



Primena bespilotnih letelica u hidrometriji

Za predmet **Merenja u hidrotehnici**
pripremio Robert Ljubičić

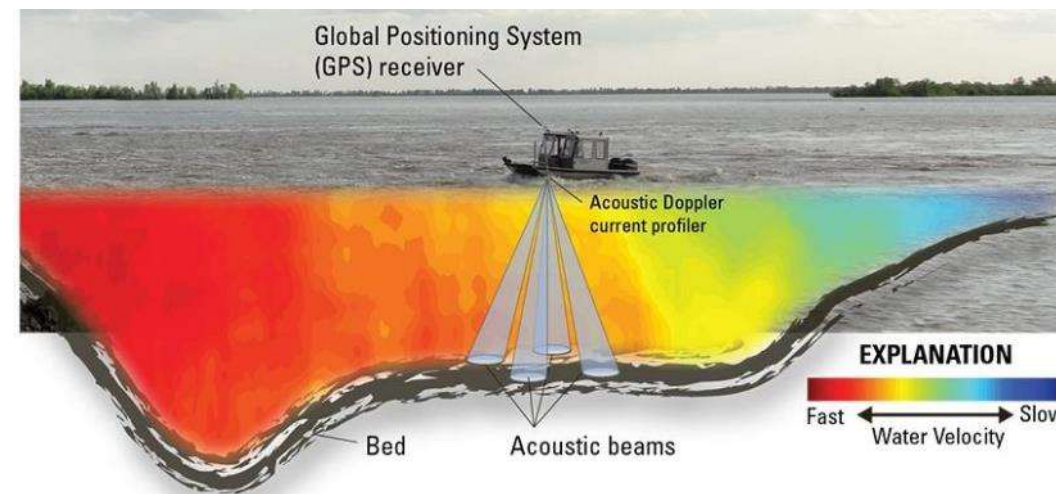
Katedra za hidrotehniku i vodno
ekološko inženjerstvo

Hidrometrijske poteškoće

- Merenje hidrauličko-hidroloških veličina – prvenstveno **protoka** u vodotocima
- Tradicionalne metode = hidrometrijska krila, ADCP
- **Skupa** merenja, puno ljudskog rada
- Dosta vremena za **planiranje i postavku**
- Dosta vremena za **obradu**
- Kampanje **nemoguće pri lošim vremenskim uslovima i na nepristupačnim terenima**

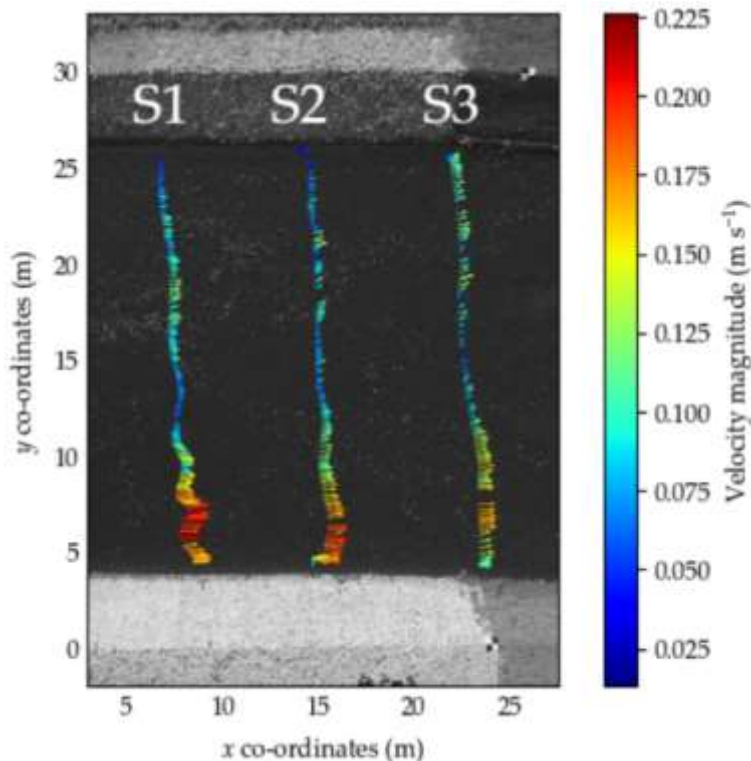


• Do protoka uz poznavanje površinskih brzina?

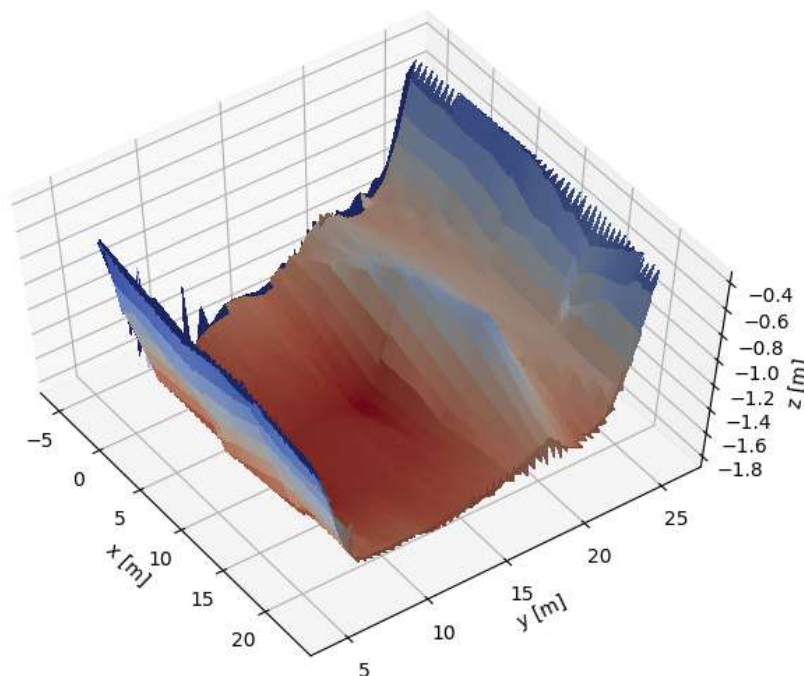


Kako od površinskih brzina do protoka?

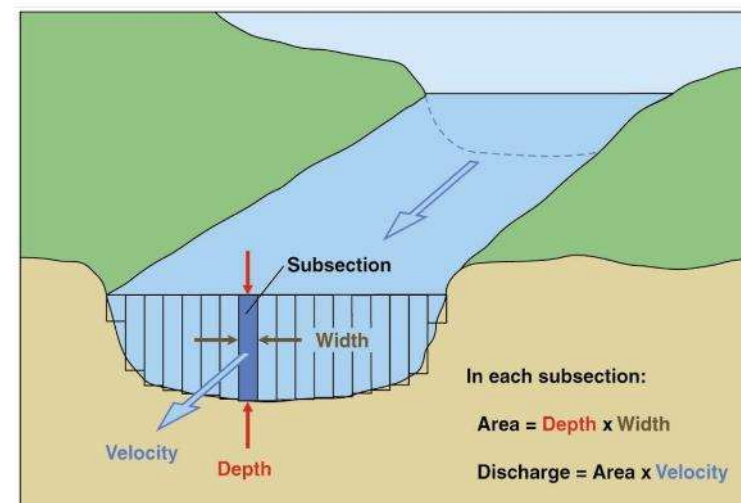
Površinske brzine $V(x,y)$



+ batimetrija $Z(x,y)$



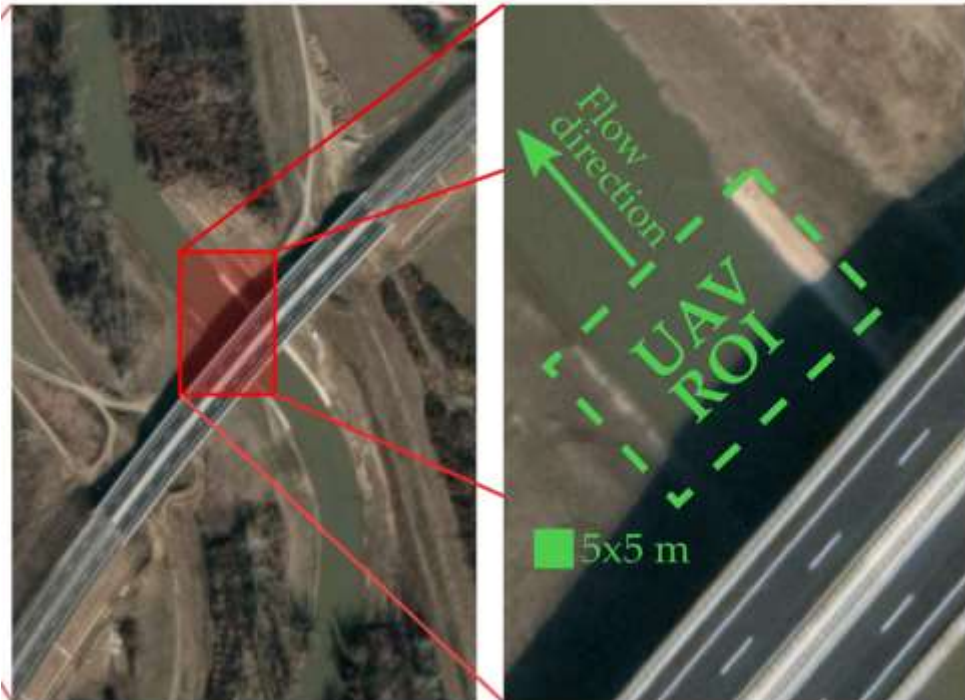
= Protok Q
(*velocity-area method*)



