

RADIONICA br. 2 HRZZ projekta "3D-FORINVENT"

"Metode obrade i primjene podataka daljinskih istraživanja  
dobivenih različitim 3D optičkim izvorima u izmjeri šuma"

*NPŠO Velika, 3. srpnja 2019.*



# Primjena 3D podataka iz različitih izvora daljinskih istraživanja u izmjeri šuma – modeliranje i procjena strukturnih parametara šumskih sastojina

**Ivan Balenović**

Hrvatski šumarski institut  
Zavod za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku  
Trnjanska cesta 35, Zagreb  
[ivanb@sumins.hr](mailto:ivanb@sumins.hr)



Uporaba podataka daljinskih istraživanja dobivenih  
različitim 3D optičkim izvorima u izmjeri šuma  
(3D-FORINVENT), IP-2016-06-7686

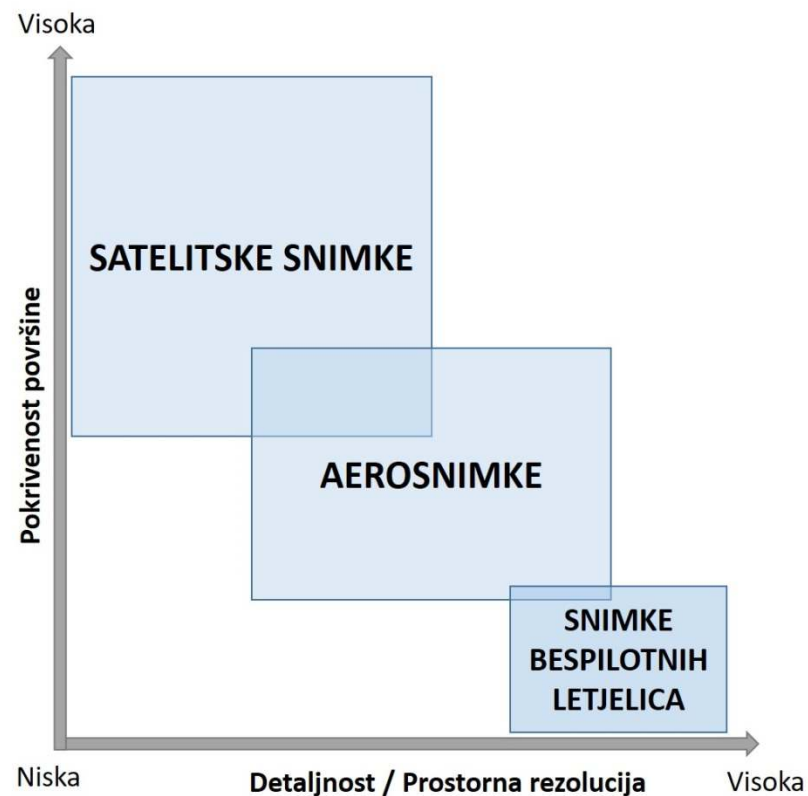


## UVOD

- **DIGITALNA AEROFOTOGRAMetriJA**

- Različiti 3D optički izvori:

- Satelitske snimke
- Aerosnimke (avio snimke)
- Snimke bespilotnih letjelica (UAV snimke)



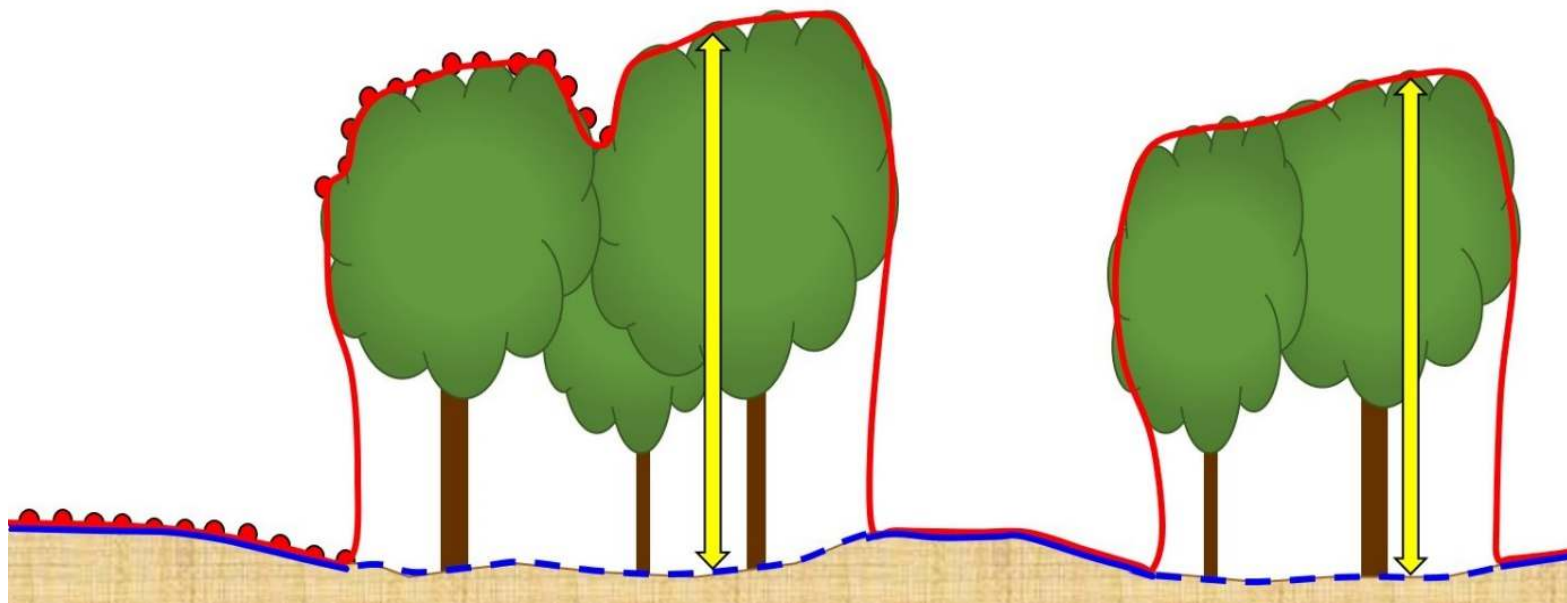
- **LiDAR tehnologija**

- **ALS** (*Airborne Laser Scanning*) – lasersko skeniranje iz aviona
- **ULS** (*Unmanned Laser Scanning*) – lasersko skeniranje s bespilotnom letjelicom
- **PLS** (*Personnel laser scanning*) – ručno lasersko skeniranje

## UVOD

●●● Fotogrametrijski oblak točaka    — DMP    — DMR    ⇅ DMVK

### Glavni fotogrametrijski proizvodi



**Fotogrametrijski oblak točaka** - procesiranjem snimaka s preklapkom (tzv. stereo-snimke) korištenjem SfM i DIM algoritama. U usporedbi s LiDAR oblakom, značajno je 'siromašniji' u vertikalnom, ali 'bogatiji' u horizontalnom pogledu. Opisuje gornju, vidljivu površinu snimljenog objekta. Preklapanjem oblaka točaka s DMR-om, odnosno oduzimanjem nadmorskih visina DMR-a od nadmorskih visina oblaka točaka, dobije se **normalizirani oblak točaka** s vrijednostima visina iznad tla.

