



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO I GEODEZIJU
GEODEZIJA I GEOINFORMATIKA



INTEGRISANI SISTEMI PREMERA

Bespilotne letelice

Doc. dr Mehmed Batilović, mast. inž. geodez.

Novi Sad, 2023/2024

1

Bespilotne letelice

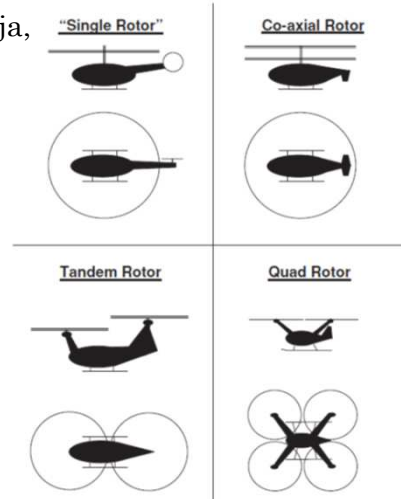
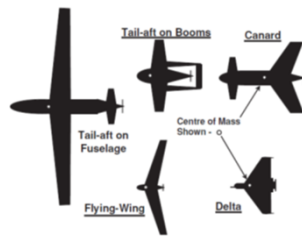
- *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* – bespilotna letelica kontrolisana od strane operatera na zemlji i/ili računara koji se nalazi u samoj letelici.
- *Unmanned Aerial System (UAS)* predstavlja sistem koji se sastoji od platforme u vidu letelice, jednog ili više senzora koji su montirani na raspoloživu platformu, kao i od kontrolne stanice na zemlji odakle se vrši upravljanje celokupnim sistemom.
- Aerodinamička snaga obezbeđuje podizanje bespilotne letelice u vazduh.

2

Tipovi bespilotnih letelica

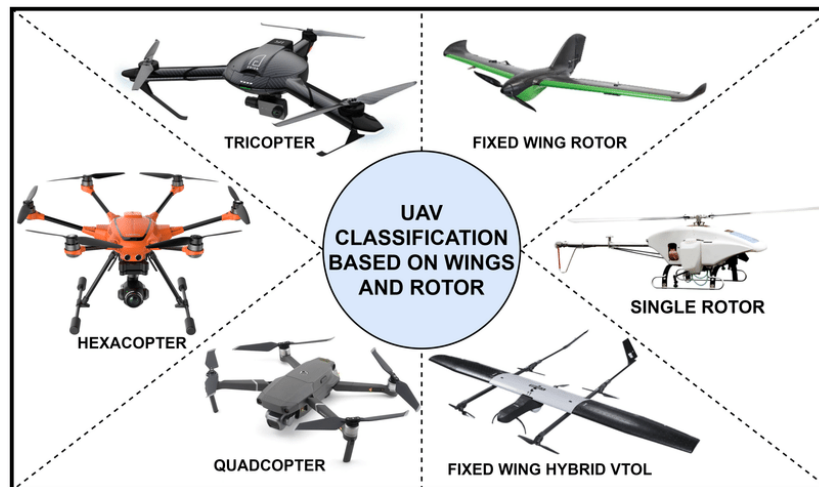
➤ Prema načinu poletanja/sletanja, bespilotne letelice se dele na:

- *Horizontal Takeoff and Landing (HTOL);*
- *Vertical Takeoff and Landing (VTOL).*



3

Tipovi bespilotnih letelica



4

Tipovi bespilotnih letelica

Kategorija	Domest [km]	Visina leta [m]	Autonomija [h]	Masa [kg]
Micro	<10	250	1	<5
Mini	<10	150-300	<2	150
Close Range (CR)	10-30	3000	2 – 4	150
Short Range (SR)	30-70	3000	3 – 6	200
Medium Range (MR)	70-200	3000-5000	6 – 10	150 – 500
Long Range (LR)	200-500	5000	6 – 13	-
Endurance (EN)	>500	5000-8000	12 – 24	500 – 1500
Medium Altitude, Long Endurance (MALE)	>500	5000-8000	24 – 48	1000 – 1500
High Altitude, Long Endurance (HALE)	>2000	15000 – 20000	24 – 48	2500 – 12500

Kategorizacija bespilotnih letelica prema međunarodnoj organizaciji „*UVS International*”.