(s tim da se mora proceniti
odnos površinske brzine i prosečne brzine
u vertikalnom profilu)

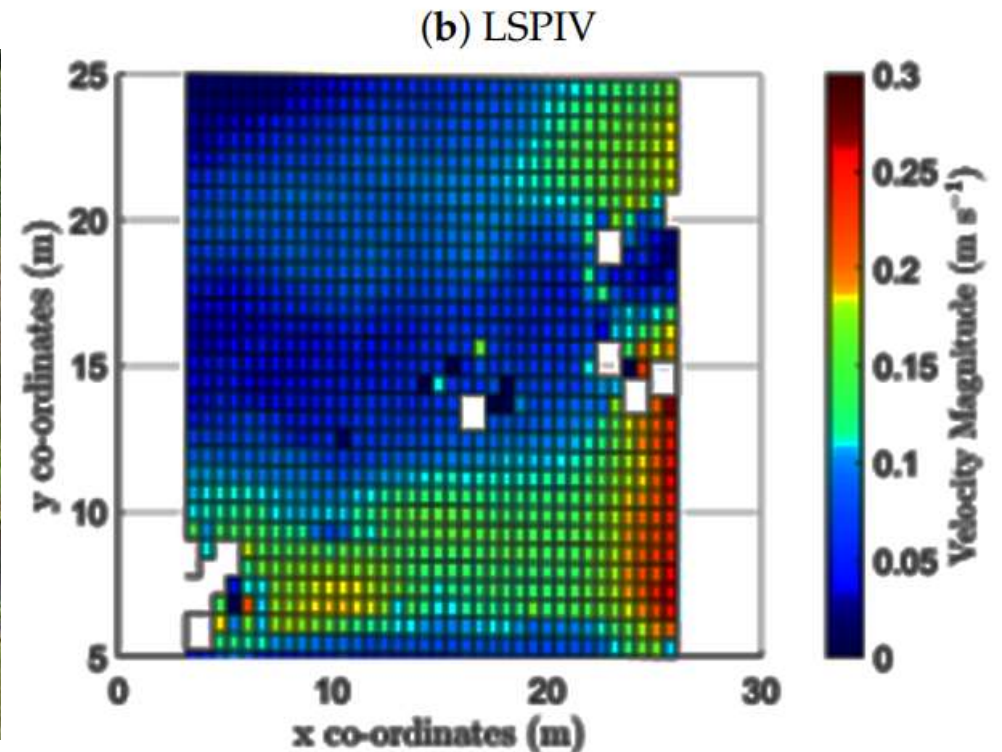
UAV: Unmanned aerial vehicle

- Like bespilotne letelice, često i *remotelly piloted aircraft system (RPAS)*, ...
- *Unmanned aerial system (UAS)* = UAV + sistem detekcije položaja/kretanja u odnosu na tlo
- Ideja: **posredna procena protoka** iz vazduha – pomoću adekvatnog video snimka sa UAV




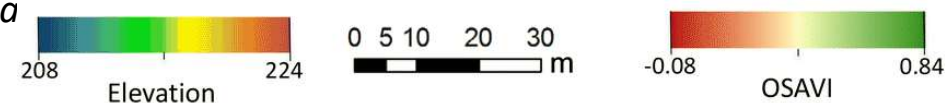
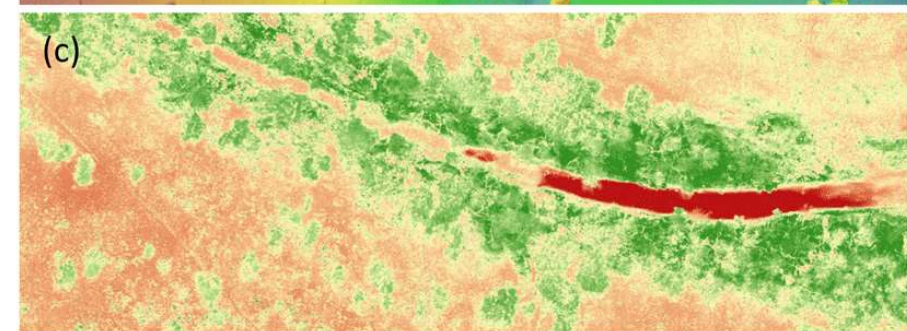
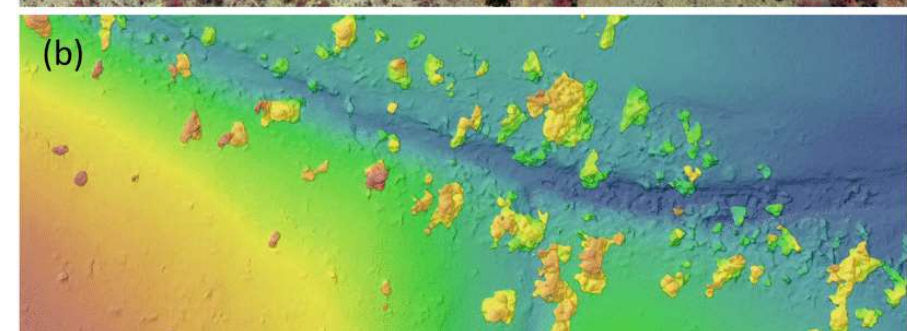
UAV: Unmanned aerial vehicle

- Like bespilotne letelice, često i *remotelly piloted aircraft system (RPAS)*, ...
- *Unmanned aerial system (UAS)* = UAV + sistem detekcije položaja/kretanja u odnosu na tlo
- Ideja: **posredna procena protoka** iz vazduha – pomoću adekvatnog video snimka sa UAV



Zašto UAV?

- **Niska cena**, već od \$500 letelica sa 4K kamerom
- **Upravljivost** i tačnost pozicioniranja (bez RTK/PPK u dm, sa u cm) 
- Domet (i do 10 km, vreme leta oko 30 min)
- **Smanjen rizik** za operatera
- Neophodan samo jedan operater
- Jednostavno rukovanje
- Jeftinije + brže merenje = **više mernih kampanja**
- Obavezna priprema **plana leta** pre odlaska na teren
- **Različiti tipovi kamera** za različite namene:
 - **RGB** (vidljivi spektar) – za procenu površinskih brzina, fotogrametrija, ...
 - **Termalne** – procena kretanja trasera u vodotocima, zagađenja u vodotoku, ...
 - **NIR** (*near infrared*) i **FIR** (*far infrared*) – za procenu parametara vegetacije (*Norma*)
 - **Multispektralne** – *all of the above*, vlažnost zemljišta, ...

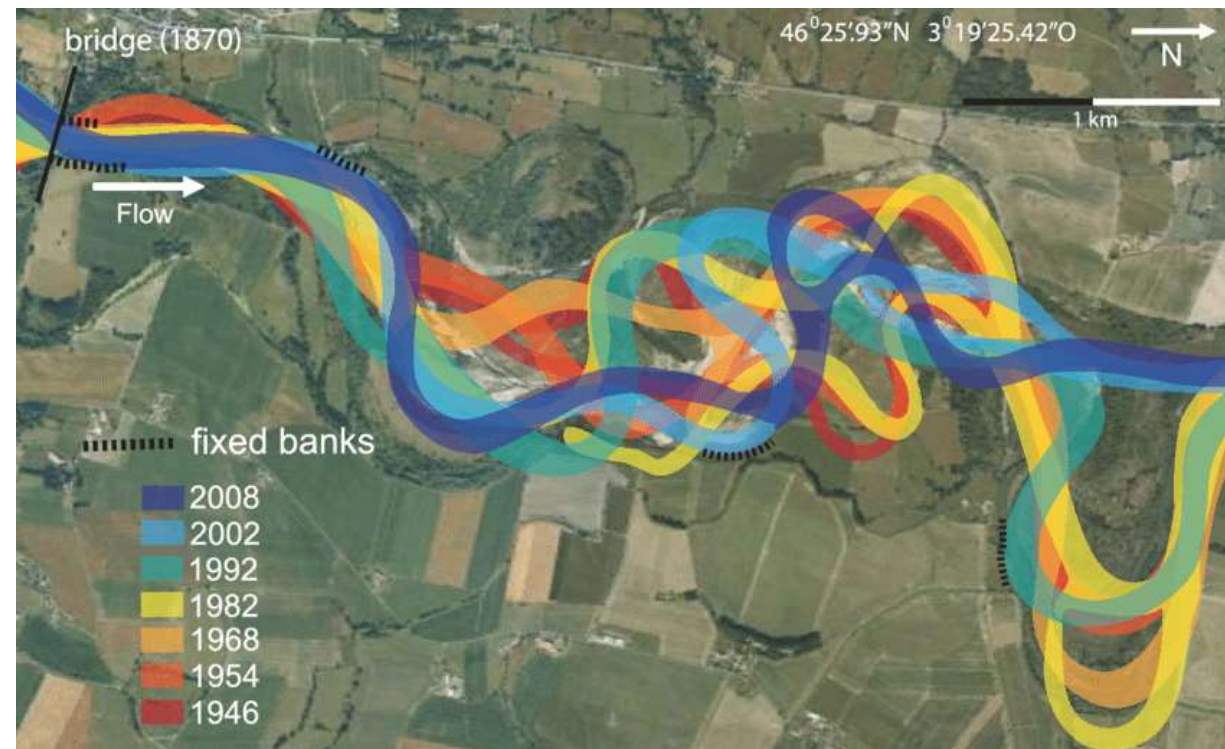


Tok merenja (*workflow*) (1)

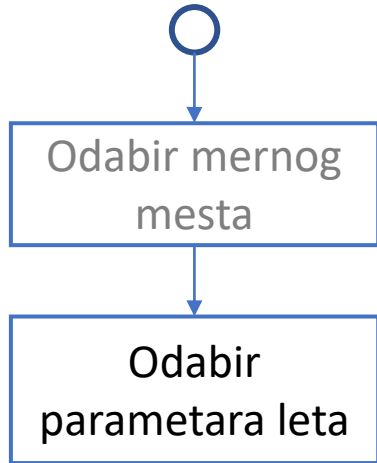


Odabir mernog
mesta

Da li postoje batimetrijski podaci?
Da li je profil morfološki stabilan?