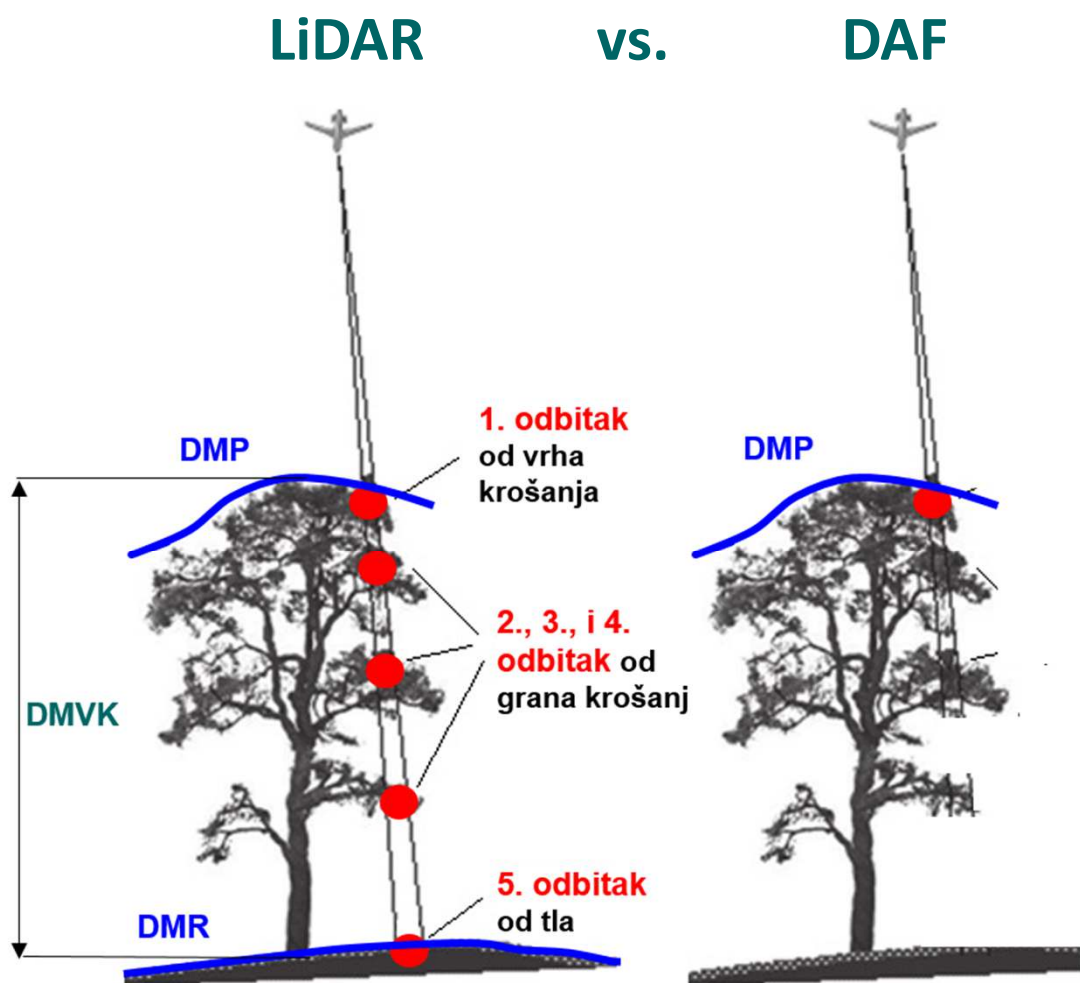
**Digitalni Model Površine, DMP** - model Zemljine površine, uključujući izgrađene objekte i vegetaciju.

**Digitalni Model Reljefa, DMR** - predstavlja model 'gole' Zemljine površine, bez izgrađenih objekata i vegetacije. U gustim, sklopljenim sastojinama, nije ga moguće izgraditi iz fotogrametrijskog oblaka točaka. Stoga je za šumska područja uputno koristiti DMR dobiven LiDAR tehnologijom, ili postojeći DMR zadovoljavajuće točnosti.

**Digitalni Model Visina Krošanja/Sastojine, DMVK** - nastaje preklapanjem DMR-a i DMP-a, odnosno oduzimanjem DMR-a od odgovarajućeg DMP-a. Najčešće je predstavljen u rasterskom obliku s vrijednostima visina iznad tla.

## UVOD

### DIGITALNA AEROFOTOGRAMetriJA (DAF)



#### PREDNOSTI DAF

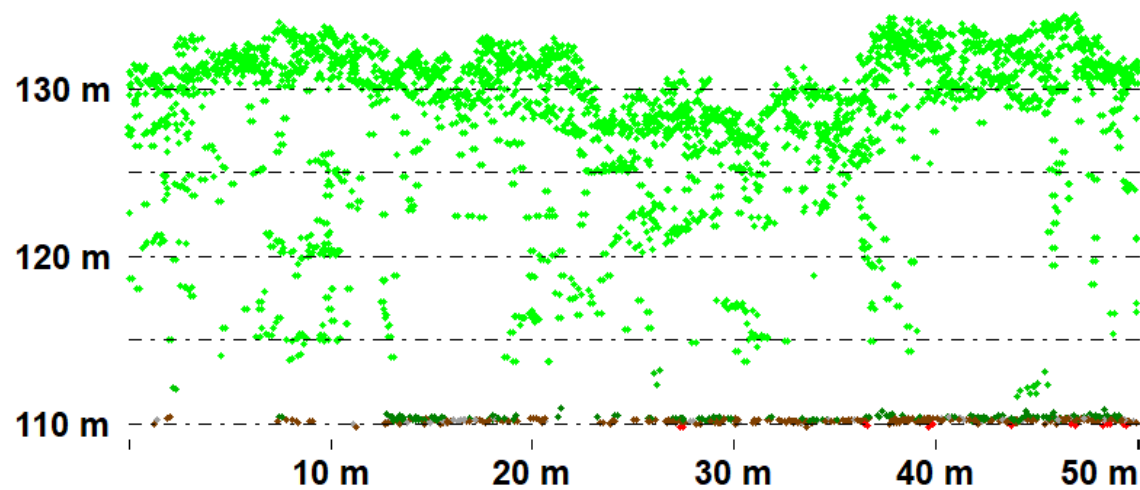
- troškovi snimanja;
- 'bogatiji' podatak (oblak točaka) u horizontalnom pogledu;
- slikovna komponenta (multispektralni podaci);
- digitalni ortofoto;
- Klasifikacija vrsta drveća, tipova šuma, zdravstvenog stanja...

#### NEDOSTACI DAF

- značajno 'siromašniji' podatak (oblak točaka) u vertikalnom pogledu;
- DMR samo u sastojinama rijetkog sklopa (u sklopljenim sastojinama koristiti postojeći DMR)

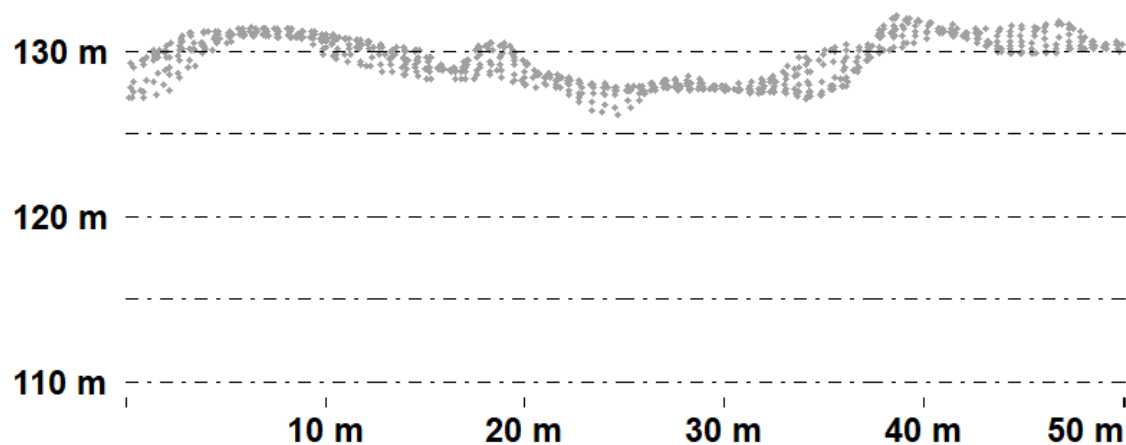
## UVOD

Vertikalni profili u dužini od 50 m na primjeru lužnjakove sastojine (Pokupski bazen)



### Avionski LiDAR

Prosječna gustoća  
 $\approx 13$  točaka/m<sup>2</sup>



### Aerosnimke

DGU, veličina piksela  
GSD $\approx 30$  cm

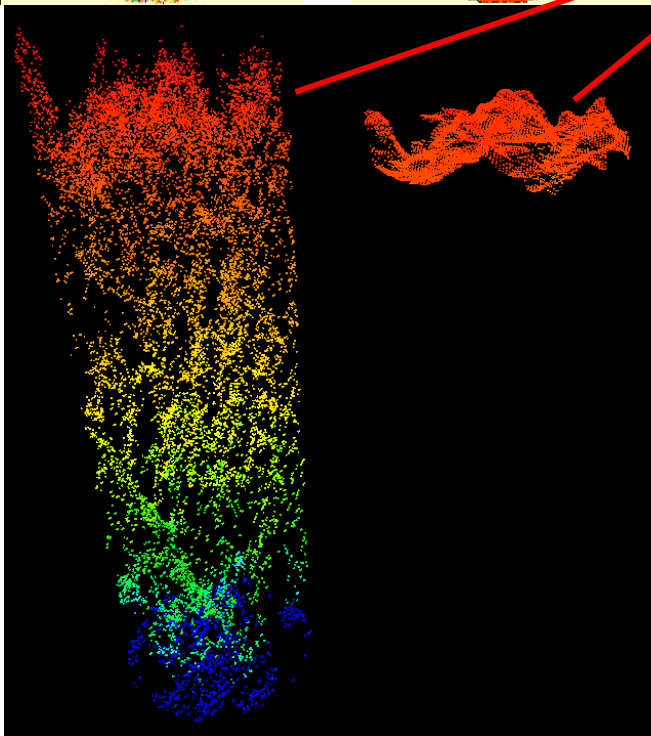
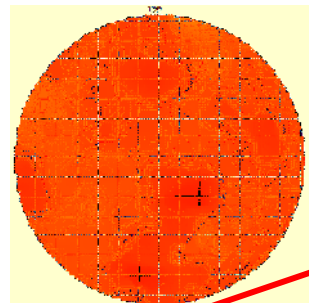
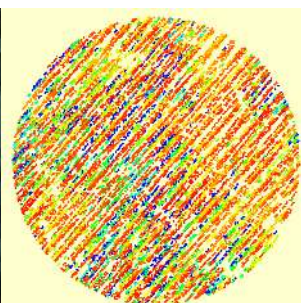
## DIGITALNA AEROFOTOGRAMetriJA (DAF)

Oblaci točkaca na primjeru jedne plohe u lužnjakovoj sastojini (Pokupski bazen)

$r = 15 \text{ m}$

LiDAR

DAF



### PODACI PLOHE ZA MODELIRANJE STRUKTURNIH PARAMETARA

- **visinski podaci** (min, max, mean, mode, ...)
- **podaci varijabilnosti visinskih podataka** (SD, VAR, CV, IQ,...)
- **percentili visine**  
(5., 10, 20., 25., 30, 40.,, ...90., 95., 99.)
- **podaci gustoće krošanja**  
(postotak točkaca/piksela iznad određene visine, npr. 5, 10, 15 m...)