5

Komponente UAV sistema

➤ Telo UAV izrađuje se od ultra lakih materijala.

➤ Senzori:

- GNSS prijemnik;
- inercijalna jedinica (*Inertial Measurement Unit – IMU*);
- LiDAR (*Light Detection and Ranging*);
- žiroskop;
- akcelerometar;
- barometar;
- kamere (RGB, Multispectral, NIR i slično).

6

Komponente UAV sistema

- Pogonski sistem, servo motori i baterije.
- Sistem za detekciju i izbegavanje prepreka.
- Sistem za komunikaciju (kontrolna stanica, radio predajnik)
- Softver za planiranje leta, mapiranje, poletanje i sletanje.
- Softver za obradu podataka.

7

Zakonska regulativa

- Direktorat za civilno vazduhoplovstvo Republike Srbije je 2016. godine izradio Pravilnik o bespilotnim vazduhoplovima u kojem su sadržani svi važeći propisi.
- Let bespilotnih letelica može da se odvija samo u alociranom delu vazdušnog prostora, odnosno delu vazdušnog prostora koji je utvrdila kontrola letenja.
- Operater bespilotne letelice za svaki let podnosi zahtev za alokaciju jedinici za civilno-vojnu koordinaciju u okviru Kontrole letenja. Zahtev se podnosi najmanje 5 radnih dana pre leta.

8

Zakonska regulativa

- Neki od najvažnijih propisa.
 - Bepilotna letelica mora biti u vidnom polju operatera, maksimalno 500 m bočne udaljenosti.
 - Nije dozvoljen let noću.
 - Maksimalna visina leta je 100 m, a maksimalna operativna težina letelice je 150 kg.
 - Operater je dužan da prilikom upravljanja održava bezbednu bočnu udaljenost bepilotne letelice od ljudi, najmanje 30 m.
 - Operater mora posedovati potvrdu da je uspešno položio proveru znanja iz vazduhoplovnih propisa u nadležnosti Direktorata za Civilno vazduhoplovstvo Republike Srbije.

9

Digitalna fotogrametrija primenom bepilotnih letelica

- Digitalna fotogrametrija je metoda prikupljanja podataka o fizičkim objektima, kroz proces akvizicije, analize i interpretacije digitalnih fotografija.
- U postupku prikupljanja podataka, objekat od interesa mora biti snimljen sa najmanje dve pozicije kamere da bi se dobila informacija o tri prostorne koordinate.
- Kreirana slika predstavlja stereo par koji omogućava kreiranje 3D modela objekta koji daje informacije o njegovim stvarnim dimenzijama (oblik, položaj, veličina).

10

Digitalna fotogrametrija primenom bespilotnih letelica

- Postupak akvizicije geoprostornih podataka digitalnom fotogrametrijskom metodom primenom bespilotnih letelica odvija se kroz tri faze:
 - priprema i planiranje leta;
 - prikupljanje fotografija, materijalizacija i određivanje kontrolnih tačaka;
 - obrada prikupljenih podataka.

11

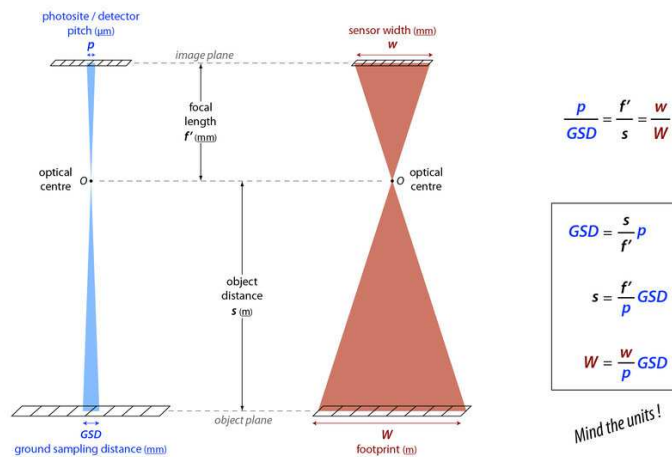
Priprema i planiranje leta

- Faza pripreme i planiranja leta obuhvata definisanje područja premera, rezolucije i detalje leta.
- U fazi pripreme i planiranja leta potrebno je definisati sledeće parametre:
 - putanju;
 - brzinu letelice;
 - poprečni i podužni preklop fotografija;
 - ugao kamere;
 - visinu leta;
 - udaljenost od površine od interesa.