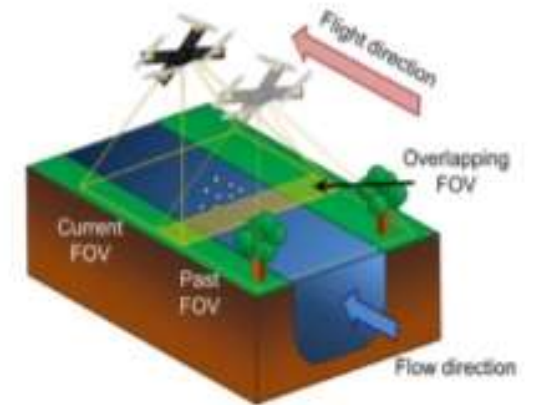
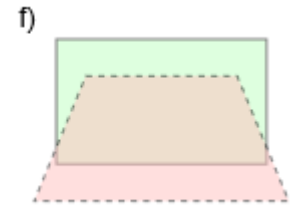
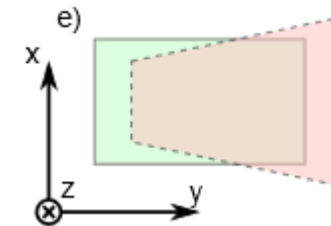
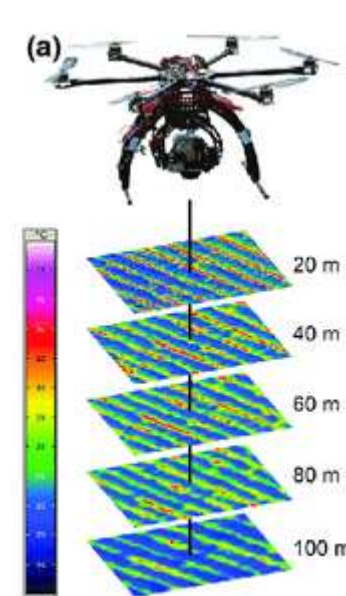


Tok merenja (*workflow*) (2)



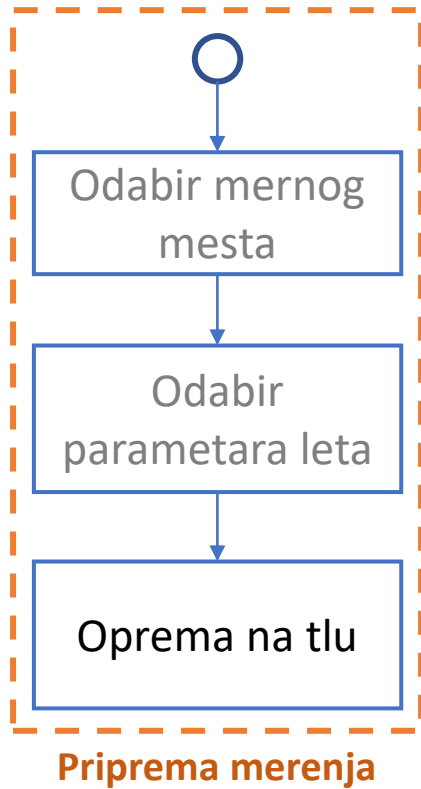
Da li postoje batimetrijski podaci?
Da li je profil morfološki stabilan?

Visina leta, ugao snimanja, jedan kadar ili više njih, parametri kamere ...



Lagrangian method
(Tauro et al., 2016)

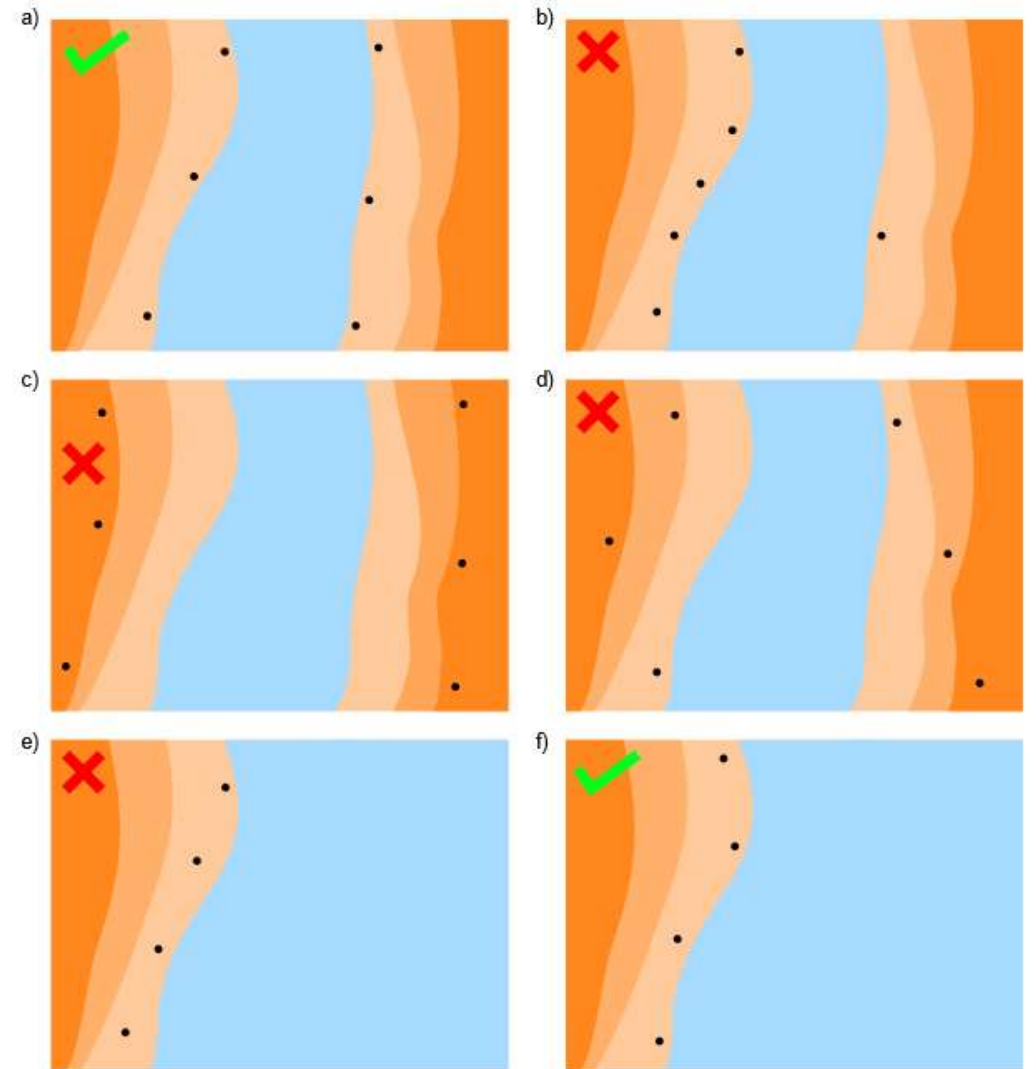
Tok merenja (*workflow*) (3)



