314	95.392	95.460	0.068
174	7398776.167	5058761.969	88.207	88.310	0.103	435	7398905.378	5057819.516	95.403	95.450	0.047
175	7398743.670	5058820.026	88.156	88.160	0.004	436	7398904.429	5057818.529	95.433	95.450	0.017
176	7398816.889	5058751.908	87.761	87.750	-0.011	437	7398802.792	5057850.320	97.250	97.260	0.010
177	7398817.515	5058750.520	87.716	87.830	0.114	438	7398800.876	5057852.640	97.282	97.340	0.058
178	7398758.308	5058717.355	88.961	89.090	0.129	439	7398804.704	5057819.677	98.385	98.480	0.095
179	7398757.518	5058718.769	89.058	89.000	-0.058	440	7398805.658	5057820.196	98.356	98.500	0.144
180	7398756.779	5058720.162	89.060	89.240	0.180	441	7398809.047	5058711.141	101.373	101.510	0.137
181	7398589.473	5058625.147	90.358	90.210	-0.148	442	7398809.014	5058709.979	101.355	101.420	0.065
182	7398589.309	5058626.707	90.381	90.400	0.019	443	7398809.835	5058708.951	101.325	101.450	0.125
183	7398556.625	5058604.674	90.619	90.580	-0.039	444	7398807.073	5058689.704	101.492	101.630	0.138
184	7398555.920	5058605.567	90.646	90.510	-0.136	445	7398807.030	5058690.689	101.527	101.610	0.083
185	7398445.178	5058480.200	93.229	93.140	-0.089	446	7398156.983	5058615.323	100.005	100.190	0.185
186	7398433.575	5058428.455	94.742	94.780	0.038	447	7398108.912	5058675.120	101.363	101.510	0.147
187	7398432.385	5058427.563	94.788	94.760	-0.028	448	7398109.958	5058675.877	101.362	101.470	0.108
188	7398431.539	5058426.596	94.825	94.800	-0.025	449	7398154.794	5058613.401	100.010	100.160	0.150
189	7398944.573	5058967.103	87.195	87.220	0.025	450	7398156.177	5058614.023	100.002	100.200	0.198
190	7398872.667	5059073.264	86.925	86.830	-0.095	451	7398181.458	5058576.234	98.611	98.630	0.019
191	7398691.218	5058974.054	89.034	89.130	0.096	452	7398250.456	5058266.756	98.019	98.210	0.191
192	7398690.638	5058975.037	89.068	89.060	-0.008	453	7398249.218	5058265.798	98.056	98.190	0.134
193	7398465.106	5058851.423	94.370	94.360	-0.010	454	7398140.067	5058421.012	98.760	98.960	0.200
194	7398465.653	5058850.436	94.284	94.320	0.036	455	7398138.922	5058420.289	98.764	98.980	0.216
195	7398493.414	5058747.130	91.447	91.490	0.043	456	7398137.519	5058419.376	98.772	99.000	0.228
196	7398457.165	5058811.015	94.097	94.260	0.163	457	7398163.815	5058384.990	98.123	98.360	0.237
197	7398458.085	5058811.767	94.081	94.310	0.229	458	7398066.211	5058489.576	99.927	100.030	0.103
198	7398428.929	5058852.793	97.174	97.140	-0.034	459	7398077.978	5058508.653	99.499	99.660	0.161
199	7398427.211	5058850.658	97.182	97.130	-0.052	460	7398093.871	5058490.027	99.261	99.440	0.179
200	7398334.269	5058908.521	101.701	101.800	0.099	461	7398092.752	5058489.380	99.311	99.370	0.059
201	7398346.650	5058934.646	101.644	101.670	0.026	462	7398091.457	5058488.516	99.269	99.400	0.131
202	7398384.942	5058970.008	100.553	100.560	0.007	463	7398018.127	5058636.034	101.200	101.460	0.260
203	7398384.317	5058971.078	100.561	100.570	0.009	464	7398013.081	5058608.217	101.308	101.410	0.102
204	7398353.981	5058948.171	101.393	101.410	0.017	465	7398424.302	5058060.625	97.575	97.650	0.075
205	7398595.787	5059059.135	93.388	93.450	0.062	466	7398422.119	5058058.527	97.629	97.710	0.081
206	7398596.968	5059059.774	93.394	93.430	0.036	467	7398423.123	5058059.496	97.631	97.710	0.079
207	7398598.141	5059060.429	93.431	93.460	0.029	468	7398455.548	5058009.850	97.732	97.770	0.038
208	7398676.011	5058924.927	90.248	90.390	0.142	469	7398454.103	5058008.938	97.713	97.810	0.097
209	7398677.147	5058925.532	90.284	90.300	0.016	470	7398552.133	5057967.060	99.185	99.260	0.075
210	7398678.368	5058925.880	90.253	90.270	0.017	471	7398587.539	5057968.499	98.743	98.740	-0.003
211	7398625.447	5058938.678	90.683	90.690	0.007	472	7398588.205	5057967.072	98.742	98.660	-0.082
212	7398625.799	5058936.978	90.599	90.760	0.161	473	7398666.787	5058023.722	98.749	98.820	0.071
213	7398645.884	5058978.624	90.661	90.880	0.219	474	7398667.818	5058022.953	99.055	98.820	-0.235
214	7398644.731	5058977.817	90.759	90.890	0.131	475	7398756.006	5057820.485	98.612	98.600	-0.012
215	7398643.772	5058976.863	90.725	90.930	0.205	476	7398757.269	5057819.753	98.623	98.420	-0.203
216	7398617.824	5059102.671	91.227	91.290	0.063	477	7398686.578	5057768.487	98.971	98.990	0.019
217	7398556.576	5059069.354	94.575	94.690	0.115	478	7398685.649	5057769.669	98.975	99.020	0.045
218	7398557.122	5059068.622	94.597	94.690	0.093	479	7398622.851	5057723.726	98.416	98.500	0.084
219	7398557.818	5059067.061	94.453	94.710	0.257	480	7398622.146	5057724.899	98.420	98.440	0.020
220	7398367.492	5058908.911	102.341	102.180	-0.161	481	7398858.932	5057892.507	96.129	96.160	0.031

221	7398366.339	5058907.636	102.269	102.230	-0.039	482	7398837.970	5059394.540	86.960	87.040	0.080
222	7398972.023	5058551.501	88.709	88.850	0.141	483	7398843.810	5059388.510	86.930	86.860	-0.070
223	7398971.407	5058552.883	88.713	88.890	0.177	484	7398844.250	5059257.440	86.990	87.060	0.070
224	7399100.955	5058624.624	87.719	87.880	0.161	485	7398910.300	5059114.090	87.010	86.990	-0.020
225	7399101.498	5058623.807	87.733	87.890	0.157	486	7398904.850	5059110.470	87.040	87.020	-0.020
226	7399102.041	5058622.745	87.741	87.860	0.119	487	7398936.210	5059052.850	87.030	87.070	0.040
227	7399192.084	5058534.530	88.056	88.130	0.074	488	7398940.900	5059057.410	87.020	87.030	0.010
228	7399192.719	5058533.360	88.060	88.110	0.050	489	7398988.380	5058972.960	87.030	87.190	0.160
229	7399193.546	5058531.939	88.035	88.100	0.065	490	7398982.930	5058969.820	87.070	87.220	0.150
230	7399029.663	5058442.292	89.882	90.130	0.248	491	7399057.700	5058837.170	87.370	87.410	0.040
231	7399028.988	5058443.519	90.000	90.160	0.160	492	7399064.480	5058837.790	87.390	87.460	0.070
232	7398962.924	5058443.296	91.384	91.520	0.136	493	7399112.670	5058752.810	87.610	87.600	-0.010
233	7398964.339	5058443.772	91.448	91.630	0.182	494	7399232.810	5058525.920	87.760	87.730	-0.030
234	7398941.554	5058478.250	90.573	90.540	-0.033	495	7399235.570	5058533.910	87.770	87.690	-0.080
235	7398942.406	5058478.984	90.559	90.590	0.031	496	7399280.920	5058453.280	87.520	87.460	-0.060
236	7398944.327	5058401.359	93.807	93.870	0.063	497	7399275.800	5058449.860	87.500	87.470	-0.030
237	7398945.097	5058399.797	93.735	93.810	0.075	498	7399406.740	5058217.490	86.980	86.980	0.000
238	7398641.184	5058184.233	99.108	99.190	0.082	499	7399393.690	5058253.600	87.010	86.900	-0.110
239	7398640.365	5058185.162	99.125	99.200	0.075	500	7399412.140	5058220.770	86.970	86.940	-0.030
240	7398639.570	5058186.280	99.131	99.240	0.109	501	7399472.520	5058113.480	86.840	86.830	-0.010
241	7398606.511	5058198.988	98.887	98.760	-0.127	502	7399469.170	5058106.870	86.780	86.820	0.040
242	7398544.243	5058291.412	99.416	99.440	0.024	503	7399500.890	5058063.380	86.740	86.800	0.060
243	7398542.814	5058290.716	99.473	99.450	-0.023	504	7399495.920	5058059.600	86.710	86.750	0.040
244	7398542.937	5058333.748	99.665	99.740	0.075	505	7399250.257	5057842.251	96.600	96.690	0.090
245	7398542.178	5058334.936	99.758	99.780	0.022	506	7399250.552	5057840.321	96.592	96.660	0.068
246	7398541.384	5058336.120	99.693	99.760	0.067	507	7399275.249	5057831.410	95.277	95.330	0.053
247	7399673.599	5058170.946	85.508	85.530	0.022	508	7399276.852	5057831.450	95.302	95.350	0.048
248	7399715.428	5058015.344	86.729	86.700	-0.029	509	7399054.497	5057739.533	98.029	98.030	0.001
249	7399716.025	5058016.705	86.679	86.650	-0.029	510	7399089.781	5057726.135	97.320	97.360	0.040
250	7399740.778	5058013.352	86.128	86.090	-0.038	511	7399088.983	5057727.231	97.351	97.350	-0.001
251	7399739.934	5058014.680	86.157	86.150	-0.007	512	7399041.722	5057781.186	96.242	96.280	0.038
252	7399739.332	5058016.046	86.114	86.080	-0.034	513	7399043.210	5057781.730	96.228	96.360	0.132
253	7399771.795	5058058.563	86.299	86.250	-0.049	514	7399026.015	5057822.963	95.525	95.580	0.055
254	7399761.649	5058023.065	86.340	86.240	-0.100	515	7399074.972	5057815.498	95.866	95.900	0.034
255	7399760.967	5058024.428	86.355	86.270	-0.085	516	7399075.770	5057814.522	95.851	95.920	0.069
256	7399803.060	5058043.683	86.855	86.920	0.065	517	7399221.648	5057912.148	97.773	97.890	0.117
257	7399802.499	5058045.075	86.829	86.730	-0.099	518	7399220.745	5057913.241	97.811	97.950	0.139
258	7399771.920	5058058.317	86.280	86.250	-0.030	519	7399177.139	5057885.565	98.384	98.440	0.056
259	7399773.312	5058058.332	86.347	86.300	-0.047	520	7399177.666	5057884.439	98.366	98.410	0.044
260	7399774.280	5058058.407	86.343	86.300	-0.043	521	7399178.441	5057883.413	98.346	98.420	0.074
261	7400130.800	5058194.088	92.428	92.300	-0.128						

TABELA 10.3: Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izabranih za kalibraciju na UAVMo modelu

Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMo	dZ	Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMo	dZ
1	7399909.456	5058522.206	99.579	99.530	-0.049	134	7398964.339	5058443.772	91.448	91.370	-0.078
2	7399910.915	5058523.415	99.599	99.520	-0.079	135	7398941.554	5058478.250	90.573	90.390	-0.183
3	7399882.960	5058559.798	99.444	99.360	-0.084	136	7398942.406	5058478.984	90.559	90.420	-0.139
4	7399854.903	5058598.531	99.530	99.390	-0.140	137	7398944.327	5058401.359	93.807	93.730	-0.077
5	7399823.396	5058639.495	99.927	99.820	-0.107	138	7398945.097	5058399.797	93.735	93.720	-0.015
6	7399822.063	5058638.551	99.909	99.770	-0.139	139	7398544.243	5058291.412	99.416	99.400	-0.016