12

Priprema i planiranje leta

- Veličina piksela u prirodi (*Ground Sampling Distance – GSD*) se određuje na osnovu zadate visine leta i parametara kamere.



13

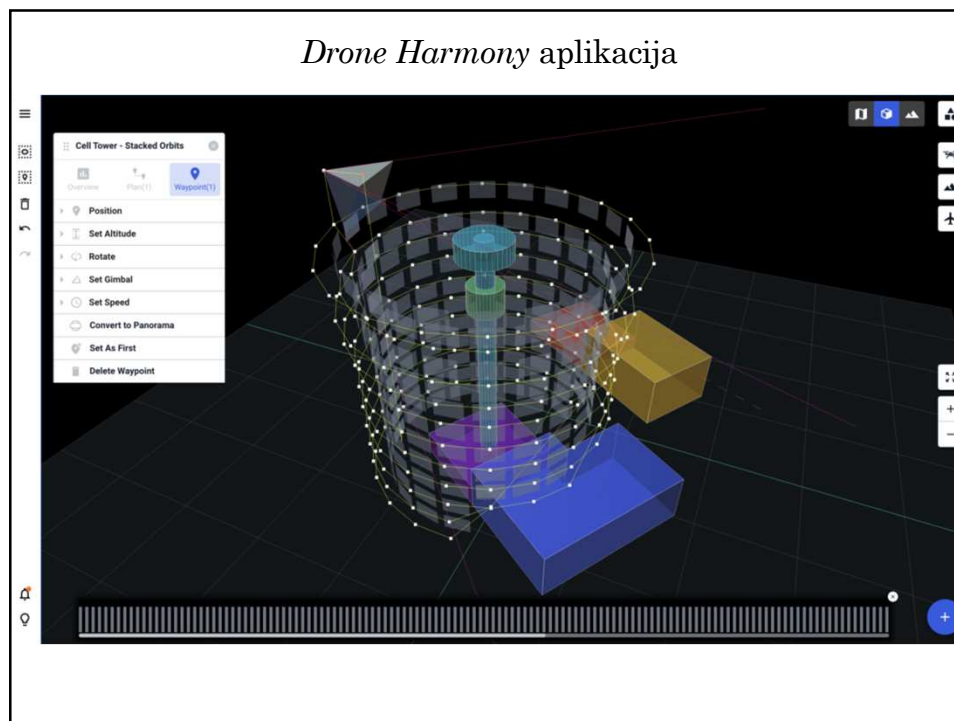
Priprema i planiranje leta

- Izbor optimalnih parametara leta zavisi od cilja misije i mogućnosti raspoložive bespilotne letelice.
- Faktori koji takođe treba da budu uzeti u obzir u procesu pripreme i planiranja leta su ograničenja vezana za kapacitet baterije, zakonska regulativa i vremenski uslovi.
- Priprema i planiranje leta izvodi se u okviru odgovarajućih aplikacija:
- *DroneDeploy*;
 - *Drone Harmony*;
 - *Dronelink*;
 - *PIX4Dcapture ...*

