



Ovrednotenje različnih načinov označitve katastrskih mejnikov za fotogrametrično izmero z letalnikom in analiza vpliva izbranih dejavnikov na položajno točnost

Ciljni raziskovalni program »CRP 2019« v letu 2019

Raziskovalni projekt št. V2-1934

Lisec A., Kosmatin Fras, M., Grigillo, D., Čeh, M., Kozmus Trajkovski, K., Fetai, B., Drešček, U., Urbančič, T., Tekavec, J., Pavlovčič Prešeren, P., Kregar, K., Oštir, K., Drobne, S., Petrovič, D., Trobec, B. (2021): Ovrednotenje različnih načinov označitve katastrskih mejnikov za fotogrametrično izmero z letalnikom in analiza njihovega vpliva na položajno točnost oblaka točk in ortofota. Končno poročilo projekta CRP V2-1934. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

10. 12. 2021



Namen projekta

- Preučiti možnosti uporabe daljinskega zaznavanja (UAV) za namene zajema katastrskih prostorskih podatkov.
- Poudarek projekta je na optimizaciji fotogrametričnega zajema podatkov o položajih katastrskih točk z UAV.

Ključni cilji:

- Preučiti in ovrednotiti različne načine označitve **mejnikov za fotogrametrično izmero z daljinsko vodenimi letalniki** – predvsem z vidikov
 - možnosti prepoznavanja tarč pri slikovni obdelavi prostorskih podatkov,
 - položajne točnosti oblaka točk in ortofota, ter
 - položajne točnosti določitve koordinat mejnih točk v državnem geodetskem referenčnem sistemu.



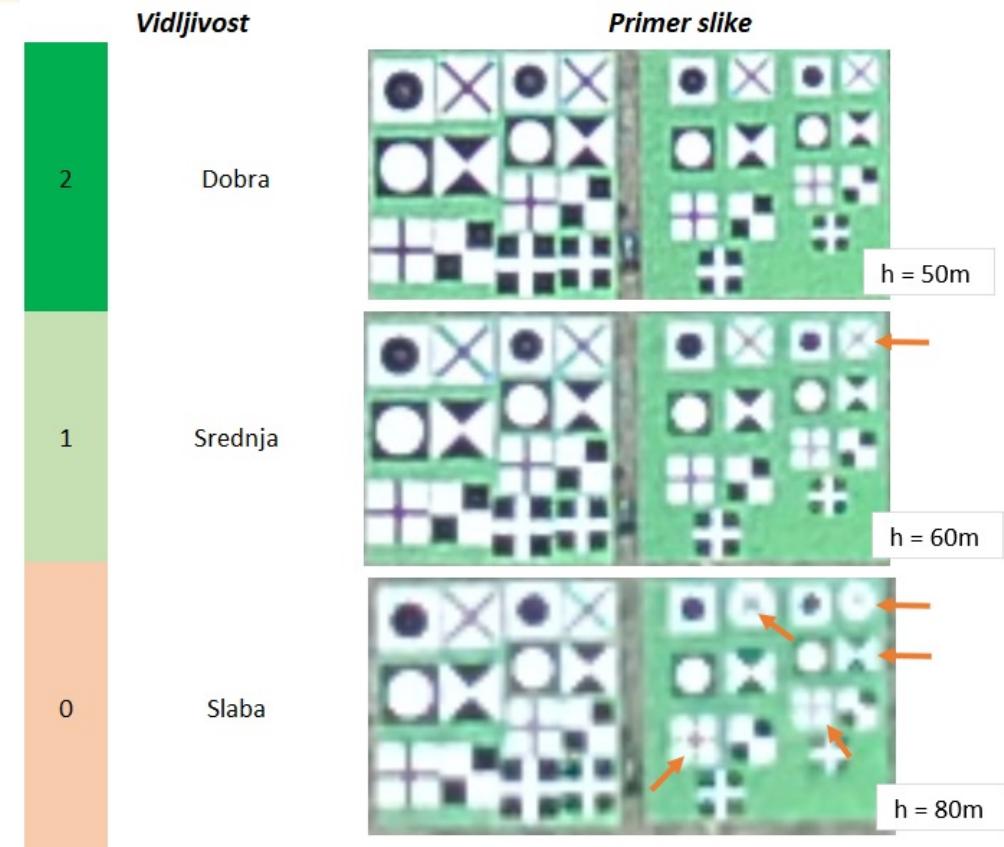
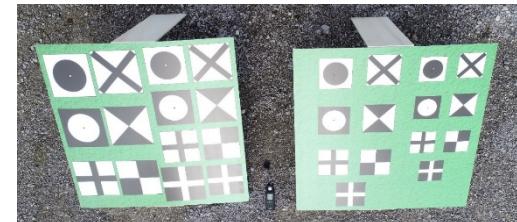
Preučevanje ustreznosti tarč

- **Cilji**

- Preučevanje ustreznosti tarč za označevanje detajlnih točk
- Pripraviti izbor označb za detaljne (zemljiškokatastrske) točke
- Izhodišča za priporočila

- **Testiranje vidljivosti tarč**

- Štiri velikostni razredi:
 - 21 cm, 18 cm, 15 cm in 12 cm;
- Sedem oblik tarč.

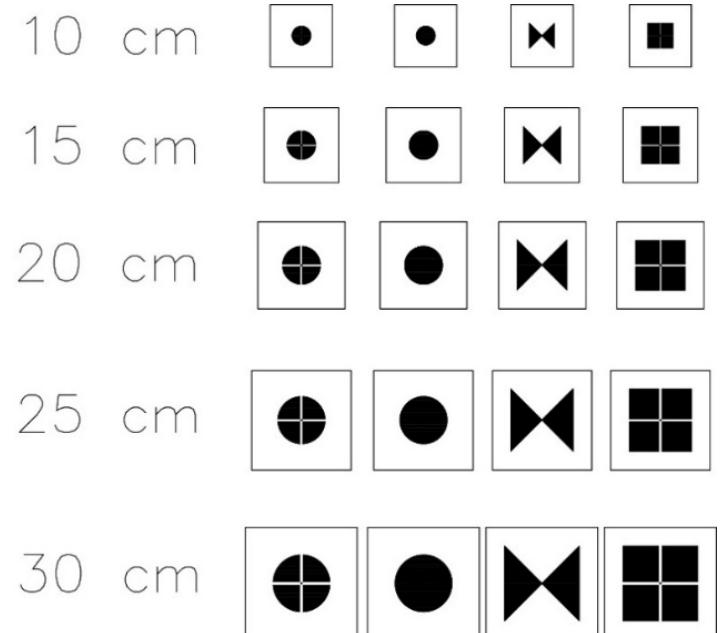


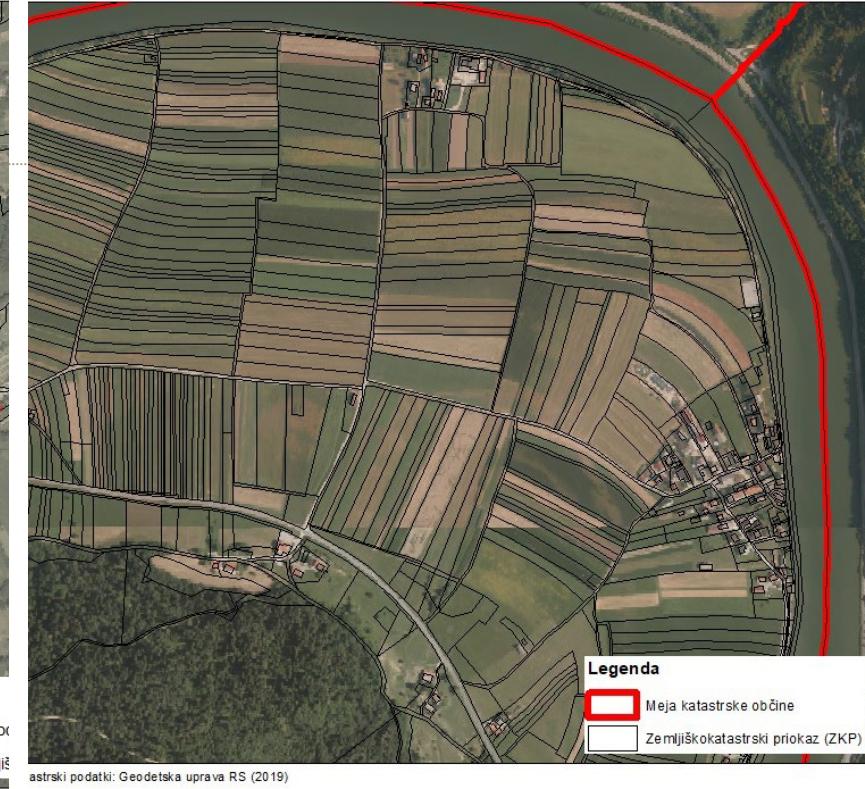
- Tarče za prvo delovišče:

- črn krog na beli podlagi z belim križem,
- črn krog na beli podlagi,
- bel križ na črni podlagi in
- diagonalna črno-bela polja.

- Tarče (maske) za asfalt

- Industrijsko izdelane oznake (geodetske točke, mejniki)





Izbor študijskih območij: Kandrše, Budanje, Kompolje

- **Vzpostavitev geodetske mreže (D96-17/TM):**

- Leica GS15 in Leica GS18 (GNSS statična izmera)

- **Vzpostavitev mreže oslonilnih in kontrolnih točk; testnih polj**

- Leica MultiStation MS50 (tahimetrična izmera)

- **UAV snemanje**

- DJI Phantom 4 Pro s fotoaparatom FC6310

goriščna razdalja 8,8 mm, velikost slikovnega senzorja 13,2 mm x 8,8 mm, geometrična ločljivost 20M piksov

OBRAZEC ZA SPREMLJANJE PARAMETROV UAV SNEMANJA	
Projekt: UAV v katastru	
PODATKI	
Datum snemanja	13/05/2020
Čas začetka snemanja	13:10
Čas konca snemanja	13:25
Letalnik	Phantom 4 Pro
preklop	80/70
višina leta [m]	35
spremenljivost vetra [1-5]	1
temperatura [°C]	21
relativna vlažnost [%]	
hitrost vetra [m/s]	0-1.6
višina trave C1 [cm]	do 30 cm
višina trave C2 [cm]	do 30 cm
višina trave C3 [cm]	do 30 cm
osvetljenost pred letom [lux]	2500
osvetljenost po letu [lux]	1300

Oblačnost

Delovišče Kandrše

- **Cilji**

- Preveriti vpliv zunanjih parametrov na kakovost georeferenciranih podob in oblaka točk
- Vzpostavitev testnih polj z različnimi oznakami mejnikov, izbor najbolj ustreznih tarč
- Izhodišča za priporočila za uporabo UAV fotogrametrije v katastru

- **Vzpostavitev geodetske mreže**
- **Vzpostavitev mreže oslonilnih/kontrolnih točk**
 - Gosta mreža za preučevanje vpliva števila oslonilnih točk na kakovost izdelkov
- **Vzpostavitev testnih polj**



- Vzpostavitev testnih polj z različnimi tarčami
- Tahimetrična izmera položajev tarč testnih polj
("prave vrednosti")

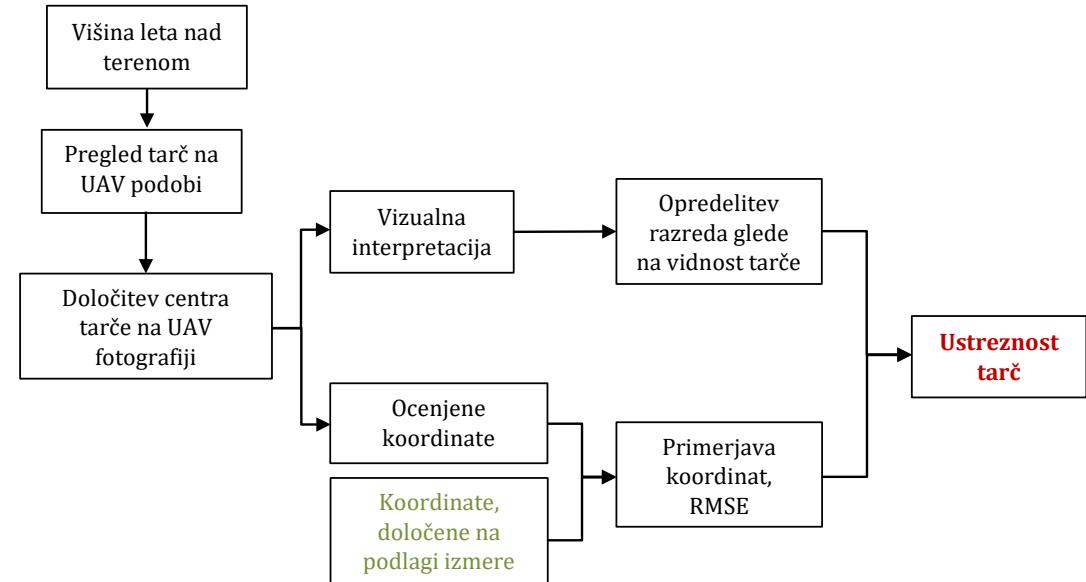


Testna polja Kandrše:

- Preučevanje vidnosti in prepoznavnosti različnih tarč
- Analiza vpliva vrste tarče na položajno točnost fotogrametrično določenih koordinat detajlnih točk
(primerjava s koordinatami, določenimi s tahimetrično izmero)
- Analiza vpliva izbranih dejavnikov na položajno točnost fotogrametrično določenih koordinat detajlnih točk

mejnik, plastičen, rumen, srednje višine, izstopajoč, viseč s terenom	mejnik, plastičen, rdeč, plitev, viseč s terenom	mejnik, plastičen, rumen, plitev, viseč s terenom	mejnik, plastičen, oranžen, plitev, viseč s terenom	mejnik, rdeč, nizek, viseč s terenom	mejnik, bel plastičen, srednje velik, izstopajoč iz terena, viseč s terenom
mejnik, plastičen, rumen, srednje višine, izstopajoč, horizontalen	mejnik, plastičen, rumen, izstopajoč, horizontalen	mejnik, rumen, podolgovat, izstopajoč iz terena, horizontalen	mejnik, visok, bel, plastičen, izstopajoč, viseč s terenom	mejnik, rdeč, visok, izstopajoč iz terena, viseč s terenom	plastičen moder, viseč s terenom
mejnik, plastičen, rjav, srednje višine	mejnik, plastičen, rjav viseč s terenom	mejnik betonski bel dvignjen, viseč s terenom, izstopajoč iz terena	mejnik betonski svetlo rumen, dvignjen, pokončen	mejnik betonski bel dvignjen, viseč s terenom, izstopajoč iz terena	mejnik betonski svetlo rumen, dvignjen, viseč s terenom
mejnik plastičen horizontalna glava, zabit do tal	mejnik, plastičen, srednje višine, viseč s terenom	mejnik, plastičen, plitev, rumen, viseč s terenom	mejnik plastičen, rumen viseč s terenom	mejnik betonski svetlo rumen, dvignjen, viseč s terenom	mejnik betonski bel dvignjen, pokončen, izstopajoč iz terena
bela obrobe kvadratna, črni sektorji kroga, bel križ	okrogla črna z belo piko	brez obrobe, diagonalni sektorji, črno bela	brez obrobe, kvadrat, črn, bel križ	bela obroba kvadratna, črni sektorji kroga, bel križ	okrogla črna z belo piko
brez obrobe, diagonalni sektorji, črno bela	brez obrobe, kvadrat, črn, bel križ	brez obrobe, diagonalni sektorji, črno bela	brez obrobe, kvadrat, črn, bel križ	bela obroba kvadratna, črni sektorji kroga, bel križ	okrogla črna z belo piko
20x20	10x10	20x20	10x10	20x20	15x15

