



Награда из фонда Института за геодезију и геоинформатику за најбољи мастер рад на студијском програму Геодезија и геоинформатика одбрањен у школској 2017/2018. години

## УПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА UAV ФОТОГРАМЕТРИЈЕ НА КАЛИБРАЦИОНОМ ПОЛИГОНУ „ДЕБЕЉАЧА“ ДОБИЈЕНИХ ПРИМЕНОМ РАЗЛИЧИТИХ СОФТВЕРСКИХ СИСТЕМА

ПЕТАР БУРСАЋ

Студијски програм: ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОИНФОРМАТИКА

Модул: ГЕОИНФОРМАТИКА

Ужа научна област: ФОТОГРАМЕТРИЈА И ДАЉИНСКА ДЕТЕКЦИЈА

Ментор: Проф. др Драган Михајловић дипл. инж. геод.

Основне студије уписане 2013. године

Основне студије завршене 2016. године

Просечна оцена: 8,79

Мастер студије уписане 2016. године

Мастер студије завршене 2018. године

Просечна оцена: 9,72

### ЗАДАТАК МАСТЕР РАДА:

Нагли развој беспилотних летелица (UAV) и технологије снимања из ваздуха помоћу различитих дигиталних сензора омогућили су веома широку примену UAV система за фотограметријске сврхе – UAV фотограметрију. Упркос великим могућностима које UAV системи нуде, у њиховој практичној примени још увек постоје недоумице у погледу квалитета резултата и ефикасности UAV фотограметрије, као и квалитета расположивих софтвера. Циљ овог рада је да на калибрационом полигону „Дебељача“ спроведе упоредну анализу резултата добијених UAV фотограметријом применом два различита софтверска система: *AgiSoft PhotoScan Professional* и *Trimble INPHO UASMaster*.

### 1. ПРОЈЕКАТ UAV АЕРОФОТОГРАМЕТРИЈСКОГ СНИМАЊА

Насеље Дебељача је приближно квадратног облика величине 1,5x1,5km, где је правилан распоред улица у грађевинском реону диктирао постављање 89 оријентационих тачака. UAV фотограметријско снимање над калибрационом полигоном „Дебељача“ је извршено по свим претходно дефинисаним критеријумима, параметрима плана лета, у мају месецу 2018. године током једног радног дана. Као платформа је коришћена беспилотна летелица *DJI Matrice 600 Pro* са дигиталном аматерском камером *Canon EOS 6D* (Слика број 1).



Слика број 1: Беспилотна летелица *DJI Matrice 600 Pro*, гимбал *Rotin MX* и дигитална аматерска камера *Canon EOS 6D*