14



15



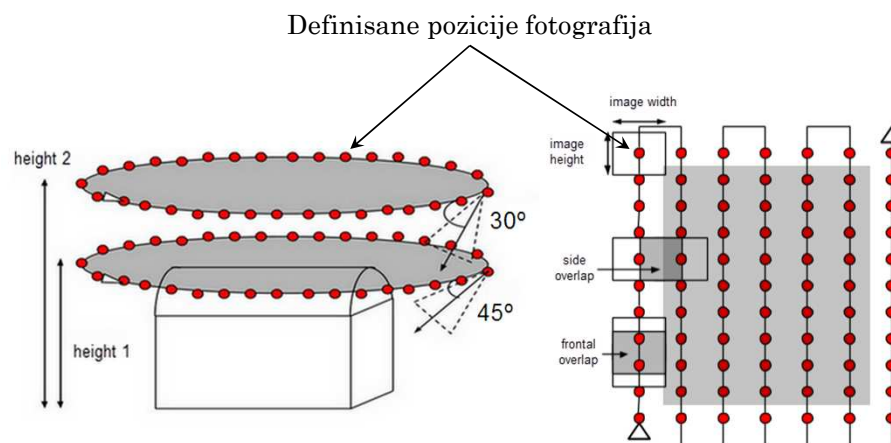
16

Prikupljanje fotografija

- U fazi prikupljanja fotografija, let se može realizovati u autonomnom ili manuelnom režimu.
- U autonomnom režimu putanja leta se definiše na osnovu projektovanih tačaka koje će navigacioni GNSS/IMU sistem bespilotne letelice pratiti pomoću autopilota.
- U manuelnom režimu, bespilotnom letelicom daljinski upravlja operater pomoću zemaljske kontrolne stanice i proces prikupljanja slika obično rezultuje nepravilnim preklapanjem fotografija i geometrijom akvizicije.
- Zemaljska kontrolna stanica pruža uvid u podatke o letu kao što su položaj bespilotne letelice, brzina, visina i udaljenost bespilotne letelice, kapacitet baterije i slično.

17

Prikupljanje fotografija



18

Kalibracija i georeferenciranje

- U svrhu kalibracije i georeferenciranja prikupljenih podataka vrši se postavljanje kontrolnih tačaka na terenu (*Ground Control Point – GCP*).
- Koordinate kontrolnih tačaka se određuju konvencionalnim metodama premera, poput GNSS RTK metode, polarne metode i slično.
- Novije generacije bespilotnih letelica poseduju dvofrekvetne GNSS prijemnike koji omogućavaju rad u PPK i RTK režimu, pa kontrolne tačke nisu potrebne.

19

Kontrolne tačke



20

Obrada prikupljenih podataka

- Faza obrade podataka podrazumeva fotogrametrijsku obradu prikupljenih fotografija, generisanje gustog oblaka tačaka, digitalnog modela površi, digitalnog modela terena, digitalnog modela visina, ortomozaika i slično.
- Obrada prikupljenih podataka vrši se u okviru specijalizovanih softverskih rešenja.