Preučevanje vidnosti in prepoznavnosti različnih tarč pri fotogrametrični obdelavi



Polygon	Point Numb	Easting (true)	Easting (meas)	E (true-meas)	dx2	Northing (true)	Northing (meas)	N (true-meas)	dy2	Height (true)	Height (meas)	Z (true-meas)	dz2	screenshot	visibility
TP1	1	519969,006	519969,031	-0,025	0,00060787	100235,588	100235,608	-0,020	0,00038095	235,423	235,463	-0,039	0,0015563	capture_1.jpg	1
TP1	2	519968,983	519969,009	-0,026	0,00069059	100236,428	100236,449	-0,021	0,00044062	235,404	235,422	-0,018	0,00031919	capture_2.jpg	2
TP1	4	519969,446	519969,467	-0,021	0,00043945	100236,283	100236,298	-0,015	0,00022943	235,381	235,405	-0,024	0,00055333	capture_4.jpg	2
TP1	5	519969,130	519969,148	-0,018	0,00032002	100237,117	100237,131	-0,014	0,00019307	235,383	235,412	-0,029	0,00081413	capture_5.jpg	2
TP1	6	519969,652	519969,671	-0,019	0,00037291	100237,032	100237,052	-0,020	0,00041812	235,369	235,379	-0,010	0,0001056	capture_6.jpg	2
TP1	8	519970,017	519970,041	-0,024	0,00057581	100237,426	100237,448	-0,022	0,00049217	235,315	235,323	-0,009	7,6213E-05	capture_8.jpg	2



Študijsko območje Budanje

- Vzpostavitev geodetske mreže
- Vzpostavitev mreže oslonilnih/kontrolnih točk
- Označba „mejnih znamenj“

• Cilji

- Možnosti prepoznavanja mejnikov nove izmere
- Preučiti vpliv višine leta / prostorske ločljivosti na fotogrametrične izdelke
- Izhodišča za priporočila za uporabo UAV v katastru



Delovišče Budanje

- Preučevanje vpliva višine leta na položajno točnost fotogrametričnega bloka
- Zahtevna vzpostavitev mreže oslonilnih in kontrolnih točk zaradi razgibanosti terena

DETAJLNE TOČKE:

- Preučevanje vidnosti in prepoznavnosti izbranih mejnikov in tarč – simulacija mejnih oznak na razgibanem terenu;
- Analiza vpliva vrste tarče na položajno točnost fotogrametrično določenih koordinat detajlnih točk
- Analiza vpliva izbranih dejavnikov na položajno točnost fotogrametrično določenih koordinat detajlnih točk

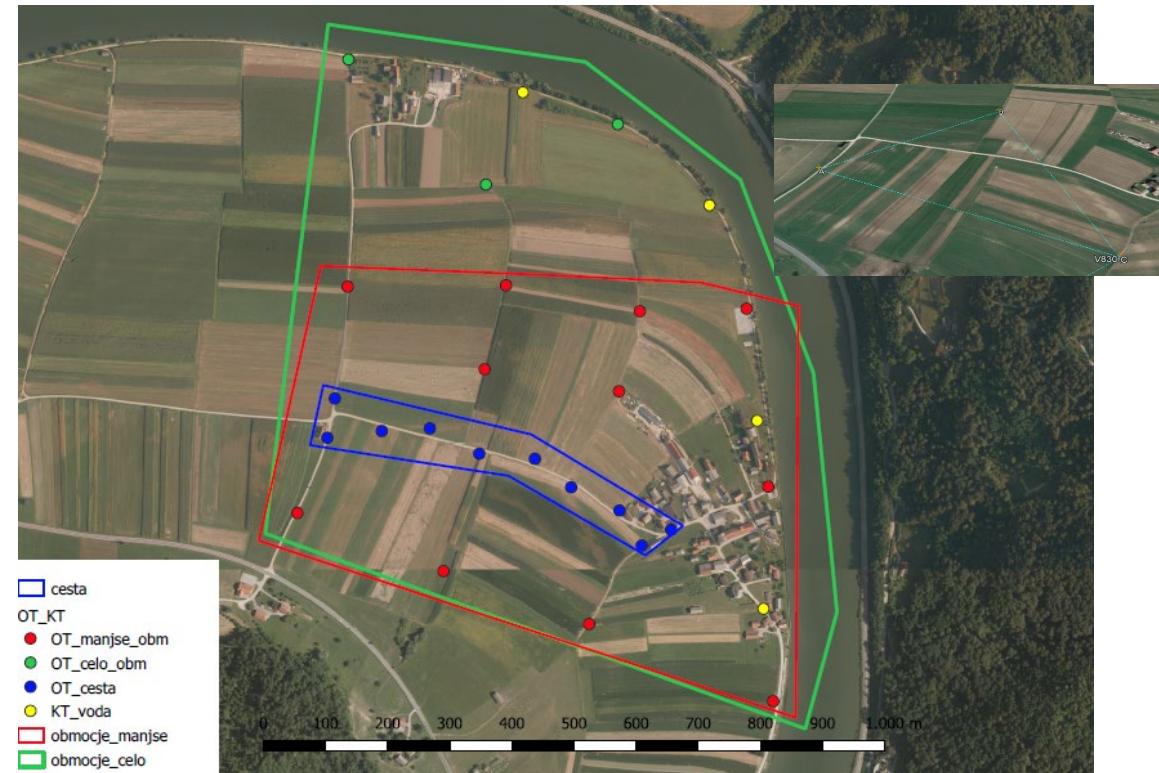


Študijsko območje Kompolje

Cilji

- Preučiti vpliv višine leta / prostorske ločljivosti na fotogrametrične izdelke
- RTK opazovanja GNSS sprejemnika letalnika
- Izhodišča za priporočila za uporabo UAV v katastru

- Vzpostavitev geodetske mreže
- Vzpostavitev mreže oslonilnih/kontrolnih točk
- Označba „mejnih znamenj“

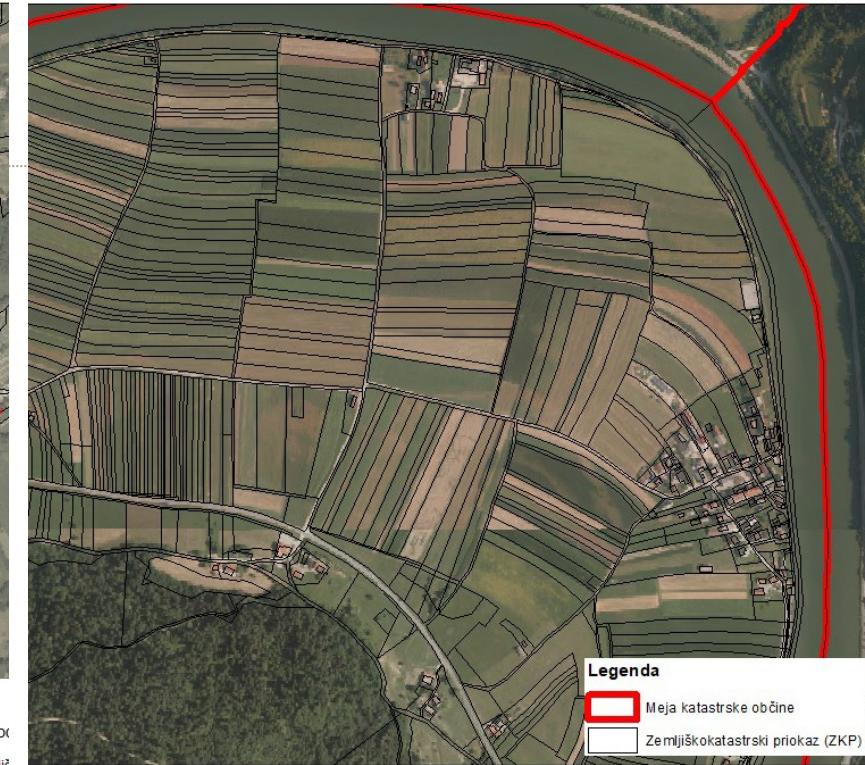




o in katastrski podatki: Geodetska uprava RS (2019)

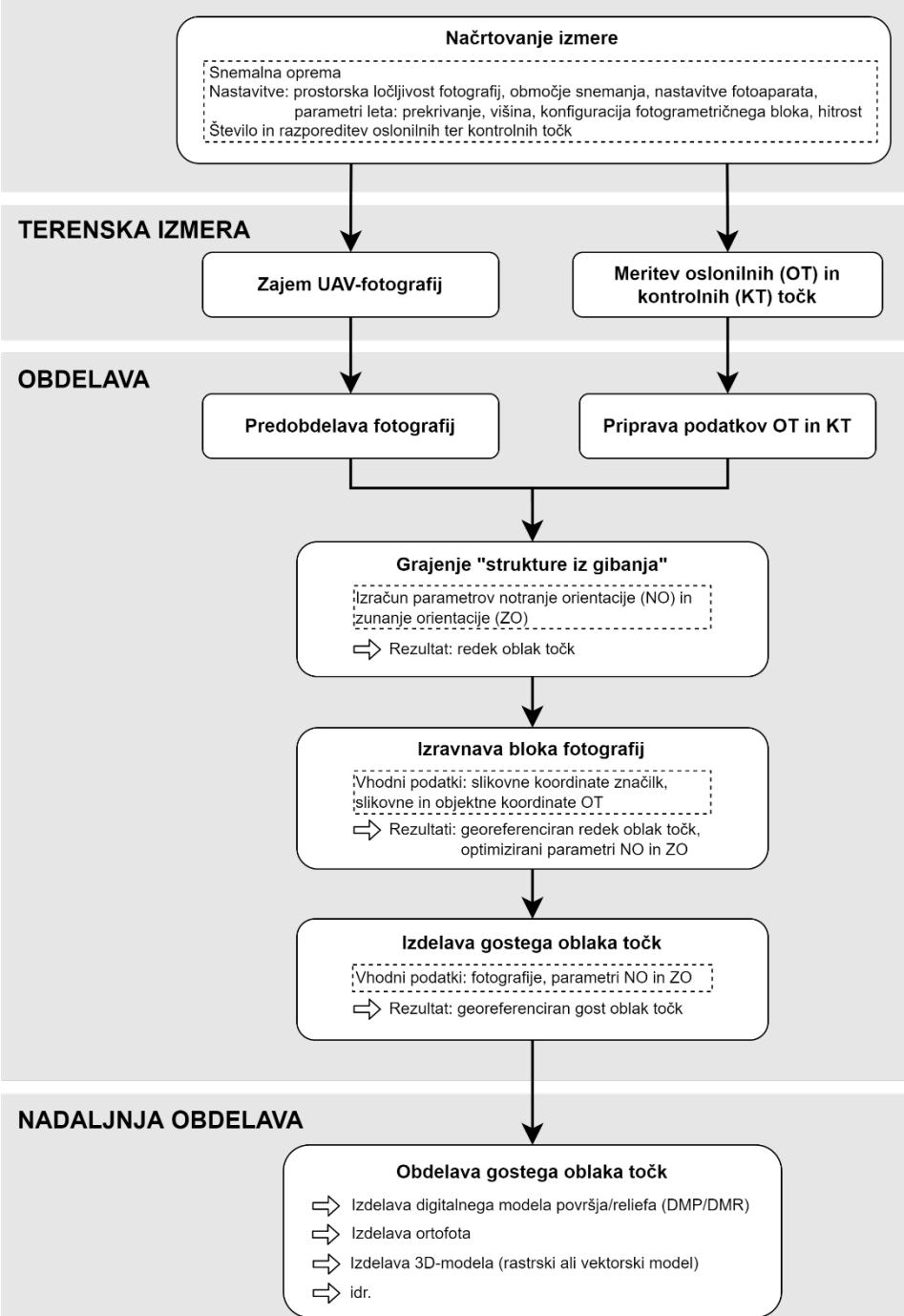


Kov:
to foto in katastrski podatki: Geodetska uprava RS (2019)
love izmere: Geodetska družba d.o.o. (2019)



astrski podatki: Geodetska uprava RS (2019)

Rezultati in priporočila



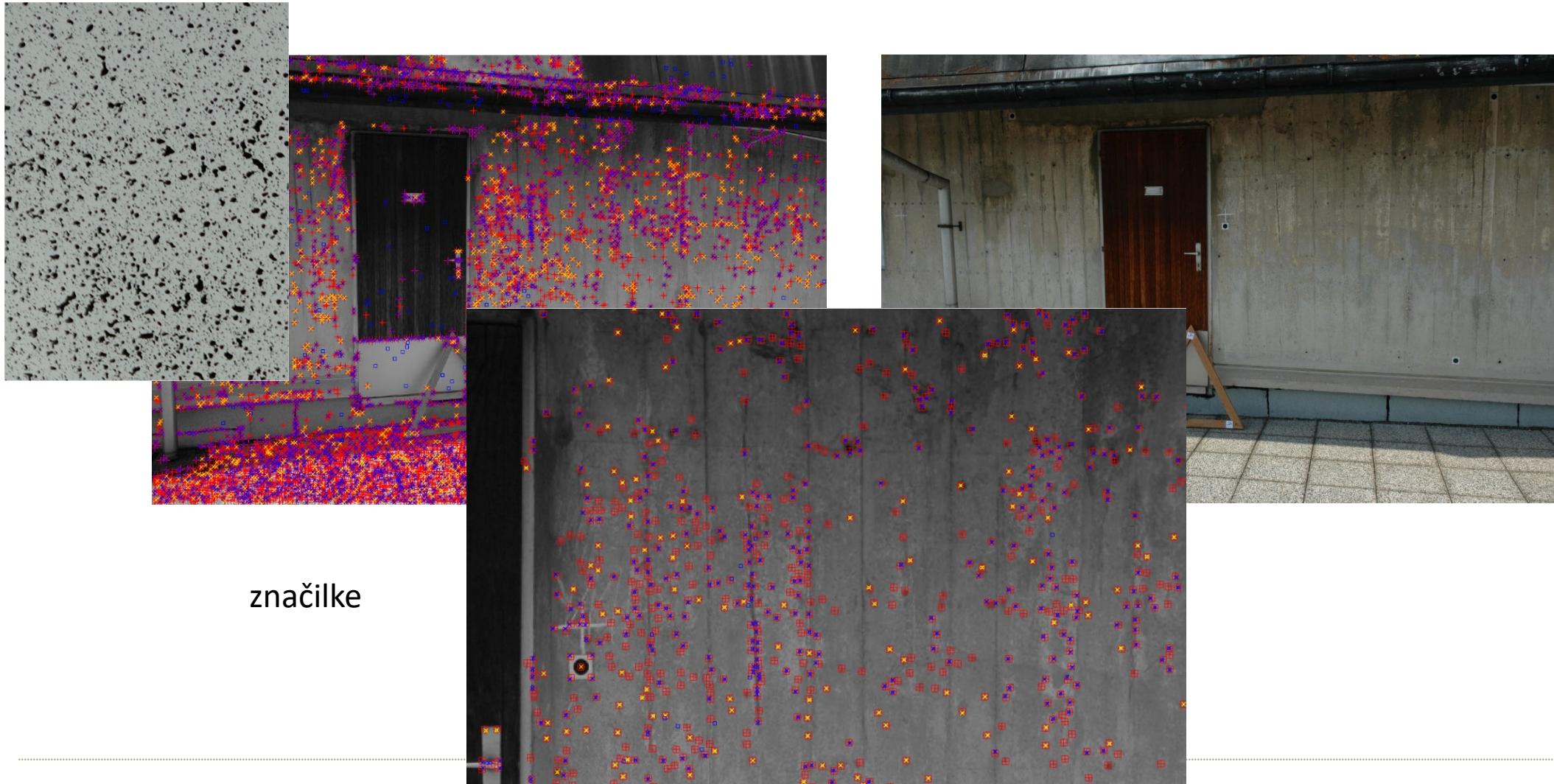
Procesni model obdelave podatkov in parametri, ki vplivajo na kakovost