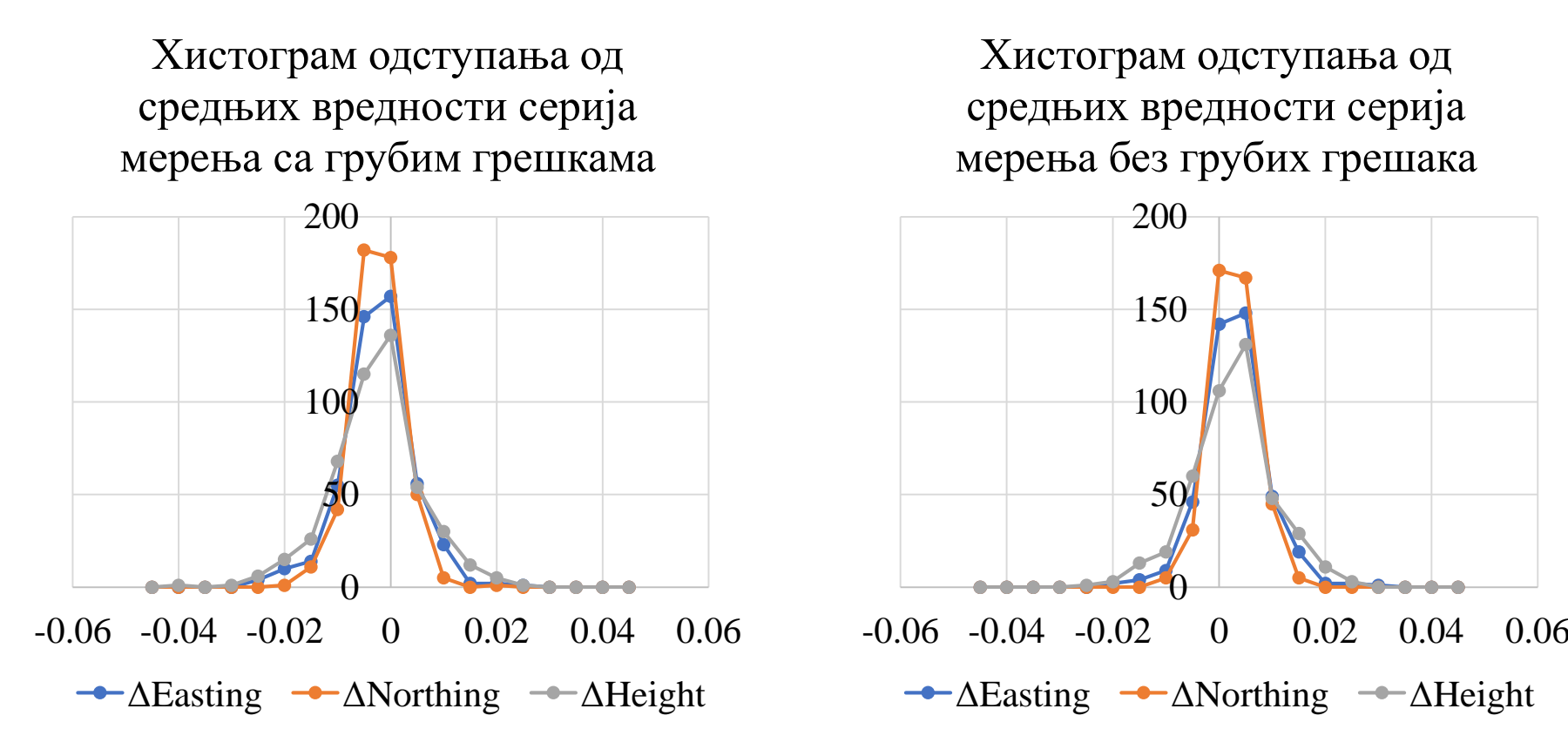
Параметар	Ознака	Вредност	Мерна јединица
Константа камере	c	24	mm
Величина сензора	a	36	mm
	b	24	mm
Величина снимка	Na	5472	pix
	Nb	3648	pix
Висина лета	Hr	120.00	m
Именицац размере снимања - M	R = 1 :	5000	-
Величина базе у природи	Bp	26.5	m
Величина базе на снимку	Bs	5.30	mm
Снимак на терену	A	180.00	m
	B	120.00	m
Подужни преклоп	l	0.85	85%
Попречни преклоп	q	0.46	46%
Размак између низова	V	65	m
Површина терена на једном снимку	P	21600	m <sup>2</sup>
Величина пиксела у равни сензора	D <sub>pix</sub> Sensor	6.58	µm
Величина пиксела у природи	D <sub>pix</sub> Teren	0.033	m
	GSD	3	cm

### 2. АНАЛИЗА УТИЦАЈА ГРУБИХ ГРЕШАКА У МРЕЖИ ОРИЈЕНТАЦИОНИХ ТАЧАКА НА ТАЧНОСТ БЛОК АЕРОТРИАНГУЛАЦИЈЕ SFM ПРИСТУПОМ

Због све већих захтева у погледу високо резолутивних снимака насталих из ваздуха, референтне координате ослоних тачака требају бити у границама тачности од 1mm-1cm, у односу на величину GSD од 1-10cm, чиме се подиже напор у одређивању координата оријентационих тачака [Cramer et al., 2010].

На основу постављених хипотеза изведен је закључак да за величину GSD од 3cm, позициона тачност координата оријентационих тачака мора бити **сва 3mm**, како оставрена мерења не би утицала на резултате блок аеротриангулације. Извршено је статистичко тестирање хипотеза ради оцене несигурности и могућег присуства грубих грешака у подацима мерења, да би се добила померена вредност аритметичке средине координата тачака из више сесија мерења.

- Као ослоне тачке послужиле су све тачке које су имале бар једну грубу грешку, док су остале сматране као контролне за проверу резултата, укупно 44 оријентационих и 45 контролних тачака (сценарио S<sub>грубе</sub>).
- И у другом сценарију као ослоне – оријентационе тачке коришћен је сценарио S-5, који подразумева минималну конфигурацију у погледу оријентационих тачака, укупно 5 оријентационих и 84 контролних тачака.