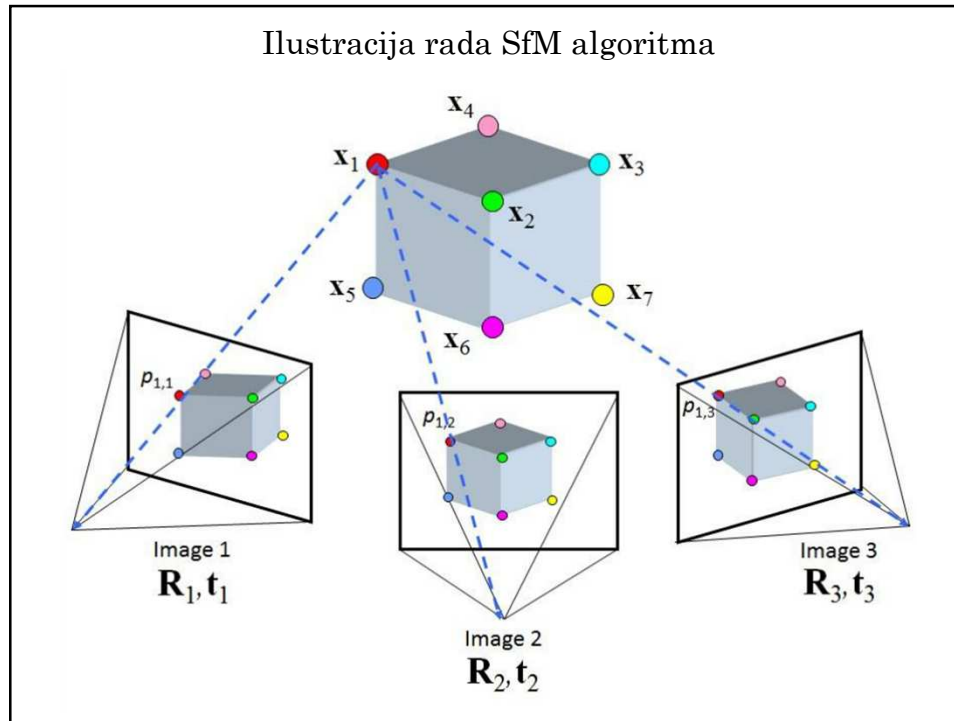


21

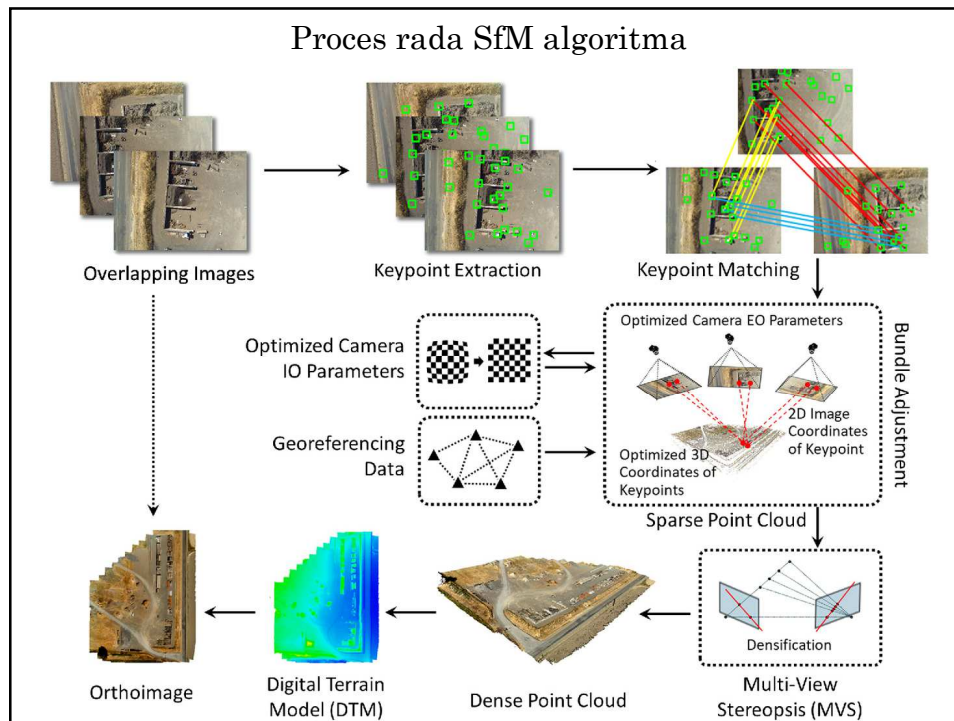
Structure from Motion algoritam

- *Structure from Motion* (SfM) predstavlja pristup kojim je moguće kreirati trodimenzionalne modele objekata ili topografije terena na osnovu 2D preklapajućih snimaka, koji su nastali sa više lokacija i različito orijentisanih snimaka, a sve u cilju rekonstrukcije posmatrane scene.
- SfM algoritam podrazumeva kombinaciju:
 - algoritma za pronalaženje karakterističnih tačaka na slikama;
 - algoritma za povezivanje karakterističnih tačaka sa više slika;
 - algoritma za rekonstrukciju 3D prostora iz povezanih karakterističnih tačaka.