7	7399820.925	5058637.749	99.883	99.770	-0.113	140	7398542.814	5058290.716	99.473	99.370	-0.103
8	7399706.897	5058764.556	96.942	96.880	-0.062	141	7398542.937	5058333.748	99.665	99.640	-0.025
9	7399705.321	5058767.777	97.035	97.010	-0.025	142	7398542.178	5058334.936	99.758	99.670	-0.088
10	7399706.159	5058791.949	98.437	98.310	-0.127	143	7398541.384	5058336.120	99.693	99.680	-0.013
11	7399704.711	5058791.093	98.385	98.280	-0.105	144	7399715.428	5058015.344	86.729	86.580	-0.149
12	7399646.702	5058867.742	98.111	98.060	-0.051	145	7399716.025	5058016.705	86.679	86.540	-0.139
13	7399647.921	5058868.456	98.137	98.060	-0.077	146	7399740.778	5058013.352	86.128	86.040	-0.088
14	7399649.194	5058869.416	98.113	98.070	-0.043	147	7399739.934	5058014.680	86.157	86.030	-0.127
15	7399684.781	5058910.300	98.551	98.490	-0.061	148	7399739.332	5058016.046	86.114	86.020	-0.094
16	7399683.997	5058911.572	98.544	98.470	-0.074	149	7399761.649	5058023.065	86.340	86.150	-0.190
17	7399619.652	5058905.463	97.982	97.880	-0.102	150	7399760.967	5058024.428	86.355	86.180	-0.175
18	7399620.956	5058906.242	97.981	97.890	-0.091	151	7399803.060	5058043.683	86.855	86.690	-0.165
19	7399592.656	5058943.823	98.260	98.150	-0.110	152	7399802.499	5058045.075	86.829	86.670	-0.159
20	7399594.035	5058944.708	98.283	98.150	-0.133	153	7400130.800	5058194.088	92.428	92.290	-0.138
21	7399578.031	5058982.019	99.433	99.360	-0.073	154	7400131.413	5058192.704	92.405	92.290	-0.115
22	7399579.344	5058982.047	99.425	99.350	-0.075	155	7400179.450	5058217.038	93.890	93.900	0.010
23	7399569.240	5058968.471	98.985	98.880	-0.105	156	7400296.690	5058284.699	99.142	99.100	-0.042
24	7399570.012	5058969.724	99.051	98.910	-0.141	157	7400295.964	5058285.868	99.183	99.150	-0.033
25	7399570.744	5058971.020	99.071	98.950	-0.121	158	7400338.368	5058307.904	99.459	99.410	-0.049
26	7399073.870	5058752.603	87.696	87.680	-0.016	159	7400337.554	5058309.124	99.516	99.470	-0.046
27	7398816.344	5058697.263	88.312	88.260	-0.052	160	7400029.689	5058360.966	99.094	99.000	-0.094
28	7398815.163	5058696.512	88.334	88.260	-0.074	161	7400062.435	5058323.017	98.142	98.170	0.028
29	7398866.460	5058609.206	89.144	89.280	0.136	162	7400060.933	5058322.181	98.168	98.160	-0.008
30	7398864.919	5058608.558	89.143	89.250	0.107	163	7400059.771	5058321.448	98.162	98.170	0.008
31	7398900.917	5058548.441	89.635	89.610	-0.025	164	7400032.681	5058361.959	99.102	99.030	-0.072
32	7398899.491	5058547.696	89.670	89.630	-0.040	165	7400030.203	5058360.255	99.100	99.000	-0.100
33	7399440.975	5059369.210	88.272	88.260	-0.012	166	7399736.218	5058749.878	98.917	98.810	-0.107
34	7399440.718	5059367.707	88.261	88.260	-0.001	167	7399201.027	5058677.349	87.564	87.420	-0.144
35	7399458.104	5059391.358	88.945	88.960	0.015	168	7399199.507	5058680.159	87.574	87.460	-0.114
36	7399476.518	5059372.250	89.884	89.890	0.006	169	7399371.955	5058776.209	87.437	87.320	-0.117
37	7399444.018	5059343.738	88.847	88.790	-0.057	170	7399399.982	5058767.435	87.453	87.410	-0.043
38	7399445.538	5059343.397	88.860	88.810	-0.050	171	7399398.683	5058766.809	87.469	87.390	-0.079
39	7399424.025	5059247.872	88.092	88.110	0.018	172	7399397.127	5058766.172	87.410	87.410	0.000
40	7399425.303	5059247.564	88.161	88.120	-0.041	173	7399253.677	5058566.808	87.695	87.600	-0.095
41	7399396.510	5059211.142	87.747	87.790	0.043	174	7399254.488	5058565.495	87.651	87.580	-0.071
42	7399432.753	5059211.856	88.346	88.320	-0.026	175	7399345.050	5058400.715	86.799	86.760	-0.039
43	7399431.277	5059211.632	88.308	88.250	-0.058	176	7399441.011	5058251.414	86.590	86.520	-0.070
44	7399429.822	5059211.259	88.230	88.210	-0.020	177	7399440.649	5058252.569	86.541	86.480	-0.061
45	7399428.312	5059247.091	88.204	88.160	-0.044	178	7399357.756	5058204.950	87.055	87.040	-0.015
46	7399426.550	5059247.354	88.205	88.130	-0.075	179	7399356.954	5058206.469	87.070	87.090	0.020
47	7399450.702	5059118.996	91.836	91.720	-0.116	180	7399151.683	5058101.074	97.764	97.670	-0.094
48	7399452.429	5059119.500	91.860	91.800	-0.060	181	7399152.745	5058101.809	97.792	97.690	-0.102
49	7399462.406	5059098.158	93.082	93.020	-0.062	182	7399075.672	5058227.377	97.023	96.980	-0.043
50	7399459.895	5059096.368	92.990	92.960	-0.030	183	7399076.946	5058228.644	97.014	96.980	-0.034
51	7399461.189	5059097.131	93.068	93.010	-0.058	184	7399055.011	5058260.855	96.400	96.340	-0.060
52	7399508.838	5059023.360	97.741	97.670	-0.071	185	7399057.174	5058263.127	96.373	96.320	-0.053
53	7399510.103	5059024.336	97.763	97.710	-0.053	186	7399041.997	5058288.427	95.647	95.620	-0.027
54	7399526.151	5059004.883	98.916	98.790	-0.126	187	7399043.365	5058289.184	95.631	95.650	0.019
55	7399527.268	5059005.971	98.943	98.830	-0.113	188	7399023.601	5058324.454	94.617	94.540	-0.077
56	7399509.535	5059006.354	98.498	98.480	-0.018	189	7399026.255	5058326.026	94.637	94.590	-0.047
57	7399268.145	5058982.998	85.981	85.880	-0.101	190	7398994.242	5058391.083	92.701	92.630	-0.071
58	7399321.704	5059046.687	86.251	86.200	-0.051	191	7398992.816	5058390.435	92.703	92.610	-0.093

59	7399322.603	5059045.517	86.208	86.120	-0.088	192	7399032.532	5058329.770	93.304	93.240	-0.064
60	7399311.539	5058971.869	86.196	86.120	-0.076	193	7399258.047	5058426.793	87.534	87.560	0.026
61	7399267.832	5058984.503	86.079	85.970	-0.109	194	7399256.851	5058429.580	87.473	87.580	0.107
62	7399310.167	5058971.005	86.135	86.070	-0.065	195	7399274.318	5058359.872	87.058	87.180	0.122
63	7399025.090	5059009.998	86.948	86.780	-0.168	196	7399272.900	5058360.377	87.087	87.150	0.063
64	7399022.980	5059010.527	87.034	86.820	-0.214	197	7399171.554	5058061.678	97.918	97.860	-0.058
65	7399080.571	5058894.184	87.156	87.160	0.004	198	7399167.565	5058059.905	98.136	98.030	-0.106
66	7399200.462	5058958.395	87.085	86.970	-0.115	199	7399447.891	5058045.829	87.132	87.180	0.048
67	7399314.742	5058885.062	87.023	86.880	-0.143	200	7399447.230	5058047.206	87.109	87.170	0.061
68	7399078.694	5058894.985	87.185	87.120	-0.065	201	7399446.567	5058048.466	87.116	87.200	0.084
69	7399337.961	5058915.116	87.182	87.100	-0.082	202	7399481.433	5058005.430	87.536	87.610	0.074
70	7399133.384	5058784.742	87.207	87.130	-0.077	203	7399144.970	5058074.554	98.398	98.450	0.052
71	7399132.724	5058785.899	87.187	87.130	-0.057	204	7399145.613	5058073.376	98.448	98.430	-0.018
72	7399327.853	5058469.886	87.670	87.590	-0.080	205	7399047.709	5058024.003	97.060	96.990	-0.070
73	7399328.784	5058468.633	87.630	87.560	-0.070	206	7399046.956	5058025.113	97.152	97.050	-0.102
74	7399397.011	5059211.327	88.049	87.800	-0.249	207	7398861.679	5057865.084	95.827	95.830	0.003
75	7398878.678	5058643.931	88.652	88.520	-0.132	208	7398860.351	5057862.396	95.876	95.910	0.034
76	7398878.036	5058645.340	88.680	88.540	-0.140	209	7398827.036	5057886.572	96.062	96.150	0.088
77	7398816.157	5058611.219	89.483	89.400	-0.083	210	7398825.981	5057885.823	96.132	96.110	-0.022
78	7398816.602	5058609.906	89.465	89.380	-0.085	211	7399298.780	5059008.238	86.230	86.090	-0.140
79	7399614.528	5057928.265	87.031	87.030	-0.001	212	7399297.344	5059008.072	86.242	86.080	-0.162
80	7399612.805	5057926.002	87.071	87.010	-0.061	213	7399295.899	5059008.018	86.221	86.070	-0.151
81	7399560.684	5057975.399	86.790	86.900	0.110	214	7398116.562	5058035.994	97.573	97.510	-0.063
82	7399524.160	5058021.244	86.864	86.790	-0.074	215	7398115.874	5058037.035	97.629	97.550	-0.079
83	7399521.897	5058019.572	86.809	86.800	-0.009	216	7398115.207	5058038.020	97.636	97.580	-0.056
84	7399009.854	5058856.629	87.482	87.240	-0.242	217	7398336.662	5058184.587	97.827	97.830	0.003
85	7399009.063	5058858.047	87.528	87.260	-0.268	218	7398339.439	5058191.301	97.827	97.790	-0.037
86	7398756.129	5058862.733	87.920	87.790	-0.130	219	7398338.888	5058194.600	97.839	97.760	-0.079
87	7398756.849	5058861.313	87.838	87.770	-0.068	220	7398181.358	5058083.331	97.802	97.710	-0.092
88	7398692.574	5058825.307	88.580	88.430	-0.150	221	7398334.472	5058182.133	97.855	97.830	-0.025
89	7398691.663	5058826.676	88.568	88.440	-0.128	222	7398180.333	5058084.666	97.885	97.690	-0.195
90	7398558.776	5058751.701	90.303	90.170	-0.133	223	7398298.041	5058167.353	98.279	98.220	-0.059
91	7398559.327	5058750.701	90.223	90.120	-0.103	224	7398297.021	5058168.447	98.301	98.270	-0.031
92	7398520.391	5058699.202	90.717	90.720	0.003	225	7398495.266	5058302.430	99.391	99.330	-0.061
93	7398555.245	5058638.894	90.474	90.380	-0.094	226	7397970.154	5057934.278	99.905	99.790	-0.115
94	7398778.520	5058763.348	88.205	87.960	-0.245	227	7397971.084	5057932.841	99.911	99.800	-0.111
95	7398777.275	5058762.696	88.204	87.960	-0.244	228	7399233.795	5057941.702	97.592	97.540	-0.052
96	7398776.167	5058761.969	88.207	87.990	-0.217	229	7399252.801	5057903.807	96.622	96.550	-0.072
97	7398743.670	5058820.026	88.156	87.960	-0.196	230	7398802.792	5057850.320	97.250	97.200	-0.050
98	7398816.889	5058751.908	87.761	87.660	-0.101	231	7398800.876	5057852.640	97.282	97.240	-0.042
99	7398817.515	5058750.520	87.716	87.650	-0.066	232	7398756.006	5057820.485	98.612	98.580	-0.032
100	7398758.308	5058717.355	88.961	88.900	-0.061	233	7398757.269	5057819.753	98.623	98.560	-0.063
101	7398757.518	5058718.769	89.058	88.990	-0.068	234	7398686.578	5057768.487	98.971	98.900	-0.071
102	7398756.779	5058720.162	89.060	89.030	-0.030	235	7398685.649	5057769.669	98.975	99.020	0.045
103	7398589.473	5058625.147	90.358	90.220	-0.138	236	7398622.851	5057723.726	98.416	98.340	-0.076
104	7398589.309	5058626.707	90.381	90.290	-0.091	237	7398622.146	5057724.899	98.420	98.380	-0.040
105	7398944.573	5058967.103	87.195	87.160	-0.035	238	7398858.932	5057892.507	96.129	96.070	-0.059
106	7398872.667	5059073.264	86.925	86.900	-0.025	239	7398837.970	5059394.540	86.960	87.000	0.040
107	7398691.218	5058974.054	89.034	88.950	-0.084	240	7398843.810	5059388.510	86.930	86.940	0.010
108	7398690.638	5058975.037	89.068	88.970	-0.098	241	7398844.250	5059257.440	86.990	86.920	-0.070
109	7398465.106	5058851.423	94.370	94.260	-0.110	242	7398910.300	5059114.090	87.010	86.830	-0.180
110	7398465.653	5058850.436	94.284	94.190	-0.094	243	7398904.850	5059110.470	87.040	86.850	-0.190