Хистограм одступања од средњих вредности серија мерења са грубим грешкама

Хистограм одступања од средњих вредности серија мерења без грубих грешака

RMSE вредности на контролним тачкама [PhotoScan]

RMSE вредности на контролним тачкама [UASMaster]



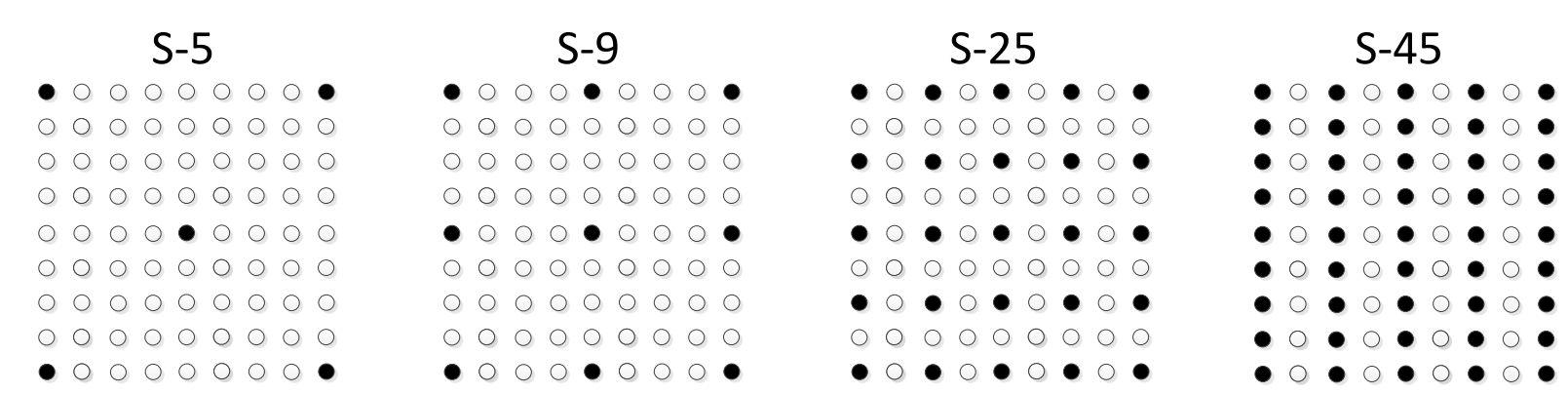
### 3. ОБРАДА ПОДАТАКА У СОФТВЕРСКОМ СИСТЕМУ AGISOFT PHOTOSCAN И TRIMBLE INPHO UASMASTER



У циљу формирања UAV аерофотограметријских блокова снимака, обраде података софтверским системима *AgiSoft PhotoScan* и *Trimble Inpho UASMaster*, на располагању су следећи подаци:

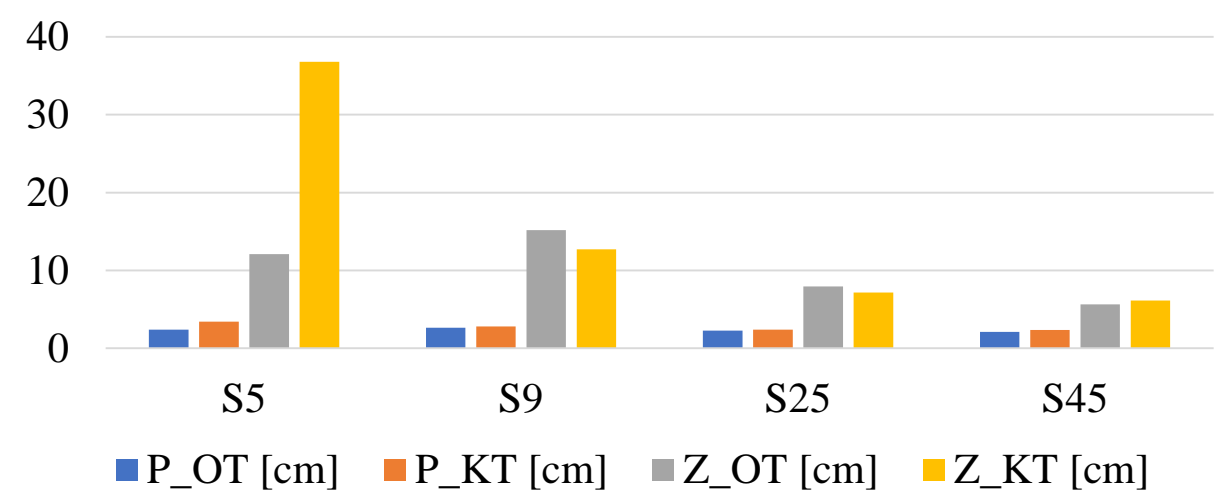
- 1215 снимака са резолуцијом од 5472x3648 пиксела са величином GSD од сса 3cm.
- Координате 89 оријентационих тачака у старом Државном координатном систему Р. Србије, у различитим конфигурацијама.
- Мере квалитета положаја и висина оријентационих тачака као *a priori* вредности  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$  и  $\sigma_z$ .