## **DAF – POSTUPAK RADA U IZMJERI ŠUMA**

- 1. Nabava snimaka / snimanje**
- 2. Fotogrametrijsko procesiranje**
- 3. Referentna terenska izmjera**
- 4. Modeliranje i procjena strukturnih elemenata pojedinačnih stabala, ploha, sastojina**

### **1. NABAVA SNIMAKA / SNIMANJE**

- a) Satelitske snimke (naručivanje arhivskih ili novih snimaka)
- b) Aerosnimke (naručivanje postojećih iz 2011., 2015.g. - DGU ili novo snimanje)
- c) UAV snimke

## DAF – POSTUPAK RADA U IZMJERI ŠUMA

### 2. FOTOGRAMETRIJSKO PROCESIRANJE

- Fotogrametrijski softveri, npr. PHOTOMOD (Racurs, Rusija), Metashape (Agisoft, Rusija), Pix4D (Švicarska), itd.
  
- a) **Orijentacija snimaka** (unutarnja, relativna, vanjska, kreiranje bloka snimaka)
- b) **Izrada oblaka točaka**
- c) **Izrada Digitalnog Modela Površine (DMP)**
- d) **Normalizacija oblaka točaka / Izrada Digitalnog Modela Visine Krošanja (DMVK)**  
korištenjem Digitalnog Modela Reljefa (DMR)
- e) **Izrada Digitalnog OrtoFota (DOF)**



## DAF – POSTUPAK RADA U IZMJERI ŠUMA

### 2. FOTOGRAMETRIJSKO PROCESIRANJE

#### a) Orijehtacija snimaka – satelitske stereo snimke

- WorldView-3 (WV-3), lipanj 2017.
- Pokupski bazen ( $\approx 15.000$  ha)
- 2 multispektralne snimke (8 kanala)
- GSD=0.31 m (pankromatske); GSD=1.24 m (multispektralne)
- Ortho-Ready Standard (ORS2-A)
- Za orijentaciju dodatno korištene **kontrolne i orijentacijske točke** koje su manualno detektirane na snimkama
- $x$ ,  $y$  koordinate prikupljene sa službenog DOF-a, a  $z$  koordinate sa službenog DMR-a (DGU), na jasno definiranim i vidljivim dijelovima snimaka

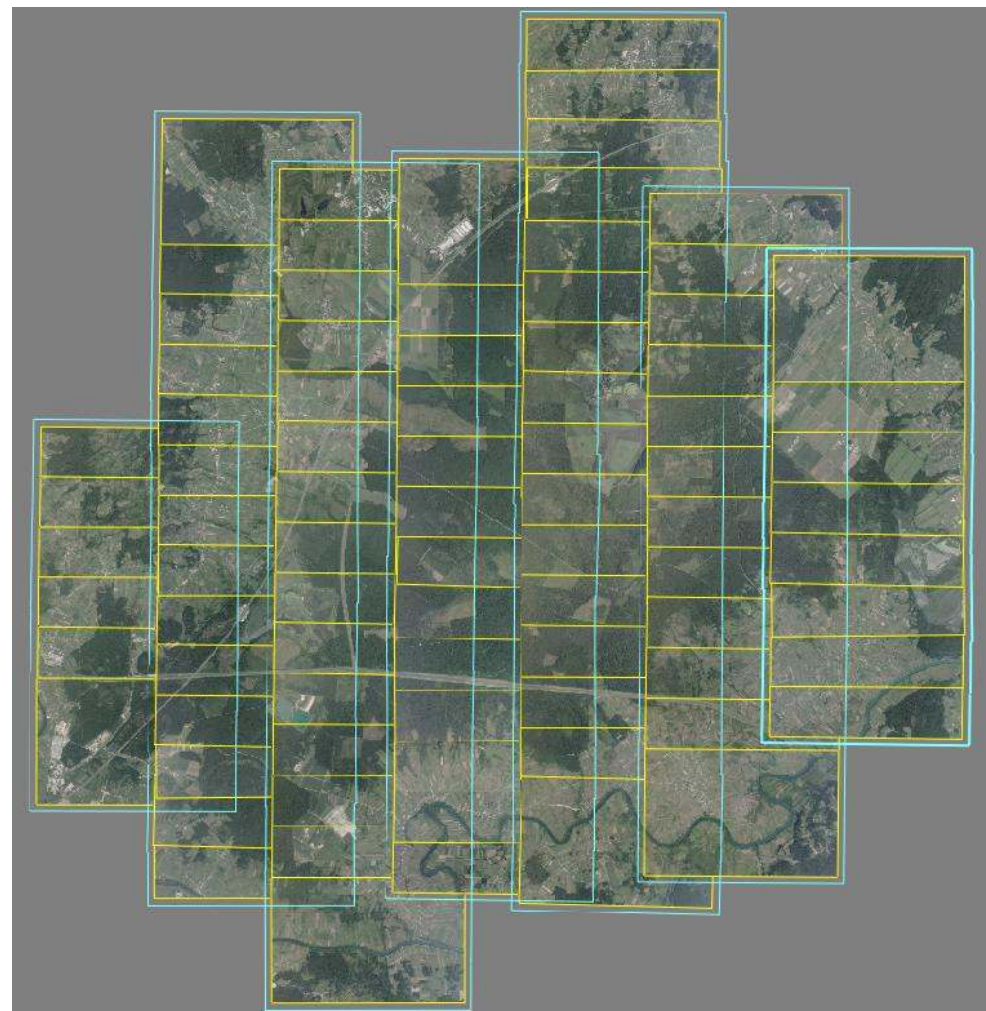


## DAF – POSTUPAK RADA U IZMJERI ŠUMA

### 2. FOTOGRAMETRIJSKO PROCESIRANJE

#### a) Orijentacija snimaka - aerosnimke

- DGU, ljeto 2015.g.
- Pokupski bazen (>15.000 ha)
- 84 RGB snimke (preklop 60%, 30%)
- GSD=0.30 m
- Za orijentaciju: parametri vanjske i unutrašnje orijentacije (DGU)

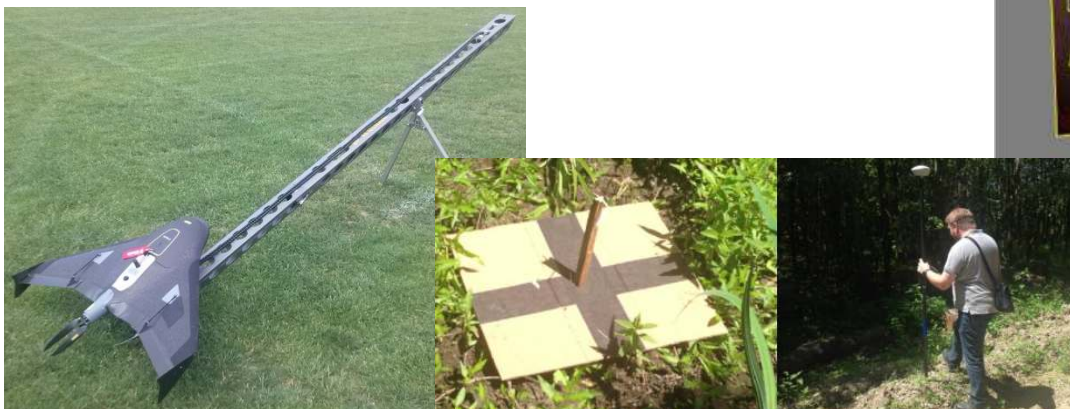


## DAF – POSTUPAK RADA U IZMJERI ŠUMA

### 2. FOTOGRAMETRIJSKO PROCESIRANJE

#### a) Orijehtacija snimaka – UAV snimke

- Trimble UX5 HP, lipanj 2017.g.
- Pokupski bazen, dio ( $\approx 1.500$  ha)
- 1440 snimaka (90%, 80%), 4 leta, 2 dana
- GSD=0.08 m
- parametri vanjske (GNSS na letjelici) i unutrašnje orijentacije (kamera), **kontrolne terenske točke** (RTK GNSS + CROPOS VPSS pozicijski servis)!!!