111	7398428.929	5058852.793	97.174	97.080	-0.094	244	7398940.900	5059057.410	87.020	86.890	-0.130
112	7398427.211	5058850.658	97.182	97.090	-0.092	245	7398988.380	5058972.960	87.030	86.970	-0.060
113	7398595.787	5059059.135	93.388	93.190	-0.198	246	7398982.930	5058969.820	87.070	87.020	-0.050
114	7398596.968	5059059.774	93.394	93.220	-0.174	247	7399057.700	5058837.170	87.370	87.630	0.260
115	7398598.141	5059060.429	93.431	93.240	-0.191	248	7399064.480	5058837.790	87.390	87.630	0.240
116	7398676.011	5058924.927	90.248	90.090	-0.158	249	7399112.670	5058752.810	87.610	87.740	0.130
117	7398677.147	5058925.532	90.284	90.090	-0.194	250	7399232.810	5058525.920	87.760	87.690	-0.070
118	7398678.368	5058925.880	90.253	90.070	-0.183	251	7399235.570	5058533.910	87.770	87.700	-0.070
119	7398625.447	5058938.678	90.683	90.520	-0.163	252	7399280.920	5058453.280	87.520	87.490	-0.030
120	7398625.799	5058936.978	90.599	90.540	-0.059	253	7399275.800	5058449.860	87.500	87.520	0.020
121	7398645.884	5058978.624	90.661	90.600	-0.061	254	7399406.740	5058217.490	86.980	86.970	-0.010
122	7398644.731	5058977.817	90.759	90.640	-0.119	255	7399393.690	5058253.600	87.010	86.940	-0.070
123	7398643.772	5058976.863	90.725	90.640	-0.085	256	7399412.140	5058220.770	86.970	86.930	-0.040
125	7398972.023	5058551.501	88.709	88.620	-0.089	257	7399472.520	5058113.480	86.840	86.760	-0.080
126	7398971.407	5058552.883	88.713	88.610	-0.103	258	7399469.170	5058106.870	86.780	86.760	-0.020
127	7399100.955	5058624.624	87.719	87.650	-0.069	259	7399500.890	5058063.380	86.740	86.630	-0.110
128	7399101.498	5058623.807	87.733	87.660	-0.073	260	7399495.920	5058059.600	86.710	86.680	-0.030
129	7399102.041	5058622.745	87.741	87.680	-0.061	261	7399250.257	5057842.251	96.600	96.570	-0.030
130	7399192.084	5058534.530	88.056	88.080	0.024	262	7399250.552	5057840.321	96.592	96.560	-0.032
131	7399192.719	5058533.360	88.060	88.090	0.030	263	7399275.249	5057831.410	95.277	95.230	-0.047
132	7399193.546	5058531.939	88.035	88.060	0.025	264	7399276.852	5057831.450	95.302	95.240	-0.062
133	7398962.924	5058443.296	91.384	91.300	-0.084	265	7399221.648	5057912.148	97.773	97.730	-0.043
						266	7399220.745	5057913.241	97.811	97.740	-0.071

TABELA 10.4: Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izabраниh za kalibraciju na LiDARMo modelu

Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMmCP	dZ	Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMmCP	dZ
1	7398825.640	5059343.760	86.710	86.710	0.000	79	7398708.830	5058052.920	98.720	98.720	0.000
2	7398843.460	5059228.410	87.264	87.260	-0.004	80	7398731.820	5058022.230	98.410	98.410	0.000
6	7399095.220	5058767.350	87.559	87.560	0.001	81	7398797.940	5057846.680	97.534	97.530	-0.004
7	7399160.430	5058652.980	87.653	87.650	-0.003	84	7398998.650	5057859.250	95.431	95.430	-0.001
8	7399220.510	5058545.440	87.690	87.690	0.000	85	7399038.820	5057793.240	95.758	95.760	0.002
9	7399280.340	5058438.450	87.479	87.480	0.001	86	7399067.890	5057714.650	98.060	98.060	0.000
10	7399310.170	5058383.870	87.113	87.110	-0.003	89	7398701.550	5057475.430	98.530	98.530	0.000
11	7399400.900	5058226.000	87.020	87.020	0.000	91	7398929.320	5059264.920	86.280	86.280	0.000
12	7399495.070	5058076.460	86.704	86.700	-0.004	92	7399124.110	5059366.800	87.250	87.250	0.000
13	7399582.380	5057949.040	87.048	87.050	0.002	93	7399124.410	5059226.430	86.380	86.380	0.000
14	7399792.720	5057805.490	87.417	87.420	0.003	94	7399262.310	5059299.990	86.880	86.880	0.000
15	7400091.130	5057625.870	87.470	87.470	0.000	95	7399359.510	5059373.780	87.100	87.100	0.000
16	7399858.780	5057496.670	95.410	95.410	0.000	96	7399450.420	5059363.800	88.524	88.520	-0.004
18	7399439.770	5057427.580	97.740	97.740	0.000	97	7399477.350	5059480.500	89.470	89.470	0.000
20	7399163.960	5057409.270	98.052	98.050	-0.002	98	7399481.350	5059546.280	87.970	87.970	0.000
21	7399243.000	5057674.920	95.674	95.670	-0.004	99	7399595.210	5059477.410	95.160	95.160	0.000
23	7399274.510	5057856.050	95.750	95.750	0.000	100	7399570.750	5059400.230	95.300	95.300	0.000
24	7399293.280	5057897.290	94.250	94.250	0.000	101	7399598.380	5059416.090	96.760	96.760	0.000
25	7399280.770	5057953.860	91.435	91.430	-0.005	102	7399687.930	5059462.550	100.190	100.190	0.000
26	7399176.060	5057882.090	98.338	98.340	0.002	104	7400100.450	5059136.630	101.250	101.250	0.000
27	7399069.710	5058043.320	97.340	97.340	0.000	105	7399827.630	5058990.650	100.890	100.890	0.000
28	7399154.890	5058073.030	98.089	98.090	0.001	107	7399605.270	5058923.730	97.956	97.960	0.004
29	7399162.460	5058096.110	96.510	96.510	0.000	108	7399579.990	5058965.460	98.862	98.860	-0.002

30	7398903.840	5058151.250	97.700	97.700	0.000	109	7399574.780	5059092.130	101.240	101.240	0.000
31	7399032.820	5058234.870	97.670	97.670	0.000	110	7399574.990	5059248.170	100.920	100.920	0.000
32	7399070.000	5058239.260	96.852	96.850	-0.002	111	7399424.610	5059229.160	88.150	88.150	0.000
33	7399158.870	5058292.220	87.750	87.750	0.000	112	7399258.220	5059129.590	87.076	87.080	0.004
35	7398879.660	5058361.280	97.892	97.890	-0.002	113	7399225.010	5058972.610	86.720	86.720	0.000
36	7398981.130	5058418.420	91.984	91.980	-0.004	114	7399300.710	5058996.360	86.350	86.350	0.000
37	7398918.930	5058525.330	89.580	89.580	0.000	115	7399295.650	5059034.680	86.040	86.040	0.000
38	7398857.690	5058628.310	88.940	88.940	0.000	116	7399407.730	5059086.570	87.600	87.600	0.000
39	7398793.240	5058741.400	88.048	88.050	0.002	117	7399454.670	5059104.820	92.437	92.440	0.003
40	7398732.020	5058844.590	87.875	87.870	-0.005	118	7399515.370	5059014.210	98.345	98.340	-0.005
41	7398657.520	5058953.930	90.141	90.140	-0.001	119	7399435.740	5058968.430	86.360	86.360	0.000
42	7398584.900	5059085.470	93.450	93.450	0.000	120	7399344.460	5058896.710	87.099	87.100	0.001
43	7398363.110	5058958.390	101.246	101.250	0.004	121	7399447.350	5058940.020	86.102	86.100	-0.002
44	7398346.620	5058924.880	101.749	101.750	0.001	122	7399475.940	5058911.910	87.455	87.450	-0.005
45	7398385.080	5058893.290	101.550	101.550	0.000	123	7399531.280	5058884.630	90.392	90.390	-0.002
46	7398441.350	5058835.620	95.520	95.520	0.000	124	7399387.000	5058786.940	87.520	87.520	0.000
47	7398507.240	5058725.870	91.050	91.050	0.000	125	7399443.790	5058670.630	86.790	86.790	0.000
48	7398565.150	5058614.640	90.510	90.510	0.000	126	7399496.650	5058570.780	85.930	85.930	0.000
49	7398467.060	5058508.790	92.390	92.390	0.000	127	7399561.510	5058610.410	86.590	86.590	0.000
50	7398578.720	5058521.080	91.730	91.730	0.000	129	7399714.470	5058777.000	98.382	98.380	-0.002
51	7398632.630	5058505.830	91.310	91.310	0.000	130	7399834.790	5058618.950	99.700	99.700	0.000
52	7398678.910	5058534.770	90.880	90.880	0.000	131	7399894.430	5058547.520	99.543	99.540	-0.003
53	7398713.240	5058458.820	93.460	93.460	0.000	132	7399999.860	5058603.380	100.410	100.410	0.000
54	7398649.000	5058410.450	97.070	97.070	0.000	136	7400319.290	5058296.590	99.510	99.510	0.000
55	7398518.480	5058317.720	99.245	99.240	-0.005	137	7400152.760	5058205.820	93.028	93.030	0.002
56	7398424.360	5058442.330	94.310	94.310	0.000	138	7400044.890	5058340.750	98.650	98.650	0.000
57	7398277.250	5058660.650	96.240	96.240	0.000	139	7399771.840	5058026.690	86.561	86.560	-0.001
58	7398266.680	5058857.790	102.479	102.480	0.001	140	7399731.580	5058010.490	86.206	86.210	0.004
59	7398177.510	5058786.160	100.537	100.540	0.003	141	7399776.690	5058175.920	86.750	86.750	0.000
60	7398085.570	5058702.140	101.621	101.620	-0.001	142	7399698.220	5058185.040	84.870	84.870	0.000
61	7398001.010	5058627.440	101.885	101.880	-0.005	145	7399810.820	5058482.460	90.670	90.670	0.000
62	7398167.260	5058595.330	99.430	99.430	0.000	146	7399742.710	5058590.250	94.090	94.090	0.000
63	7398147.470	5058403.900	98.652	98.650	-0.002	147	7399682.900	5058650.200	92.600	92.600	0.000
64	7398346.660	5058340.330	95.710	95.710	0.000	148	7399469.770	5058468.180	86.990	86.990	0.000
65	7398258.280	5058249.870	98.387	98.390	0.003	149	7399494.940	5058469.400	86.030	86.030	0.000
66	7398284.710	5058259.310	98.131	98.130	-0.001	150	7399669.850	5058380.940	86.980	86.980	0.000
67	7398330.210	5058185.910	97.899	97.900	0.001	151	7399241.990	5057928.440	97.331	97.330	-0.001
68	7398434.460	5058042.100	97.858	97.860	0.002	152	7398042.780	5058969.810	101.114	101.110	-0.004
70	7398627.960	5058173.280	99.127	99.130	0.003	153	7397922.870	5058785.850	104.520	104.520	0.000
71	7397909.490	5058377.590	99.780	99.780	0.000	154	7397778.880	5058571.740	100.220	100.220	0.000
72	7398143.500	5058055.340	97.810	97.810	0.000						
73	7397948.760	5057920.020	100.150	100.150	0.000						
74	7398136.770	5057659.850	99.300	99.300	0.000						
75	7398403.550	5057565.070	98.460	98.460	0.000						
76	7398618.990	5057721.940	98.319	98.320	0.001						
78	7398567.990	5057953.250	99.280	99.280	0.000						

TABELA 10.5: Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačkica izabranih za kalibraciju na UAVMmCP modelu

Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMmCP	dZ	Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMmCP	dZ
2	7398843.460	5059228.410	87.264	87.260	-0.004	76	7398618.990	5057721.940	98.319	98.320	0.001

6	7399095.220	5058767.350	87.559	87.560	0.001	81	7398797.940	5057846.680	97.534	97.530	-0.004
7	7399160.430	5058652.980	87.653	87.650	-0.003	96	7399450.420	5059363.800	88.524	88.520	-0.004
8	7399220.510	5058545.440	87.690	87.690	0.000	104	7400100.450	5059136.630	101.250	101.250	0.000
9	7399280.340	5058438.450	87.479	87.480	0.001	105	7399827.630	5058990.650	100.890	100.890	0.000
10	7399310.170	5058383.870	87.113	87.110	-0.003	107	7399605.270	5058923.730	97.956	97.960	0.004
11	7399400.900	5058226.000	87.020	87.020	0.000	108	7399579.990	5058965.460	98.862	98.860	-0.002
12	7399495.070	5058076.460	86.704	86.700	-0.004	111	7399424.610	5059229.160	88.150	88.150	0.000
13	7399582.380	5057949.040	87.048	87.050	0.002	113	7399225.010	5058972.610	86.720	86.720	0.000
14	7399792.720	5057805.490	87.417	87.420	0.003	114	7399300.710	5058996.360	86.350	86.350	0.000
15	7400091.130	5057625.870	87.470	87.470	0.000	115	7399295.650	5059034.680	86.040	86.040	0.000
20	7399163.960	5057409.270	98.052	98.050	-0.002	117	7399454.670	5059104.820	92.437	92.440	0.003
21	7399243.000	5057674.920	95.674	95.670	-0.004	118	7399515.370	5059014.210	98.345	98.350	0.005
23	7399274.510	5057856.050	95.750	95.750	0.000	120	7399344.460	5058896.710	87.099	87.100	0.001
27	7399069.710	5058043.320	97.340	97.340	0.000	124	7399387.000	5058786.940	87.520	87.520	0.000
28	7399154.890	5058073.030	98.089	98.090	0.001	125	7399443.790	5058670.630	86.790	86.790	0.000
29	7399162.460	5058096.110	96.510	96.510	0.000	126	7399496.650	5058570.780	85.930	85.930	0.000
31	7399032.820	5058234.870	97.670	97.670	0.000	127	7399561.510	5058610.410	86.590	86.590	0.000
32	7399070.000	5058239.260	96.852	96.850	-0.002	129	7399714.470	5058777.000	98.382	98.380	-0.002
36	7398981.130	5058418.420	91.984	91.980	-0.004	130	7399834.790	5058618.950	99.700	99.700	0.000
37	7398918.930	5058525.330	89.580	89.580	0.000	131	7399894.430	5058547.520	99.543	99.540	-0.003
38	7398857.690	5058628.310	88.940	88.940	0.000	132	7399999.860	5058603.380	100.410	100.410	0.000
39	7398793.240	5058741.400	88.048	88.050	0.002	136	7400319.290	5058296.590	99.510	99.510	0.000
40	7398732.020	5058844.590	87.875	87.880	0.005	137	7400152.760	5058205.820	93.028	93.030	0.002
41	7398657.520	5058953.930	90.141	90.140	-0.001	138	7400044.890	5058340.750	98.650	98.650	0.000
42	7398584.900	5059085.470	93.450	93.450	0.000	139	7399771.840	5058026.690	86.561	86.560	-0.001
46	7398441.350	5058835.620	95.520	95.520	0.000	140	7399731.580	5058010.490	86.206	86.210	0.004
47	7398507.240	5058725.870	91.050	91.050	0.000	151	7399241.990	5057928.440	97.331	97.330	-0.001
48	7398565.150	5058614.640	90.510	90.510	0.000						
49	7398467.060	5058508.790	92.390	92.390	0.000						
50	7398578.720	5058521.080	91.730	91.730	0.000						
51	7398632.630	5058505.830	91.310	91.310	0.000						
52	7398678.910	5058534.770	90.880	90.880	0.000						
53	7398713.240	5058458.820	93.460	93.460	0.000						
54	7398649.000	5058410.450	97.070	97.070	0.000						
55	7398518.480	5058317.720	99.245	99.250	0.005						
67	7398330.210	5058185.910	97.899	97.900	0.001						
72	7398143.500	5058055.340	97.810	97.810	0.000						
73	7397948.760	5057920.020	100.150	100.150	0.000						
74	7398136.770	5057659.850	99.300	99.300	0.000						
75	7398403.550	5057565.070	98.460	98.460	0.000						