Grajenje strukture iz gibanja (SfM)

Predstavitev izbranih dejavnikov, ki vplivajo na kakovost fotogrametričnih izdelkov:

- fotoaparat in kakovost fotografij
 - nemerski fotoaparati, samokalibracija v postopku SfM, vrsta zaklopa, kakovost senzorja in objektiva, priporoča se fiksna goriščna razdalja
 - prostorska ločljivost in fotografска kakovost fotografij, osvetlitev, odprttona zaslonke, občutljivost senzorja (odstranitev neostrih fotografij pred obdelavo)
- načrtovanje iz izvedba aerofotografirjanja
 - konfiguracija fotogrametričnega bloka
 - prekrivanje fotografij
 - prostorska ločljivost fotografij (GSD)
- ustrezna uporaba oslonilnih (OT) in kontrolnih (KT) točk

Izračun orientacij v SfM: iskanje značilk

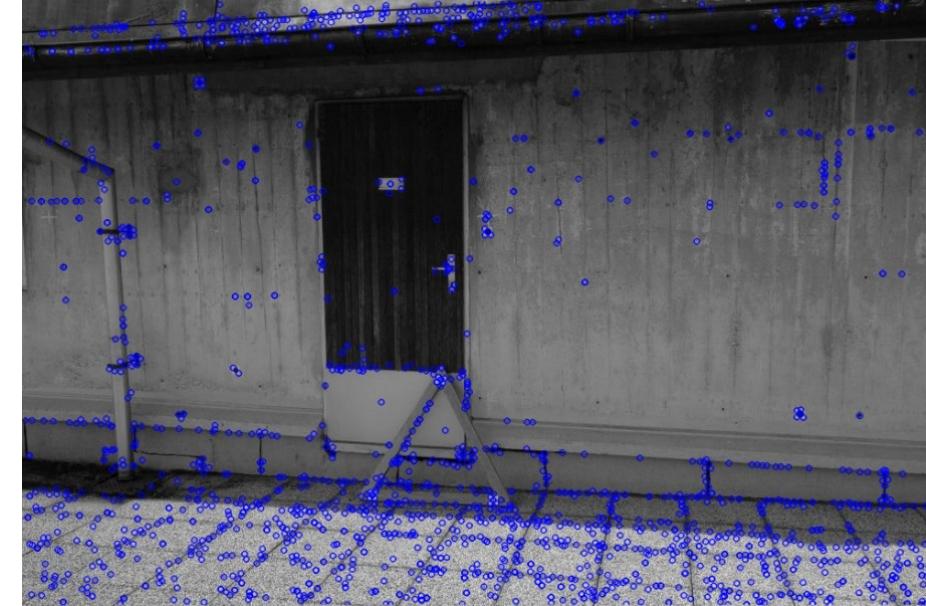


Izračun orientacij v SfM: slikovno ujemanje



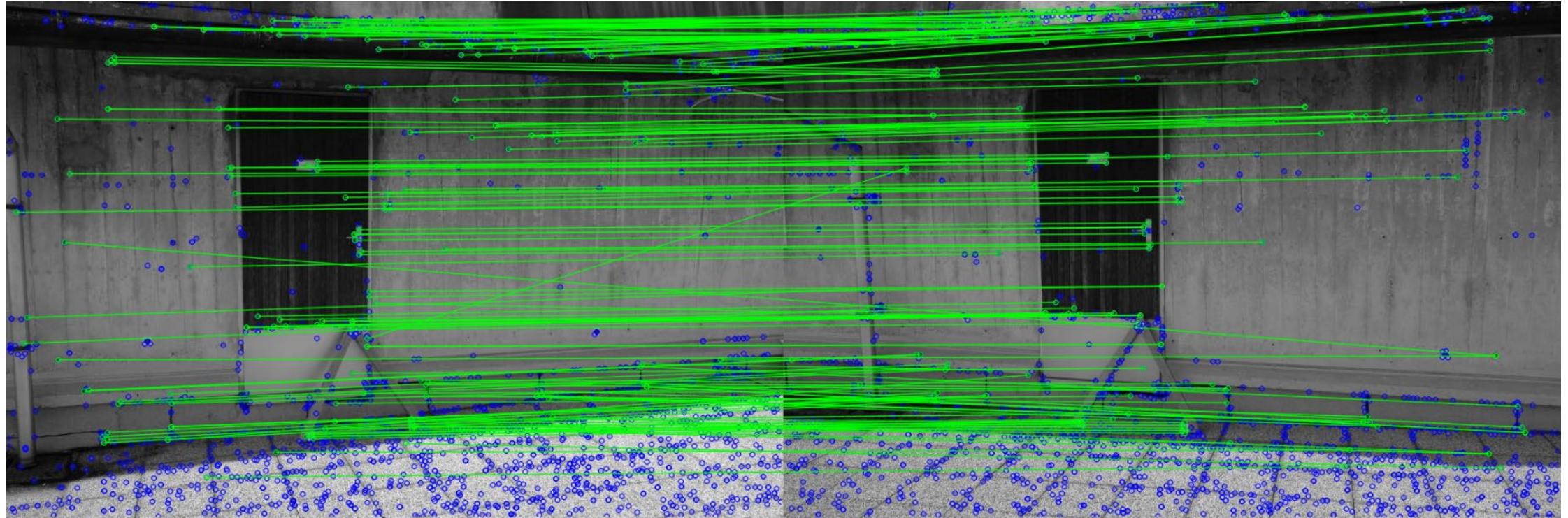
71	120	24	6	1	2	8	44	41	...
0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
16	6	25	77	6	1	6	76	54	...
0	0	0	0	0	0	0	0	3	...
4	0	0	18	67	2	0	2	11	...
6	12	8	4	16	112	64	30	64	...
22	65	125	36	22	3	3	10	58	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

deskriptorji



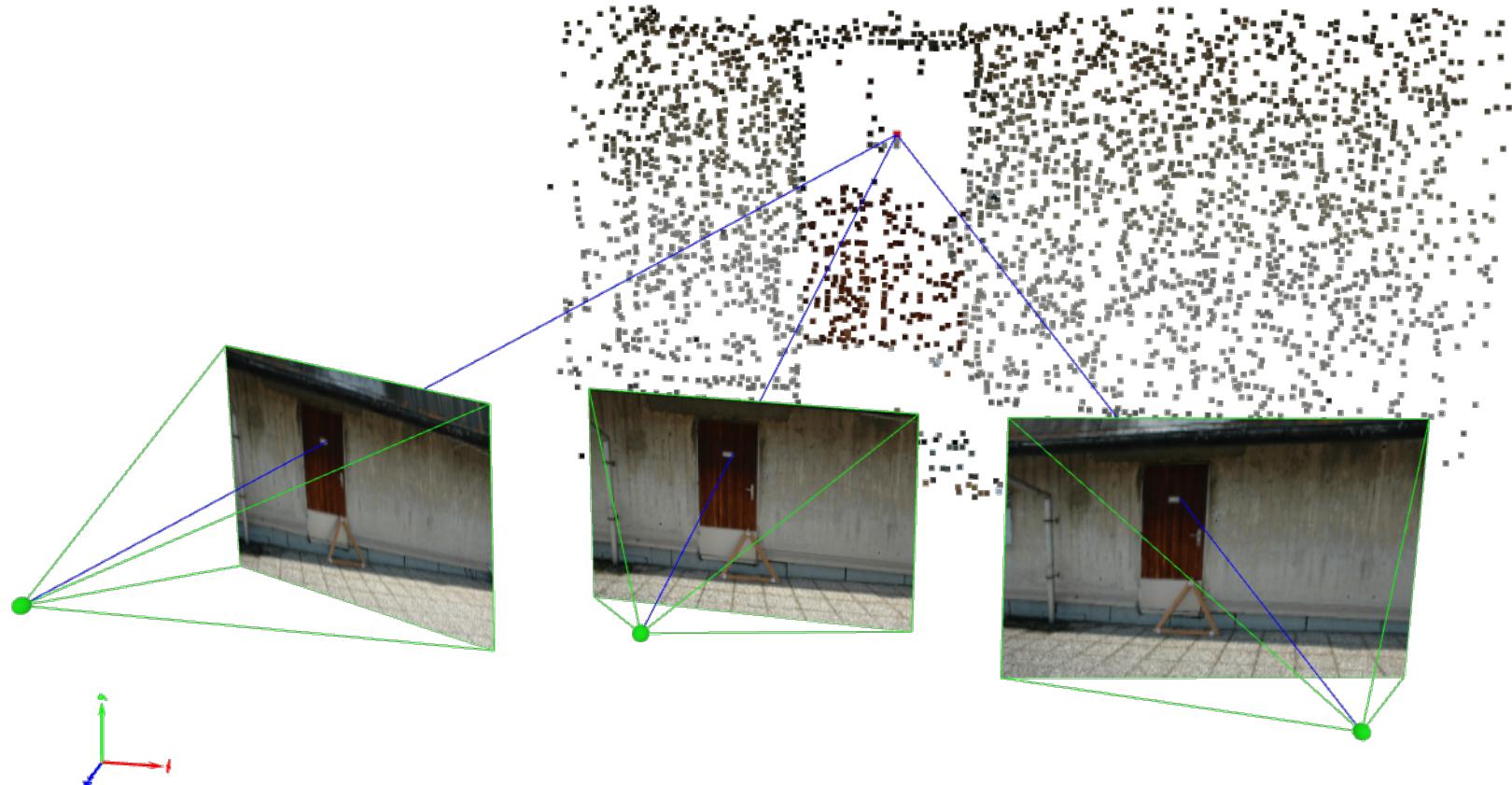
28	33	5	0	0	21	90	54	136	...
3	0	0	1	25	26	4	5	26	...
46	22	54	63	23	9	16	29	43	...
0	0	0	0	0	1	0	0	6	...
92	134	5	4	100	33	0	0	55	...
118	9	1	2	44	53	9	6	4	...
0	0	0	0	0	0	0	0	8	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Izračun orientacij v SfM: slikovno ujemanje



⇒ Istočasna določitev notranje in zunanje orientacije fotografij ter izračun redkega oblaka točk v poljubnem koordinatnem sistemu.

SfM: Redek oblak točk



Meritev oslonilnih točk

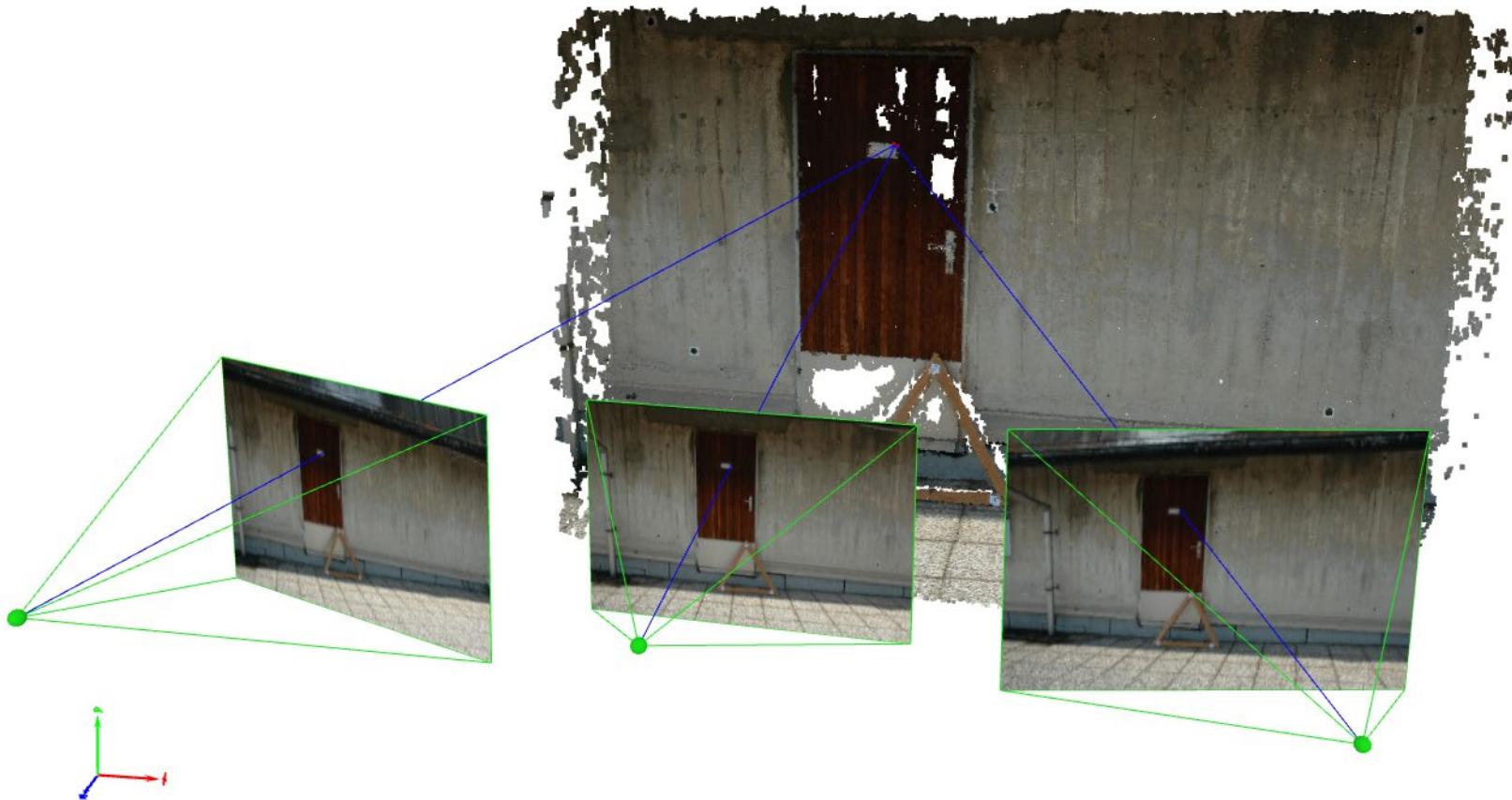


Na VSEH fotografijah

Po meritvi OT istočasni:

- ⇒ preračun notranje orientacije fotografij
- ⇒ preračun zunanje orientacije in redkega oblaka točk v referenčni koordinatni sistem
(manj primerna možnost: transformacija relativno orientiranega modela v referenčni koordinatni sistem)

Gosto slikovno ujemanje (MVS): gost oblak točk



Načrtovanje in izvedba aerofotografiranja

Rotorska letalnika, uporabljena v projektu:

DJI Phantom 4 Pro

slikovni senzor 1“ CMOS (13,2 mm x 8,8 mm)
geometrična ločljivost 5472 x 3648 piklov
goriščna razdalja 8,8 mm
prostorska ločljivost GSD (H/36,5) cm/piksel