У оквиру експерименталног дела рада дата је методологија обраде података поменутих софтверским системима, у циљу оцене елемената спољашње и унутрашње оријентације снимака на калибрационом полигону „Дебељача“, као и израде жељених продуката. У циљу поређења резултата добијених софтверским системима, дата је оцена стохастичког модела блок аеротриангулације SfM приступом, дефинисање модела и интерпретација елемената унутрашње оријентације, оцена тачности и поузданости и оцена геометријског квалитета формираног модела на основу дефинисаних сценарија распореда и броја оријентационих тачака.

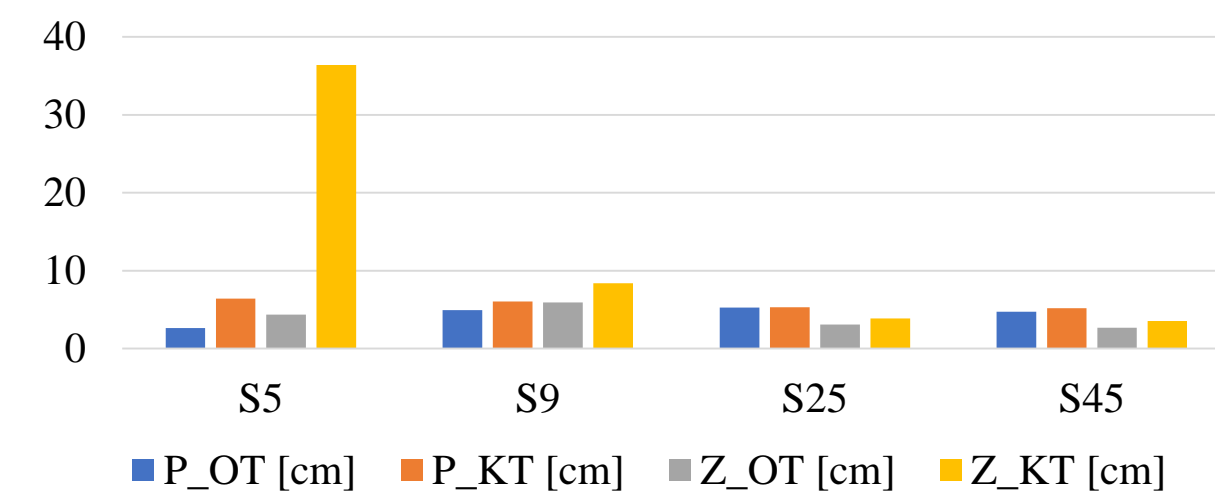


Слика број 2: Различите конфигурације распореда и броја оријентационих тачака за поступак блок аеротриангулације SFM приступом

RMSE вредности одступања на оријентационим тачкама и контролним тачкама [PhotoScan]



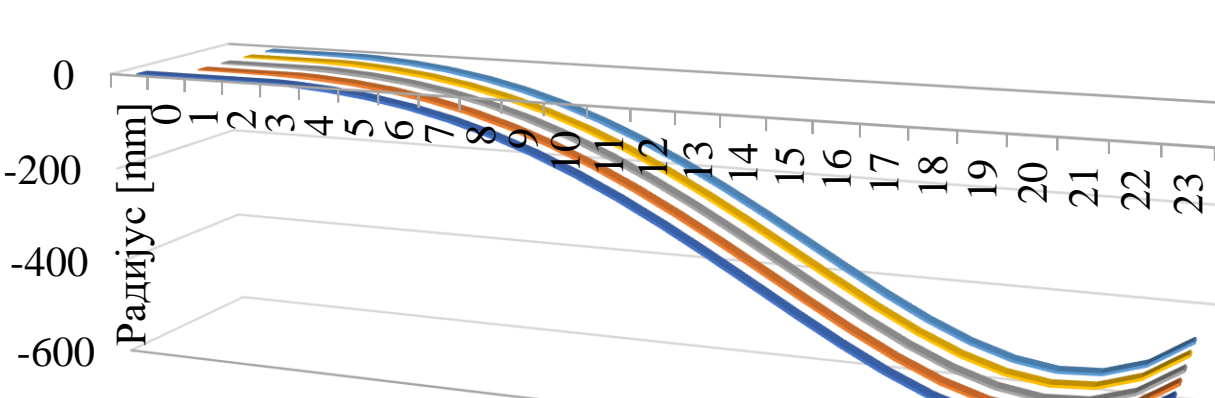
RMSE вредности одступања на оријентационим тачкама и контролним тачкама [UASMaster]