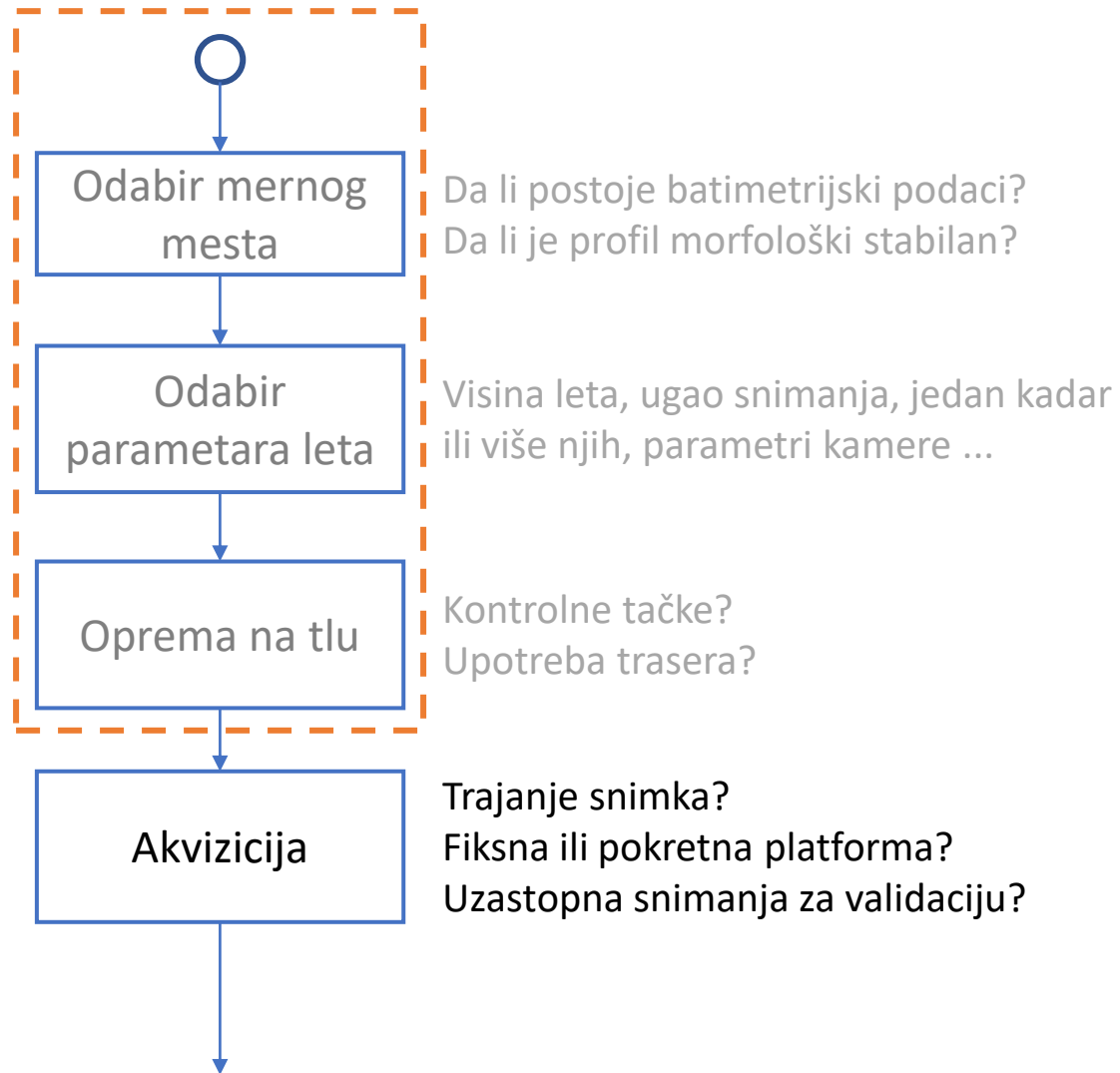
Da li postoje batimetrijski podaci?
Da li je profil morfološki stabilan?

Visina leta, ugao snimanja, jedan kadar ili više njih, parametri kamere ...

Kontrolne tačke, bazne stanice?
Upotreba trasera?



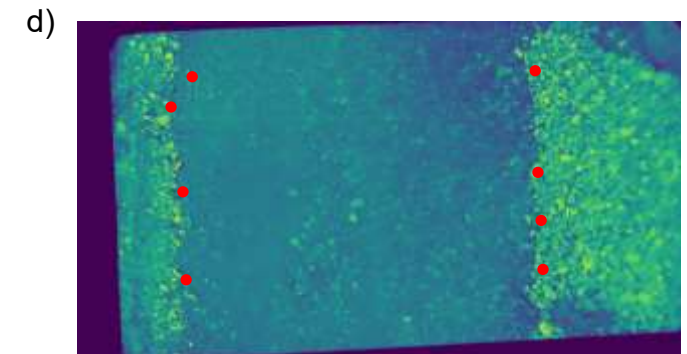
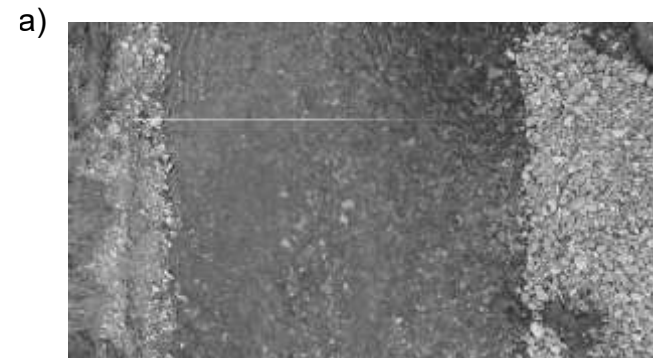
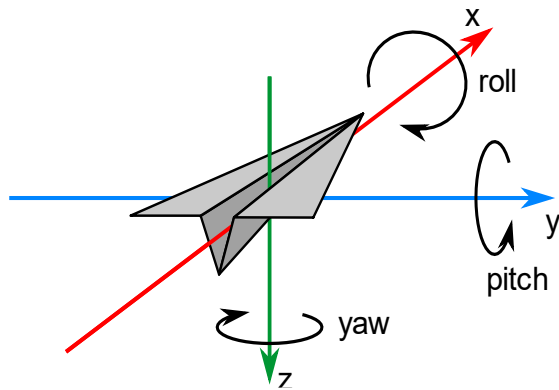
Tok merenja (*workflow*) (4)



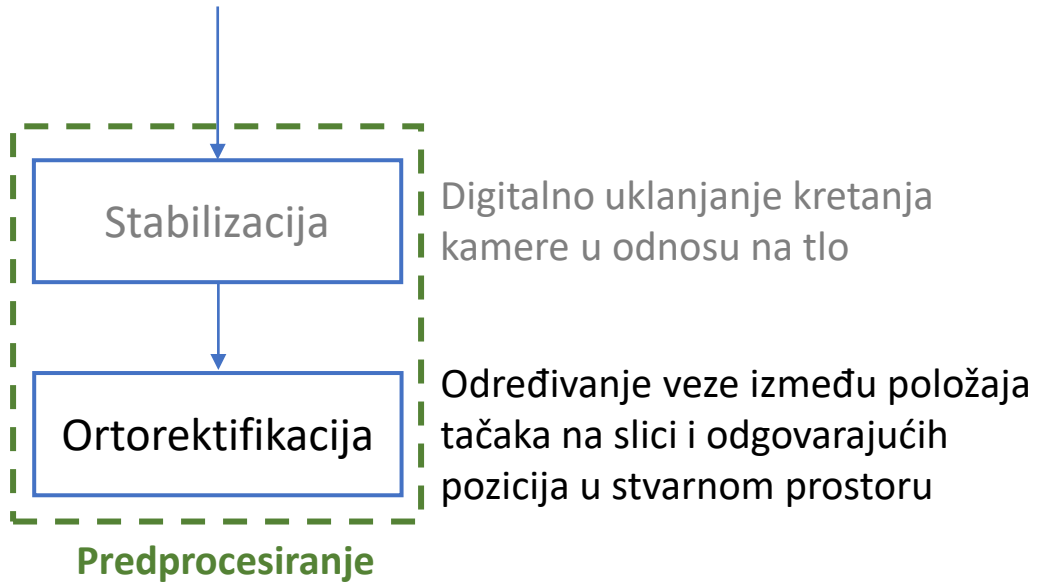
Tok merenja (*workflow*) (5)

Stabilizacija

Digitalno uklanjanje kretanja kamere u odnosu na tlo



Tok merenja (*workflow*) (6)



$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = T \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & b_1 \\ a_3 & a_4 & b_2 \\ c_1 & c_2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