TABELA 10.6: Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačkica izabranih za kalibraciju na LiDARMmCP modelu

Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMmCPP	dZ	Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMmCPP	dZ
1	7399031.570	5058306.170	95.142	92.240	-2.902	346	7399272.900	5058360.377	87.087	87.070	-0.017
2	7399752.119	5058572.420	93.724	93.720	-0.004	347	7399178.724	5058303.699	87.448	87.450	0.002
3	7399753.324	5058573.553	93.739	93.750	0.011	348	7399179.366	5058302.629	87.413	87.410	-0.003
4	7399726.700	5058608.443	94.258	94.260	0.002	349	7399147.138	5058284.894	87.887	87.890	0.003
5	7399725.578	5058607.666	94.254	94.250	-0.004	350	7399147.747	5058283.782	87.862	87.860	-0.002
6	7399676.030	5058654.360	91.934	91.930	-0.004	351	7399171.554	5058061.678	97.918	97.920	0.002

7	7399698.324	5058640.615	93.314	93.310	-0.004	352	7399167.565	5058059.905	98.136	98.140	0.004
8	7399697.355	5058639.522	93.300	93.300	0.000	353	7399264.616	5057968.056	92.289	92.290	0.001
9	7399696.244	5058638.343	93.236	93.240	0.004	354	7399265.927	5057969.108	92.182	92.180	-0.002
10	7399649.719	5058661.474	89.611	87.790	-1.821	355	7399293.717	5057958.271	90.793	90.790	-0.003
11	7399675.712	5058655.897	91.919	91.920	0.001	356	7399294.052	5057957.029	90.808	90.810	0.002
12	7399587.926	5058627.833	86.822	85.330	-1.492	357	7399378.302	5058006.014	89.569	89.570	0.001
13	7399649.625	5058695.278	90.939	90.940	0.001	358	7399447.891	5058045.829	87.132	87.130	-0.002
14	7399650.136	5058695.923	90.997	91.000	0.003	359	7399447.230	5058047.206	87.109	87.120	0.011
15	7399651.347	5058695.078	91.094	91.090	-0.004	360	7399446.567	5058048.466	87.116	87.120	0.004
16	7399527.580	5058596.258	86.299	85.140	-1.159	361	7399481.433	5058005.430	87.536	87.540	0.004
17	7399527.592	5058597.610	86.076	85.090	-0.986	362	7399483.489	5058003.549	87.473	87.470	-0.003
18	7399527.588	5058599.094	86.002	85.010	-0.992	363	7399392.103	5057881.266	90.893	90.890	-0.003
19	7399554.102	5058628.728	86.177	84.760	-1.417	364	7399390.002	5057883.204	90.937	90.930	-0.007
20	7399553.061	5058628.568	86.187	84.780	-1.407	365	7399144.970	5058074.554	98.398	98.400	0.002
21	7399486.952	5058604.908	86.331	85.270	-1.061	366	7399145.613	5058073.376	98.448	98.440	-0.008
22	7399483.579	5058601.737	86.442	85.390	-1.052	367	7399087.094	5058053.785	97.614	97.610	-0.004
23	7399774.427	5058128.100	86.497	86.160	-0.337	368	7399087.672	5058052.079	97.558	97.560	0.002
24	7399775.904	5058127.941	86.474	86.140	-0.334	369	7399047.709	5058024.003	97.060	97.060	0.000
25	7399814.707	5058333.594	87.115	87.110	-0.005	370	7399046.956	5058025.113	97.152	97.150	-0.002
26	7399813.400	5058333.926	87.068	87.070	0.002	371	7398861.679	5057865.084	95.827	95.830	0.003
27	7399816.990	5058380.001	87.725	87.720	-0.005	372	7398860.351	5057862.396	95.876	95.880	0.004
28	7399818.663	5058379.838	87.809	87.810	0.001	373	7398827.036	5057886.572	96.062	96.060	-0.002
29	7399815.341	5058441.776	89.365	89.360	-0.005	374	7398825.981	5057885.823	96.132	96.130	-0.002
30	7399813.885	5058441.542	89.344	89.340	-0.004	375	7399012.988	5058221.916	98.514	98.510	-0.004
31	7399797.659	5058506.626	91.263	91.260	-0.003	376	7399012.514	5058223.077	98.573	98.570	-0.003
32	7399796.167	5058506.013	91.252	91.250	-0.002	377	7398934.579	5058170.936	97.745	97.740	-0.005
33	7399909.456	5058522.206	99.579	99.580	0.001	378	7398885.292	5058134.351	97.759	97.760	0.001
34	7399910.915	5058523.415	99.599	99.600	0.001	379	7398884.779	5058135.583	97.784	97.760	-0.024
35	7399882.960	5058559.798	99.444	99.440	-0.004	380	7398884.107	5058136.953	97.781	97.780	-0.001
36	7399854.903	5058598.531	99.530	99.530	0.000	381	7398770.347	5058050.659	97.693	97.690	-0.003
37	7399823.396	5058639.495	99.927	99.930	0.003	382	7398716.300	5058037.146	98.661	98.660	-0.001
38	7399822.063	5058638.551	99.909	99.910	0.001	383	7398718.851	5058038.887	98.572	98.570	-0.002
39	7399820.925	5058637.749	99.883	99.880	-0.003	384	7398702.261	5058057.630	98.811	98.810	-0.001
40	7399706.897	5058764.556	96.942	96.940	-0.002	385	7398703.279	5058058.407	98.830	98.610	-0.220
41	7399705.321	5058767.777	97.035	97.030	-0.005	386	7398704.453	5058059.384	98.702	98.700	-0.002
42	7399706.159	5058791.949	98.437	98.440	0.003	387	7398604.451	5058157.564	99.214	99.210	-0.004
43	7399704.711	5058791.093	98.385	98.400	0.015	388	7398602.759	5058160.054	99.314	99.310	-0.004
44	7399646.702	5058867.742	98.111	98.120	0.009	389	7398497.954	5058085.127	98.479	98.480	0.001
45	7399647.921	5058868.456	98.137	98.120	-0.017	390	7398461.569	5058064.281	98.161	98.160	-0.001
46	7399649.194	5058869.416	98.113	98.110	-0.003	391	7398462.329	5058062.965	98.158	98.160	0.002
47	7399684.781	5058910.300	98.551	98.540	-0.011	392	7398462.977	5058061.517	98.107	98.110	0.003
48	7399683.997	5058911.572	98.544	98.540	-0.004	393	7398440.692	5058051.677	97.831	97.830	-0.001
49	7399619.652	5058905.463	97.982	97.980	-0.002	394	7398497.845	5058053.347	98.010	98.010	0.000
50	7399620.956	5058906.242	97.981	97.980	-0.001	395	7398496.764	5058052.422	98.050	97.990	-0.060
51	7399592.656	5058943.823	98.260	98.260	0.000	396	7398495.613	5058051.657	98.026	98.030	0.004
52	7399594.035	5058944.708	98.283	98.280	-0.003	397	7399298.780	5059008.238	86.230	86.230	0.000
53	7399584.653	5058914.866	96.405	96.410	0.005	398	7399297.344	5059008.072	86.242	86.230	-0.012
54	7399585.392	5058913.875	96.375	96.380	0.005	399	7399295.899	5059008.018	86.221	86.220	-0.001
55	7399578.031	5058982.019	99.433	99.430	-0.003	400	7399340.387	5059360.323	87.084	87.070	-0.014
56	7399579.344	5058982.047	99.425	99.420	-0.005	401	7399339.821	5059361.252	87.028	87.030	0.002
57	7399569.240	5058968.471	98.985	98.990	0.005	402	7399341.050	5059359.101	87.040	87.040	0.000
58	7399570.012	5058969.724	99.051	99.050	-0.001	403	7399341.737	5059357.631	86.953	86.680	-0.273

59	7399570.744	5058971.020	99.071	99.080	0.009	404	7399274.689	5059311.915	86.878	86.880	0.002
60	7399574.943	5059065.296	100.948	100.950	0.002	405	7399275.608	5059310.761	86.858	86.860	0.002
61	7399576.367	5059065.201	100.958	100.960	0.002	406	7398116.562	5058035.994	97.573	97.570	-0.003
62	7399577.503	5059065.204	100.909	100.920	0.011	407	7398115.874	5058037.035	97.629	97.630	0.001
63	7399575.704	5059109.977	101.420	101.420	0.000	408	7398115.207	5058038.020	97.636	97.640	0.004
64	7399576.688	5059109.870	101.408	101.410	0.002	409	7398336.662	5058184.587	97.827	97.830	0.003
65	7399073.870	5058752.603	87.696	87.700	0.004	410	7398339.439	5058191.301	97.827	97.830	0.003
66	7398816.344	5058697.263	88.312	88.310	-0.002	411	7398338.888	5058194.600	97.839	97.840	0.001
67	7398815.163	5058696.512	88.334	88.330	-0.004	412	7398181.358	5058083.331	97.802	97.800	-0.002
68	7398866.460	5058609.206	89.144	89.140	-0.004	413	7398334.472	5058182.133	97.855	97.850	-0.005
69	7398864.919	5058608.558	89.143	89.140	-0.003	414	7398180.333	5058084.666	97.885	97.890	0.005
70	7398900.917	5058548.441	89.635	89.630	-0.005	415	7398298.041	5058167.353	98.279	98.280	0.001
71	7398899.491	5058547.696	89.670	89.670	0.000	416	7398297.021	5058168.447	98.301	98.300	-0.001
72	7399572.446	5059218.647	101.147	101.150	0.003	417	7398287.548	5058247.814	98.255	98.260	0.005
73	7399573.646	5059218.638	101.198	101.200	0.002	418	7398286.271	5058247.094	98.377	98.380	0.003
74	7399574.918	5059218.645	101.180	101.180	0.000	419	7398495.266	5058302.430	99.391	99.390	-0.001
75	7399571.717	5059266.648	100.625	100.630	0.005	420	7397970.154	5057934.278	99.905	99.900	-0.005
76	7399572.894	5059266.602	100.651	100.660	0.009	421	7397971.084	5057932.841	99.911	99.910	-0.001
77	7399574.186	5059266.586	100.640	100.640	0.000	422	7398193.838	5058773.600	100.273	100.270	-0.003
78	7399571.071	5059379.405	95.979	95.980	0.001	423	7398263.001	5058679.967	96.954	96.950	-0.004
79	7399569.829	5059379.331	95.931	95.930	-0.001	424	7398261.755	5058679.103	96.966	96.960	-0.006
80	7399596.138	5059410.537	96.510	96.510	0.000	425	7398260.625	5058678.252	96.943	96.940	-0.003
81	7399595.918	5059410.940	96.572	96.540	-0.032	426	7398144.631	5058752.221	100.461	100.460	-0.001
82	7399529.792	5059388.983	93.114	93.110	-0.004	427	7398143.956	5058753.590	100.506	100.510	0.004
83	7399530.479	5059387.806	94.235	93.060	-1.175	428	7398163.792	5058807.055	100.413	100.410	-0.003
84	7399530.907	5059386.226	94.191	93.070	-1.121	429	7398165.147	5058807.813	100.382	100.380	-0.002
85	7399593.689	5059413.313	96.509	96.520	0.011	430	7398197.378	5058798.686	100.788	100.790	0.002
86	7399595.494	5059442.470	96.429	96.430	0.001	431	7398197.006	5058800.672	100.829	100.830	0.001
87	7399596.776	5059442.706	96.396	96.420	0.024	432	7398198.014	5058799.393	100.797	100.800	0.003
88	7399595.712	5059463.496	95.866	95.870	0.004	433	7398290.159	5058879.444	101.788	101.790	0.002
89	7399594.193	5059463.610	95.855	95.860	0.005	434	7398291.137	5058878.154	101.818	101.820	0.002
90	7399594.869	5059411.957	96.528	96.520	-0.008	435	7398291.951	5058877.029	101.799	101.800	0.001
91	7399622.397	5059425.186	97.940	97.950	0.010	436	7398246.747	5058845.522	102.323	102.320	-0.003
92	7399621.692	5059426.302	97.951	97.900	-0.051	437	7398247.765	5058844.414	102.363	102.360	-0.003
93	7399620.971	5059427.686	97.968	97.970	0.002	438	7398248.730	5058843.239	102.343	102.340	-0.003
94	7399664.596	5059448.677	99.821	99.820	-0.001	439	7398053.429	5058953.850	101.219	101.220	0.001
95	7399664.095	5059450.147	99.842	99.840	-0.002	440	7398052.252	5058952.842	101.218	101.220	0.002
96	7399665.119	5059447.478	99.809	99.810	0.001	441	7398260.740	5058246.393	98.484	98.480	-0.004
97	7399704.843	5059469.811	100.392	100.380	-0.012	442	7398275.260	5058257.131	98.035	98.030	-0.005
98	7399704.110	5059471.166	100.403	100.400	-0.003	443	7398274.466	5058260.359	98.063	98.060	-0.003
99	7399577.654	5059480.471	93.681	93.680	-0.001	444	7398296.684	5058278.006	97.663	97.660	-0.003
100	7399492.029	5059484.455	90.026	90.030	0.004	445	7398295.557	5058279.056	97.719	97.720	0.001
101	7399478.475	5059504.390	88.915	88.930	0.015	446	7398327.945	5058364.662	95.190	95.190	0.000
102	7399476.678	5059504.614	88.863	88.860	-0.003	447	7398337.989	5058326.948	96.047	96.050	0.003
103	7399472.350	5059458.355	89.825	89.820	-0.005	448	7398336.817	5058327.990	95.980	95.980	0.000
104	7399470.553	5059457.415	89.823	89.820	-0.003	449	7398402.092	5058405.200	94.589	94.590	0.001
105	7399472.169	5059457.325	89.814	89.810	-0.004	450	7398399.178	5058406.624	94.655	94.660	0.005
106	7399440.975	5059369.210	88.272	88.270	-0.002	451	7398368.745	5058365.375	95.219	95.220	0.001
107	7399440.718	5059367.707	88.261	88.260	-0.001	452	7398367.639	5058366.478	95.192	95.190	-0.002
108	7399458.104	5059391.358	88.945	88.950	0.005	453	7398405.065	5058469.689	93.961	93.960	-0.001
109	7399476.518	5059372.250	89.884	89.880	-0.004	454	7398403.821	5058468.936	94.022	94.020	-0.002
110	7399476.233	5059373.752	89.894	89.890	-0.004	455	7398305.165	5058617.750	94.873	94.870	-0.003



