

# ANALIZA MOGUĆNOSTI UPORABE BESPILOTNIH LETJELICA ZA POTREBE ODRŽAVANJE KATASTRA

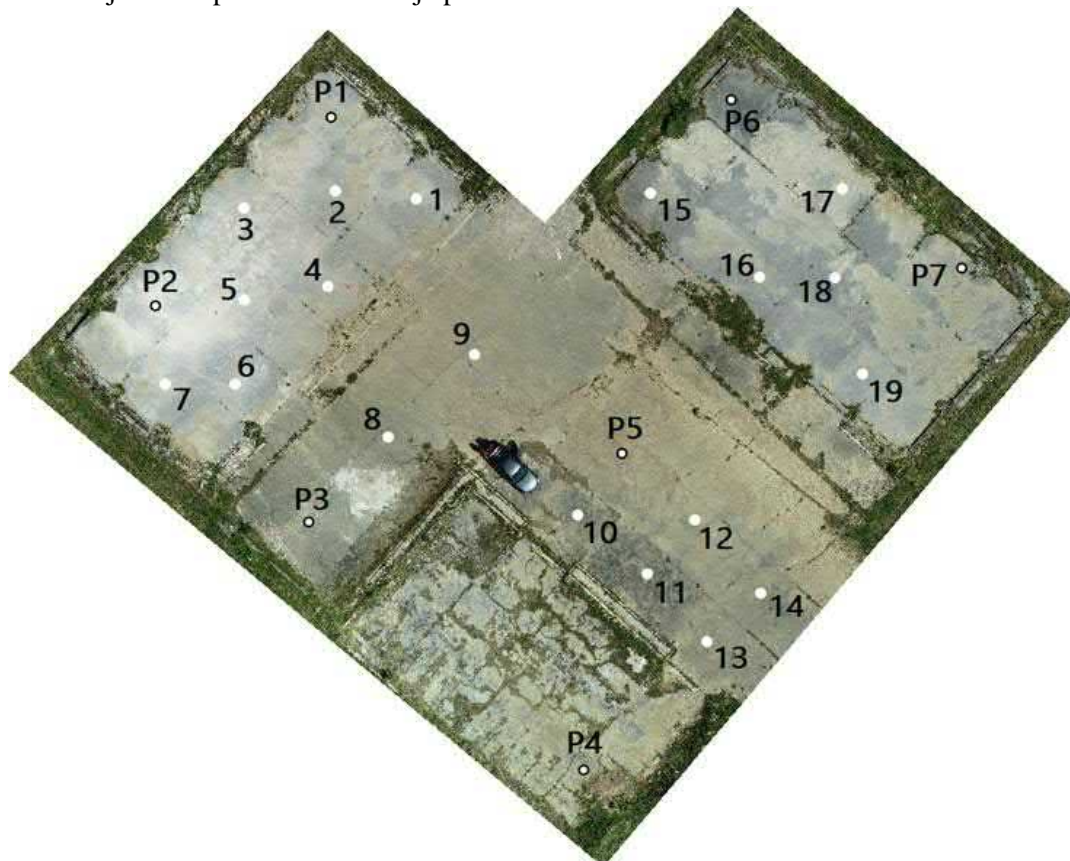
izv. prof. dr. sc. Rinaldo Paar<sup>1</sup>, izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomi<sup>1</sup> prof. dr. sc. Miodrag Roi<sup>1</sup>  
prof. dr. sc. Siniša Masteli Ivi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb (e-mail: rinaldo.paar@geof.unizg.hr, hrvoje.tomic@geof.unizg.hr, miodrag.roic@geof.unizg.hr, sinisa.mastelic-ivic@geof.unizg.hr)

## Prošireni sažetak.

### 1. UVOD

Mogućnost primjene bespilotnih letjelica za potrebe održavanja podataka katastra istrafluje se u ovome radu. Prikupljanje velikog broja podataka u kratkom vremenu jedna je od glavnih prednosti bespilotnih letjelica za potrebe geodetskih izmjera. U radu je prikazano nekoliko primjera istraflivanja mogući izmjere katastarskih objekata i izgrađenih objekata na njima za potrebe održavanja podataka katastra, fotogrametrijskom metodom primjenom bespilotnih letjelica. U tu svrhu uspostavljeno je testno polje na kojima se obavila katastarska izmjera klasičnim geodetskim metodama te fotogrametrijska izmjera primjenom različitih bespilotnih letjelica. Analiza prikupljenih podataka i ocjena točnosti dobivenih DOF planova provedena je kako bi se utvrdila njihova preciznost te da li ostvarena točnost zadovoljava zahtjeve katastarske izmjere. Na testnim poljima uspostavljene su orijentacijske i kontrolne točke (slika 1) kako bi se istraflila mogućnost primjene bespilotnih letjelica za potrebe održavanja podataka katastra.