DJI Phantom 4 RTK

slikovni senzor 1“ CMOS (13,2 mm x 8,8 mm)
geometrična ločljivost 5472 x 3648 piklov
goriščna razdalja 8,8 mm
prostorska ločljivost GSD (H/36,5) cm/piksel

večfrekvenčni sprejemnik RTK GNSS

GPS: L1/L2; GLONASS: L1/L2; BeiDou: B1/B2; Galileo:
E1/E5

položajna točnost

višinska 1,5 cm + 1 ppm (RMS)
ravninska 1 cm + 1 ppm (RMS)

Načrtovanje in izvedba aerofotografiranja

Načrtovanje

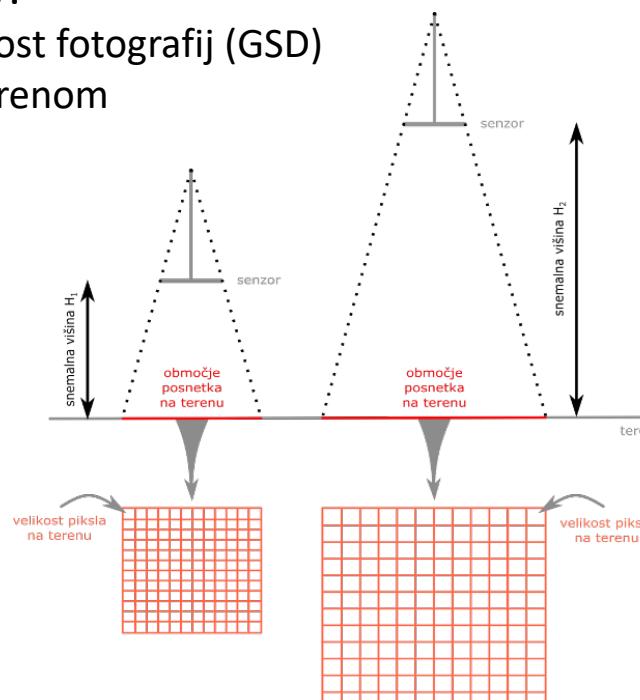
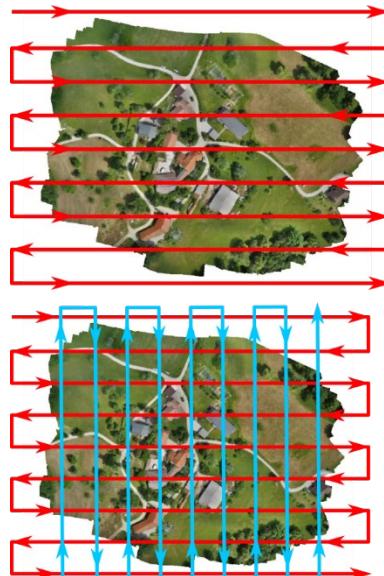
Konfiguracija fotogrametričnega bloka

Prekrivanje fotografij: 80% / 60% - 70%

Način georeferenciranja (izmera OT)

Želena točnost izdelkov:

- ⇒ prostorska ločljivost fotografij (GSD)
- ⇒ višina leta nad terenom



Izkušnje in priporočila pilota:

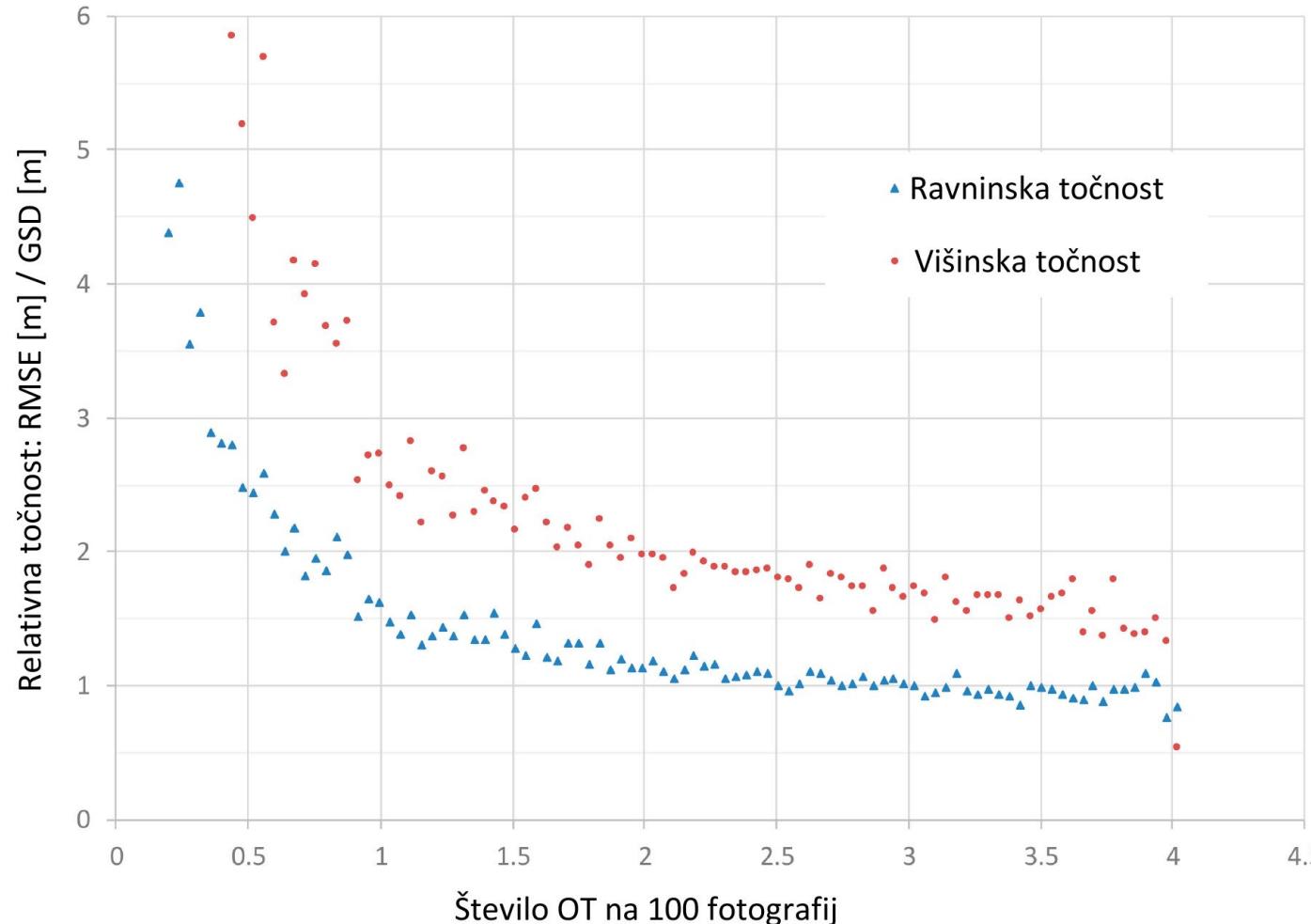
Pred izvajanjem letalskih operacij je pomembna priprava:

- preverjanje območij (se sploh sme leteti oz. pod kakšnimi pogoji): letališča, vojaška območja, t.i. geografske cone (prometnice in naselja)
- vremenska napoved (padavine, veter)

Na samem terenu pozor na:

- daljnovodi in ostala nadzemna napeljava
- visoka drevesa, antene, oddajniki ipd. visoki objekti
- močan veter s sunki - upoštevati, da je na višini lahko veter precej močnejši kot na tleh
- v primeru padavin letalnik ne sme leteti

Točnost glede na prostorsko ločljivost fotografij (GSD) in število OT



Ravninska točnost:

± GSD pri 2.5-3 OT na 100 fotografij
z več OT ravninska točnost konvergira proti $2/3$ GSD

Višinska točnost:

± $1,5 \times$ GSD pri 4 OT na 100 fotografij

Tudi pri uporabi več OT točnost ne narašča več.

(Sanz-Ablanedo et al., 2018)

Uporaba nemerskih fotoaparatov: samokalibracija za izračun NO v postopku SfM

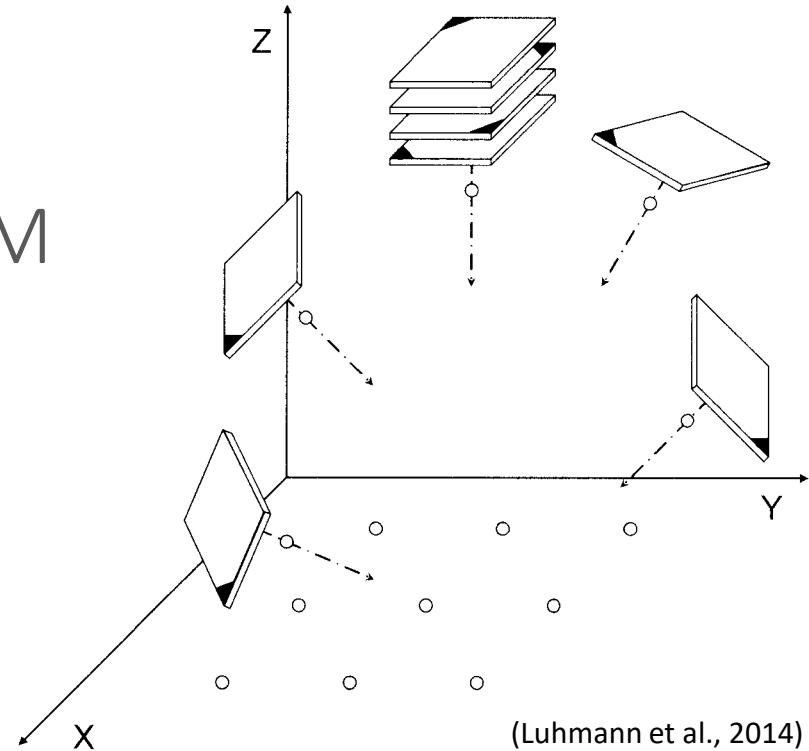
Za kalibracijo se uporabijo fotografije objekta

Parametri NO se določijo istočasno z meritvami objekta v postopku grajenje strukture iz gibanja SfM

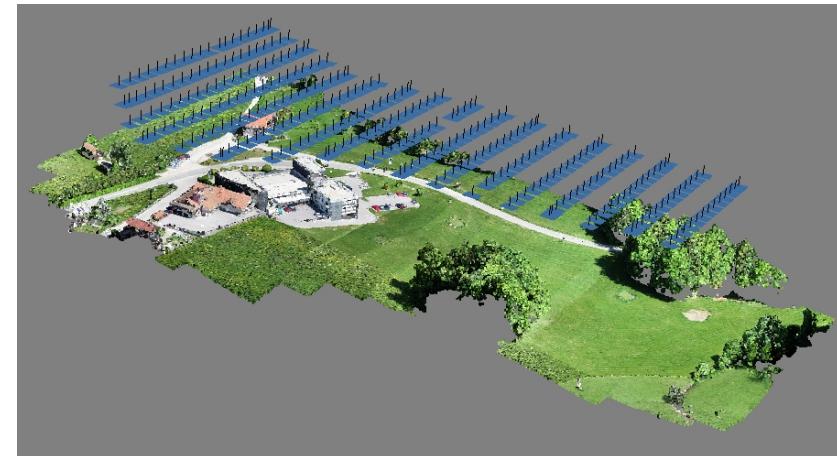
⇒ maksimizira natančnost rekonstrukcije objekta

Pogoj za uspešen izračun parametrov NO so konvergentne fotografije

⇒ težko zagotovljivo pri aeroposnetkih



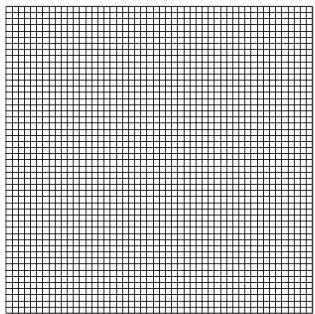
(Luhmann et al., 2014)



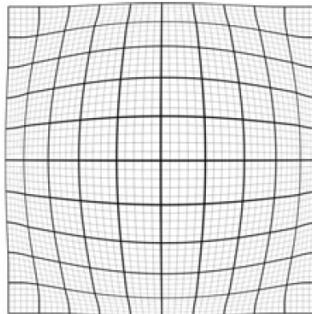
Posledice neustreznega modeliranja NO (optična distorzija)

Vzorci distorzije objektiva

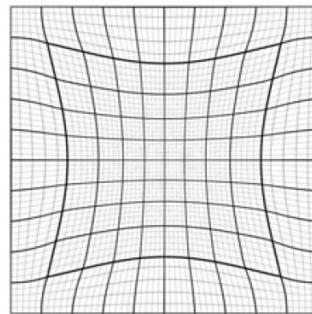
Idealna



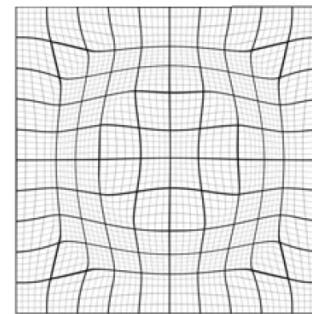
Sodčasta



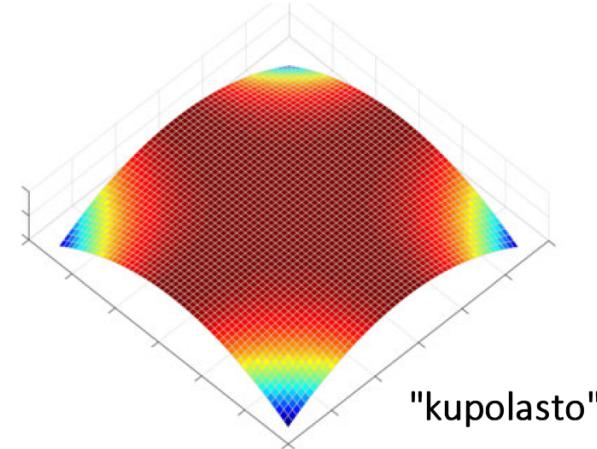
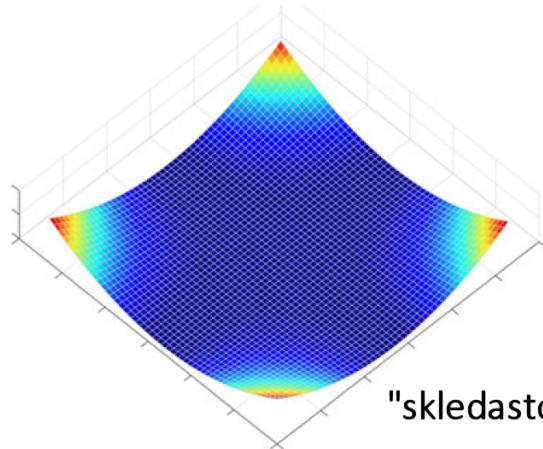
Blazinasta