22



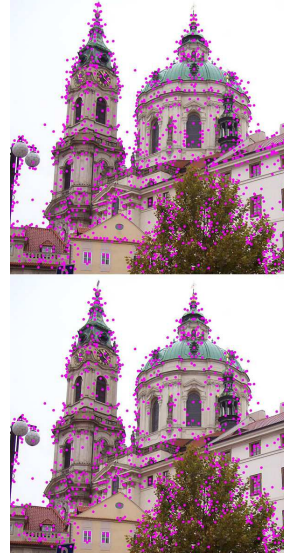
23



24

Structure from Motion algoritam

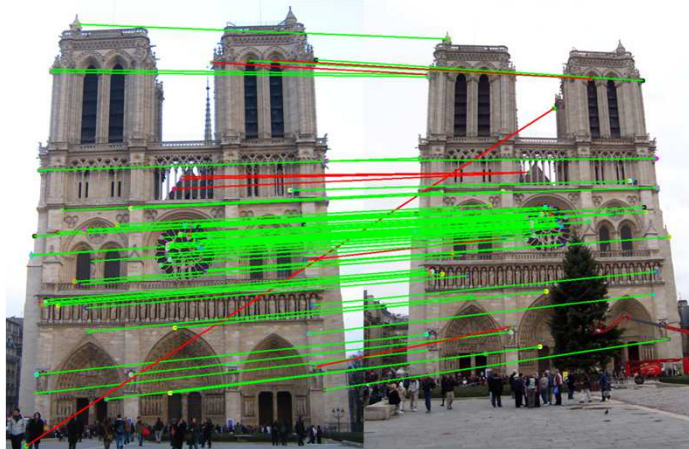
- Za detekciju karakterističnih tačaka na fotografijama najčešće se koristi *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) algoritam.
- SIFT koristi *Scale-Space* da bi detektovao karakteristične tačke koje ne zavise od rotacije i pomeraja kamere.
- Pored ovog algoritma, za detekciju karakterističnih tačaka na slikama koriste se i *Speeded Up Robust Features* (SURF) i *Oriented FAST and rotated BRIEF* (ORB) algoritmi.



25

Structure from Motion algoritam

- Nakon detekcije karakterističnih tačaka na slikama vrši se njihovo povezivanje primenom odgovarajućeg algoritma.



26

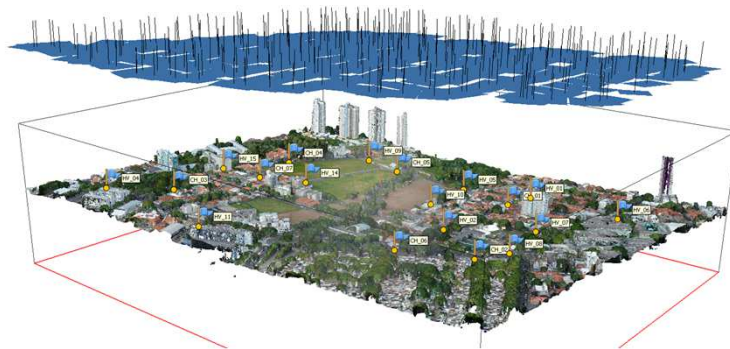
Structure from Motion algoritam

- *Bundle adjustment* – uklapanje fotografija i određivanje parametara kamere.
- U ovom postupku istovremeno se određuju parametri unutrašnje i spoljašnje orijentacije kamere.
- Parametri unutrašnje orijentacije opisuju karakteristike kamere, kao što je žižna daljina, glavna tačka, koeficijent nagiba, radijalni i tangencijalni koeficijenti izobličenja sočiva.
- Parametri spoljašnje orijentacije su 3D pozicija i orijentacija kamere u trenutku kreiranja fotografije.

27

Structure from Motion algoritam

- Multi View Stereopsis (MVS), stereo podudaranje iz više pogleda, omogućava generisanje gustog oblaka tačaka.
- Na osnovu oblaka tačaka generiše se digitalni model površi i digitalni model terena.



28

Structure from Motion algoritam

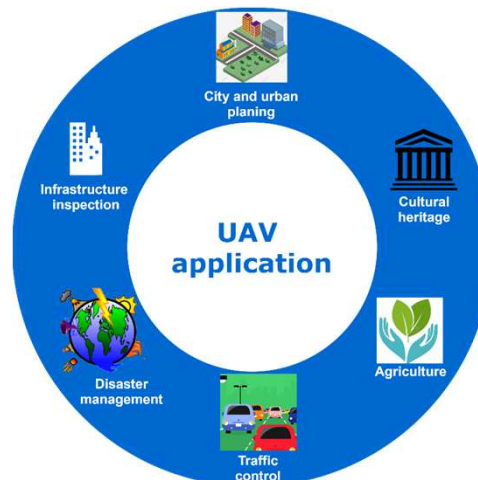
- Ortofoto planovi se dobijaju postupkom ortorektifikacije koji podrazumeva diferencijalnu rektifikaciju (ispravljanje) prilikom koje se perspektivna projekcija prevodi u ortogonalnu.