111	7399444.018	5059343.738	88.847	88.850	0.003	456	7398304.055	5058616.836	94.859	94.860	0.001
112	7399445.538	5059343.397	88.860	88.860	0.000	457	7399233.795	5057941.702	97.592	97.590	-0.002
113	7399424.025	5059247.872	88.092	88.090	-0.002	458	7399252.801	5057903.807	96.622	96.620	-0.002
114	7399425.303	5059247.564	88.161	88.160	-0.001	459	7398971.535	5057842.193	96.564	95.290	-1.274
115	7399396.510	5059211.142	87.747	87.750	0.003	460	7398972.418	5057841.219	95.405	95.400	-0.005
116	7399432.753	5059211.856	88.346	88.350	0.004	461	7398973.543	5057839.783	95.363	95.360	-0.003
117	7399431.277	5059211.632	88.308	88.300	-0.008	462	7399026.329	5057822.431	95.512	95.510	-0.002
118	7399429.822	5059211.259	88.230	88.230	0.000	463	7399024.079	5057820.352	95.485	95.480	-0.005
119	7399428.312	5059247.091	88.204	88.200	-0.004	464	7399009.459	5057839.577	95.334	95.330	-0.004
120	7399426.550	5059247.354	88.205	88.170	-0.035	465	7399013.153	5057841.363	95.392	95.390	-0.002
121	7399450.702	5059118.996	91.836	91.840	0.004	466	7399011.737	5057840.481	95.404	95.400	-0.004
122	7399452.429	5059119.500	91.860	91.860	0.000	467	7398949.928	5057827.346	95.414	95.410	-0.004
123	7399462.406	5059098.158	93.082	93.080	-0.002	468	7398950.807	5057826.314	95.392	95.390	-0.002
124	7399446.579	5059099.925	90.642	90.650	0.008	469	7398905.378	5057819.516	95.403	95.400	-0.003
125	7399459.895	5059096.368	92.990	92.990	0.000	470	7398904.429	5057818.529	95.433	95.430	-0.003
126	7399461.189	5059097.131	93.068	93.070	0.002	471	7398802.792	5057850.320	97.250	97.250	0.000
127	7399508.838	5059023.360	97.741	97.740	-0.001	472	7398800.876	5057852.640	97.282	97.280	-0.002
128	7399510.103	5059024.336	97.763	97.760	-0.003	473	7398804.704	5057819.677	98.385	98.370	-0.015
129	7399526.151	5059004.883	98.916	98.920	0.004	474	7398805.658	5057820.196	98.356	98.360	0.004
130	7399527.268	5059005.971	98.943	98.940	-0.003	475	7398096.047	5058711.141	101.373	101.370	-0.003
131	7399509.535	5059006.354	98.498	98.500	0.002	476	7398097.014	5058709.979	101.355	101.350	-0.005
132	7399268.145	5058982.998	85.981	85.980	-0.001	477	7398097.835	5058708.951	101.325	101.320	-0.005
133	7399101.601	5059208.666	86.355	86.350	-0.005	478	7398077.073	5058689.704	101.492	101.490	-0.002
134	7399100.883	5059209.903	86.356	86.360	0.004	479	7398076.030	5058690.689	101.527	101.530	0.003
135	7399321.704	5059046.687	86.251	86.250	-0.001	480	7398156.983	5058615.323	100.005	100.000	-0.005
136	7399322.603	5059045.517	86.208	86.210	0.002	481	7398108.912	5058675.120	101.363	101.360	-0.003
137	7399278.931	5059071.807	86.252	86.250	-0.002	482	7398109.958	5058675.877	101.362	101.360	-0.002
138	7399280.282	5059072.295	86.296	86.300	0.004	483	7398154.794	5058613.401	100.010	100.010	0.000
139	7399281.806	5059072.981	86.281	86.280	-0.001	484	7398156.177	5058614.023	100.002	100.000	-0.002
140	7399311.539	5058971.869	86.196	86.200	0.004	485	7398181.458	5058576.234	98.611	98.610	-0.001
141	7399465.242	5058551.074	86.112	85.240	-0.872	486	7398250.456	5058266.756	98.019	98.020	0.001
142	7399466.199	5058549.879	86.045	85.290	-0.755	487	7398249.218	5058265.798	98.056	98.060	0.004
143	7399267.832	5058984.503	86.079	86.080	0.001	488	7398140.067	5058421.012	98.760	98.760	0.000
144	7399310.167	5058971.005	86.135	86.140	0.005	489	7398138.922	5058420.289	98.764	98.760	-0.004
145	7399147.613	5059239.853	86.509	86.520	0.011	490	7398137.519	5058419.376	98.772	98.770	-0.002
146	7399242.188	5059289.693	86.926	86.920	-0.006	491	7398163.815	5058384.990	98.123	98.120	-0.003
147	7399241.045	5059290.987	86.970	86.970	0.000	492	7398066.211	5058489.576	99.927	99.930	0.003
148	7399381.460	5059075.364	87.021	87.020	-0.001	493	7398077.978	5058508.653	99.499	99.500	0.001
149	7399382.176	5059072.526	86.912	86.910	-0.002	494	7398093.871	5058490.027	99.261	99.260	-0.001
150	7399025.090	5059009.998	86.948	86.950	0.002	495	7398092.752	5058489.380	99.311	99.250	-0.061
151	7399022.980	5059010.527	87.034	87.020	-0.014	496	7398091.457	5058488.516	99.269	99.270	0.001
152	7399080.571	5058894.184	87.156	87.160	0.004	497	7398018.127	5058636.034	101.200	101.200	0.000
153	7399200.462	5058958.395	87.085	87.080	-0.005	498	7398014.459	5058608.864	101.258	101.260	0.002
154	7399314.742	5058885.062	87.023	86.680	-0.343	499	7398013.081	5058608.217	101.308	101.310	0.002
155	7399275.097	5059312.302	86.859	86.870	0.011	500	7398424.302	5058060.625	97.575	97.570	-0.005
156	7399267.106	5059102.200	86.776	86.780	0.004	501	7398422.119	5058058.527	97.629	97.630	0.001
157	7398960.147	5059124.729	87.314	86.950	-0.364	502	7398423.123	5058059.496	97.631	97.630	-0.001
158	7398960.802	5059123.595	87.344	86.760	-0.584	503	7398455.548	5058009.850	97.732	97.730	-0.002
159	7399378.069	5059371.623	87.281	87.280	-0.001	504	7398454.103	5058008.938	97.713	97.710	-0.003
160	7399292.554	5059152.100	87.190	87.190	0.000	505	7398552.133	5057967.060	99.185	99.180	-0.005
161	7399292.808	5059150.503	87.167	87.170	0.003	506	7398587.539	5057968.499	98.743	98.740	-0.003
162	7399228.693	5059115.793	87.200	87.200	0.000	507	7398588.205	5057967.072	98.742	98.740	-0.002

163	7399078.694	5058894.985	87.185	87.190	0.005	508	7398666.787	5058023.722	98.749	98.750	0.001
164	7399337.961	5058915.116	87.182	87.180	-0.002	509	7398667.818	5058022.953	99.055	98.750	-0.305
165	7399133.384	5058784.742	87.207	87.210	0.003	510	7398756.006	5057820.485	98.612	98.620	0.008
166	7399132.724	5058785.899	87.187	87.190	0.003	511	7398757.269	5057819.753	98.623	98.600	-0.023
167	7399398.230	5059208.630	87.693	87.690	-0.003	512	7398686.578	5057768.487	98.971	98.970	-0.001
168	7399397.677	5059210.050	87.746	87.750	0.004	513	7398685.649	5057769.669	98.975	98.970	-0.005
169	7399327.853	5058469.886	87.670	87.440	-0.230	514	7398622.851	5057723.726	98.416	98.420	0.004
170	7399328.784	5058468.633	87.630	87.430	-0.200	515	7398622.146	5057724.899	98.420	98.420	0.000
171	7399397.011	5059211.327	88.049	87.750	-0.299	516	7398858.932	5057892.507	96.129	96.130	0.001
172	7398878.678	5058643.931	88.652	88.660	0.008	517	7398837.970	5059394.540	86.960	86.960	0.000
173	7398878.036	5058645.340	88.680	88.670	-0.010	518	7398843.810	5059388.510	86.930	86.930	0.000
174	7398816.157	5058611.219	89.483	89.480	-0.003	519	7398844.250	5059257.440	86.990	86.990	0.000
175	7398816.602	5058609.906	89.465	89.460	-0.005	520	7398910.300	5059114.090	87.010	87.010	0.000
176	7399614.528	5057928.265	87.031	87.030	-0.001	521	7398904.850	5059110.470	87.040	87.040	0.000
177	7399612.805	5057926.002	87.071	87.070	-0.001	522	7398936.210	5059052.850	87.030	87.030	0.000
178	7399560.684	5057975.399	86.790	86.790	0.000	523	7398940.900	5059057.410	87.020	87.020	0.000
179	7399524.160	5058021.244	86.864	86.860	-0.004	524	7398988.380	5058972.960	87.030	87.030	0.000
180	7399521.897	5058019.572	86.809	86.810	0.001	525	7398982.930	5058969.820	87.070	87.070	0.000
181	7399009.854	5058856.629	87.482	87.480	-0.002	526	7399057.700	5058837.170	87.370	87.370	0.000
182	7399009.063	5058858.047	87.528	87.530	0.002	527	7399064.480	5058837.790	87.390	87.390	0.000
183	7398756.129	5058862.733	87.920	87.920	0.000	528	7399112.670	5058752.810	87.610	87.610	0.000
184	7398756.849	5058861.313	87.838	87.840	0.002	529	7399232.810	5058525.920	87.760	87.760	0.000
185	7398692.574	5058825.307	88.580	88.570	-0.010	530	7399235.570	5058533.910	87.770	87.770	0.000
186	7398691.663	5058826.676	88.568	88.570	0.002	531	7399280.920	5058453.280	87.520	87.520	0.000
187	7398558.776	5058751.701	90.303	90.300	-0.003	532	7399275.800	5058449.860	87.500	87.500	0.000
188	7398559.327	5058750.701	90.223	90.220	-0.003	533	7399406.740	5058217.490	86.980	86.980	0.000
189	7398520.391	5058699.202	90.717	90.720	0.003	534	7399393.690	5058253.600	87.010	87.010	0.000
190	7398555.245	5058638.894	90.474	90.470	-0.004	535	7399412.140	5058220.770	86.970	86.970	0.000
191	7398778.520	5058763.348	88.205	88.200	-0.005	536	7399472.520	5058113.480	86.840	86.840	0.000
192	7398777.275	5058762.696	88.204	88.200	-0.004	537	7399469.170	5058106.870	86.780	86.780	0.000
193	7398776.167	5058761.969	88.207	88.210	0.003	538	7399500.890	5058063.380	86.740	86.740	0.000
194	7398743.670	5058820.026	88.156	88.160	0.004	539	7399495.920	5058059.600	86.710	86.710	0.000
195	7398816.889	5058751.908	87.761	87.760	-0.001	540	7399250.257	5057842.251	96.600	96.600	0.000
196	7398817.515	5058750.520	87.716	87.730	0.014	541	7399250.552	5057840.321	96.592	96.590	-0.002
197	7398758.308	5058717.355	88.961	88.960	-0.001	542	7399275.249	5057831.410	95.277	95.280	0.003
198	7398757.518	5058718.769	89.058	89.060	0.002	543	7399276.852	5057831.450	95.302	95.300	-0.002
199	7398756.779	5058720.162	89.060	89.060	0.000	544	7399054.497	5057739.533	98.029	98.030	0.001
200	7398589.473	5058625.147	90.358	90.360	0.002	545	7399089.781	5057726.135	97.320	97.320	0.000
201	7398589.309	5058626.707	90.381	90.390	0.009	546	7399088.983	5057727.231	97.351	97.340	-0.011
202	7398556.625	5058604.674	90.619	90.620	0.001	547	7399041.722	5057781.186	96.242	96.230	-0.012
203	7398555.920	5058605.567	90.646	90.650	0.004	548	7399043.210	5057781.730	96.228	96.240	0.012
204	7398445.178	5058480.200	93.229	93.230	0.001	549	7399026.017	5057822.959	96.675	95.520	-1.155
205	7398433.575	5058428.455	94.742	94.740	-0.002	550	7399026.015	5057822.963	95.525	95.520	-0.005
206	7398432.385	5058427.563	94.788	94.780	-0.008	551	7399074.972	5057815.498	95.866	95.870	0.004
207	7398431.539	5058426.596	94.825	94.830	0.005	552	7399075.770	5057814.522	95.851	95.850	-0.001
208	7398944.573	5058967.103	87.195	87.190	-0.005	553	7399221.648	5057912.148	97.773	97.770	-0.003
209	7398872.667	5059073.264	86.925	86.930	0.005	554	7399220.745	5057913.241	97.811	97.810	-0.001
210	7398691.218	5058974.054	89.034	89.030	-0.004	555	7399177.139	5057885.565	98.384	98.380	-0.004
211	7398690.638	5058975.037	89.068	89.060	-0.008	556	7399177.666	5057884.439	98.366	98.360	-0.006
212	7398465.106	5058851.423	94.370	94.360	-0.010	557	7399178.441	5057883.413	98.346	98.350	0.004
213	7398465.653	5058850.436	94.284	94.280	-0.004	558	7398825.640	5059343.760	86.710	86.710	0.000
214	7398493.414	5058747.130	91.447	91.450	0.003	559	7399310.170	5058383.870	87.113	87.110	-0.003