Slika 1. Uspostavljeno testno polje s orijentacijskim GCPs (P1-P7) i kontrolnim točkama CPs (1-19)

## 2. METODE IZMJERE

Izmjera testnih polja provedena je prvo polarnom metodom primjenom mjerne (totalne) stanice. Nakon toga sve točke su izmjerene GNSS RTK metodom. GNSS RTK metoda je primijenjena za određivanje koordinata točaka u slatkovodnom driftnom koordinatnom sustavu HTRS96/TM, a polarna metoda za povećanje položajne šakosti točaka u svim smjerovima, odnosno u svrhu povećanja relativne točnosti izmjere u svim točcima. Primjenom različitih bespilotnih letjelica (tablica 1) testna polja su izmjerena aerofotogrametrijskom metodom na različitim visinama leta (tablica 1) i s različitim slikovnim senzorima u svrhu dobivanja DOF planova (tablica 1).

Tablica 1. Specifikacije bespilotnih letjelica i njihovih senzora s ostvarenim visinama leta.

	DJI Phantom 4	DJI Phantom 4 Pro V2.0 / DJI Phantom 4 RTK	senseFly eBee Plus
<b>Senzor</b>	CMOS	CMOS	CMOS
<b>Rezolucija</b>	12,4 MP	20,0 MP	20,0 MP
<b>Veličina senzora</b>	1/2,3ö	1ö	1ö
<b>Fokalna dubina</b>	3,6 mm	8,8 mm	10,6 mm
<b>Vidno polje (FOV)</b>	94°	84°	154°
<b>Podošavanje blende</b>	f/2,8	f/2,8-f/11	f/2,8-f/11
<b>Brzina zatvarača</b>	Electronic 8-1/8000 s	Electronic 8-1/8000 s Mechanical 8-1/2000 s	Mechanical 1/500-1/2000s
<b>GNSS RTK senzor</b>	+	-/+	+
<b>Visina leta 60 m</b>	+	+	+
<b>Visina leta 120 m</b>	+	+	+

## 3. OSTVARENA PRECIZNOST I TOČNOST

Apsolutna orijentacija modela provedena je koristeći i podatke vanjske orijentacije svakog digitalnog snimka koristeći i orijentacijske točke (tablica 2).

Tablica 2. Očekivana apsolutna orijentacija modela temeljem različitih visina leta i ostvarenih GSD.

Visina leta	DJI Phantom 4		DJI Phantom 4 Pro V2.0 / DJI Phantom 4 RTK		senseFly eBee Plus	
	GSD (cm)	Apsolutna orijentacija (cm)	GSD (cm)	Apsolutna orijentacija (cm)	GSD (cm)	Apsolutna orijentacija (cm)
<b>60 m</b>	2,6	5,2	1,6	3,2	1,7	3,4
<b>120 m</b>	5,0	10,0	3,3	6,6	3,1	6,2