29

Oblasti primene bespilotnih letelica

- Arhitektura
- Poljoprivreda
- Šumarstvo
- Kontrola saobraćaja
- Inspekcija objekata
- Arheologija
- Kulturno nasleđe
- Vanredne situacije
- Ekologija
- Vojska i policija
- Zdravstvo



30

Studija slučaja – Stambena zgrada u Novom Sadu, Detekcija pukotina



UAV – Parrot Anafi

Specifikacije letelice

Težina	320 g
Dimenzije	175x239x63.5 mm
Maks. vreme leta	25 min (bez vetra)
Radni temp. opseg	0 – 40°C
Maks. radni opseg	4 km
Sistemi za satelitsko pozicioniranje	GPS/GLONASS

31

Studija slučaja – Stambena zgrada u Novom Sadu, Detekcija pukotina

UAV – Parrot Anafi

Specifikacije kamere

Format senzora	6.194 x 4.646 mm
Senzor	1/2.4" CMOS
Objektiv	FOV 180°
ISO opseg	100-3200
Rezolucija slike	4608 px X 3456 px
Veličina piksela	1.12 µm
Žižna daljina	4 mm

UAV – Parrot Anafi

Parametri plana leta

Udaljenost od objekta	6 m
Način pilotiranja	Manuelan
GSD	2.1 mm
Površina pokrivena sa jednom slikom	9 m x 7 m
Preklop	
Podužni	Poprečni
89%	89%