Kompleksna



Popačenje SfM-modela površja

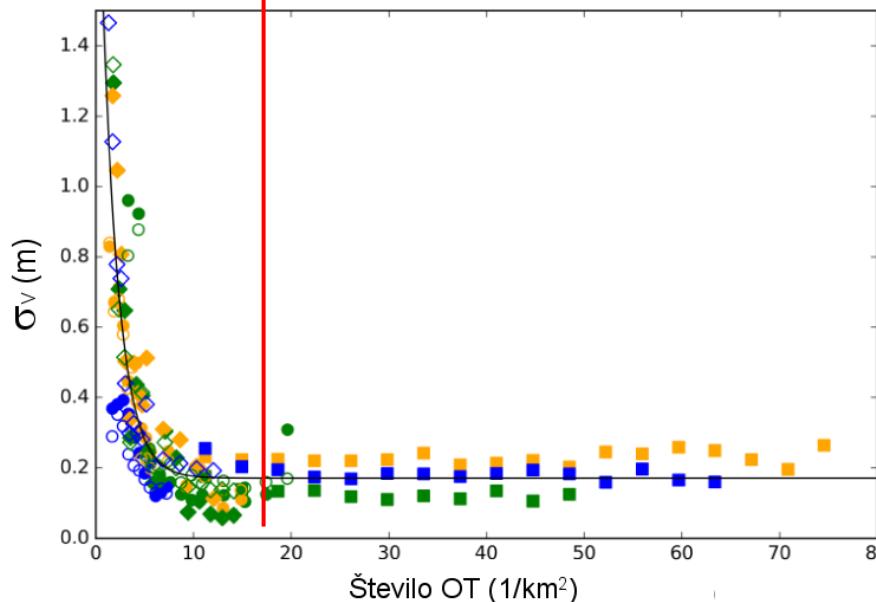


(Carboneau in Dietrich, 2017)

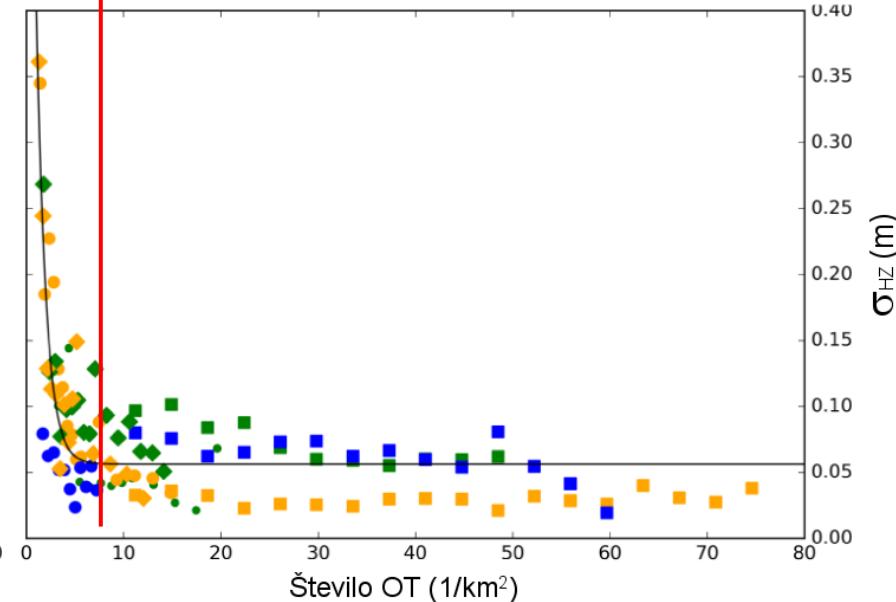
Rešitev: ustrezna uporaba oslonilnih točk

Gostota oslonilnih točk

17



7



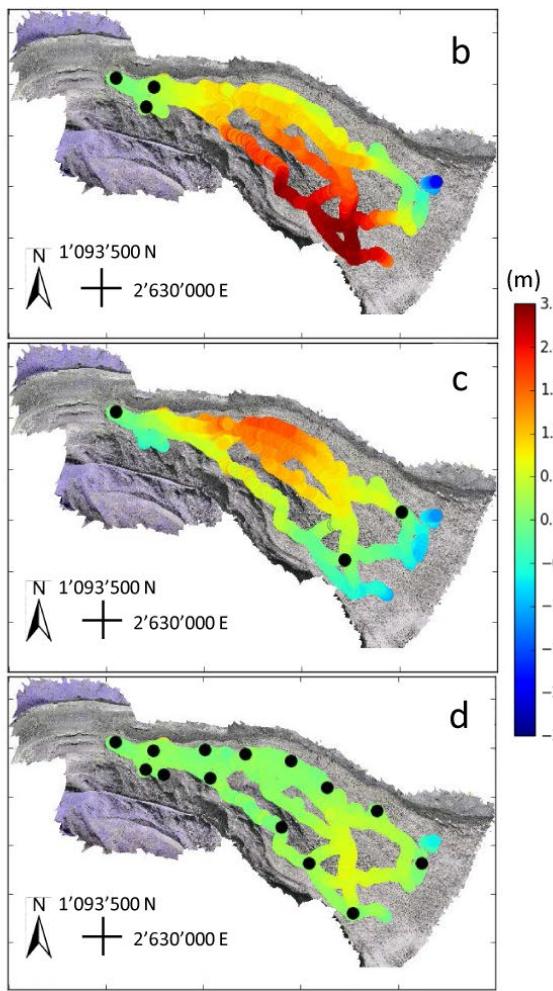
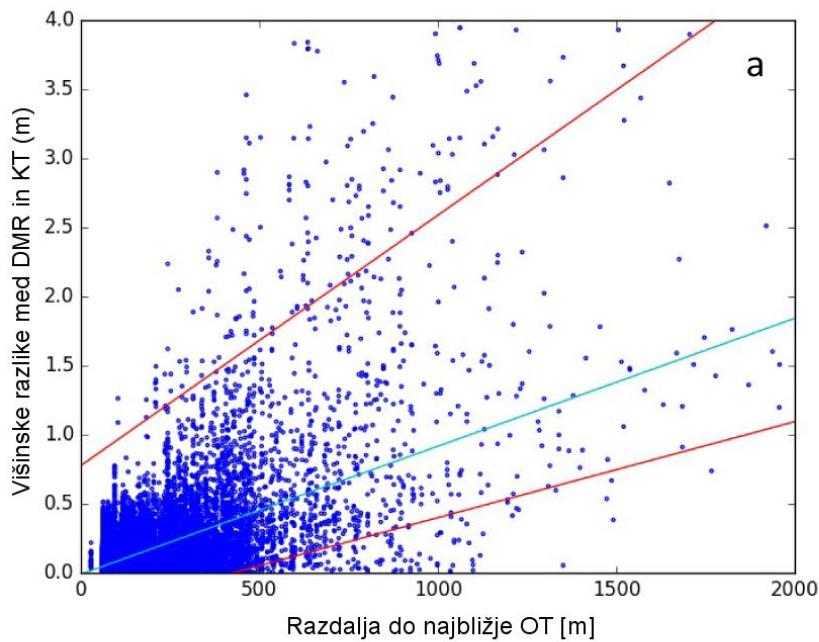
$$\sigma = a \cdot \exp(-b \cdot \rho_{OT}) + c$$

	3 OT / km^2	12 OT / km^2
σ_v	0,58 m	0,19 m

	3 OT / km^2	12 OT / km^2
σ_{hz}	0,13 m	0,06 m

(Gindraux et al., 2017)

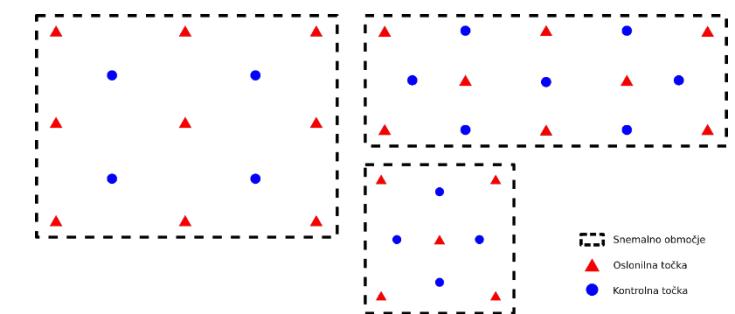
Oddaljenost do najbližje OT



Za vsakih 100 m oddaljenosti do najbližje OT višinsko odstopanje naraste za ~ 10 cm

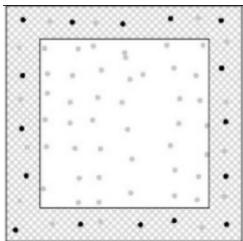
Obsežno in enakomerno razporejene OT!

(v obliki trikotniške mreže, ki minimizira razdaljo do najbližje OT)

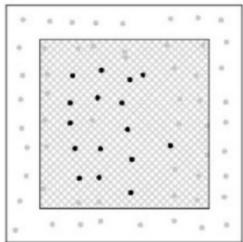


(Gindraux et al., 2017)

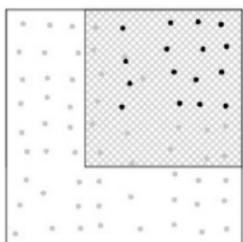
Razporeditev OT – ravninska točnost



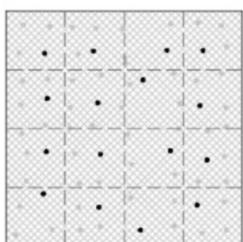
➤ robna



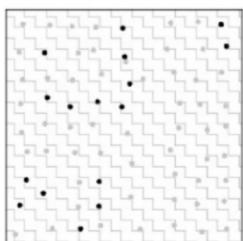
➤ centralna



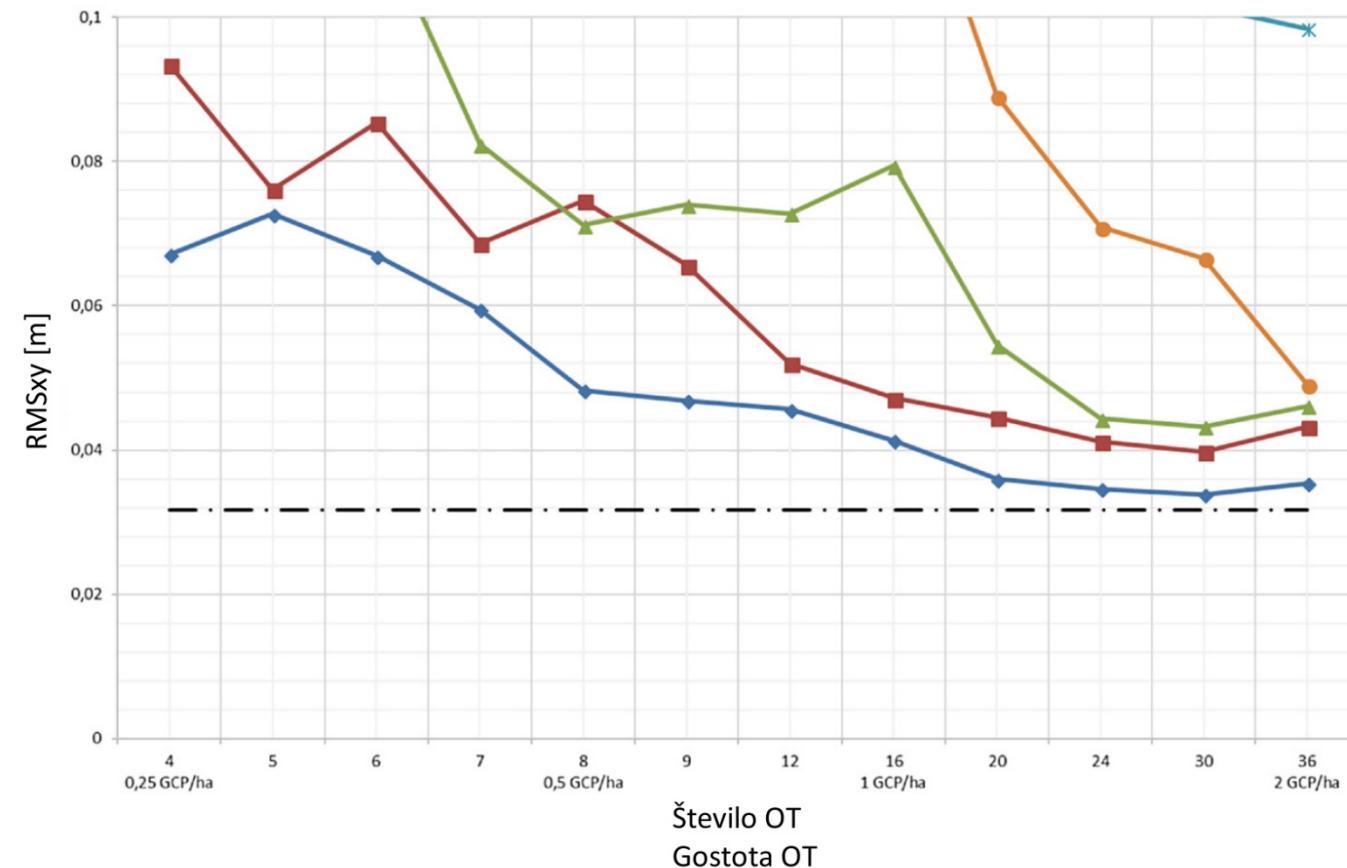
➤ kotna



➤ strateška



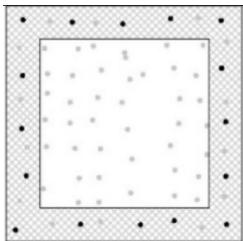
➤ naključna



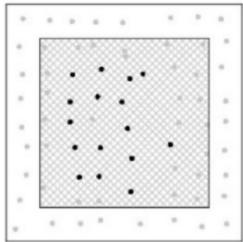
OT na robovih območja izboljšajo ravninsko točnost oblaka točk.

(Martínez-Carricando et al., 2018)