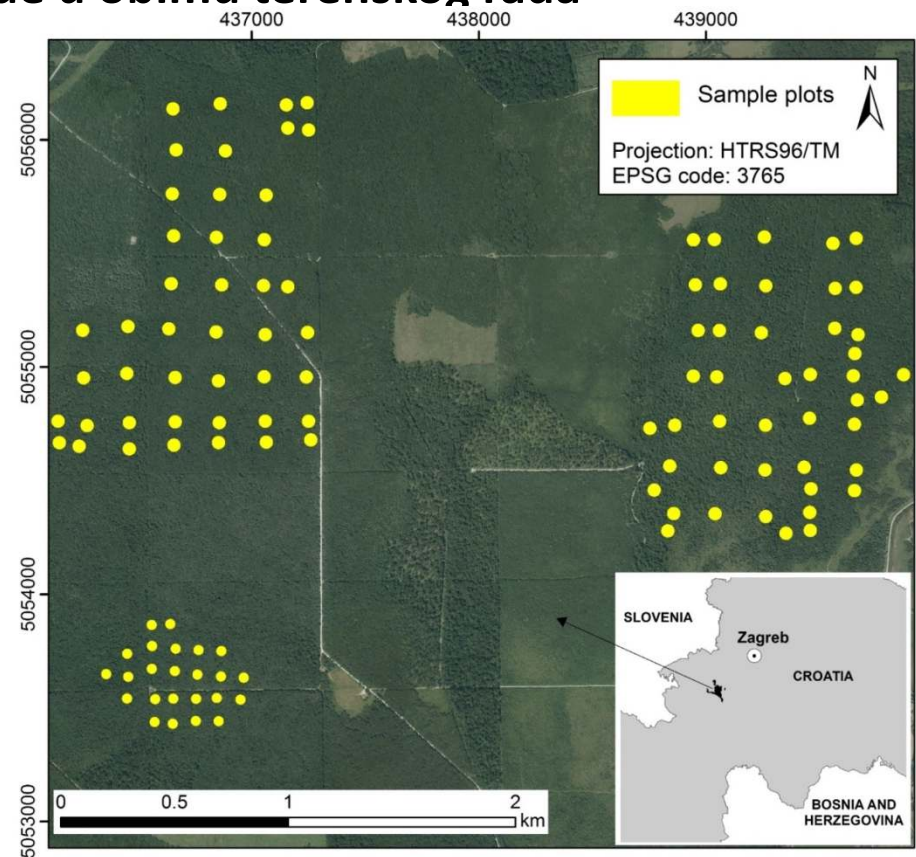


## DAF – POSTUPAK RADA U IZMJERI ŠUMA

### 3. REFERENTNA TERENSKA IZMJERA

- **neophodna** za uspostavljanje odnosa (izradu modela) između terenskih podataka i podataka dobivenih iz oblaka točaka ili DMVK-a, **ali u znatno manjoj mjeri nego kod klasične inventure šuma** → **značajne uštede u obimu terenskog rada**

- Pokupski bazen, g.j. Jastrebarski lugovi
- ožujak 2017.-ožujak 2018.g.
- 150 ploha;  $r=8$  m, 15 m ili 20 m
  - ✓ središta ploha - GNSS uređaj (CROPOS)
  - ✓ lokacija svakog stabala
  - ✓ prsni promjeri
  - ✓ visine stabala
  - ✓ dimenzije krošanja



## DAF – POSTUPAK RADA U IZMJERI ŠUMA

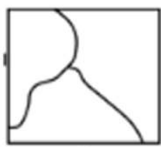
### 4. MODELIRANJE I PROCJENA STRUKTURNIH ELEMENATA POJEDINAČNIH STABALA, PLOHA, SASTOJINA

- Dva glavna pristupa za primjenu fotogrametrijskih proizvoda (oblak točaka, DMVK) u inventuri šuma:
  - a) pristup temeljen na pojedinačnom stablu (ITBA - engl. *Individual Tree-Based Approach*),**
  - b) pristup temeljen na površini – primjernoj plohi (ABA – engl. *Area-Based Approach*).**
- Pristup temeljen na pojedinačnom stablu, koristi mjerljive podatke iz oblaka točaka ili DMVK-a za prethodno segmentirano stablo kao ulaz u statistički model za procjenu varijabli pojedinačnih stabala (npr. h, dbh, promjer krošnje, volumen i biomasa stabla, itd.).
- Dosadašnja istraživanja ukazuju na mogućnost primjene ITBA pristupa, naročito u sastojinama jednostavnijih strukturnih karakteristika (npr. jednodobne čiste sastojine, kulture, plantaže, itd.).
- Međutim, u sastojinama kompleksnije strukture ABA pristup ima veći potencijal korištenja, te se i koristi u operativnoj inventuri šuma primjenom LiDAR podataka.

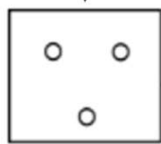
## DAF – POSTUPAK RADA U IZMJERI ŠUMA

### 4. b) Pristup temeljen na površini – primjernoj plohi (ABA – engl. *Area-Based Approach*)

a) Inventura šuma  
(npr. tri odsjeka)



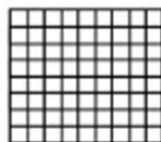
c) Terenska izmjera  
na ploham (zavisne  
varijable)



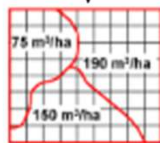
e) Modeli procjene  
sastojinskih varijabli  
(npr. volumena)

$$V = 31.8 + 3.2 \cdot P_{90} + 0.45 \cdot CC_{10}$$

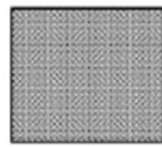
f) Podjela područja  
na kvadrate  
(20x20m) - 'wall-to-  
wall' mapiranje



g) Procjena sastojinskih  
varijabli unutar svakog  
pojedinih kvadrata i to na  
čitavom području.  
Sumiranje podataka na  
razinu sastojine

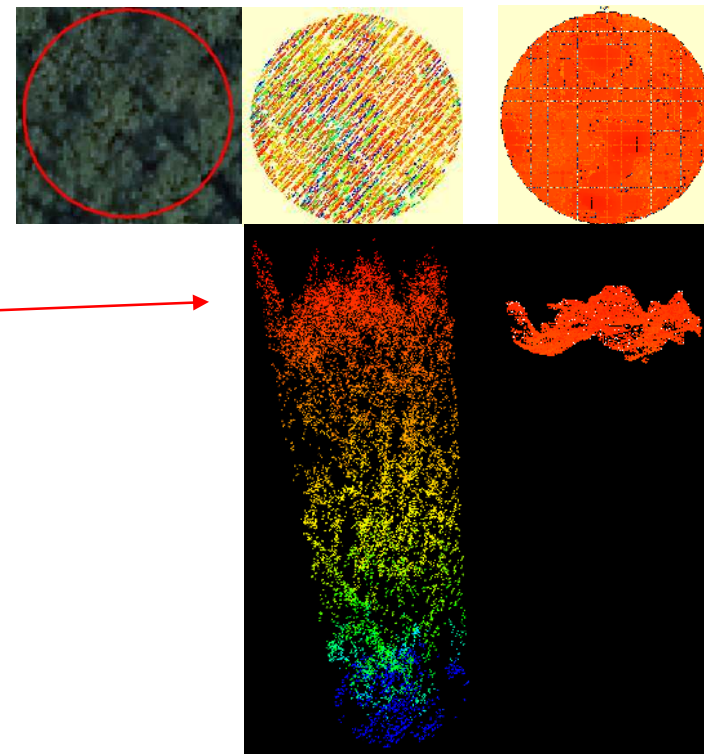


b) LiDAR oblak točaka



d) LiDAR metrički podaci  
za terenske plohe  
(nezavisne varijable)

g) 'wall-to-wall' mapiranje  
LiDAR metrikom



**DAF metrički podaci (nezavisne varijable)**

- min, max, mean, mode, SD, VAR, CV, IQ, percentili visine, podaci gustoće krošanja...