215	7398457.165	5058811.015	94.097	94.100	0.003	560	7399570.750	5059400.230	95.300	95.300	0.000
216	7398458.085	5058811.767	94.081	94.080	-0.001	561	7399598.380	5059416.090	96.760	96.760	0.000
217	7398428.929	5058852.793	97.174	97.170	-0.004	562	7399687.930	5059462.550	100.190	100.190	0.000
218	7398427.211	5058850.658	97.182	97.180	-0.002	563	7400100.450	5059136.630	101.250	101.250	0.000
219	7398334.269	5058908.521	101.701	101.700	-0.001	564	7399827.630	5058990.650	100.890	100.890	0.000
220	7398346.650	5058934.646	101.644	101.640	-0.004	565	7399605.270	5058923.730	97.956	97.960	0.004
221	7398384.942	5058970.008	100.553	100.550	-0.003	566	7399579.990	5058965.460	98.862	98.860	-0.002
222	7398384.317	5058971.078	100.561	100.560	-0.001	567	7399574.780	5059092.130	101.240	101.240	0.000
223	7398353.981	5058948.171	101.393	101.390	-0.003	568	7399400.900	5058226.000	87.020	87.020	0.000
224	7398595.787	5059059.135	93.388	93.390	0.002	569	7399574.990	5059248.170	100.920	100.920	0.000
225	7398596.968	5059059.774	93.394	93.390	-0.004	570	7399424.610	5059229.160	88.150	88.150	0.000
226	7398598.141	5059060.429	93.431	93.430	-0.001	571	7399258.220	5059129.590	87.076	87.080	0.004
227	7398676.011	5058924.927	90.248	90.250	0.002	572	7399225.010	5058972.610	86.720	86.720	0.000
228	7398677.147	5058925.532	90.284	90.270	-0.014	573	7399300.710	5058996.360	86.350	86.350	0.000
229	7398678.368	5058925.880	90.253	90.250	-0.003	574	7399295.650	5059034.680	86.040	86.040	0.000
230	7398625.447	5058938.678	90.683	90.680	-0.003	575	7399407.730	5059086.570	87.600	87.600	0.000
231	7398625.799	5058936.978	90.599	90.600	0.001	576	7399454.670	5059104.820	92.437	92.440	0.003
232	7398645.884	5058978.624	90.661	90.660	-0.001	577	7399515.370	5059014.210	98.345	98.340	-0.005
233	7398644.731	5058977.817	90.759	90.750	-0.009	578	7399435.740	5058968.430	86.360	86.360	0.000
234	7398643.772	5058976.863	90.725	90.720	-0.005	579	7399495.070	5058076.460	86.704	86.700	-0.004
235	7398617.824	5059102.671	91.227	91.230	0.003	580	7399344.460	5058896.710	87.099	87.100	0.001
236	7398556.576	5059069.354	94.575	94.570	-0.005	581	7399447.350	5058940.020	86.102	86.100	-0.002
237	7398557.122	5059068.622	94.597	94.570	-0.027	582	7399475.940	5058911.910	87.455	87.450	-0.005
238	7398557.818	5059067.061	94.453	94.460	0.007	583	7399531.280	5058884.630	90.392	90.390	-0.002
239	7398367.492	5058908.911	102.341	102.330	-0.011	584	7399387.000	5058786.940	87.520	87.520	0.000
240	7398366.339	5058907.636	102.269	102.270	0.001	585	7399443.790	5058670.630	86.790	85.760	-1.030
241	7398972.023	5058551.501	88.709	88.710	0.001	586	7399496.650	5058570.780	85.930	84.840	-1.090
242	7398971.407	5058552.883	88.713	88.710	-0.003	587	7399561.510	5058610.410	86.590	85.180	-1.410
243	7399100.955	5058624.624	87.719	87.720	0.001	588	7399714.470	5058777.000	98.382	98.380	-0.002
244	7399101.498	5058623.807	87.733	87.740	0.007	589	7399582.380	5057949.040	87.048	87.050	0.002
245	7399102.041	5058622.745	87.741	87.740	-0.001	590	7399834.790	5058618.950	99.700	99.700	0.000
246	7399192.084	5058534.530	88.056	88.060	0.004	591	7399894.430	5058547.520	99.543	99.540	-0.003
247	7399192.719	5058533.360	88.060	88.060	0.000	592	7399999.860	5058603.380	100.410	100.410	0.000
248	7399193.546	5058531.939	88.035	88.030	-0.005	593	7400319.290	5058296.590	99.510	99.510	0.000
249	7399029.663	5058442.292	89.882	89.880	-0.002	594	7400152.760	5058205.820	93.028	93.030	0.002
250	7399028.988	5058443.519	90.000	90.000	0.000	595	7400044.890	5058340.750	98.650	98.650	0.000
251	7398962.924	5058443.296	91.384	91.380	-0.004	596	7399771.840	5058026.690	86.561	86.560	-0.001
252	7398964.339	5058443.772	91.448	91.450	0.002	597	7399792.720	5057805.490	87.417	87.420	0.003
253	7398941.554	5058478.250	90.573	90.560	-0.013	598	7399731.580	5058010.490	86.206	86.210	0.004
254	7398942.406	5058478.984	90.559	90.560	0.001	599	7399776.690	5058175.920	86.750	86.250	-0.500
255	7398944.327	5058401.359	93.807	93.810	0.003	600	7399698.220	5058185.040	84.870	84.330	-0.540
256	7398945.097	5058399.797	93.735	93.730	-0.005	601	7399810.820	5058482.460	90.670	90.670	0.000
257	7398641.184	5058184.233	99.108	99.110	0.002	602	7399742.710	5058590.250	94.090	94.090	0.000
258	7398640.365	5058185.162	99.125	99.120	-0.005	603	7399682.900	5058650.200	92.600	92.600	0.000
259	7398639.570	5058186.280	99.131	99.130	-0.001	604	7399469.770	5058468.180	86.990	86.330	-0.660
260	7398606.511	5058198.988	98.887	98.890	0.003	605	7399494.940	5058469.400	86.030	85.250	-0.780
261	7398544.243	5058291.412	99.416	99.420	0.004	606	7400091.130	5057625.870	87.470	87.470	0.000
262	7398542.814	5058290.716	99.473	99.470	-0.003	607	7399669.850	5058380.940	86.980	85.910	-1.070
263	7398542.937	5058333.748	99.665	99.660	-0.005	608	7399241.990	5057928.440	97.331	97.330	-0.001
264	7398542.178	5058334.936	99.758	99.760	0.002	609	7398042.780	5058969.810	101.114	101.110	-0.004
265	7398541.384	5058336.120	99.693	99.700	0.007	610	7397922.870	5058785.850	104.520	104.520	0.000
266	7399673.599	5058170.946	85.508	85.510	0.002	611	7397778.880	5058571.740	100.220	100.220	0.000

267	7399565.020	5058113.785	85.682	85.680	-0.002	612	7399858.780	5057496.670	95.410	95.410	0.000
268	7399533.635	5058067.078	86.162	86.160	-0.002	613	7399439.770	5057427.580	97.740	97.740	0.000
269	7399533.091	5058065.707	86.188	86.190	0.002	614	7398843.460	5059228.410	87.264	87.260	-0.004
270	7399715.428	5058015.344	86.729	86.730	0.001	615	7399163.960	5057409.270	98.052	98.050	-0.002
271	7399716.025	5058016.705	86.679	86.680	0.001	616	7399243.000	5057674.920	95.674	95.670	-0.004
272	7399740.778	5058013.352	86.128	86.130	0.002	617	7399429.370	5057940.700	89.420	89.430	0.010
273	7399739.934	5058014.680	86.157	86.160	0.003	618	7399274.510	5057856.050	95.750	95.750	0.000
274	7399739.332	5058016.046	86.114	86.110	-0.004	619	7399293.280	5057897.290	94.250	94.250	0.000
275	7399771.795	5058058.563	86.299	86.300	0.001	620	7399280.770	5057953.860	91.435	91.430	-0.005
276	7399761.649	5058023.065	86.340	86.340	0.000	621	7399176.060	5057882.090	98.338	98.340	0.002
277	7399760.967	5058024.428	86.355	86.360	0.005	622	7399069.710	5058043.320	97.340	97.340	0.000
278	7399803.060	5058043.683	86.855	86.850	-0.005	623	7399154.890	5058073.030	98.089	98.090	0.001
279	7399802.499	5058045.075	86.829	86.830	0.001	624	7399162.460	5058096.110	96.510	96.510	0.000
280	7399771.920	5058058.317	86.280	86.290	0.010	625	7398903.840	5058151.250	97.700	97.700	0.000
281	7399773.312	5058058.332	86.347	86.350	0.003	626	7399032.820	5058234.870	97.670	97.670	0.000
282	7399774.280	5058058.407	86.343	86.340	-0.003	627	7399070.000	5058239.260	96.852	96.850	-0.002
283	7400130.800	5058194.088	92.428	92.430	0.002	628	7399158.870	5058292.220	87.750	87.750	0.000
284	7400131.413	5058192.704	92.405	92.410	0.005	629	7398879.660	5058361.280	97.892	97.890	-0.002
285	7400179.450	5058217.038	93.890	93.890	0.000	630	7398981.130	5058418.420	91.984	91.980	-0.004
286	7400178.534	5058218.441	94.880	93.870	-1.010	631	7398918.930	5058525.330	89.580	89.580	0.000
287	7400296.690	5058284.699	99.142	99.130	-0.012	632	7398857.690	5058628.310	88.940	88.940	0.000
288	7400295.964	5058285.868	99.183	99.180	-0.003	633	7398793.240	5058741.400	88.048	88.050	0.002
289	7400338.368	5058307.904	99.459	99.460	0.001	634	7398732.020	5058844.590	87.875	87.870	-0.005
290	7400337.554	5058309.124	99.516	99.520	0.004	635	7398657.520	5058953.930	90.141	90.140	-0.001
291	7400029.689	5058360.966	99.094	99.090	-0.004	636	7398584.900	5059085.470	93.450	93.450	0.000
292	7400062.435	5058323.017	98.142	98.140	-0.002	637	7398363.110	5058958.390	101.246	101.250	0.004
293	7400060.933	5058322.181	98.168	98.210	0.042	638	7398346.620	5058924.880	101.749	101.750	0.001
294	7400059.771	5058321.448	98.162	98.160	-0.002	639	7398385.080	5058893.290	101.550	101.550	0.000
295	7400032.681	5058361.959	99.102	99.100	-0.002	640	7398441.350	5058835.620	95.520	95.520	0.000
296	7400030.203	5058360.255	99.100	99.100	0.000	641	7398507.240	5058725.870	91.050	91.050	0.000
297	7399736.218	5058749.878	98.917	98.920	0.003	642	7398565.150	5058614.640	90.510	90.510	0.000
298	7399201.027	5058677.349	87.564	87.560	-0.004	643	7398467.060	5058508.790	92.390	92.390	0.000
299	7399199.507	5058680.159	87.574	87.570	-0.004	644	7398578.720	5058521.080	91.730	91.730	0.000
300	7399382.993	5058796.748	87.594	87.590	-0.004	645	7398632.630	5058505.830	91.310	91.310	0.000
301	7399371.955	5058776.209	87.437	87.440	0.003	646	7398678.910	5058534.770	90.880	90.880	0.000
302	7399384.306	5058796.824	87.675	87.670	-0.005	647	7398713.240	5058458.820	93.460	93.460	0.000
303	7399358.549	5058858.971	87.546	87.550	0.004	648	7398649.000	5058410.450	97.070	97.070	0.000
304	7399357.018	5058854.812	87.675	87.670	-0.005	649	7398518.480	5058317.720	99.245	99.240	-0.005
305	7399358.070	5058855.729	87.667	87.650	-0.017	650	7398424.360	5058442.330	94.310	94.310	0.000
306	7399399.982	5058767.435	87.453	87.450	-0.003	651	7398277.250	5058660.650	96.240	96.240	0.000
307	7399398.683	5058766.809	87.469	87.470	0.001	652	7398266.680	5058857.790	102.479	102.480	0.001
308	7399397.127	5058766.172	87.410	87.410	0.000	653	7398177.510	5058786.160	100.537	100.540	0.003
309	7399431.882	5058698.606	86.956	86.960	0.004	654	7399095.220	5058767.350	87.559	87.560	0.001
310	7399447.161	5058658.973	86.590	85.590	-1.000	655	7398085.570	5058702.140	101.621	101.620	-0.001
311	7399448.385	5058659.541	86.656	85.710	-0.946	656	7398001.010	5058627.440	101.885	101.880	-0.005
312	7399426.828	5058662.868	86.704	85.810	-0.894	657	7398167.260	5058595.330	99.430	99.430	0.000
313	7399427.617	5058661.214	86.661	85.750	-0.911	658	7398147.470	5058403.900	98.652	98.650	-0.002
314	7399253.677	5058566.808	87.695	87.700	0.005	659	7398346.660	5058340.330	95.710	95.710	0.000
315	7399254.488	5058565.495	87.651	87.650	-0.001	660	7398258.280	5058249.870	98.387	98.390	0.003
316	7399345.050	5058400.715	86.799	86.680	-0.119	661	7398284.710	5058259.310	98.131	98.130	-0.001
317	7399437.906	5058450.317	87.201	86.650	-0.551	662	7398330.210	5058185.910	97.899	97.900	0.001
318	7399437.142	5058451.317	87.215	86.620	-0.595	663	7398434.460	5058042.100	97.858	97.860	0.002