Једначине поправака за утицај радијалних и децентричних дисторзија:  
 $x' = x(1 + K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6 + K_4r^8) + (P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy)(1 + P_3r^2 + P_4r^4)$   
 $y' = y(1 + K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6 + K_4r^8) + (P_5(r^2 + 2y^2) + 2P_6xy)(1 + P_3r^2 + P_4r^4)$

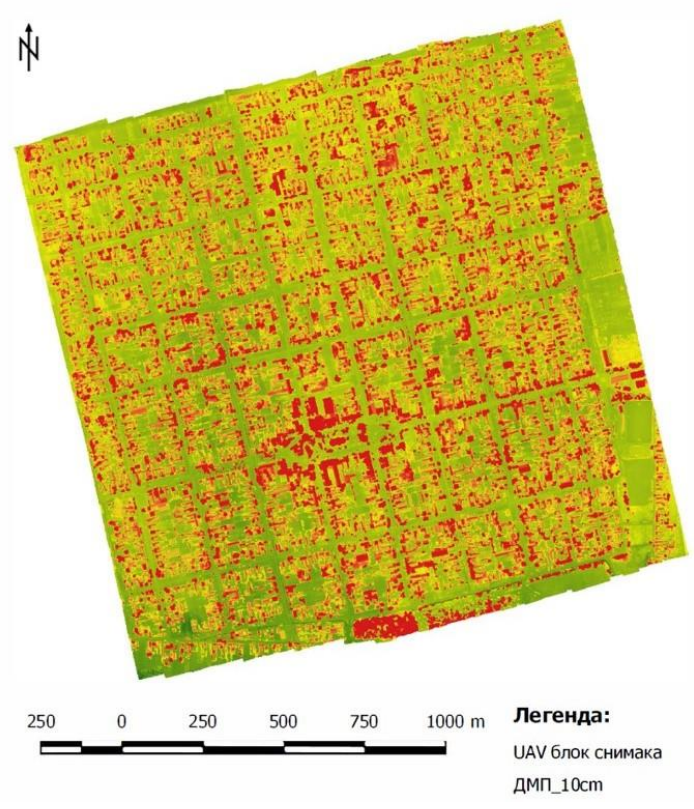
- где је:
- $K_1, K_2, K_3, K_4$  – (radial distortion coefficients) - коефицијенти радијалних дисторзија.
  - $P_1, P_2, P_3, P_4$  – (tangential distortion coefficients) - коефицијенти тангентцијалних дисторзија.
  - $r$  – радијално растојање од главне тачке снимка,
  - $x, y$  – координате тачке у сликовном координатном систему у односу на главну тачку снимка.

Вредност дисторзије радијалних симетричних компонента на основу параметара [K1, K2, K3, P1, P2] у UAV блоковима 1-5