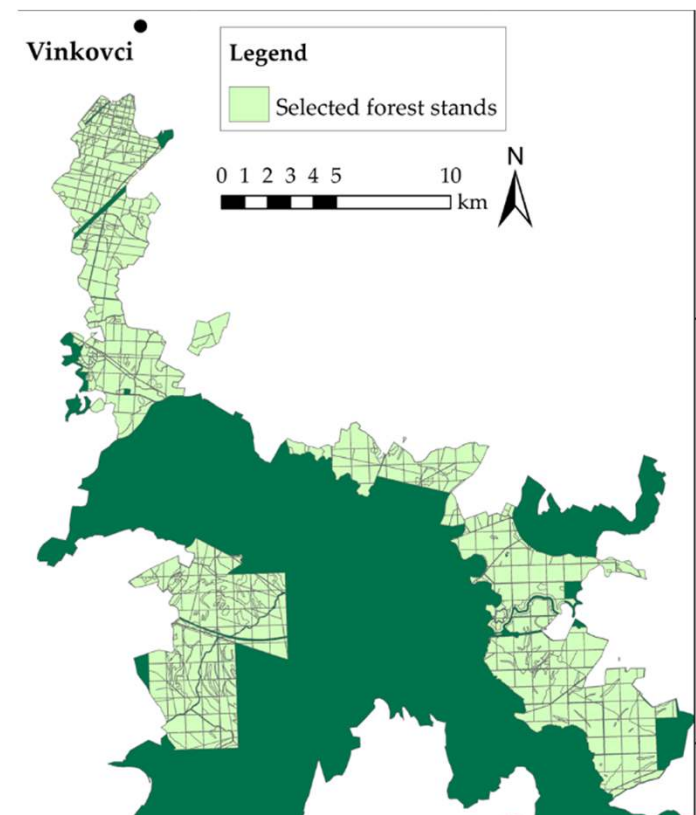
## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### Procjena volumena na razini sastojine

Balenović, I.; Simic Milas, A.; Marjanović, H., 2017. A Comparison of Stand-Level Volume Estimates from Image-Based Canopy Height Models of Different Spatial Resolutions. *Remote Sensing*, 9, 205.

<http://www.mdpi.com/2072-4292/9/3/205>

- mogućnost primjene fotogrametrijskog DMVK različitih prostornih rezolucija (1 m, 2 m, 5 m) za procjenu volumena sastojina nizinskih lužnjakovih šuma Spačvanskog bazena
- **CILJ:** razviti brzu i jeftinu metodu temeljenu na postojećim podacima:
  - **Volumen sastojina**, osnove gospodarenja 2010.-2012.; referentni podaci, zavisne varijable
  - **Aerosnimke** iz 2011., i **službeni DMR** (DGU) – za izradu DMVK → metrika, nezavisne varijable
- 6 g.j.; 548 odsjeka (starosti iznad 30 godina)



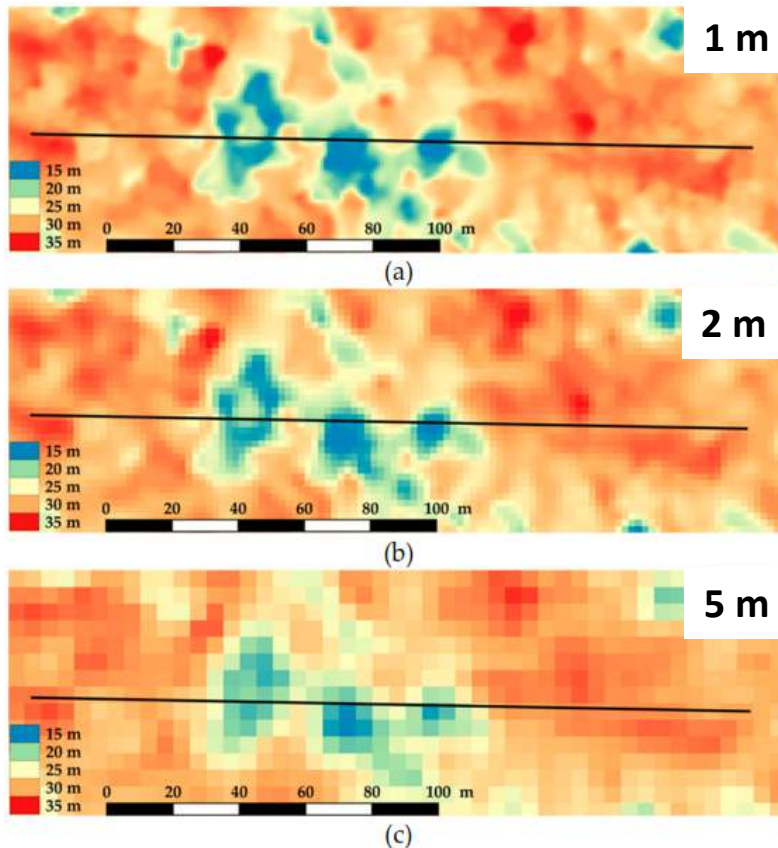
# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

## Procjena volumena na razini sastojine

- Za svaku sastojinu izračunata metrika (ne za plohu)

DMVK metrika	Opis
$H_{mean}, h_{SD}, h_{mode}, h_{max}, h_{min}$	Aritmetička visina, Standardna devijacija, Mod visina, Max visina, Min visina
$p_5, p_{10}, p_{20}, p_{25}, p_{30}, p_{40}, p_{50}, p_{60}, p_{70}, p_{75}, p_{80}, p_{90}, p_{95}, p_{99}$	Percentili visina
$CC_{10}, CC_{20}, CC_{30}, CC_{40}$	Odnos između površine krošanja na određenoj visini (10 m, 20 m, 30 m, 40 m) i površine sastojine
$k_{3D}$	Odnos između 3D površine modela i površine sastojine

- Dodatni podaci za modeliranje (**Osnova gospodarenja** - starost sastojine, tip tla, bonitet, fitocenoza)





## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### Procjena volumena na razini sastojine

- Modeliranje (multivarijantna linearna regresija)
- Modeliranje = 274 sastojine, validacija = 274 sastojine

Model	Odabrane varijable	Validacija				
		$R^2_{adj}$	RMSE ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ )	RMSE <sub>%</sub> (%)	MD ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ )	MD <sub>%</sub> (%)
1-A	$h_{max}, p_{80}, CC_{30}$	<b>0.82</b>	55.40	<b>13.14</b>	-3.75	<b>-0.89</b>
1-B	$h_{max}, p_{80}, CC_{30}, SA$	<b>0.83</b>	53.08	<b>12.59</b>	-4.10	<b>-0.97</b>
2-A	$h_{max}, p_{50}, p_{95}, CC_{30}$	<b>0.81</b>	56.00	<b>13.28</b>	-3.29	<b>-0.78</b>
2-B	$h_{max}, p_{70}, CC_{30}, SA$	<b>0.84</b>	52.83	<b>12.53</b>	-3.86	<b>-0.92</b>
5-A	$h_{max}, p_{30}, p_{90}, CC_{30}$	<b>0.81</b>	55.92	<b>13.26</b>	-3.96	<b>-0.94</b>
5-B	$h_{max}, p_{25}, p_{90}, CC_{30}, SA$	<b>0.83</b>	53.31	<b>12.64</b>	-4.12	<b>-0.98</b>

$R^2_{adj}$  – koeficijent determinacije; **RMSE** – korijen srednje kvadratne pogreške; **MD** – srednja pogreška

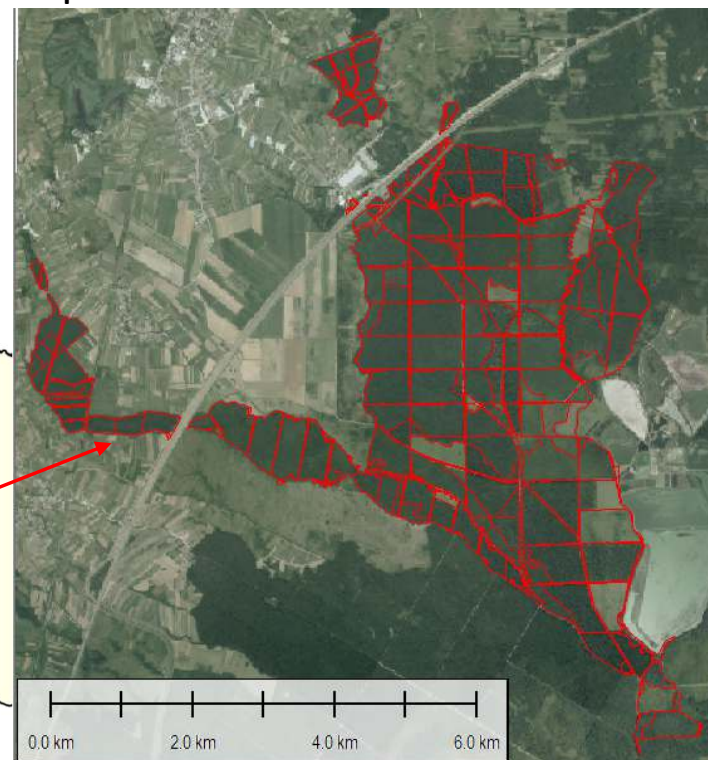
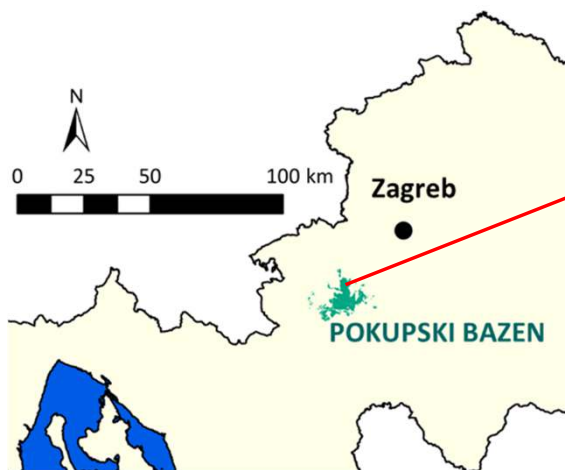
- Dobiveni rezultat u skladu s LiDAR tehnologijom
- DMVK svih rezolucija daju podjednaku točnost, Starost sastojine poboljšava točnost procjene volumena za 2-3%

## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### Procjena volumena na razini sastojine

Balenović, I.; Jurjević, A.; Marjanović, H., 2018. **Fotogrametrijska procjena volumena u sastojinama hrasta lužnjaka Pokupskog bazena. Šumarska znanost: sjećanje na prošlost, pogled u budućnost, Jastrebarsko.**

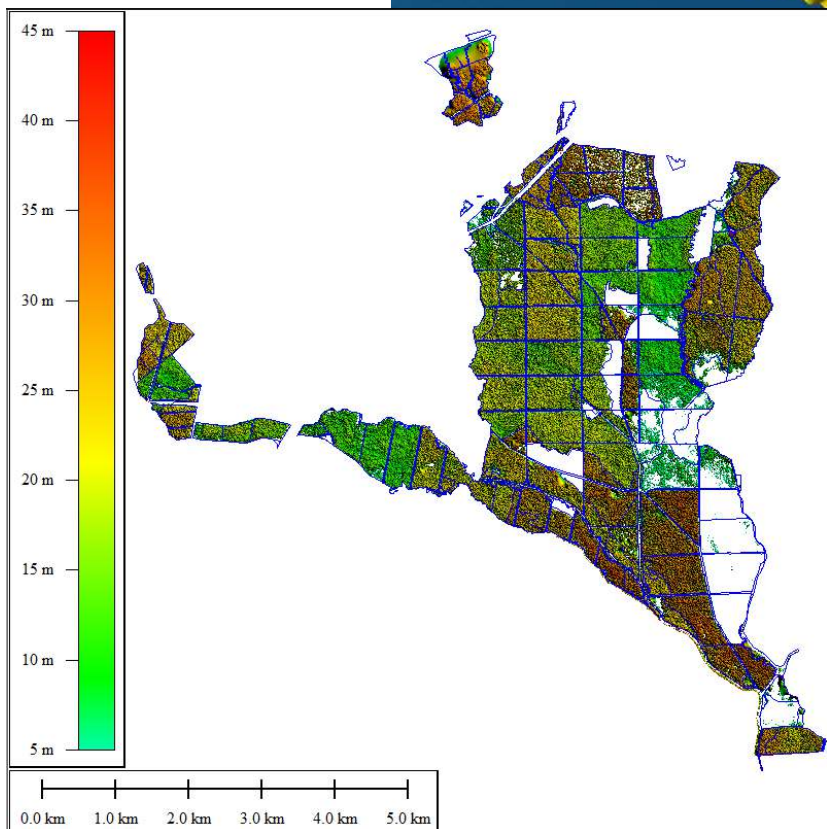
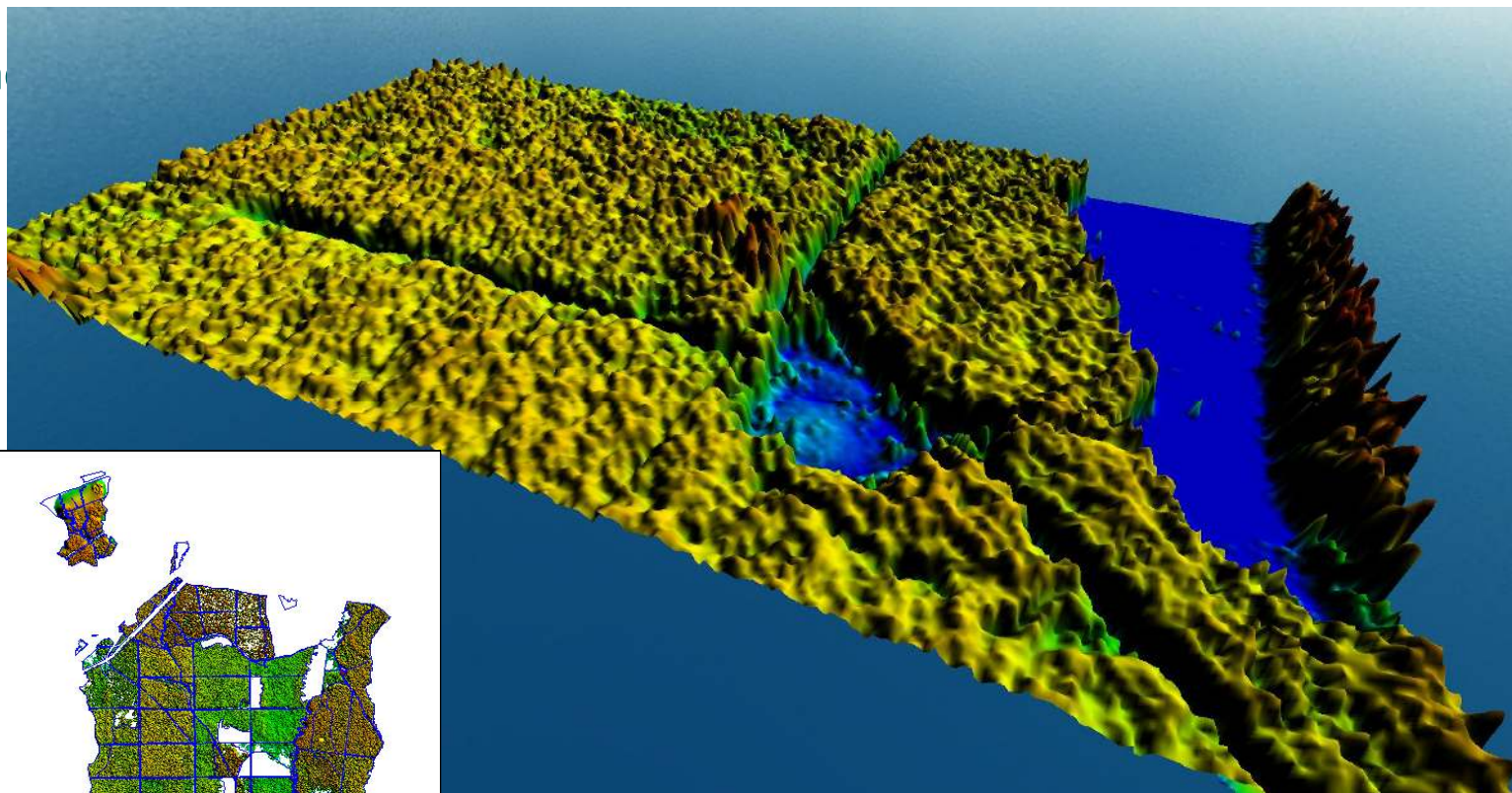
- nastavak prethodnog istraživanja
- Pokupski bazen, g.j. Jastrebarski lugovi, 87 odsjeka, UR hrast lužnjak,  $\geq 30$  god. Starosti
- Aerosnimke iz 2015.g.; Volumen iz Osnove iz 2014.g. + 1-god. prirast
- **CILJ:** usporediti točnost procjene volumena korištenjem modela za Spačvanski bazen te postojećih parametara (**SB modeli**) i novo izrađenih parametara za Pokupski bazen (**PB modeli**)



# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

Procjena volumena

DMVK 5 m



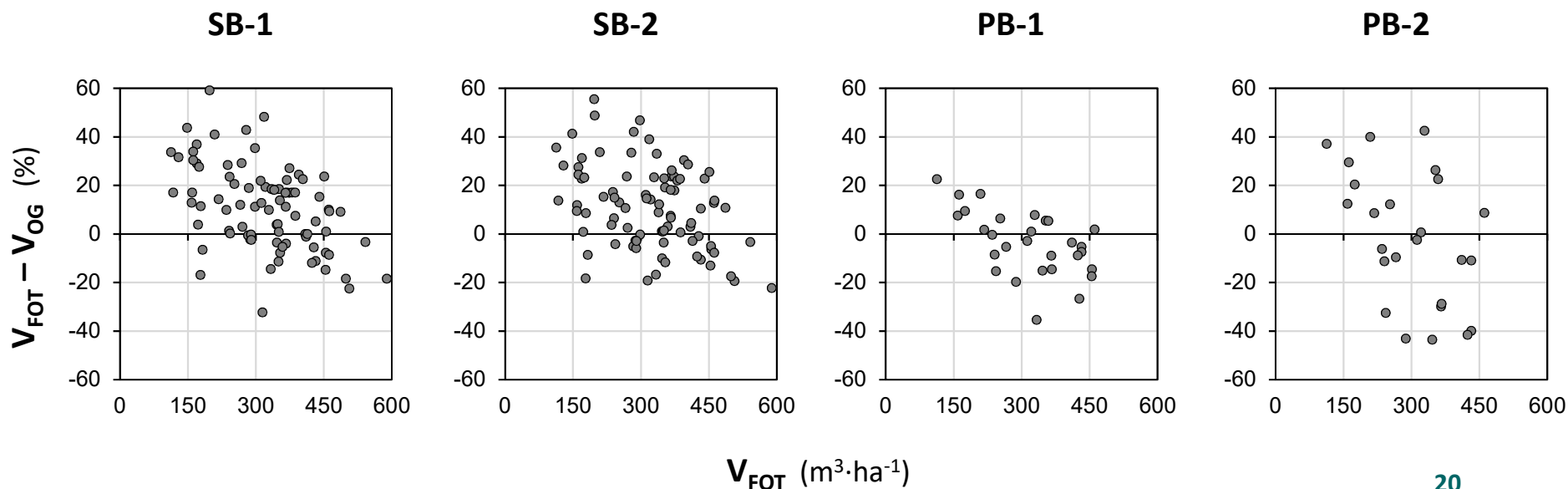
# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

## Procjena volumena na razini sastojine

Model	Jednadžba	$R^2_{adj}$	RMSE ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ )	RMSE <sub>%</sub> (%)	MD ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ )	MD <sub>%</sub> (%)
SB-1	$\ln(V_m) = \beta_0 + \beta_1 h_{max} + \beta_2 p_{30} + \beta_3 p_{90} + \beta_4 CC_{30}$	<b>0.75</b>	59.31	<b>18.47</b>	27.01	<b>8.41</b>
SB-2	$\ln(V_m) = \beta_0 + \beta_1 h_{max} + \beta_2 p_{25} + \beta_3 p_{90} + \beta_4 CC_{30} + \beta_5 ST$	<b>0.75</b>	60.65	<b>18.89</b>	28.10	<b>8.75</b>
PB-1	$\ln(V_m) = \beta_0 + \beta_1 h_{max} + \beta_2 p_{30} + \beta_3 p_{90} + \beta_4 CC_{30}$	<b>0.86</b>	37.95	<b>12.03</b>	-14.17	<b>-4.49</b>
PB-2	$\ln(V_m) = \beta_0 + \beta_1 h_{max} + \beta_2 p_{25} + \beta_3 p_{90} + \beta_4 CC_{30} + \beta_5 ST$	<b>0.86</b>	37.31	<b>11.83</b>	-11.98	<b>-3.80</b>

SB-1 i SB-2 – modeli s parametrima korištenima za šume Spačvanskog bazena (validacija na cijelom uzorku – 87 sastojina)

PB-1 i PB-2 – modeli s parametrima dobivenim na 58 sastojina Pokupskog bazena (validacija na preostalih 29 sastojina)

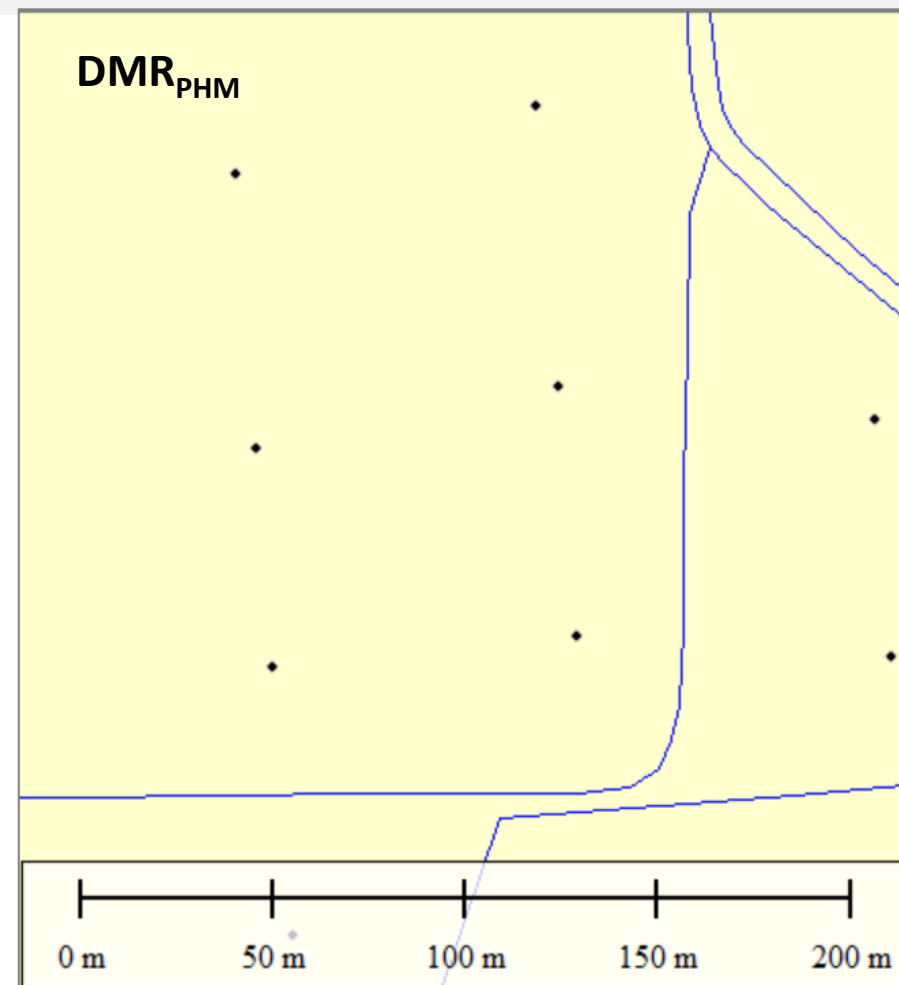
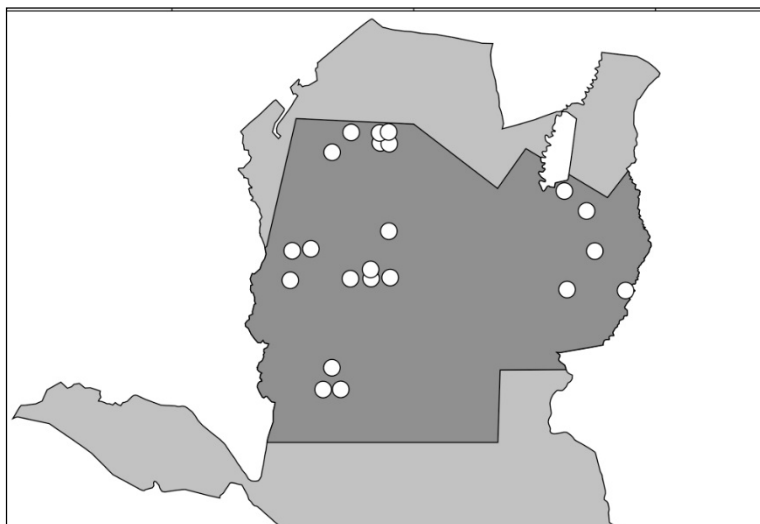


## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### Ocjena točnosti i usporedba službenog DMR-a (fotogram.) i LiDAR DMR-a

Balenović, I., Gašparović, M., Simic Milas, A., Berta, A., Seletković, A., 2018). Accuracy Assessment of Digital Terrain Models of Lowland Pedunculate Oak Forests Derived from Airborne Laser Scanning and Photogrammetry. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(1): 117-128