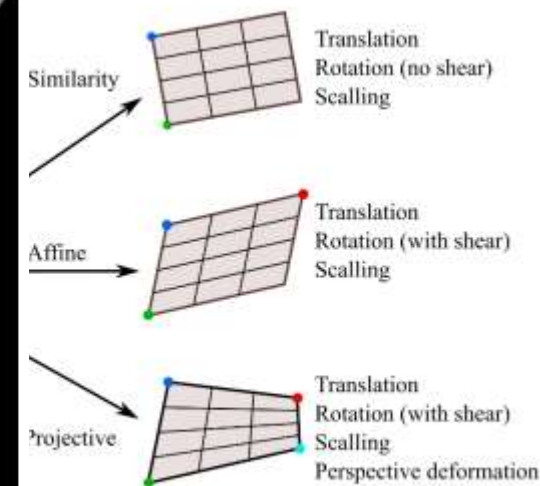
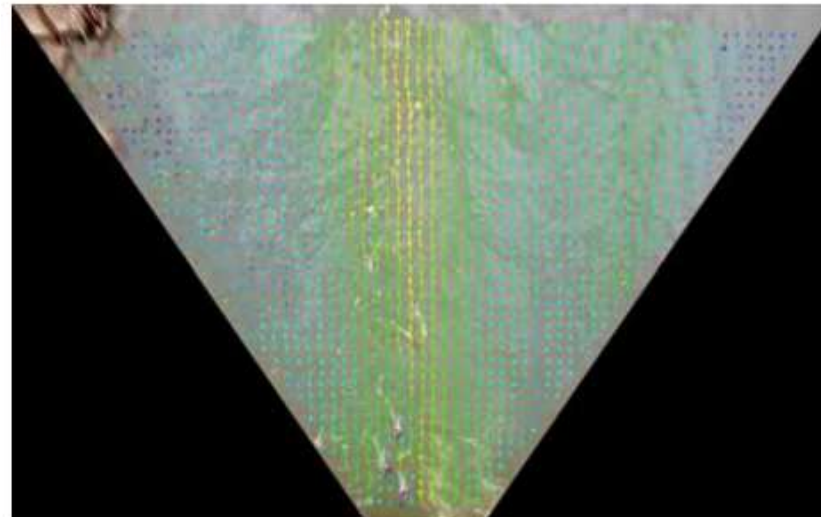
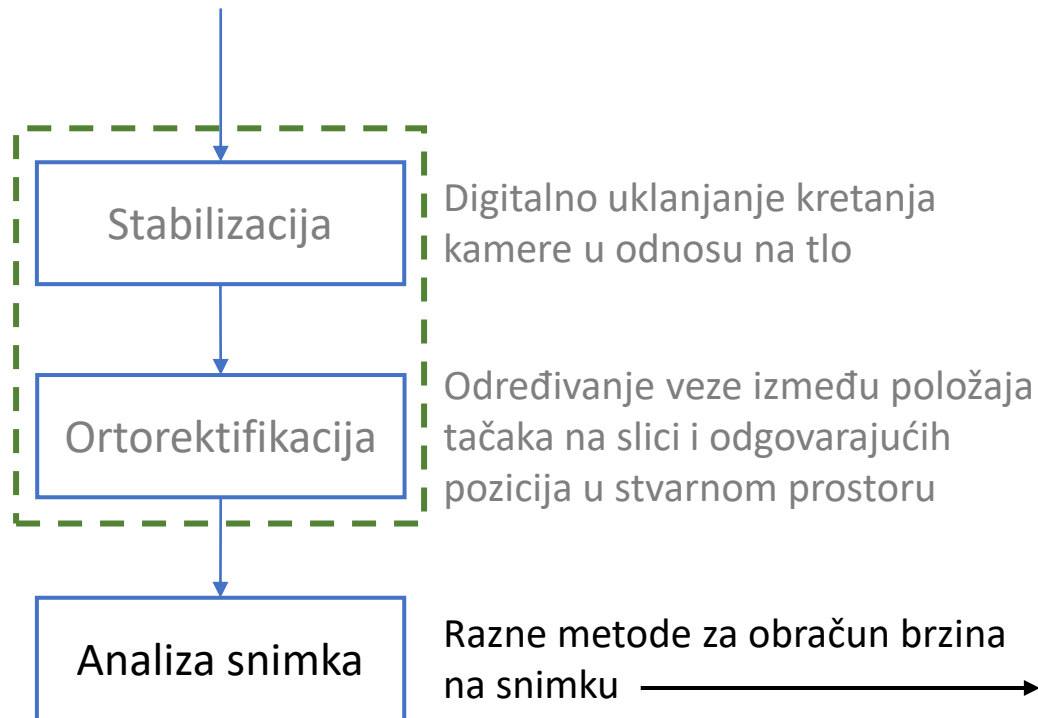


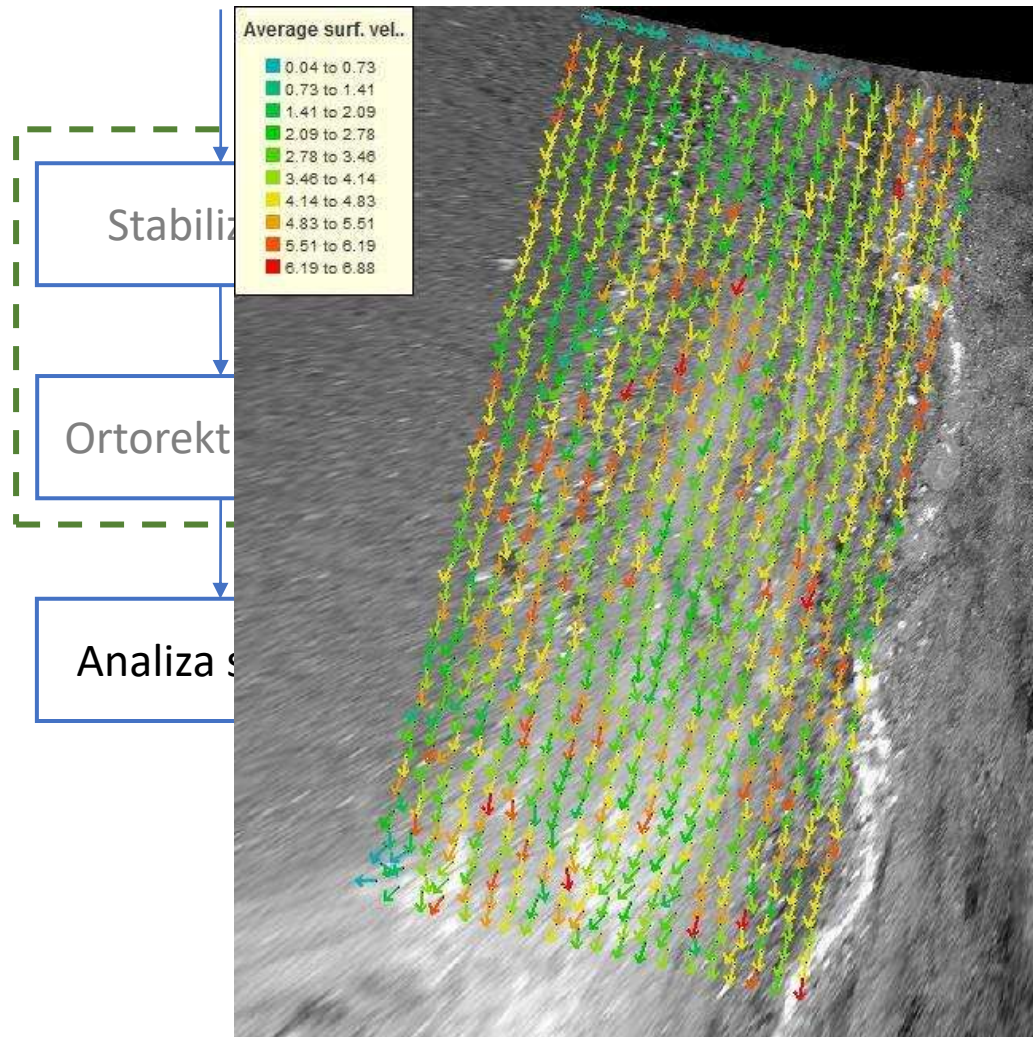
Figure 3. Examples of image transformation methods

Tok merenja (*workflow*) (7)



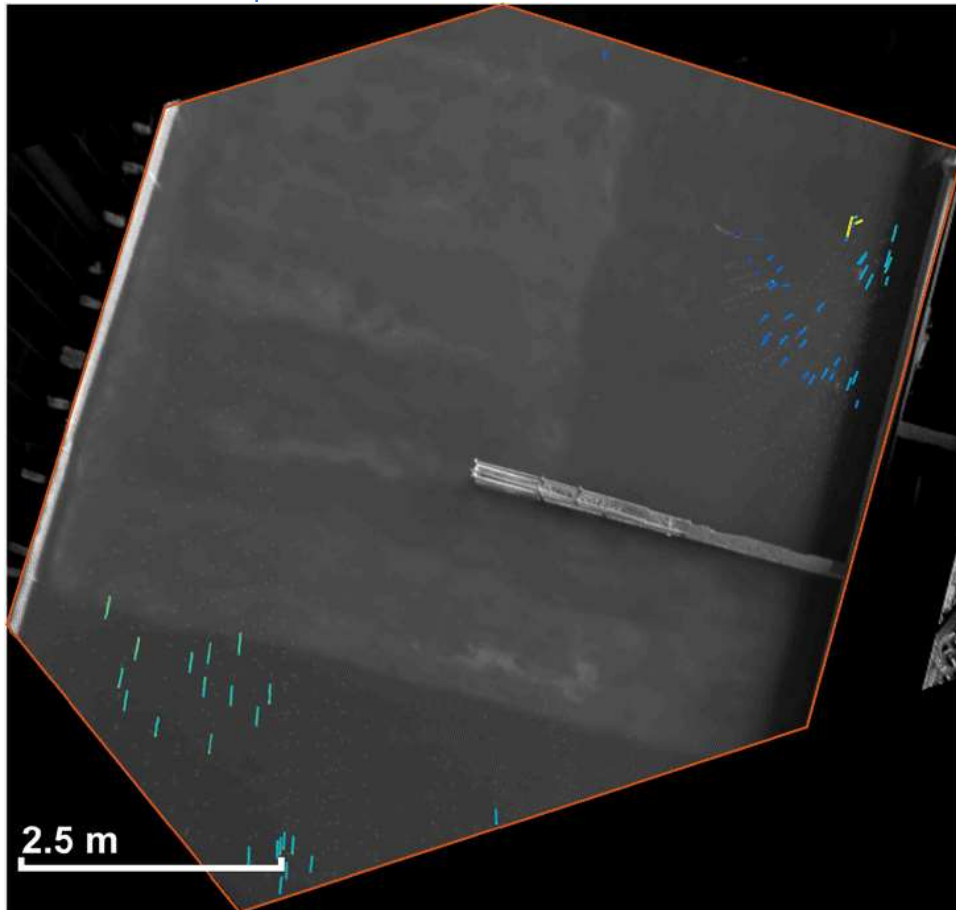
- **LSPIV** (*large scale particle image velocimetry*)
– za visoku i ravnomernu gustinu trasera (Ojlerovski pristup)
- **LSPTV** (*large scale particle tracking velocimetry*)
– za nisku i neravnomernu gustinu trasera (Lagranžovski pristup)
- **KLT** (*Kanade-Lukas-Tomasi*) *optical flow tracking* (OTV)
– Lagranžovski pristup, nešto sofisticiraniji od PTV, pogodan za različite gustine trasera
- **SSIV** (*Surface Structure Image Velocimetry*)
– hibridni (E-L) model, implementiran u DischargeApp
- **STIV** (*space-time image velocimetry*)
– pogodan za terestrijalne konfiguracije na velikim vodotocima