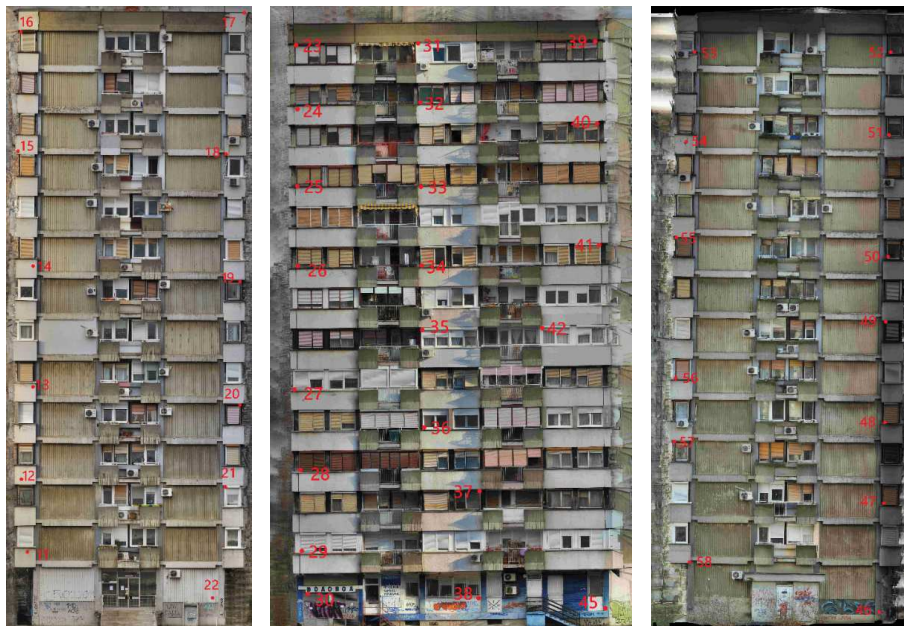
32

Lokalna geodetska mreža



33

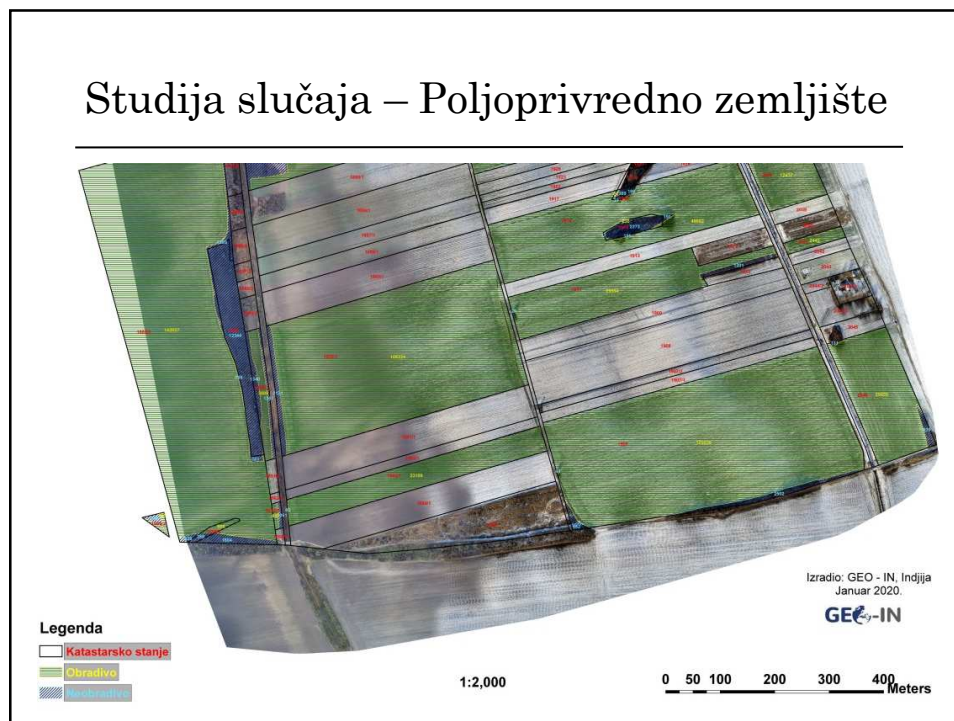
Pozicije kontrolnih tačaka na fasadi



34

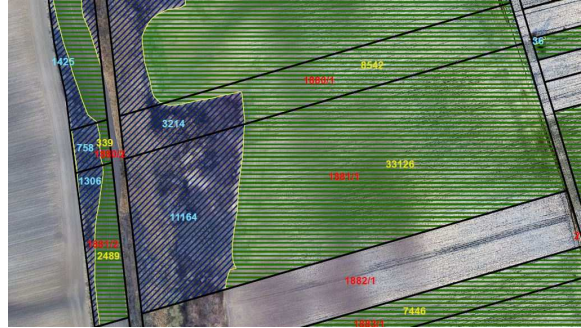


35



36

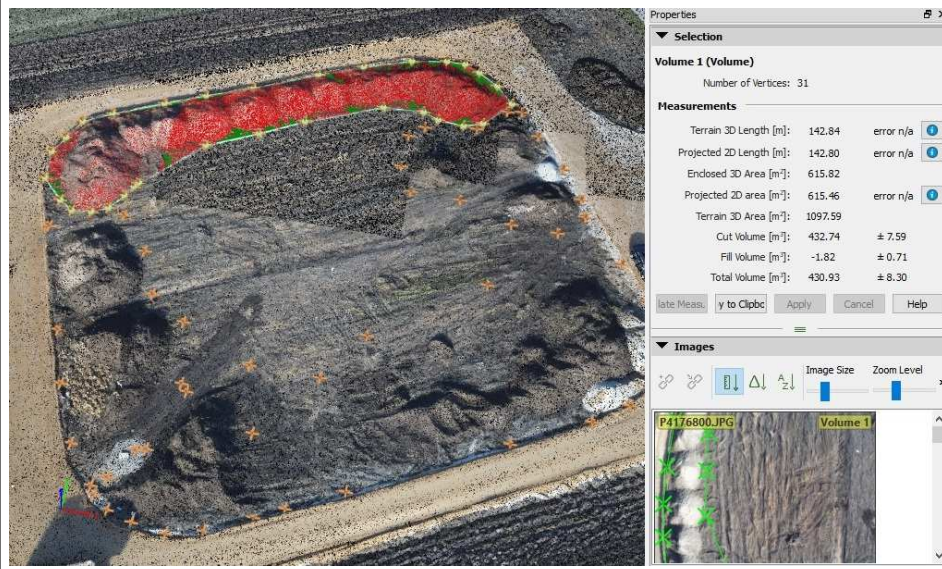
Studija slučaja – Poljoprivredno zemljište



Broj parcele	Potes	Površina [ha]	Obradivo [ha]	Neobradivo [ha]
1665/2	Šelevrenac	0.0954	0.0555	0.0399
1665/3	Šelevrenac	0.1024	0.0666	0.0358
1665/8	Šelevrenac	14.6716	14.2027	0.4689
1666	Šelevrenac	1.2344	/	1.2344
1875/1	Topole	3.7327	3.5284	0.2043
1878/2	Topole	0.109	0.0697	0.0393

37

Računanje zapremina materijala



38

Detekcija oštećenja na krovovima



39

PITANJA?

40