319	7399436.180	5058452.379	87.181	86.620	-0.561	664	7399160.430	5058652.980	87.653	87.650	-0.003
320	7399441.011	5058251.414	86.590	86.460	-0.130	665	7398627.960	5058173.280	99.127	99.130	0.003
321	7399440.649	5058252.569	86.541	86.380	-0.161	666	7397909.490	5058377.590	99.780	99.780	0.000
322	7399656.260	5058370.309	86.803	85.800	-1.003	667	7398143.500	5058055.340	97.810	97.810	0.000
323	7399699.856	5058391.589	86.821	85.570	-1.251	668	7397948.760	5057920.020	100.150	100.150	0.000
324	7399358.193	5058203.789	87.053	87.050	-0.003	669	7398136.770	5057659.850	99.300	99.300	0.000
325	7399357.756	5058204.950	87.055	87.050	-0.005	670	7398403.550	5057565.070	98.460	98.460	0.000
326	7399356.954	5058206.469	87.070	87.070	0.000	671	7398618.990	5057721.940	98.319	98.320	0.001
327	7399229.442	5058136.574	89.311	89.310	-0.001	672	7398567.990	5057953.250	99.280	99.280	0.000
328	7399229.550	5058133.435	89.455	89.450	-0.005	673	7398708.830	5058052.920	98.720	98.500	-0.220
329	7399151.683	5058101.074	97.764	97.760	-0.004	674	7399220.510	5058545.440	87.690	87.690	0.000
330	7399152.745	5058101.809	97.792	97.790	-0.002	675	7398731.820	5058022.230	98.410	98.410	0.000
331	7399075.672	5058227.377	97.023	97.020	-0.003	676	7398797.940	5057846.680	97.534	97.530	-0.004
332	7399076.946	5058228.644	97.014	97.010	-0.004	677	7398998.650	5057859.250	95.431	95.430	-0.001
333	7399055.011	5058260.855	96.400	96.400	0.000	678	7399038.820	5057793.240	95.758	95.760	0.002
334	7399057.174	5058263.127	96.373	96.370	-0.003	679	7399067.890	5057714.650	98.060	98.060	0.000
335	7399041.997	5058288.427	95.647	95.650	0.003	680	7398701.550	5057475.430	98.530	98.530	0.000
336	7399043.365	5058289.184	95.631	95.630	-0.001	681	7399280.340	5058438.450	87.479	87.480	0.001
337	7399023.601	5058324.454	94.617	94.620	0.003	682	7398929.320	5059264.920	86.280	86.280	0.000
338	7399026.255	5058326.026	94.637	94.640	0.003	683	7399124.110	5059366.800	87.250	87.250	0.000
339	7398994.242	5058391.083	92.701	92.690	-0.011	684	7399124.410	5059226.430	86.380	86.380	0.000
340	7398992.816	5058390.435	92.703	92.700	-0.003	685	7399262.310	5059299.990	86.880	86.880	0.000
341	7399032.532	5058329.770	93.304	93.300	-0.004	686	7399359.510	5059373.780	87.100	87.100	0.000
342	7399049.146	5058314.954	92.890	90.220	-2.670	687	7399450.420	5059363.800	88.524	88.520	-0.004
343	7399258.047	5058426.793	87.534	87.540	0.006	688	7399477.350	5059480.500	89.470	89.470	0.000
344	7399256.851	5058429.580	87.473	87.470	-0.003	689	7399481.350	5059546.280	87.970	87.970	0.000
345	7399274.318	5058359.872	87.058	87.060	0.002	690	7399595.210	5059477.410	95.160	95.160	0.000

TABELA 10.7: Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izabranih za kalibraciju na UAVMmCPP modelu

Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMo	dZ	Br.T.	Yt	Xt	Zt	ZMo	dZ
1	7399909.456	5058522.206	99.579	99.580	0.001	169	7399398.683	5058766.809	87.469	87.460	-0.009
2	7399910.915	5058523.415	99.599	99.600	0.001	170	7399397.127	5058766.172	87.410	87.420	0.010
3	7399882.960	5058559.798	99.444	99.440	-0.004	171	7399253.677	5058566.808	87.695	87.700	0.005
4	7399854.903	5058598.531	99.530	99.530	0.000	172	7399254.488	5058565.495	87.651	87.650	-0.001
5	7399823.396	5058639.495	99.927	99.930	0.003	173	7399345.050	5058400.715	86.799	86.800	0.001
6	7399822.063	5058638.551	99.909	99.910	0.001	174	7399441.011	5058251.414	86.590	86.590	0.000
7	7399820.925	5058637.749	99.883	99.880	-0.003	175	7399440.649	5058252.569	86.541	86.540	-0.001
8	7399706.897	5058764.556	96.942	96.940	-0.002	176	7399357.756	5058204.950	87.055	87.060	0.005
9	7399705.321	5058767.777	97.035	97.040	0.005	177	7399356.954	5058206.469	87.070	87.070	0.000
10	7399706.159	5058791.949	98.437	98.440	0.003	178	7399151.683	5058101.074	97.764	97.760	-0.004
11	7399704.711	5058791.093	98.385	98.390	0.005	179	7399152.745	5058101.809	97.792	97.790	-0.002
12	7399646.702	5058867.742	98.111	98.110	-0.001	180	7399075.672	5058227.377	97.023	97.020	-0.003
13	7399647.921	5058868.456	98.137	98.140	0.003	181	7399076.946	5058228.644	97.014	97.010	-0.004
14	7399649.194	5058869.416	98.113	98.110	-0.003	182	7399055.011	5058260.855	96.400	96.400	0.000
15	7399684.781	5058910.300	98.551	98.550	-0.001	183	7399057.174	5058263.127	96.373	96.370	-0.003
16	7399683.997	5058911.572	98.544	98.540	-0.004	184	7399041.997	5058288.427	95.647	95.650	0.003
17	7399619.652	5058905.463	97.982	97.980	-0.002	185	7399043.365	5058289.184	95.631	95.630	-0.001
18	7399620.956	5058906.242	97.981	97.980	-0.001	186	7399023.601	5058324.454	94.617	94.620	0.003
19	7399592.656	5058943.823	98.260	98.260	0.000	187	7399026.255	5058326.026	94.637	94.640	0.003
20	7399594.035	5058944.708	98.283	98.280	-0.003	188	7398994.242	5058391.083	92.701	92.700	-0.001

21	7399578.031	5058982.019	99.433	99.430	-0.003	189	7398992.816	5058390.435	92.703	92.700	-0.003
22	7399579.344	5058982.047	99.425	99.430	0.005	190	7399032.532	5058329.770	93.304	93.300	-0.004
23	7399569.240	5058968.471	98.985	98.990	0.005	191	7399258.047	5058426.793	87.534	87.530	-0.004
24	7399570.012	5058969.724	99.051	99.050	-0.001	192	7399256.851	5058429.580	87.473	87.470	-0.003
25	7399570.744	5058971.020	99.071	99.070	-0.001	193	7399274.318	5058359.872	87.058	87.080	0.022
26	7399073.870	5058752.603	87.696	87.700	0.004	194	7399272.900	5058360.377	87.087	87.090	0.003
27	7398816.344	5058697.263	88.312	88.310	-0.002	195	7399171.554	5058061.678	97.918	97.920	0.002
28	7398815.163	5058696.512	88.334	88.330	-0.004	196	7399167.565	5058059.905	98.136	98.140	0.004
29	7398866.460	5058609.206	89.144	89.140	-0.004	197	7399447.891	5058045.829	87.132	87.130	-0.002
30	7398864.919	5058608.558	89.143	89.140	-0.003	198	7399447.230	5058047.206	87.109	87.110	0.001
31	7398900.917	5058548.441	89.635	89.640	0.005	199	7399446.567	5058048.466	87.116	87.120	0.004
32	7398899.491	5058547.696	89.670	89.670	0.000	200	7399481.433	5058005.430	87.536	87.540	0.004
33	7399440.975	5059369.210	88.272	88.270	-0.002	201	7399144.970	5058074.554	98.398	98.400	0.002
34	7399440.718	5059367.707	88.261	88.260	-0.001	202	7399145.613	5058073.376	98.448	98.450	0.002
35	7399458.104	5059391.358	88.945	88.940	-0.005	203	7399047.709	5058024.003	97.060	97.060	0.000
36	7399476.518	5059372.250	89.884	89.880	-0.004	204	7399046.956	5058025.113	97.152	97.150	-0.002
37	7399444.018	5059343.738	88.847	88.850	0.003	205	7398861.679	5057865.084	95.827	95.830	0.003
38	7399445.538	5059343.397	88.860	88.860	0.000	206	7398860.351	5057862.396	95.876	95.880	0.004
39	7399424.025	5059247.872	88.092	88.090	-0.002	207	7398827.036	5057886.572	96.062	96.060	-0.002
40	7399425.303	5059247.564	88.161	88.160	-0.001	208	7398825.981	5057885.823	96.132	96.130	-0.002
41	7399396.510	5059211.142	87.747	87.750	0.003	209	7399298.780	5059008.238	86.230	86.230	0.000
42	7399432.753	5059211.856	88.346	88.350	0.004	210	7399297.344	5059008.072	86.242	86.240	-0.002
43	7399431.277	5059211.632	88.308	88.300	-0.008	211	7399295.899	5059008.018	86.221	86.220	-0.001
44	7399429.822	5059211.259	88.230	88.230	0.000	212	7398116.562	5058035.994	97.573	97.570	-0.003
45	7399428.312	5059247.091	88.204	88.200	-0.004	213	7398115.874	5058037.035	97.629	97.630	0.001
46	7399426.550	5059247.354	88.205	88.210	0.005	214	7398115.207	5058038.020	97.636	97.640	0.004
47	7399450.702	5059118.996	91.836	91.840	0.004	215	7398336.662	5058184.587	97.827	97.830	0.003
48	7399452.429	5059119.500	91.860	91.860	0.000	216	7398339.439	5058191.301	97.827	97.830	0.003
49	7399462.406	5059098.158	93.082	93.080	-0.002	217	7398338.888	5058194.600	97.839	97.840	0.001
50	7399459.895	5059096.368	92.990	92.990	0.000	218	7398181.358	5058083.331	97.802	97.800	-0.002
51	7399461.189	5059097.131	93.068	93.070	0.002	219	7398334.472	5058182.133	97.855	97.860	0.005
52	7399508.838	5059023.360	97.741	97.740	-0.001	220	7398180.333	5058084.666	97.885	97.890	0.005
53	7399510.103	5059024.336	97.763	97.760	-0.003	221	7398298.041	5058167.353	98.279	98.280	0.001
54	7399526.151	5059004.883	98.916	98.920	0.004	222	7398297.021	5058168.447	98.301	98.300	-0.001
55	7399527.268	5059005.971	98.943	98.940	-0.003	223	7398495.266	5058302.430	99.391	99.390	-0.001
56	7399509.535	5059006.354	98.498	98.500	0.002	224	7397970.154	5057934.278	99.905	99.910	0.005
57	7399268.145	5058982.998	85.981	85.980	-0.001	225	7397971.084	5057932.841	99.911	99.910	-0.001
58	7399321.704	5059046.687	86.251	86.250	-0.001	226	7399233.795	5057941.702	97.592	97.590	-0.002
59	7399322.603	5059045.517	86.208	86.210	0.002	227	7399252.801	5057903.807	96.622	96.620	-0.002
60	7399311.539	5058971.869	86.196	86.200	0.004	228	7398802.792	5057850.320	97.250	97.250	0.000
61	7399267.832	5058984.503	86.079	86.080	0.001	229	7398800.876	5057852.640	97.282	97.280	-0.002
62	7399310.167	5058971.005	86.135	86.140	0.005	230	7398756.006	5057820.485	98.612	98.610	-0.002
63	7399025.090	5059009.998	86.948	86.950	0.002	231	7398757.269	5057819.753	98.623	98.620	-0.003
64	7399022.980	5059010.527	87.034	87.030	-0.004	232	7398686.578	5057768.487	98.971	98.970	-0.001
65	7399080.571	5058894.184	87.156	87.160	0.004	233	7398685.649	5057769.669	98.975	98.970	-0.005
66	7399200.462	5058958.395	87.085	87.090	0.005	234	7398622.851	5057723.726	98.416	98.420	0.004
67	7399314.742	5058885.062	87.023	87.020	-0.003	235	7398622.146	5057724.899	98.420	98.420	0.000
68	7399078.694	5058894.985	87.185	87.190	0.005	236	7398858.932	5057892.507	96.129	96.130	0.001
69	7399337.961	5058915.116	87.182	87.180	-0.002	237	7398837.970	5059394.540	86.960	86.960	0.000
70	7399133.384	5058784.742	87.207	87.210	0.003	238	7398843.810	5059388.510	86.930	86.930	0.000
71	7399132.724	5058785.899	87.187	87.190	0.003	239	7398844.250	5059257.440	86.990	86.990	0.000
72	7399327.853	5058469.886	87.670	87.670	0.000	240	7398910.300	5059114.090	87.010	87.010	0.000