Tok merenja (*workflow*) (7)



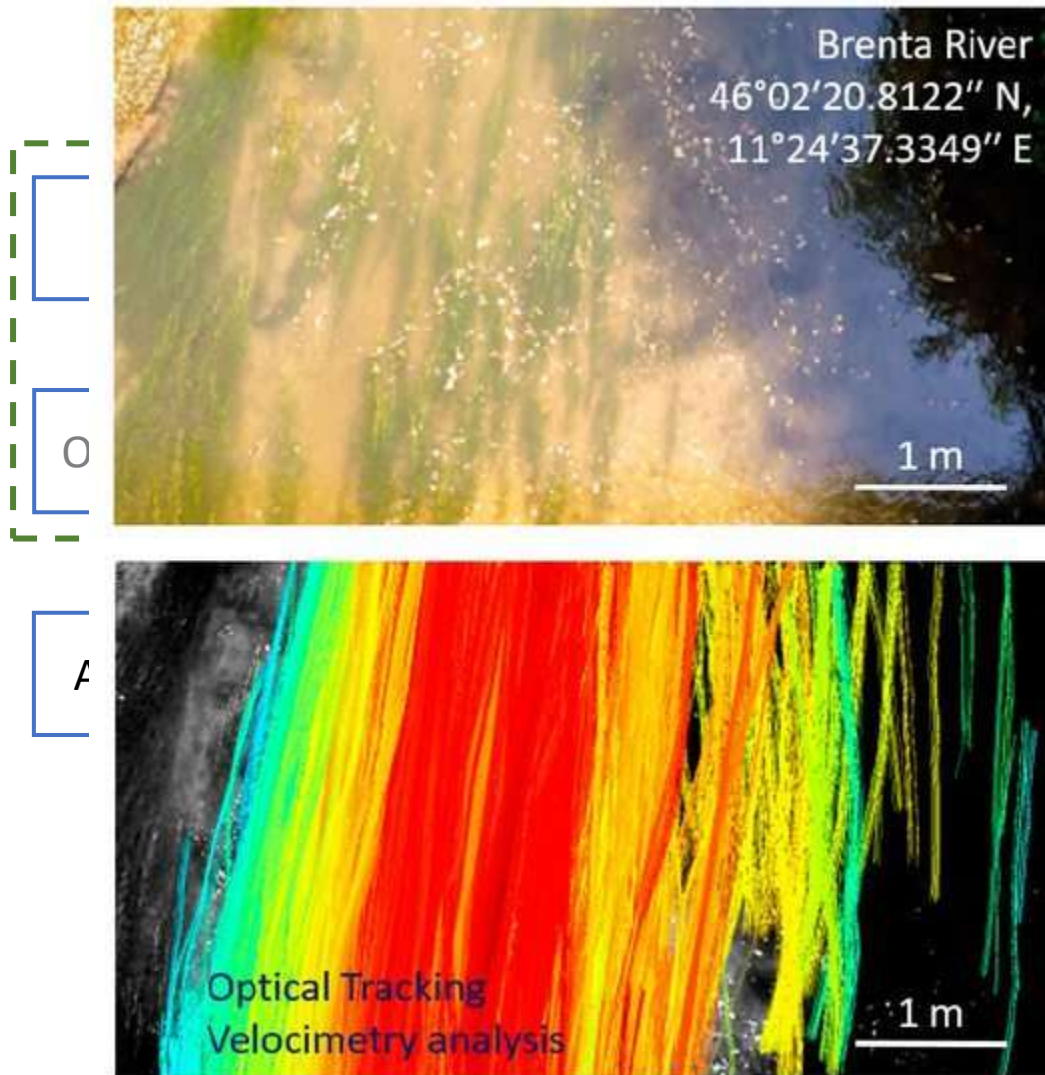
- **LSPIV** (*large scale particle image velocimetry*)
– za visoku i ravnomernu gustinu trasera (Ojlerovski pristup)
- **LSPTV** (*large scale particle tracking velocimetry*)
– za nisku i neravnomernu gustinu trasera (Lagranžovski pristup)
- **KLT** (*Kanade-Lukas-Tomasi*) *optical flow tracking* (OTV)
– Lagranžovski pristup, nešto sofisticiraniji od PTV, pogodan za različite gustine trasera
- **SSIV** (*Surface Structure Image Velocimetry*)
– hibridni (E-L) model, implementiran u DischargeApp
- **STIV** (*space-time image velocimetry*)
– pogodan za terestrijalne konfiguracije na velikim vodotocima

Tok merenja (*workflow*) (7)



- 0.55
0.5
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
- LSPIV** (*large scale particle image velocimetry*)
– za visoku i ravnomernu gustinu trasera (Ojlerovski pristup)
 - LSPTV** (*large scale particle tracking velocimetry*)
– za nisku i neravnomernu gustinu trasera (Lagranžovski pristup)
 - KLT** (*Kanade-Lukas-Tomasi*) *optical flow tracking* (OTV)
– Lagranžovski pristup, nešto sofisticiraniji od PTV, pogodan za različite gustine trasera
 - SSIV** (*Surface Structure Image Velocimetry*)
– hibridni (E-L) model, implementiran u DischargeApp
 - STIV** (*space-time image velocimetry*)
– pogodan za terestrijalne konfiguracije na velikim vodotocima

Tok merenja (*workflow*) (7)



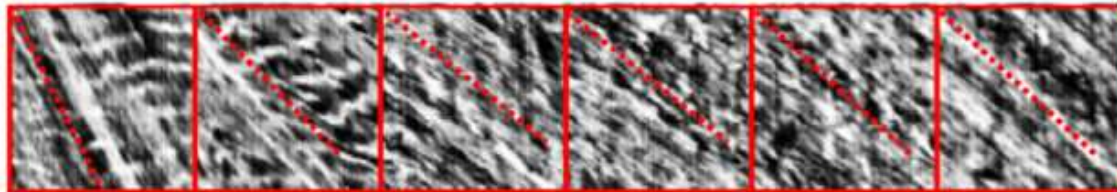
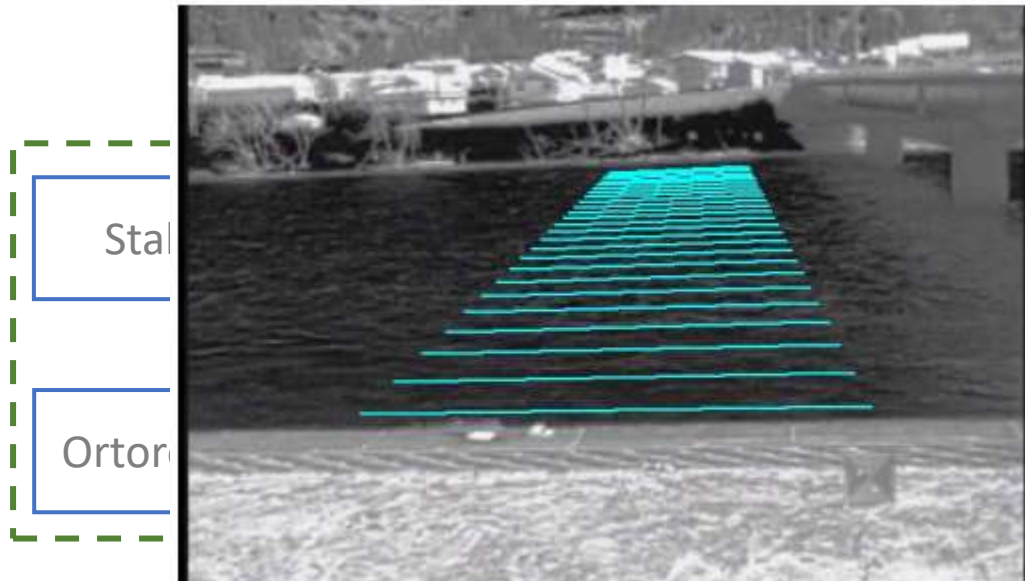
- **LSPIV** (*large scale particle image velocimetry*)
– za visoku i ravnomernu gustinu trasera (Ojlerovski pristup)
- **LSPTV** (*large scale particle tracking velocimetry*)
– za nisku i neravnomernu gustinu trasera (Lagranžovski pristup)
- **KLT** (*Kanade-Lukas-Tomasi*) *optical flow tracking* (OTV)
– Lagranžovski pristup, nešto sofisticiraniji od PTV, pogodan za različite gustine trasera
- **SSIV** (*Surface Structure Image Velocimetry*)
– hibridni (E-L) model, implementiran u DischargeApp
- **STIV** (*space-time image velocimetry*)
– pogodan za terestrijalne konfiguracije na velikim vodotocima