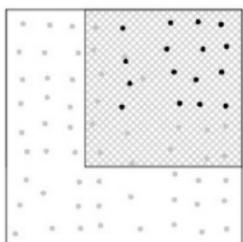
Razporeditev OT – višinska točnost



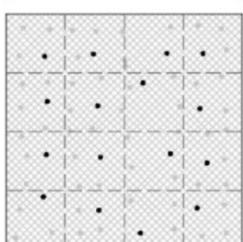
➤ robna



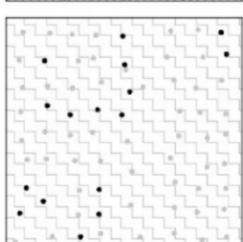
➤ centralna



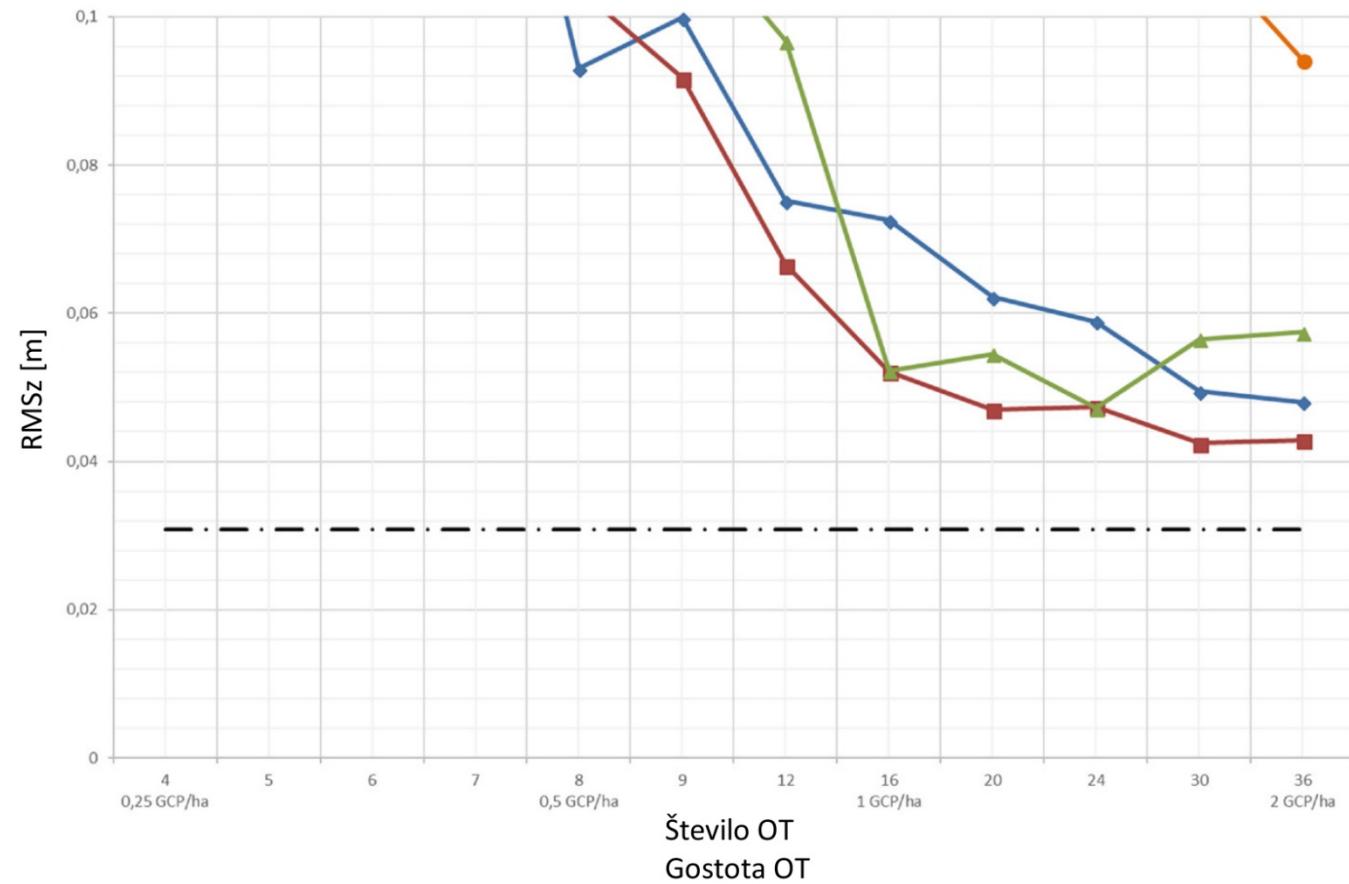
➤ kotna



➤ strateška



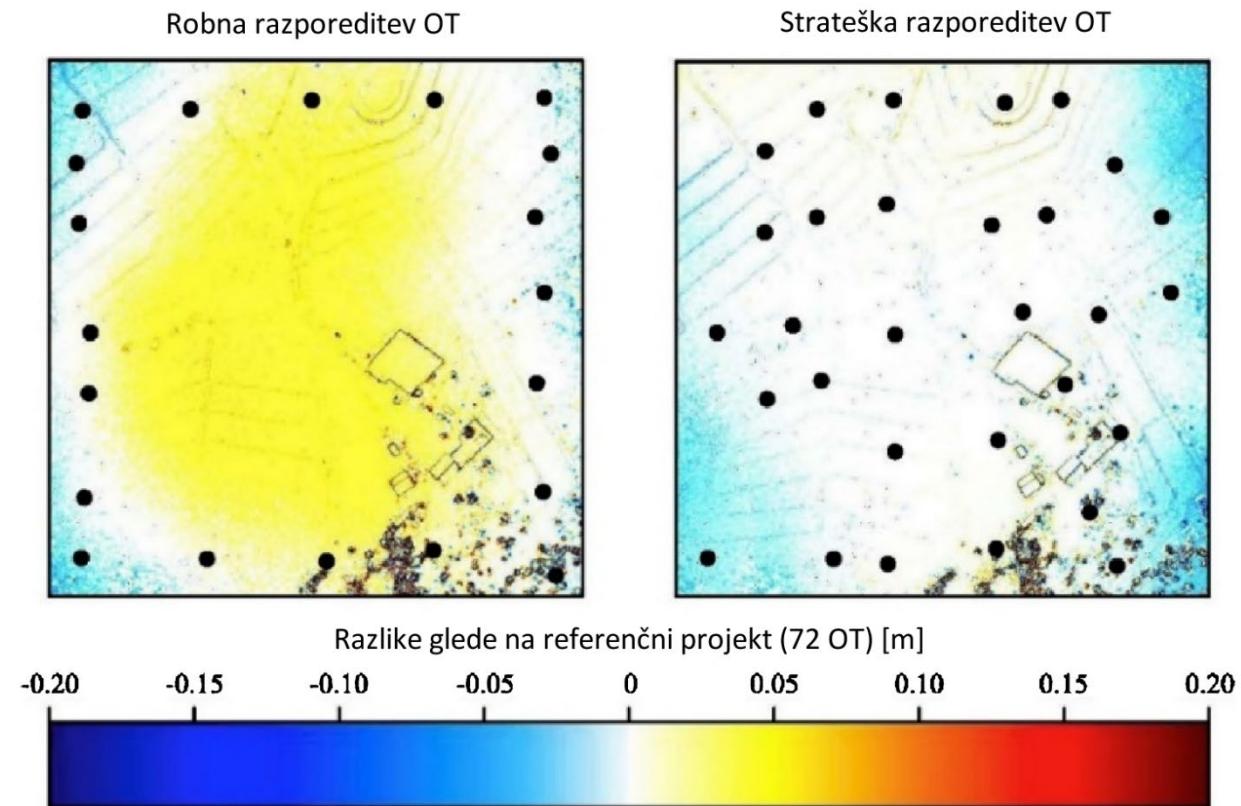
➤ naključna



OT v sredini območja izboljšajo višinsko točnost oblaka točk.

(Martínez-Carricando et al., 2018)

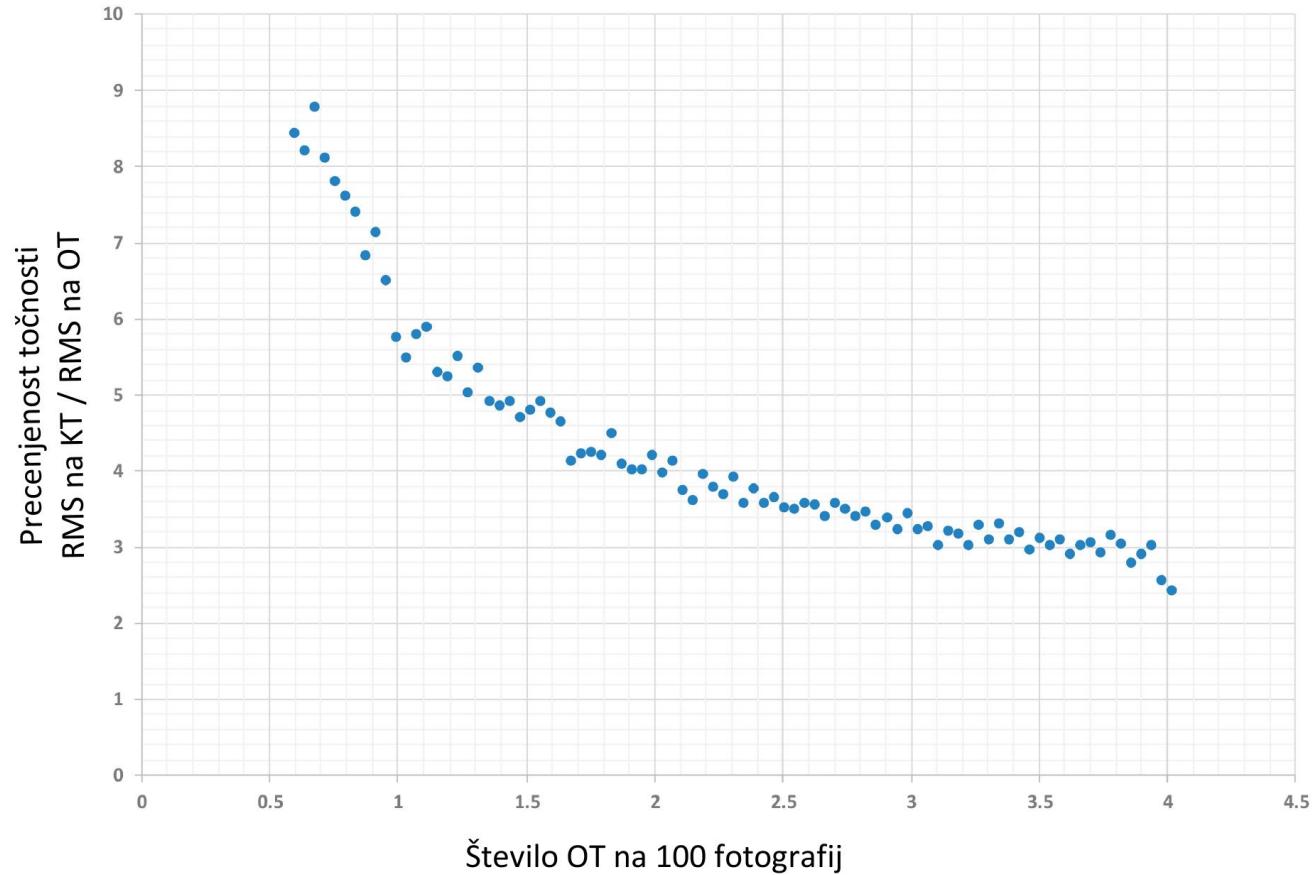
Vpliv razporeditve OT na višinsko točnost oblaka točk



Učinek „kupole“ se pojavi na veliki oddaljenosti od OT.

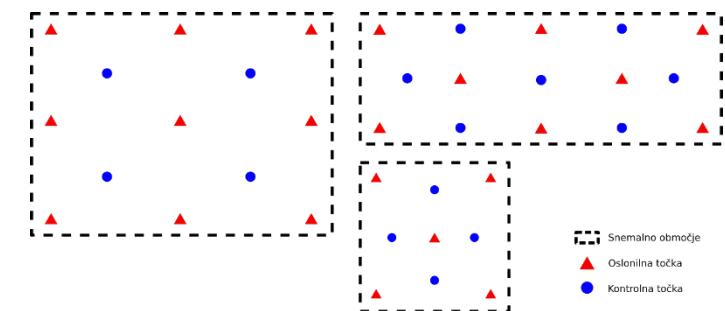
(Martínez-Carricondo et al., 2018)

Pomen uporabe KT za oceno točnosti izdelkov



Ocena točnosti izdelkov le na podlagi OT je precenjena.

Za korektno oceno točnosti oblaka točk morajo biti tudi KT enakomerno razporejene po celotnem območju.



(Sanz-Ablanedo et al., 2018)

Potrditev ugotovitev na delovišču Kandrše

Območje: 300 x 120 m, cca 20 m višinske razlike

37 OT / KT

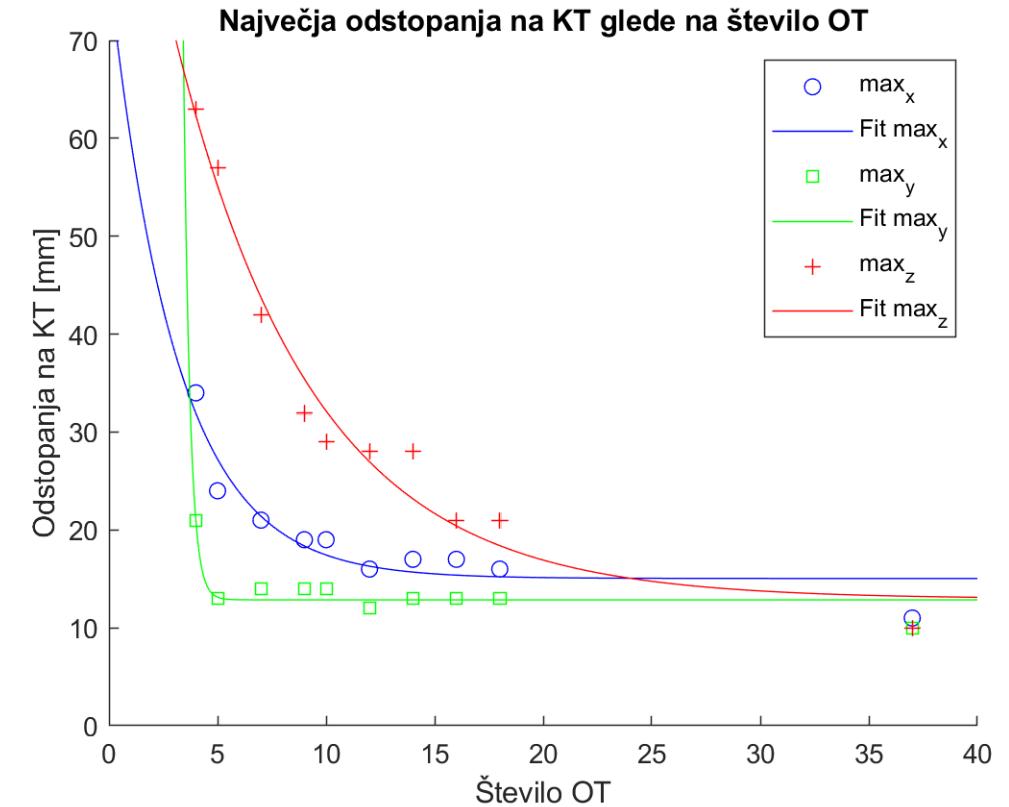
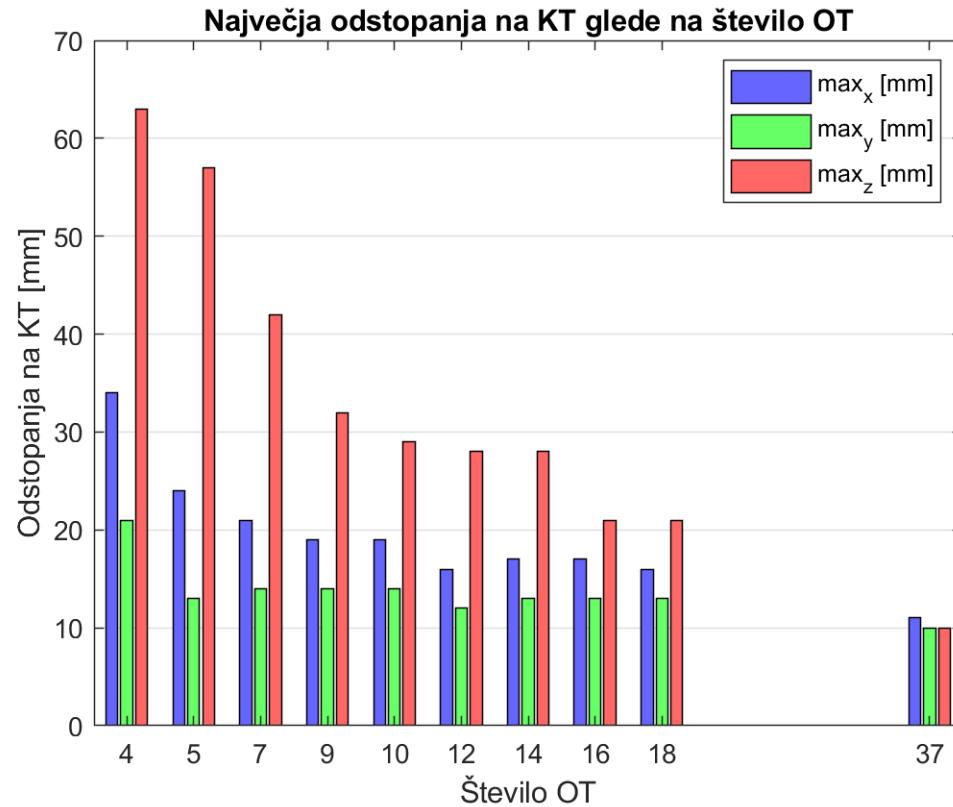
DJI Phantom 4 Pro