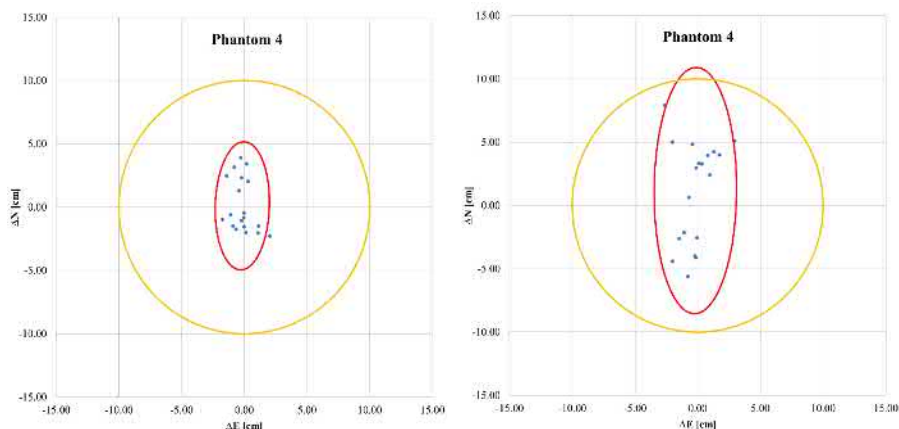
Analiza kvalitete aerofotogrametrijske izmjere provedena je smatranjem podataka izmjere klasičnim metodama točnim njezinom usporedbom s koordinatama dobivenim iz DOF-a. U svrhu određivanja točnosti izmjere testnog polja s različitim bespilotnim letjelicama različitim senzorima napravljena je usporedba s određenim koordinatama orijentacijskih i kontrolnih točaka pomoću polarne i GNSS RTK metode (tablica 3).

Analiza točnosti aerofotogrametrijske izmjere provedena je tako da su podaci izmjere prikupljeni klasičnim metodama mjerenja smatrani pravim točnim vrijednostima te su uspoređeni s koordinatama dobivenim metodom aerofotogrametrije tj. temeljem napravljenog DOF plana kako bi se utvrdila horizontalna preciznost i točnost rezultata koordinata u ovisnosti o preciznosti i točnosti karakteristika senzora letjelica, visine leta i podataka dobivenih od UAS GNSS i IMU senzora. Kako bi se dobili statistički pokazatelji koordinatnih pogrešaka po koordinatnoj osi, za svaku točku od koordinata dobivenih na temelju DOF plana uspoređene su s određenim koordinatama dobivenim pomoću GNSS RTK metode mjerenja te polarne metode testnog polja. Na temelju tih koordinatnih razlika izračunati su različiti pokazatelji minimum, maksimum, izračunati su raspon, srednja apsolutna pogreška (MAE),

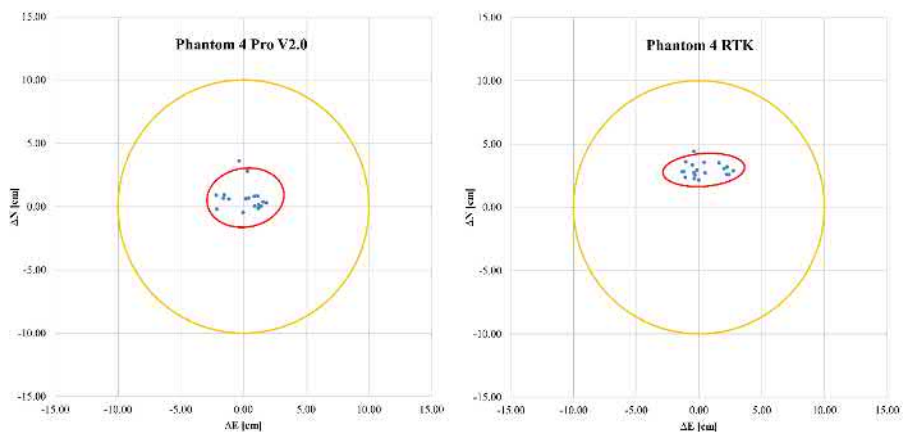
korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE) i srednja kvadratna pogreška (MSE). Također, utvrđeni su elementi elipse pouzdanosti od 95%, (tablica 3) te su elipse pouzdanosti nacrtane i označene crvenom bojom na slikama 2 do 6 za svaki projekt. Izračunati statistički pokazatelji koji su prikazani u tablici 3 sukladno Pravilniku o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova Državne geodetske uprave u Republici Hrvatskoj, elementi elipse standardne pogreške pomnoženi su faktorom 2,45 kako bi se dobili parametri za elipsu pouzdanosti od 95%. Prema članku 52. Pravilnika o geodetskim elaboratima Državne geodetske uprave u Republici Hrvatskoj, kvaliteta podataka terenske izmjere lomnih točaka granica estica i drugih granica katastarskih estica te zgrada i drugih građevina za potrebe geodetskog elaborata, koji se podaci evidentiraju u katastarskom registru, određeno je područje povjerenja za horizontalne koordinate s 95% vjerojatnosti standardne točnosti polofaja do 0,10 m. Većano za taj planak, duž elipsa pouzdanosti 95% vizualiziran je krug polumjera 10 cm i označen plutom bojom na slikama 2 do 6. Na taj način feljeli smo prikazati, tj. vizualizirati da je postignuta kvaliteta dobivenih DOF planova dobivenih pomoću fotogrametrijskih izmjera prikladna za potrebe katastarske izmjere.