73	7399328.784	5058468.633	87.630	87.630	0.000	241	7398904.850	5059110.470	87.040	87.040	0.000
74	7398878.678	5058643.931	88.652	88.650	-0.002	242	7398940.900	5059057.410	87.020	87.020	0.000
75	7398878.036	5058645.340	88.680	88.680	0.000	243	7398988.380	5058972.960	87.030	87.030	0.000
76	7398816.157	5058611.219	89.483	89.480	-0.003	244	7398982.930	5058969.820	87.070	87.070	0.000
77	7398816.602	5058609.906	89.465	89.470	0.005	245	7399057.700	5058837.170	87.370	87.370	0.000
78	7399614.528	5057928.265	87.031	87.030	-0.001	246	7399064.480	5058837.790	87.390	87.390	0.000
79	7399612.805	5057926.002	87.071	87.070	-0.001	247	7399112.670	5058752.810	87.610	87.610	0.000
80	7399560.684	5057975.399	86.790	86.790	0.000	248	7399232.810	5058525.920	87.760	87.760	0.000
81	7399524.160	5058021.244	86.864	86.860	-0.004	249	7399235.570	5058533.910	87.770	87.770	0.000
82	7399521.897	5058019.572	86.809	86.810	0.001	250	7399280.920	5058453.280	87.520	87.520	0.000
83	7399009.854	5058856.629	87.482	87.480	-0.002	251	7399275.800	5058449.860	87.500	87.500	0.000
84	7399009.063	5058858.047	87.528	87.530	0.002	252	7399406.740	5058217.490	86.980	86.980	0.000
85	7398756.129	5058862.733	87.920	87.920	0.000	253	7399393.690	5058253.600	87.010	87.010	0.000
86	7398756.849	5058861.313	87.838	87.840	0.002	254	7399412.140	5058220.770	86.970	86.970	0.000
87	7398692.574	5058825.307	88.580	88.580	0.000	255	7399472.520	5058113.480	86.840	86.840	0.000
88	7398691.663	5058826.676	88.568	88.570	0.002	256	7399469.170	5058106.870	86.780	86.780	0.000
89	7398558.776	5058751.701	90.303	90.300	-0.003	257	7399500.890	5058063.380	86.740	86.740	0.000
90	7398559.327	5058750.701	90.223	90.220	-0.003	258	7399495.920	5058059.600	86.710	86.710	0.000
91	7398520.391	5058699.202	90.717	90.720	0.003	259	7399250.257	5057842.251	96.600	96.600	0.000
92	7398555.245	5058638.894	90.474	90.470	-0.004	260	7399250.552	5057840.321	96.592	96.590	-0.002
93	7398778.520	5058763.348	88.205	88.210	0.005	261	7399275.249	5057831.410	95.277	95.280	0.003
94	7398777.275	5058762.696	88.204	88.200	-0.004	262	7399276.852	5057831.450	95.302	95.300	-0.002
95	7398776.167	5058761.969	88.207	88.210	0.003	263	7399221.648	5057912.148	97.773	97.780	0.007
96	7398743.670	5058820.026	88.156	88.160	0.004	264	7399220.745	5057913.241	97.811	97.810	-0.001
97	7398816.889	5058751.908	87.761	87.760	-0.001	265	7399310.170	5058383.870	87.113	87.110	-0.003
98	7398817.515	5058750.520	87.716	87.720	0.004	266	7400100.450	5059136.630	101.250	101.250	0.000
99	7398758.308	5058717.355	88.961	88.960	-0.001	267	7399827.630	5058990.650	100.890	100.890	0.000
100	7398757.518	5058718.769	89.058	89.060	0.002	268	7399605.270	5058923.730	97.956	97.960	0.004
101	7398756.779	5058720.162	89.060	89.060	0.000	269	7399579.990	5058965.460	98.862	98.860	-0.002
102	7398589.473	5058625.147	90.358	90.360	0.002	270	7399400.900	5058226.000	87.020	87.020	0.000
103	7398589.309	5058626.707	90.381	90.380	-0.001	271	7399424.610	5059229.160	88.150	88.150	0.000
104	7398944.573	5058967.103	87.195	87.200	0.005	272	7399225.010	5058972.610	86.720	86.720	0.000
105	7398872.667	5059073.264	86.925	86.930	0.005	273	7399300.710	5058996.360	86.350	86.350	0.000
106	7398691.218	5058974.054	89.034	89.030	-0.004	274	7399295.650	5059034.680	86.040	86.040	0.000
107	7398690.638	5058975.037	89.068	89.070	0.002	275	7399454.670	5059104.820	92.437	92.440	0.003
108	7398465.106	5058851.423	94.370	94.370	0.000	276	7399515.370	5059014.210	98.345	98.350	0.005
109	7398465.653	5058850.436	94.284	94.280	-0.004	277	7399495.070	5058076.460	86.704	86.700	-0.004
110	7398428.929	5058852.793	97.174	97.170	-0.004	278	7399344.460	5058896.710	87.099	87.100	0.001
111	7398427.211	5058850.658	97.182	97.180	-0.002	279	7399387.000	5058786.940	87.520	87.520	0.000
112	7398595.787	5059059.135	93.388	93.390	0.002	280	7399443.790	5058670.630	86.790	86.790	0.000
113	7398596.968	5059059.774	93.394	93.390	-0.004	281	7399496.650	5058570.780	85.930	85.930	0.000
114	7398598.141	5059060.429	93.431	93.430	-0.001	282	7399561.510	5058610.410	86.590	86.590	0.000
115	7398676.011	5058924.927	90.248	90.250	0.002	283	7399714.470	5058777.000	98.382	98.380	-0.002
116	7398677.147	5058925.532	90.284	90.280	-0.004	284	7399582.380	5057949.040	87.048	87.050	0.002
117	7398678.368	5058925.880	90.253	90.250	-0.003	285	7399834.790	5058618.950	99.700	99.700	0.000
118	7398625.447	5058938.678	90.683	90.680	-0.003	286	7399894.430	5058547.520	99.543	99.540	-0.003
119	7398625.799	5058936.978	90.599	90.600	0.001	287	7399999.860	5058603.380	100.410	100.410	0.000
120	7398645.884	5058978.624	90.661	90.660	-0.001	288	7400319.290	5058296.590	99.510	99.510	0.000
121	7398644.731	5058977.817	90.759	90.760	0.001	289	7400152.760	5058205.820	93.028	93.030	0.002
122	7398643.772	5058976.863	90.725	90.730	0.005	290	7400044.890	5058340.750	98.650	98.650	0.000
123	7398972.023	5058551.501	88.709	88.710	0.001	291	7399771.840	5058026.690	86.561	86.560	-0.001
124	7398971.407	5058552.883	88.713	88.710	-0.003	292	7399792.720	5057805.490	87.417	87.420	0.003



125	7399100.955	5058624.624	87.719	87.720	0.001	293	7399731.580	5058010.490	86.206	86.210	0.004
126	7399101.498	5058623.807	87.733	87.730	-0.003	294	7400091.130	5057625.870	87.470	87.470	0.000
127	7399102.041	5058622.745	87.741	87.740	-0.001	295	7399241.990	5057928.440	97.331	97.330	-0.001
128	7399192.084	5058534.530	88.056	88.060	0.004	296	7398843.460	5059228.410	87.264	87.260	-0.004
129	7399192.719	5058533.360	88.060	88.060	0.000	297	7399163.960	5057409.270	98.052	98.050	-0.002
130	7399193.546	5058531.939	88.035	88.030	-0.005	298	7399243.000	5057674.920	95.674	95.670	-0.004
131	7398962.924	5058443.296	91.384	91.380	-0.004	299	7399274.510	5057856.050	95.750	95.750	0.000
132	7398964.339	5058443.772	91.448	91.450	0.002	300	7399069.710	5058043.320	97.340	97.340	0.000
133	7398941.554	5058478.250	90.573	90.570	-0.003	301	7399154.890	5058073.030	98.089	98.090	0.001
134	7398942.406	5058478.984	90.559	90.560	0.001	302	7399162.460	5058096.110	96.510	96.510	0.000
135	7398944.327	5058401.359	93.807	93.800	-0.007	303	7399032.820	5058234.870	97.670	97.670	0.000
136	7398945.097	5058399.797	93.735	93.740	0.005	304	7399070.000	5058239.260	96.852	96.850	-0.002
137	7398544.243	5058291.412	99.416	99.420	0.004	305	7398981.130	5058418.420	91.984	91.980	-0.004
138	7398542.814	5058290.716	99.473	99.470	-0.003	306	7398918.930	5058525.330	89.580	89.580	0.000
139	7398542.937	5058333.748	99.665	99.670	0.005	307	7398857.690	5058628.310	88.940	88.940	0.000
140	7398542.178	5058334.936	99.758	99.760	0.002	308	7398793.240	5058741.400	88.048	88.050	0.002
141	7398541.384	5058336.120	99.693	99.690	-0.003	309	7398732.020	5058844.590	87.875	87.880	0.005
142	7399715.428	5058015.344	86.729	86.730	0.001	310	7398657.520	5058953.930	90.141	90.140	-0.001
143	7399716.025	5058016.705	86.679	86.680	0.001	311	7398584.900	5059085.470	93.450	93.450	0.000
144	7399740.778	5058013.352	86.128	86.130	0.002	312	7398441.350	5058835.620	95.520	95.520	0.000
145	7399739.934	5058014.680	86.157	86.160	0.003	313	7398507.240	5058725.870	91.050	91.050	0.000
146	7399739.332	5058016.046	86.114	86.110	-0.004	314	7398565.150	5058614.640	90.510	90.510	0.000
147	7399761.649	5058023.065	86.340	86.340	0.000	315	7398467.060	5058508.790	92.390	92.390	0.000
148	7399760.967	5058024.428	86.355	86.360	0.005	316	7398578.720	5058521.080	91.730	91.730	0.000
149	7399803.060	5058043.683	86.855	86.860	0.005	317	7398632.630	5058505.830	91.310	91.310	0.000
150	7399802.499	5058045.075	86.829	86.830	0.001	318	7398678.910	5058534.770	90.880	90.880	0.000
151	7400130.800	5058194.088	92.428	92.430	0.002	319	7398713.240	5058458.820	93.460	93.460	0.000
152	7400131.413	5058192.704	92.405	92.410	0.005	320	7398649.000	5058410.450	97.070	97.070	0.000
153	7400179.450	5058217.038	93.890	93.890	0.000	321	7398518.480	5058317.720	99.245	99.250	0.005
154	7400296.690	5058284.699	99.142	99.140	-0.002	322	7399095.220	5058767.350	87.559	87.560	0.001
155	7400295.964	5058285.868	99.183	99.180	-0.003	323	7398330.210	5058185.910	97.899	97.900	0.001
156	7400338.368	5058307.904	99.459	99.460	0.001	324	7399160.430	5058652.980	87.653	87.650	-0.003
157	7400337.554	5058309.124	99.516	99.520	0.004	325	7398143.500	5058055.340	97.810	97.810	0.000
158	7400029.689	5058360.966	99.094	99.090	-0.004	326	7397948.760	5057920.020	100.150	100.150	0.000
159	7400062.435	5058323.017	98.142	98.140	-0.002	327	7398136.770	5057659.850	99.300	99.300	0.000
160	7400060.933	5058322.181	98.168	98.160	-0.008	328	7398403.550	5057565.070	98.460	98.460	0.000
161	7400059.771	5058321.448	98.162	98.160	-0.002	329	7398618.990	5057721.940	98.319	98.320	0.001
162	7400032.681	5058361.959	99.102	99.100	-0.002	330	7399220.510	5058545.440	87.690	87.690	0.000
163	7400030.203	5058360.255	99.100	99.100	0.000	331	7398797.940	5057846.680	97.534	97.530	-0.004
164	7399736.218	5058749.878	98.917	98.920	0.003	332	7399280.340	5058438.450	87.479	87.480	0.001
165	7399201.027	5058677.349	87.564	87.560	-0.004	333	7399450.420	5059363.800	88.524	88.520	-0.004
166	7399199.507	5058680.159	87.574	87.570	-0.004						
167	7399371.955	5058776.209	87.437	87.440	0.003						
168	7399399.982	5058767.435	87.453	87.450	-0.003						

TABELA 10.8: Očitane Z vrednosti koordinata kontrolnih tačaka i kontrolnih profila izabranih za kalibraciju na LiDARMmCPP modelu