Tok merenja (*workflow*) (7)

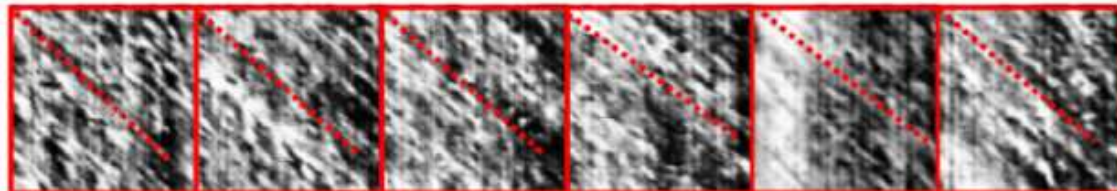


- **LSPIV** (*large scale particle image velocimetry*)
– za visoku i ravnomernu gustinu trasera (Ojlerovski pristup)
- **LSPTV** (*large scale particle tracking velocimetry*)
– za nisku i neravnomernu gustinu trasera (Lagranžovski pristup)
- **KLT** (*Kanade-Lukas-Tomasi optical flow tracking (OTV)*)
– Lagranžovski pristup, nešto sofisticiraniji od PTV, pogodan za različite gustine trasera
- **SSIV** (*Surface Structure Image Velocimetry*)
– hibridni (E-L) model, implementiran u DischargeApp
- **STIV** (*space-time image velocimetry*)
– pogodan za terestrijalne konfiguracije na velikim vodotocima

Tok merenja (*workflow*) (7)



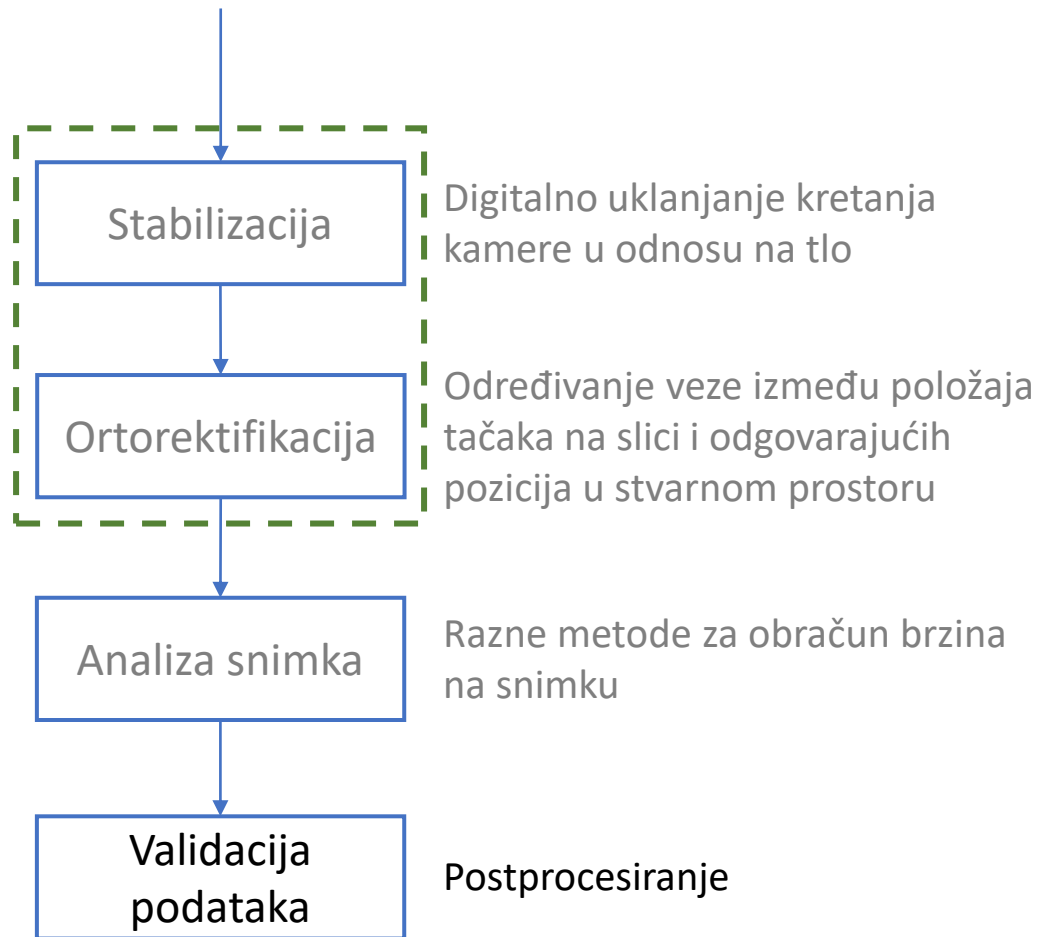
(a) $x=0.0$ (b) $x=10.6$ (c) $x=21.3$ (d) $x=32.0$ (e) $x=42.6$ (f) $x=53.3$



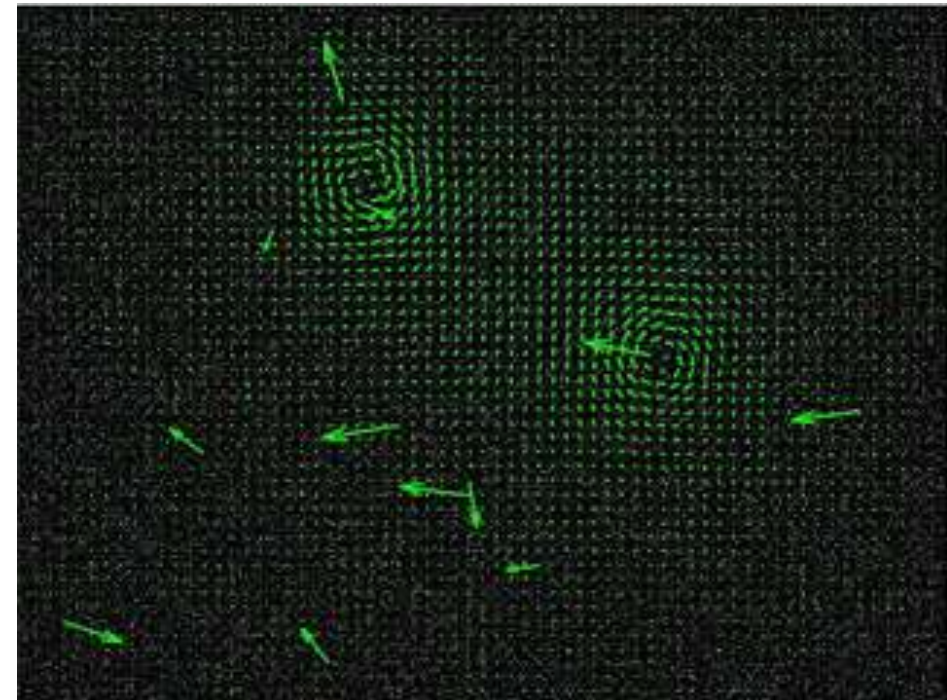
(g) $x=64.0$ (h) $x=74.6$ (i) $x=85.3$ (j) $x=95.9$ (k) $x=106.6$ (l) $x=111.9$

- **LSPIV** (*large scale particle image velocimetry*)
– za visoku i ravnomernu gustinu trasera (Ojlerovski pristup)
- **LSPTV** (*large scale particle tracking velocimetry*)
– za nisku i neravnomernu gustinu trasera (Lagranžovski pristup)
- **KLT** (*Kanade-Lukas-Tomasi*) *optical flow tracking* (OTV)
– Lagranžovski pristup, nešto sofisticiraniji od PTV, pogodan za različite gustine trasera
- **SSIV** (*Surface Structure Image Velocimetry*)
– hibridni (E-L) model, implementiran u DischargeApp
- **STIV** (*space-time image velocimetry*)
– pogodan za terestrijalne konfiguracije na velikim vodotocima

Tok merenja (*workflow*) (8)



- **Uklanjanje** (očigledno ili verovatno) pogrešnih ili nemogućih vrednosti iz rezultata
- **Zamena** uklonjenih vrednosti pomoću dostupnih informacija iz neposredne okoline (interpolacija)



Softver

- Za predprocesiranje (digitalna stabilizacija i/ili ortorektifikacija):
 - [FFT-CUAS](#): Matlab platforma, skripta za stabilizaciju
 - [FFTvidStabilization](#): Python platforma, na bazi OpenPIV paketa, skripta za stabilizaciju
 - [SSIMS](#): Python platforma sa GUI, stabilizacija i ortorektifikacija
 - [KLT-IV](#): sadrži module za stabilizaciju i ortorektifikaciju
 - [VISION](#): Matlab platforma, samo za stabilizaciju
 - [FlowVeloTool](#): Python platforma, sadrži module za stabilizaciju i ortorektifikaciju
 - [Blender](#): sadrži modul za stabilizaciju video snimaka
 - ...