Tablica 3. Ostvarena točnost bespilotnih letjelica i njihovih senzora s ostvarenim visinama letova.

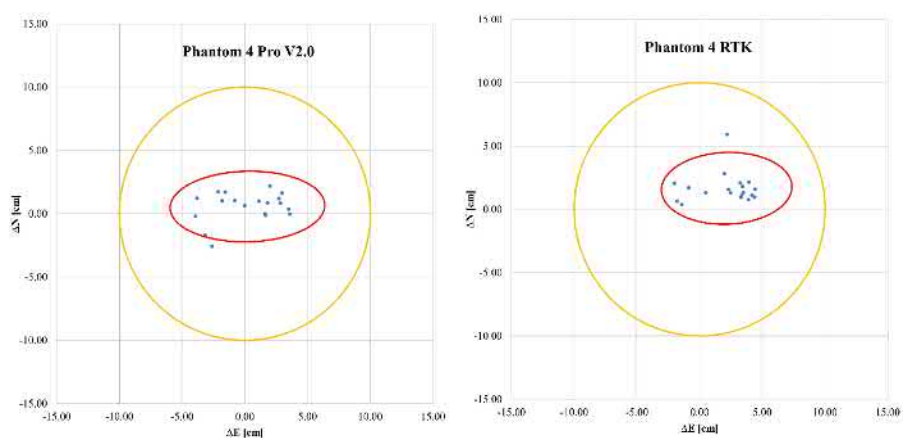
		60 m		120 m	
		$\epsilon E$ [cm]	$\epsilon N$ [cm]	$\epsilon E$ [cm]	$\epsilon N$ [cm]
		Elements of the 95% Confidence ellipse [cm]			
UAS DJI Phantom 4	Velika poluos A	5,1		9,7	
	Mala poluos B	2,2		3,3	
	Kut zakreta	1,78°		0,44°	
UAS DJI Phantom 4 Pro V2.0	Velika poluos A	3,1		6,2	
	Mala poluos B	2,3		2,8	
	Kut zakreta	80,75°		88,76°	
UAS DJI Phantom 4 RTK	Velika poluos A	3,3		5,2	
	Mala poluos B	1,3		2,8	
	Kut zakreta	85,83°		88,04°	
UAS eBee	Velika poluos A	2,0		3,6	
	Mala poluos B	1,2		3,2	
	Kut zakreta	150,10°		121,48°	



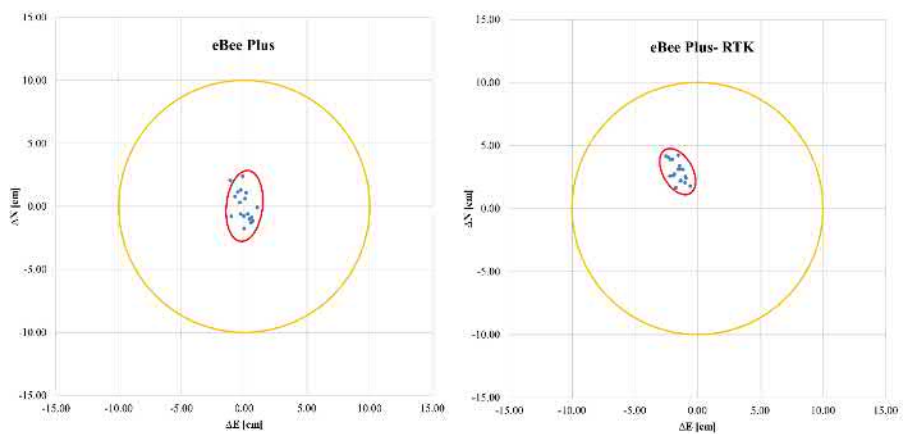
Slika 2. Elipsa pogrešaka - Phantom 4 s GCPs na 60 m (lijevo); Elipsa pogrešaka - Phantom 4 s GCPs na 120 m (desno).