Višina leta nad terenom 35 m, GSD \sim 1 cm

Vzdolžni / prečni preklop: 85 % / 75 %

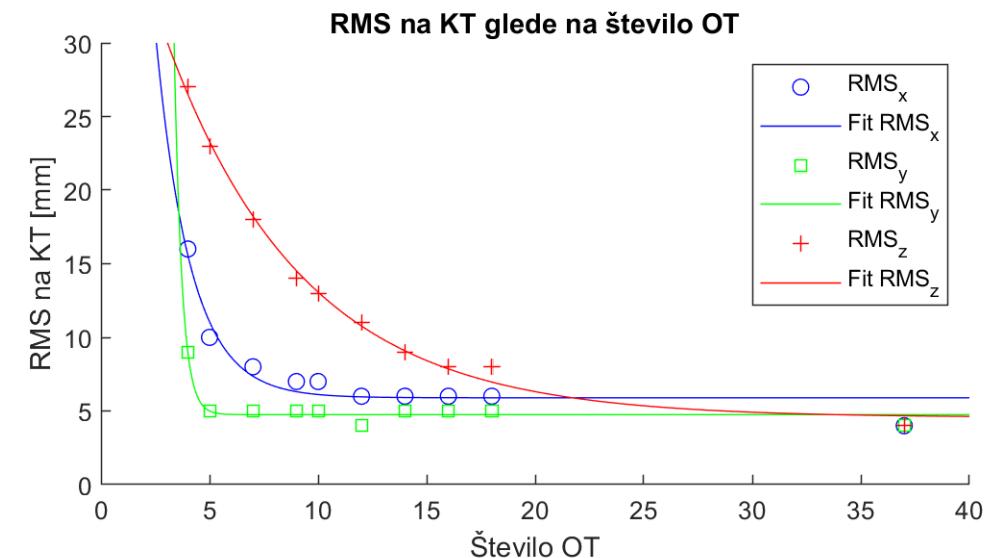
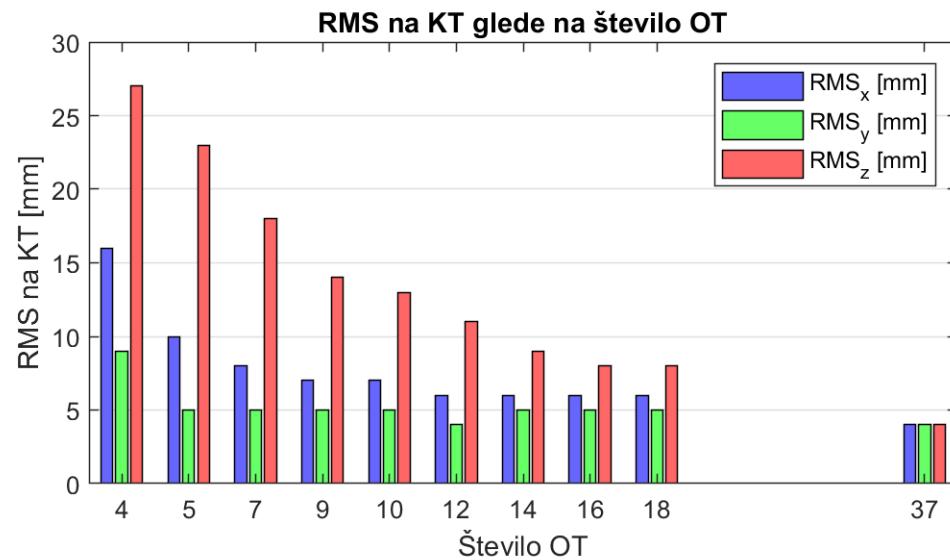


Največja odstopanja na KT glede na število uporabljenih OT



$$\sigma = a \cdot \exp(-b \cdot \rho_{OT}) + c$$

Točnost (RMS) na KT glede na število uporabljenih OT



$$\sigma = a \cdot \exp(-b \cdot \rho_{OT}) + c$$

Razporeditev OT

4 OT na vogalih:

max_{XYZ} : 64 mm (34 mm, 21 mm, 63 mm)

RMS_{3D} : 33 mm

: $\text{odst}_{\text{XYZ}} > 40 \text{ mm}$

5 OT (neenakomerno):

max_{XYZ} : 73 mm (28 mm, 19 mm, 73 mm)

RMS_{3D} : 46 mm

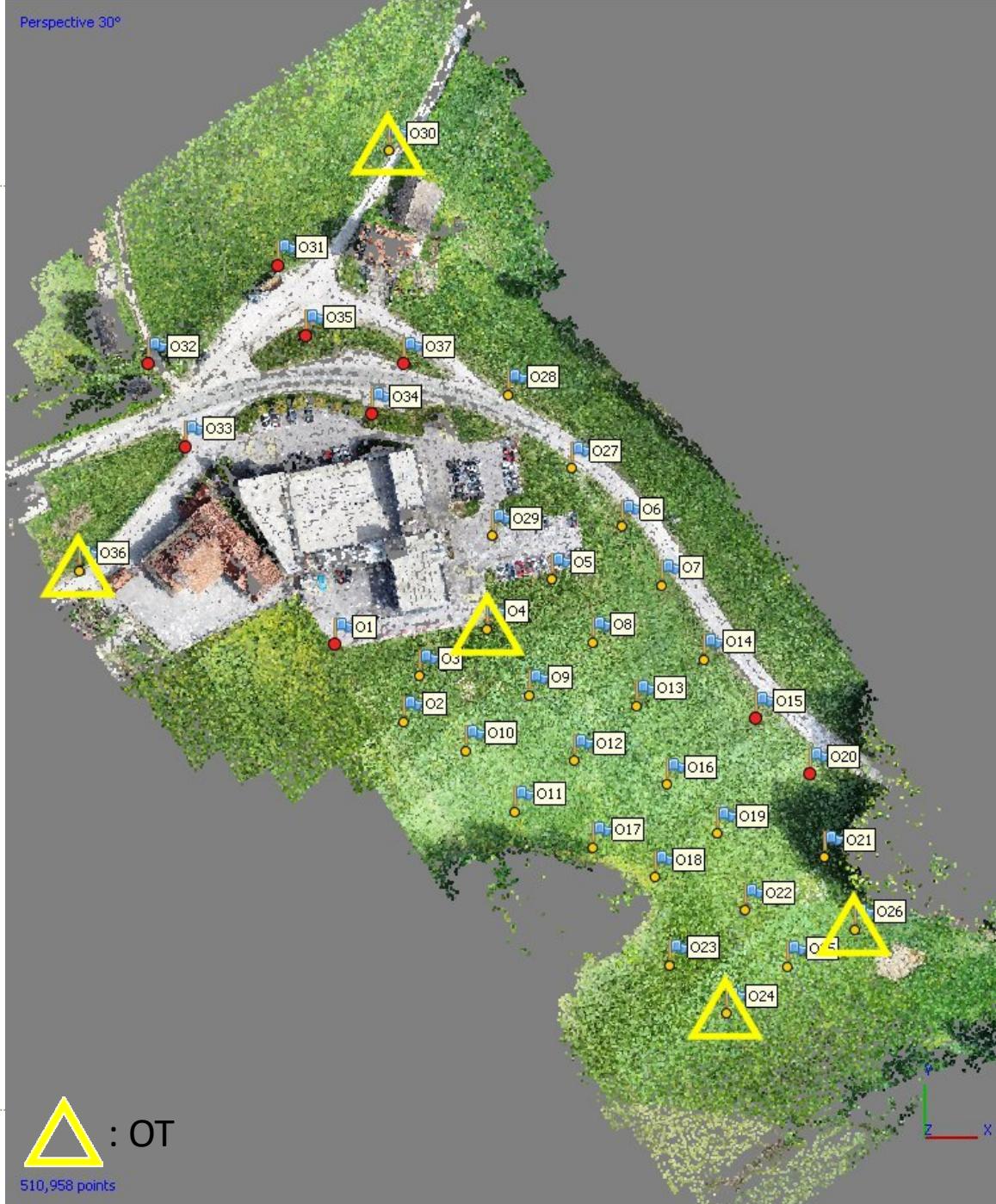
: $\text{odst}_{\text{XYZ}} > 40 \text{ mm}$

5 OT (enakomerno):

max_{XYZ} : 57 mm (24 mm, 13 mm, 57 mm)

RMS_{3D} : 25 mm

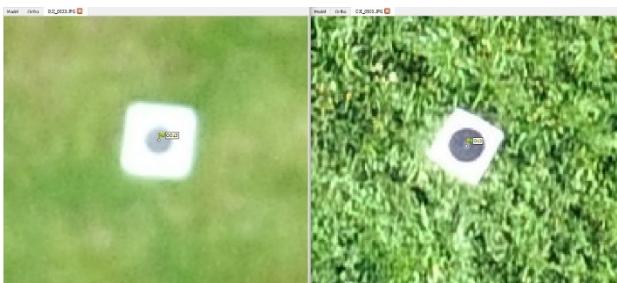
: $\text{odst}_{\text{XYZ}} > 30 \text{ mm} (\sim 3 \times \text{GSD})$



Točnosti izravnav fotogrametričnih blokov:

Delovišče Kandrše

Slabši rezultati predvsem ob vetrovnih pogojih ali neustreznih nastavitevah fotoaparata (ekspozicija in zaslonka sta bili nastavljeni samodejno)



Datum izmere	Aerofotografiranje – višina leta	RMSE OT [cm]			RMSE KT [cm]		
		e	n	H	e	n	H
24. 4. 2020	35 m (GSD ~1 cm)	0,5	0,6	1,9	0,1	0,1	1,7
	50 m (GSD ~1,5 cm)	0,4	0,4	0,5	0,7	0,5	0,5
4. 5. 2020	35 m (GSD ~1 cm)	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	1,0
	50 m (GSD ~1,5 cm)	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	1,4
	35 m, povečan vzdolžni/prečni preklop (85%/75%) (GSD ~1 cm)	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2	1,4
13. 5. 2020	35 m (GSD ~1 cm)	0,5	0,5	2,0	0,4	0,8	4,7
	50 m (GSD ~1,5 cm)	0,5	0,6	1,4	0,5	0,4	4,3
21. 5. 2020	35 m, pred košnjo (GSD ~1 cm)	0,3	0,4	0,6	0,3	0,3	0,5
	50 m, pred košnjo (GSD ~1,5 cm)	0,5	0,5	2,7	0,7	0,4	4,3
	35 m, po košnji (GSD ~1 cm)	0,3	0,4	1,0	0,2	0,5	1,0
	50 m, po košnji (GSD ~1,5 cm)	0,2	0,3	0,2	0,6	0,5	0,5
	35 m, po košnji, z modeliranjem pomicnega zaklopa (GSD ~1 cm)	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7
	50 m, pred košnjo, z modeliranjem pomicnega zaklopa (GSD ~1,5 cm)	0,4	0,6	1,5	0,9	0,8	3,2
26. 8. 2020	35 m (GSD ~1 cm)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	1,0
	50 m (GSD ~1,5 cm)	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,8

Točnosti izravnав fotogrametričnih blokov:

Delovišče Budanje

Zelo razgiban teren – zahtevna vzpostavitev geodetske mreže / OT in KT

Vpliv prostorske ločljivosti (višine leta)

Vpliv nadirnih/poševnih posnetkov



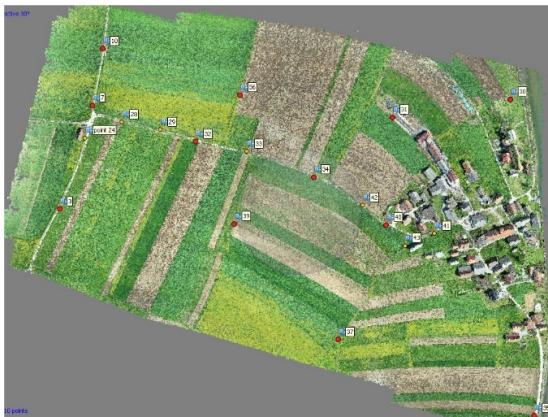
Datum izmere	Aerofotografinje, višina leta	RMSE OT [cm]			RMSE KT [cm]		
		e	n	H	e	n	H
18. 3. 2021	55 m nad vzletiščem, nadirno snemanje (GSD ~1,5 cm), RTK	0,5	0,8	0,4	0,8	0,3	0,1
	110 m nad vzletiščem, nadirno snemanje (GSD ~3 cm), RTK	0,5	0,6	0,4	1,1	0,9	1,7
	55 m nad terenom (DMR), nadirno snemanje (GSD ~1,5 cm), RTK	0,8	1,2	0,8	1,6	0,6	1,0
	110 m nad terenom (DMR), nadirno snemanje (GSD ~3 cm), RTK	0,5	0,9	0,3	1,4	0,8	1,4
	110 m nad terenom (DMR), poševno snemanje 70° (GSD ~3 cm), RTK	0,3	0,6	0,3	1,3	0,7	0,6

Datum izmere	Aerofotografinje, višina leta	RMSE OT [cm]			RMSE KT [cm]		
		e	n	H	e	n	H
18. 3. 2021	55 m nad vzletiščem, nadirno snemanje (GSD ~1,5 cm), brez RTK	0,8	0,6	1,0	1,4	0,2	0,6
	110 m nad vzletiščem, nadirno snemanje (GSD ~3 cm), brez RTK	0,5	0,4	0,4	1,7	0,9	0,9
	55 m nad terenom (DMR), nadirno snemanje (GSD ~1,5 cm), brez RTK	0,4	0,3	0,8	0,1	0,7	0,8
	110 m nad terenom (DMR), nadirno snemanje (GSD ~3 cm), brez RTK	0,3	0,3	0,5	1,0	0,8	1,7
	110 m nad terenom (DMR), poševno snemanje 70° (GSD ~3 cm), brez RTK	0,6	0,4	0,4	1,1	0,6	1,2

Točnosti izravnav fotogrametričnih blokov:

Delovišče Kompolje – vpliv prostorske ločljivosti fotografij / višine leta nad terenom

Datum izmere	Aerofotografiranje, višina leta	RMSE OT [cm]			RMSE KT [cm]		
		e	n	H	e	n	H
21. 4. 2021	55 m, nadirno snemanje (GSD ~1,5 cm), z upoštevanjem RTK	0,02	0,03	1,1	0,9	3,3	1,4
	110 m, nadirno snemanje (GSD ~3 cm), z upoštevanjem RTK	0,0	0,0	0,2	0,7	3,2	1,0
	55 m, nadirno snemanje (GSD ~1,5 cm), brez RTK	0,0	0,02	2,3	1,2	0,9	4,7
	110 m, nadirno snemanje (GSD ~3 cm), brez RTK	0,0	0,0	0,7	0,5	1,1	3,9



Datum izmere	Aerofotografiranje, višina leta	RMSE OT [cm]			RMSE KT [cm]		
		e	n	H	e	n	H
21. 4. 2021	150 m, nadirno snemanje (GSD ~4,1 cm), z upoštevanjem RTK	0,0	0,0	0,3	1,5	3,0	1,7
	150 m, nadirno snemanje (GSD ~4,1 cm), brez RTK	0,0	0,0	0,6	1,5	2,3	4,2



Točnosti izravnav fotogrametričnih blokov – delovišče Kompolje

Dolžinski objekt

Odstopanja v okviru pričakovanj (višina leta 35 m):

Skupni RMSE OT: 0, 8 cm (RMSE [cm]: 0,0; 0,0; 0,8)

Največje odstopanje na OT: 1,4 cm

Skupni RMSE KT: 1,6 cm (RMSE [cm]: 1,2; 0,8; 0,7)

Največje odstopanje na KT: 2,0 cm



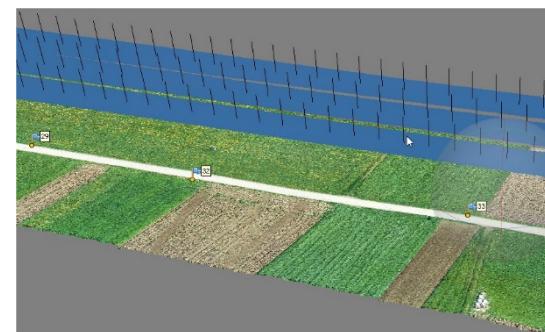
Odstopanja v okviru pričakovanj (višina leta 45 m):

Skupni RMSE OT: 0, 5 cm (RMSE [cm]: 0,0; 0,0; 0,5)

Največje odstopanje na OT: 0,8 cm

Skupni RMSE KT: 2,2 cm (RMSE [cm]: 1,3; 0,7; 1,7)

Največje odstopanje na KT: 3,1 cm



Primerljivi so tudi rezultati skupne obdelave blokov (35+45 m):

primerljivi z blokom višine leta 35m in

boljši glede na samostojno obdelavo višine leta 45m.