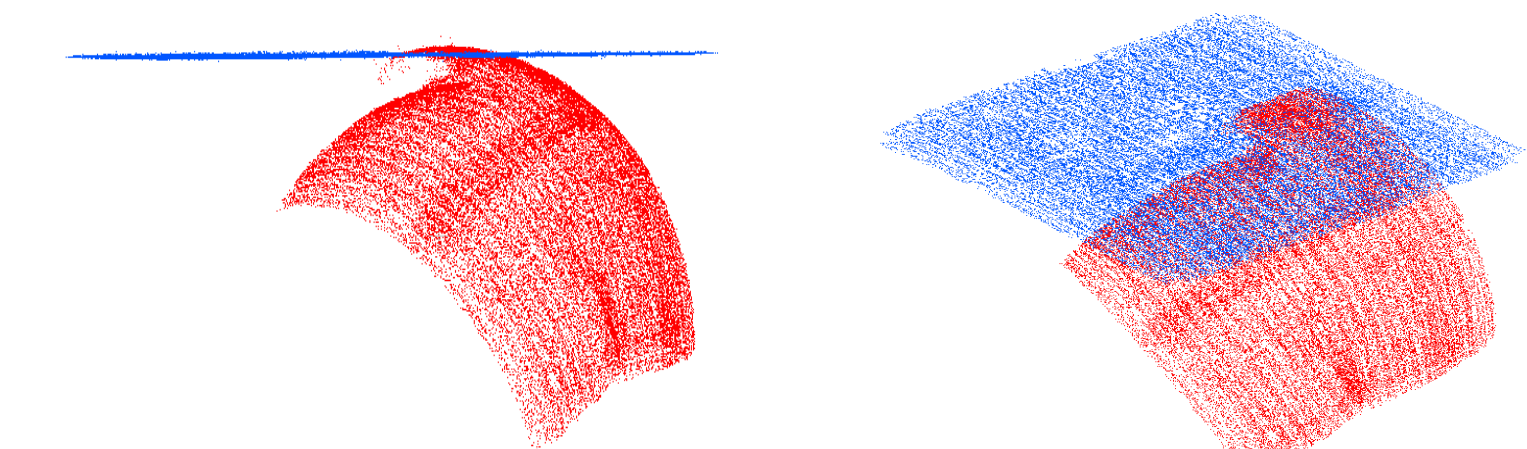


■ Блок бр. 1 ■ Блок бр. 2 ■ Блок бр. 3 ■ Блок бр. 4 ■ Блок бр. 5

У процесу мерења везних тачака и успостављања релативног односа путем SfM поступка генерише се велики број тачака које су видљиве на минимум два снимка. На крајевима снимака долази до геометријских деформација највећих по интензитету, а уз непознавање параметара радијалних и децентричних дисторзија, рачунање поправака сликовних координата за утицај дисторзија је немогућ. На овај начин мерења у блоку са великим бројем снимака, насталих са UAV платформама за снимање, уз недовољно добро познавање приближних вредности елемената спољашње оријентације, може да доведе до дивергенције решења, а самим тим и до неуспешне реконструкције 3D модела објекта од интереса. Та природа проблема је присутна и у блоку снимака коришћених у овом раду, на калибрационом полигону „Дебељача“, а користећи поменути софтверски систем *INPHO UASMaster*.



Блок снимака	c (mm)	ζ0 (mm)	η0 (mm)	σ <sub>0</sub> [µm]	RMSE Y [m]	RMSE X [m]	RMSE Z [m]	Број ОТ	Број везних тачака
Блок бр. 1	24,4778	0,0172	0,1434	3,8	0,021	0,030	0,032	16	16 833
Блок бр. 2	24,8506	0,0241	0,1408	6,6	0,028	0,036	0,084	20	11 362
Блок бр. 3	25,0445	0,0182	0,1404	5,2	0,028	0,027	0,075	24	7 353
Блок бр. 4	24,3772	0,0192	0,1409	3,8	0,021	0,018	0,032	29	14 037
Блок бр. 5	24,5508	0,0156	0,1316	4,1	0,012	0,023	0,021	26	10 735



Слика број 3: Резултат мерења везних тачака и SfM алгоритма, везне тачке мерене у блоку са и без приближних вредности елемената унутрашње оријентације

### 4. ЗАКЉУЧАК

У циљу даљег сагледавања могућности других софтверских решења који су доступни као комерцијални или отвореног кода, потребно је спровести низ додатних експеримената за потврду добијених емпиријских резултата у овом истраживању. Потврђено је да калибрациони полигон „Дебељача“, по својој просторној диспозицији и величини одговара захтевима тест калибрационих подручја мерних фотограметријских камера, као и у погледу броја фотосигналисаних оријентационих тачака. Истраживања других UAV фотограметријских система, посебно њихових дигиталних камера, на овом калибрационом полигону су сасвим оправдана, уколико се од њих очекују примене на пољу конвенционалних фотограметријских задатака. Код таквих задатака је природно да се претходно захтева доказ квалитета ових система, пре свега у погледу постигања очекиване геометријске тачности.

### ПРИЗНАЊА

Аутор се посебно захваљује ментору проф. др Драгану Михајловићу дипл. инж. геод., на безрезервној подршци и саветима током израде дипломског - мастер рада. Такође бих изразио захвалност Ненаду Бродићу маг. инж. геод., испред Лабораторије за фотограметрију и даљинску детекцију Грађевинског факултета, за само фотограметријско снимање насеља Дебељача и корисне савете, а затим и компанији „MapSoft d.o.o.“ из Београда на помоћи у реализацији пројекта мреже оријентационих тачака.