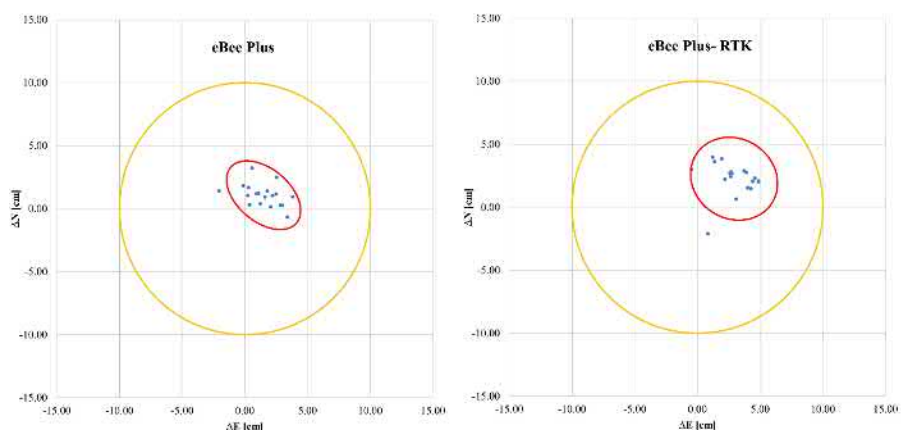
Slika 3. Elipsa pogrešaka - Phantom 4 Pro V2.0 s GCPs na 60 m (lijevo); Elipsa pogrešaka - Phantom 4 RTK bez GCPs (s RTK) na 60 m (desno).



Slika 4. Elipsa pogrešaka - Phantom 4 Pro V2.0 s GCPs na 120 m (lijevo); Elipsa pogrešaka - Phantom 4 RTK bez GCPs (s RTK) na 120 m (desno).



Slika 5. Elipsa pogrešaka - eBee bez GCPs na 60 m (lijevo); Elipsa pogrešaka - eBee bez GCPs (s RTK) na 60 m (desno).



Slika 6. Elipsa pogrešaka - eBee bez GCPs na 120 m (lijevo); Elipsa pogrešaka - eBee bez GCPs (s RTK) na 120 m (desno).

#### 4. ZAKLJUČAK

Iz gore prikazanih dobivenih rezultata može se zaključiti da su najtočniji i najprecizniji rezultati dobiveni korištenjem eBee i Phantom 4 Pro V2.0 korištenjem GCP-ova na nižoj visini leta, tj. na 60 m. Dobivena točnost udovoljava katastarskim zahtjevima propisa Republike Hrvatske, odnosno zahtjevima iz članka 52. Pravilnika o geodetskim elaboratima. Izvođenje aerofotogrametrijskih izmjera pomoću bespilotnih letjelica korištenjem relativno guste strukture orijentacijskih (P1-P7) i kontrolnih točaka (1-19) postavljenih na testnom polju rezultiralo je pouzdanom i preciznom razinom izmjere. Ova točnost zadovoljava katastarske zahtjeve propisa Republike Hrvatske. Otkriveno, postoji visoka korelacija između kvalitete senzora digitalne slike i točnosti modela, kao i visoka negativna korelacija između visinskih letova i točnosti standardne devijacije horizontalnih koordinata ima tendenciju povećanja s visinom leta. Također treba napomenuti da je testno polje u ovom istraživanju postavljeno u gotovo laboratorijskim uvjetima, a teren je bio ravna asfaltna površina. Ostvareni rezultati potvrđuju razvoj bespilotnih letjelica za potrebe katastarskih izmjera temeljenih na njima. Još uvijek treba raditi na njihovom testiranju u različitim uvjetima kao što su gusta urbana područja. Također, u ovom istraživanju analizirane su samo horizontalne koordinate, tako da treba ispitati i vertikalnu točnost dobivenu aerofotogrametrijom izmjerom pomoću bespilotnih letjelica.

**Ključne riječi:** bespilotne letjelice, fotogrametrijska izmjera, DOF plan, preciznost, točnost, katastar