Softver

- Za *large-scale* procenu polja brzina u ravni i validaciju podataka:
 - [PIVlab](#): Matlab dodatak, besplatan
 - [OpenPIV](#): Python platforma (Matlab verzija se ne razvija više), nudi nešto manje opcija nego PIVlab
 - [PTVlab](#): Matlab dodatak, besplatan ali izuzetno mator i neodržavan
 - [TracTrac](#): jednostavan PTV softver na Matlab platformi
 - [FUDAA-LSPIV](#): besplatan, naprediniji od PIVlab
 - [KLT-IV](#): all-in-one rešenje za *optical flow velocimetry*
 - [Photrack DischargeApp](#): aplikacija za telefone, jednostavna za korišćenje
 - [FlowVeloTool](#): paket alata za *image velocimetry*, nudi PIV, PTV i OTV metode
 - ...

Na našoj Katedri

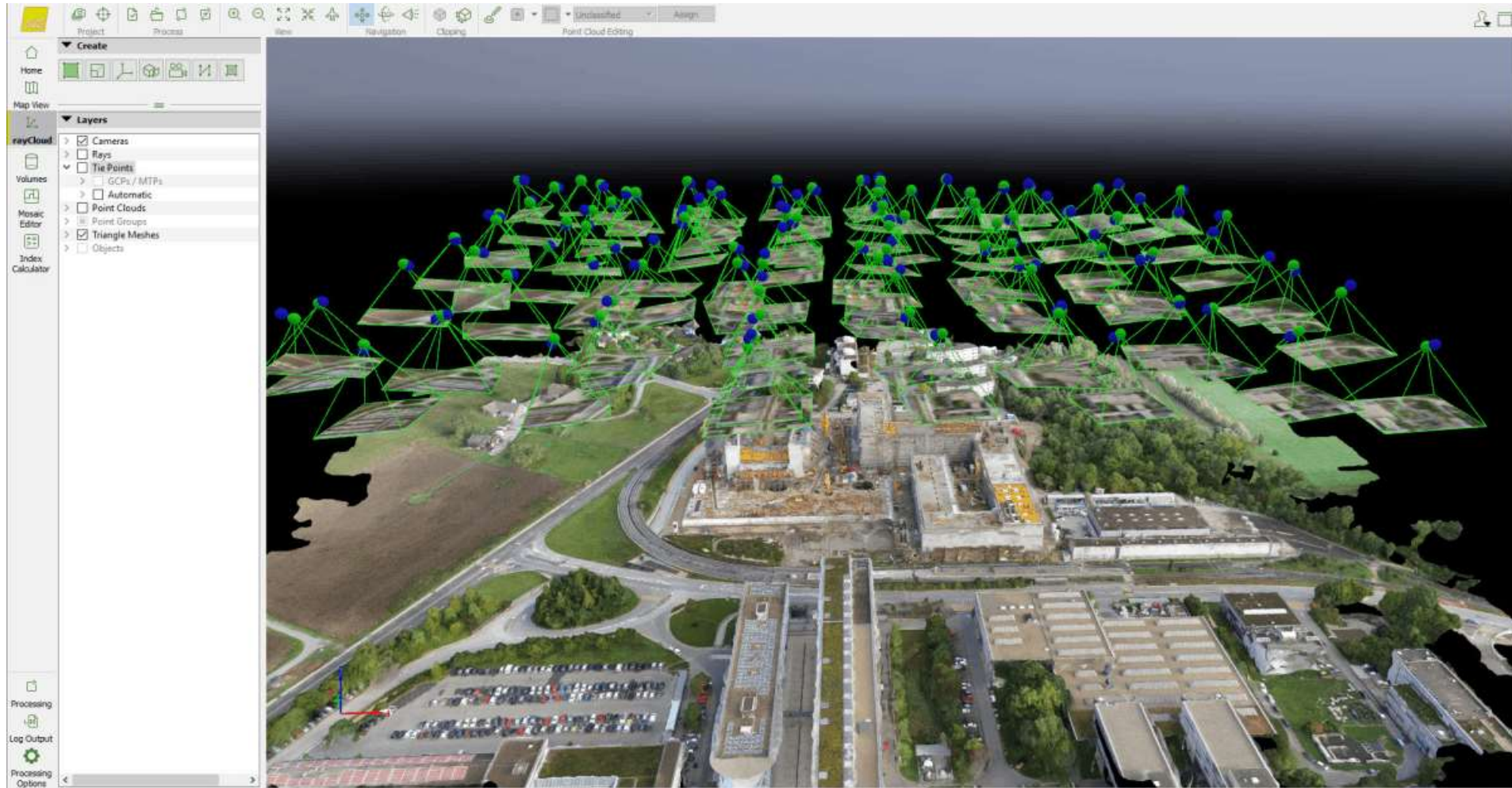
- **DJI Mini 2**

- Mala težina (249 g) – ne mora da se registruje
 - Baterija 30 min (a imamo ih 3)
 - Video rezolucije do 3840x2160@30 fps
 - Troosni mehanički stabilizator kamere
 - Visina leta (dozvoljena) do 100 m, inace do 500 m (4 km ?)
 - Domet (dozvoljeni) do 500 m, inace do 6 km
 - Vetrovi do ~10 m/s
 - Brzina kretanja do 60 km/h
 - Spreman za terenska merenja!
- Učesnici smo projekta **COST Harmonious** - *Harmonization of UAS techniques for agricultural and natural ecosystems monitoring*



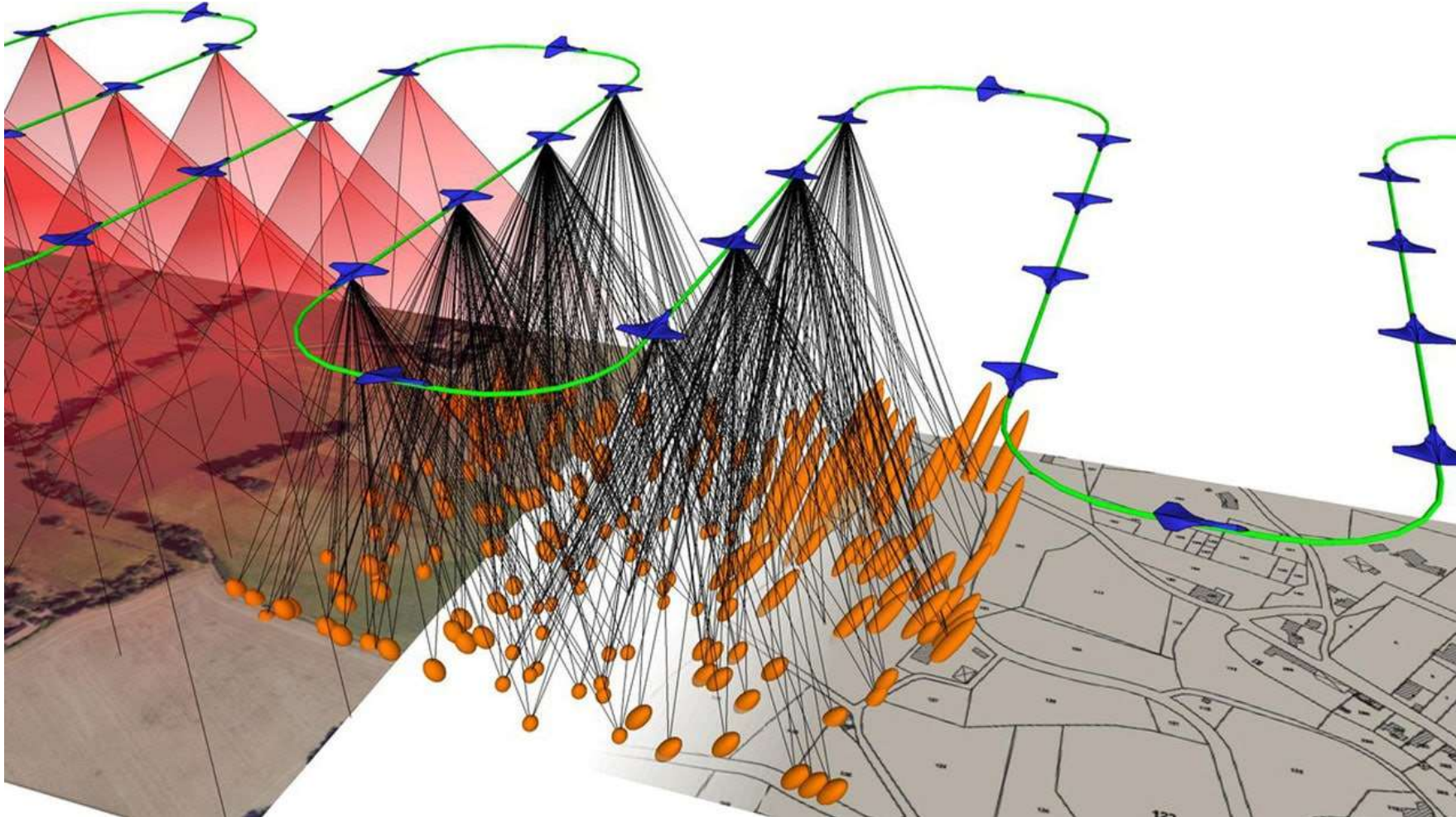
Bonus – fotogrametrija

- Procena digitalnog modela terena na osnovu UAV fotografija



Bonus - fotogrametrija

- Procena digitalnog modela terena na osnovu UAV fotografija



Bonus - fotogrametrija

- Procena digitalnog modela terena na osnovu UAV fotografija



Bonus - fotogrametrija

- Procena digitalnog modela terena na osnovu UAV fotografija





Hvala na pažnji!

Pitanja na rljubicic@grf.bg.ac.rs