Priporočila za tarče

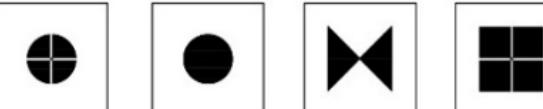
10 cm



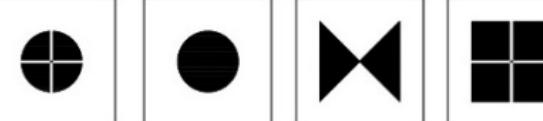
15 cm



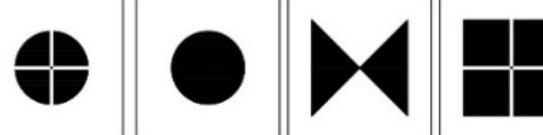
20 cm



25 cm



30 cm



- Velikost tarče ustrežati prostorski ločljivosti fotografij
- Problem presvetlih tarč (preosvetljenost)
- Izziv centriranja in fiksne stabilizacije tarč na mejne točke!
- Za zajem klasičnih mejnikov potrebna velika prostorska ločljivost (do 3 cm!)



Položajna točnost fotogrametrično določenih koordinat detajlnih točk

- Kakovostna določitev geodetske mreže in geodetska izmera oslonilnih/kontrolnih točk
- Priporočila za snemanje in obdelavo fotogrametričnih podatkov (paziti tudi na zunanje dejavnike)
- Oblika in velikost tarče
- Drugi dejavniki, ki vplivajo na vidnost tarč (velikost vegetacije, nagib terena ipd.)

Datum izmere	Višina leta	Testno polje	Fotogrametrične tarče [cm]		Industrijsko izdelane oznake [cm]	
			RMSE _{e,n}	RMSE _{e,n,H}	RMSE _{e,n}	RMSE _{e,n,H}
4. 5.2020	50 m	TP1	0,6	0,7	0,7	1,0
	35 m	TP1	0,5	0,8	0,6	1,6
4. 5.2020	50 m	TP2	0,6	0,7	0,7	1,0
	35 m	TP2	0,7	1,2	0,9	1,8
4. 5.2020	50 m	TP3	0,9	1,0	1,5	1,6
	35 m	TP3	1,7	1,8	1,9	2,5
4. 5.2020	50 m	TP4	n/a	n/a	1,4	1,7
	35 m	TP4	n/a	n/a	0,9	1,6
4. 5.2020	50 m	TP5	n/a	n/a	1,6	1,8
	35 m	TP5	n/a	n/a	0,6	0,9
4. 5.2020	50 m	TP6	0,5	0,7	n/a	n/a
	35 m	TP6	0,7	1,0	n/a	n/a



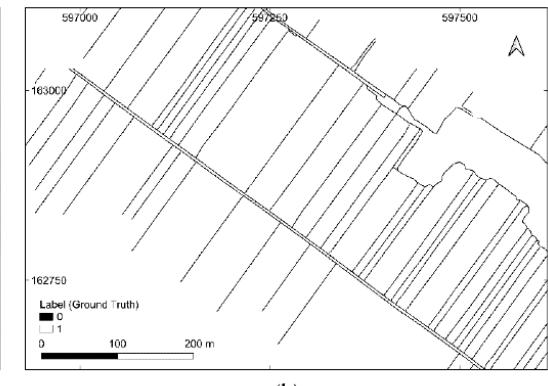
Primerjava rezultatov različnega načina zajema podatkov

- Georeferencirane fotografije
- Ortofoto
- Oblak točk

Datum izmere	Višina leta	Pristop zajema koordinat	Testno polje	Odstopenja [cm]			RMSE [cm]	
				d _e	d _n	d _H	RMSE _{e,n}	RMSE _{e,n,H}
4. 5.2020	50 m	Fotografije	TP1	0,4	0,3	0,6	0,5	0,8
	35 m	Fotografije	TP1	0,5	0,3	1,2	0,6	1,3
4. 5.2020	50 m	Ortofoto	TP1	0,7	0,6	1,9	0,9	2,1
	35 m	Ortofoto	TP1	0,6	0,6	1,5	0,9	1,8
4. 5.2020	50 m	3D oblak točk	TP1	1,4	1,3	3,9	1,9	4,4
	35 m	3D oblak točk	TP1	0,8	0,8	2,0	1,1	2,3

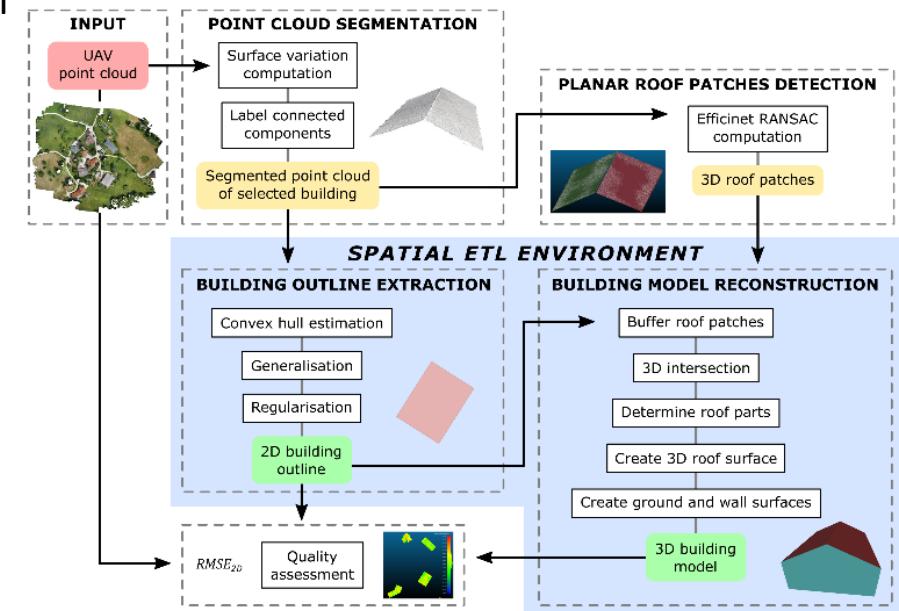
UAV-fotogrametrija v katastru?

- Prednosti UAV fotogrametričnega zajema podatkov
 - Pomensko zelo bogat vir podatkov
 - Celovit zajem podatkov o prostoru
 - 3D modeliranje
- Priložnosti:
 - Večji katastrski projekti:
 - komasacije,
 - nove izmere,
 - nastavitev katastra, druge katastrske preureditve
 - Geodetski načrti
 - 3D katerster



Fetai et al., 2020

- Optimizacija zajema in obdelave podatkov
 - Daljinsko voden letalniki s sprejemnikom GNSS, dodatni senzorji
 - (Pol)samodejni zajem podatkov
 - Zajem podatkov na urbanih območjih (poševne podobe)
 - 3D modeliranje (stavbe)
 - ...
- Vključevanje lastnikov v verifikacijo rezultatov
- Shranjevanje in arhiviranje podatkov opazovanj
- Zagotavljanje kakovosti



Drešček et al., 2020

Zagotavljanje kakovosti:

- Izobraževanje uporabnikov tehnologije in naročnikov
- Ocenjevanje kakovosti
- **Kalibracijska polja**



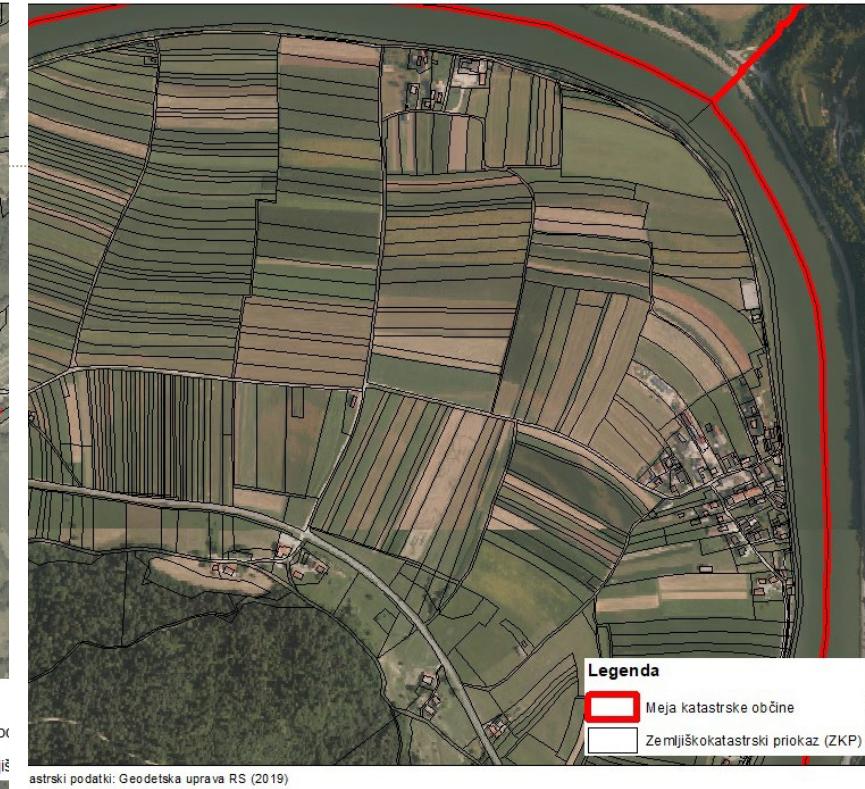
Izbor literature

- ASPRS. 2015. **ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 81, 3: A1–A26. DOI: <https://doi.org/10.14358/PERS.81.3.A1-A26>
- Carbonneau, P. E., and Dietrich, J. T. (2017). **Cost-effective non-metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry.** *Earth Surf. Process. Landforms*, 42: 473– 486. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.4012>
- Drešček, U. (2021). **Konceptualni model za zagotavljanje kakovosti 3D-modelov stavb na temelju fotogrametričnega oblaka točk.** Doktorska disertacija, 180 str., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=125471>
- Gindraux, S., Boesch, R., Farinotti, D. (2017). **Accuracy Assessment of Digital Surface Models from Unmanned Aerial Vehicles' Imagery on Glaciers.** *Remote Sens.*, 9, 186. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9020186>
- Höhle, J., Höhle, M. (2009). **Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods.** *ISPRS journal of Photogrammetry and remote sensing*, 64, 398–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.02.003>
- Kosmatin Fras, M., Kerin, A., Mesarič, M., Peterman, V., Grigillo, D. (2016). **Assessment of the quality of digital terrain model produced from unmanned aerial system imagery.** *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B1, 893-899. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-893-2016>
- Kosmatin Fras, M., Drešček, U., Lisec, A., Grigillo, D. (2020). **Analiza vplivov na kakovost izdelkov UAV fotogrametrije.** *Geodetski vestnik*, 64 (4), 489-50. DOI: [10.15292/geodetski-vestnik.2020.04.489-507](https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.04.489-507)
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., Boehm, J. (2014). **Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging.** Berlin/Boston: De Gruyter.
- Martínez-Carricundo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F.-J., García-Ferrer, A., Pérez-Porras, F.-J. (2018). **Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points.** *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, 72, 1-10. DOI: [10.1016/j.jag.2018.05.015](https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.015)
- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J.H., Rodríguez-Pérez, J.R., Ordóñez, C. (2018). **Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used.** *Remote Sens.*, 2018, 10, 1606. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10101606>
- SIST EN ISO 19157:2015. **Geografske informacije – Kakovost podatkov.**
- Stöcker, C., Nex, F., Koeva, M., Gerke, M. (2020). **Hihg-Quality UAV-Based Orthophotos for Cadastral Mapping: Guidance for Optimal Flight Configurations.** *Remote Sensing*, 12 (3625), 1-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12213625>
- Šafář, V., Potůčková, M., Karas, J., Tlusty, J., Štefanová, E.; Jančovič, M.; Cíglér Žofková, D. (2021). **The Use of UAV in Cadastral Mapping of the Czech Republic.** *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 10 (380), 1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10060380>
- Yu, J.J., Kim, D.W., Lee, E.J., Son, S.W. (2020). **Determining the Optimal Number of Ground Control Points for Varying Study Sites through Accuracy Evaluation of Unmanned Aerial System-Based 3D Point Clouds and Digital Surface Models.** *Drones*, 4 (49), 1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones4030049>

Objave rezultatov

- Spletna stran projekta. <https://www.fgg.uni-lj.si/raziskovalna-dejavnost/projekti/v2-1934-ovrednotenje-razlicnih-nacinov-oznacitve-katastrskih-mejnikov-za-fotogrametricno-izmero-z-letalnikom-in-analiza-njihovega-vpliva-na-polozajno-točnost-oblaka-točk-in-ortofota/>
- Končno poročilo: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=133469>
- KOSMATIN FRAS, Mojca, DREŠČEK, Urška, LISEC, Anka, GRIGILLO, Dejan. *Analiza vplivov na kakovost izdelkov UAV fotogrametrije*. Geodetski vestnik : glasilo Zveze geodetov Slovenije, 2020, 64, 4, str. 489-507, http://www.geodetski-vestnik.com/64/4/gv64-4_kosmatin.pdf, doi: 10.15292/geodetski-vestnik.2020.04.489-507
- FETAI, Bujar, RAČIČ, Matej, LISEC, Anka. *Deep learning for detection of visible land boundaries from UAV imagery*. Remote sensing, ISSN 2072-4292, 2021, 13/11, str. 1-19, <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/11/2077>, doi: 10.3390/rs13112077.
- DREŠČEK, Urška, KOSMATIN FRAS, Mojca, LISEC, Anka, GRIGILLO, Dejan. *The impact of point cloud density on building outline extraction*. V: PAPARODITIS, N. (ur.). XXIV ISPRS Congress, 31 Aug - 2 Sep on-line, Nice, France : Commission II (Volume XLIII-B2-2020), <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-sci.net/XLIII-B2-2020/407/2020/>.





© in katastrski podatki: Geodetska uprava RS (2019)

Kov:
foto in katastrski podatki: Geodetska uprava RS (2019)
love izmere: Geodetska družba d.o.o. (2019)

Vprašanja?