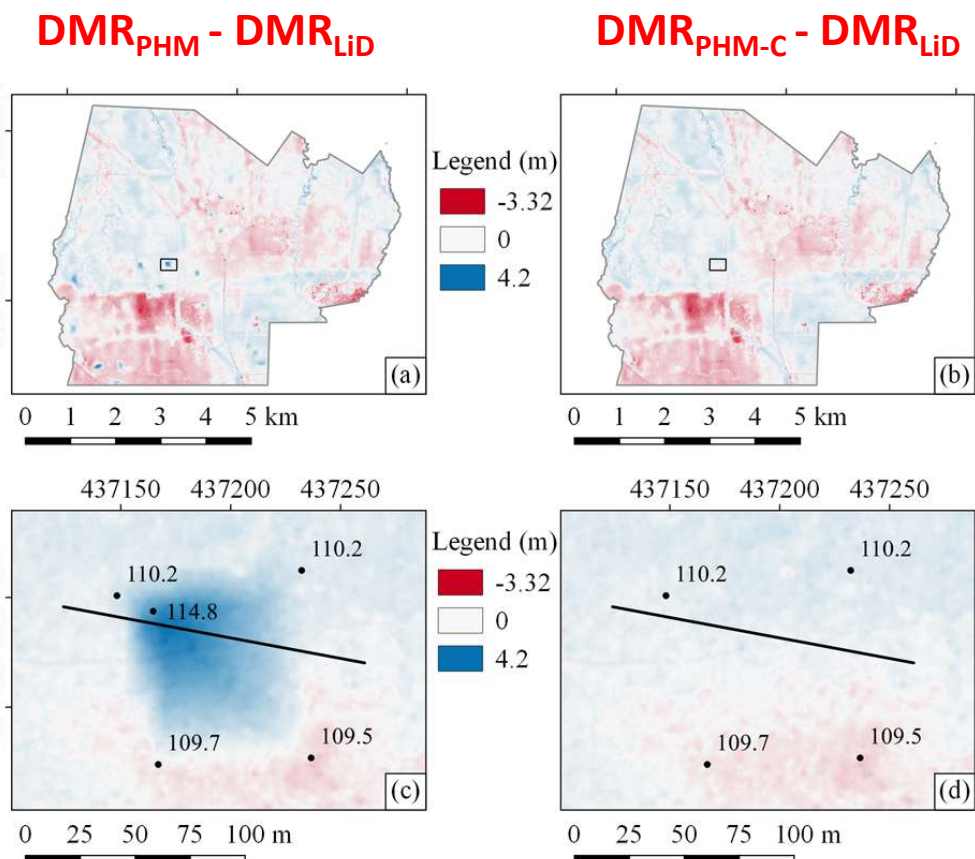
- Pokupski bazen, dio g.j. Jastrebarski lugovi
- Službeni (fotogrametrijski) DMR (DGU) -  $DMR_{PHM}$
- LiDAR DMR, rasterski grid 0,5 m -  $DMR_{LiD}$
- Kontrolne terenske točke (GNSS + CROPOS), horizontalna i vertikalna točnost <10 cm



# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

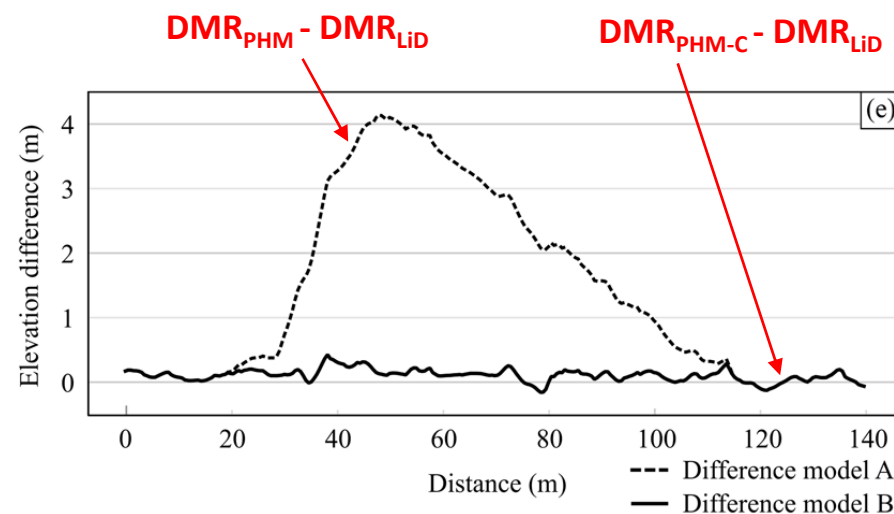
## Ocjena točnosti i usporedba službenog DMR-a (fotogram.) i LiDAR DMR-a

- Rasteri razlika



**DMR<sub>PHM-C</sub> – korigirani DMR (s uklonjenim greškama)**

DMR	RMSE (m)	ME (m)	SD (m)
DMR <sub>LiD</sub>	<b>0.14</b>	<b>0.09</b>	<b>0.10</b>
DMR <sub>PHM</sub>	<b>0.35</b>	<b>0.17</b>	<b>0.31</b>

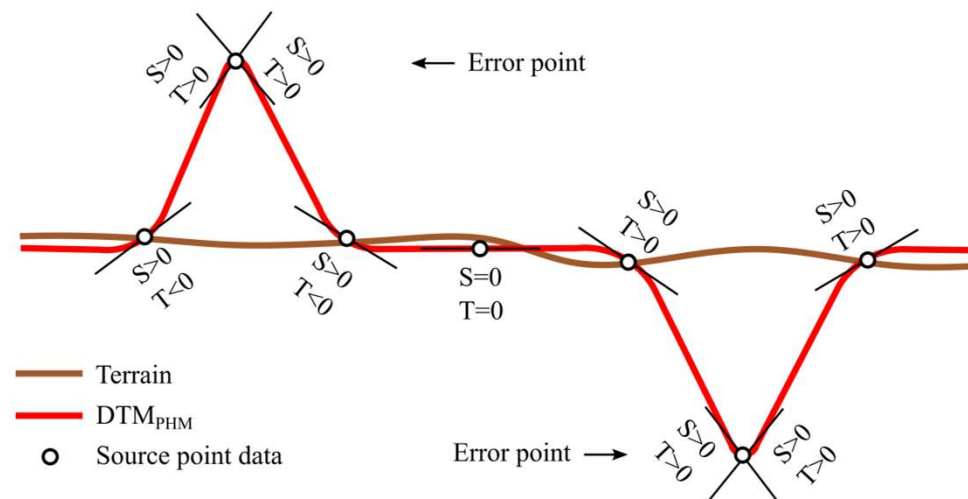


## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### Metoda za poboljšanje točnosti $DTM_{PHM}$ u nizinskim šumama

Gašparović, M., Simic Milas, A., Seletković, A., Balenović, I., 2018. A novel automated method for the improvement of photogrammetric DTM accuracy in forests. *Šumarski list*, 142 (11-12), 567-576.  
<https://doi.org/10.31298/sl.142.11-12.1>

- **CILJ:** razviti automatsku metodu za detekciju i eliminaciju vertikalnih pogrešaka u fotogram. podacima terena te na taj način poboljšati točnost fotogrametrijskog DTM-a u nizinskim šumskim područjima
- Grass GIS softver → kombinacijom vrijednosti nagiba i tangencijalne zakrivljenosti terena rasterskog  $DTM_{PHM}$ , detektirane su 91 grube greške (3.2% podataka) koje pogrešno prikazuje stvarnu visinu terena.



## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

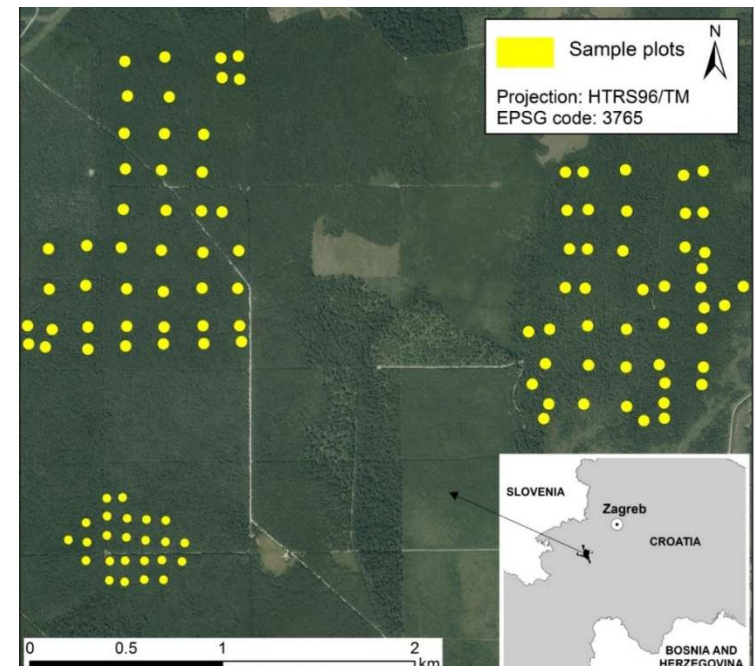
### UAV u izmjeri šuma

Balenović, I., Jurjević, L., Simic Milas, A., Gašparović, M., Ivanković, D., Seletković, A., 2019. **Testing the Applicability of the Official Croatian DTM for Normalization of UAV-based DSMs and Plot-level Tree Height Estimations in Lowland Forests.** *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40 (1): 163-174. <https://hrcak.srce.hr/217406>

#### • CILJEVI:

- istražiti mogućnost primjene bespilotnih letjelica (UAV) u inventuri šuma
- evaluirati utjecaj primjene različitih DMR-ova ( $DMR_{LiD}$  i  $DMR_{PHM}$ ) u kombinaciji s DMP-a iz UAV snimaka na procjenu visina stabala na razini primjernih ploha

- g.j. Jastrebarski lugovi
- 105 ploha (III, IV, V, VII dobni razred)
- UAV snimke,  $GSD \approx 8\text{cm}$  → DMP
- $DMR_{LiD}$ ,  $DMR_{PHM}$ ,  $DMR_{PHM-C}$

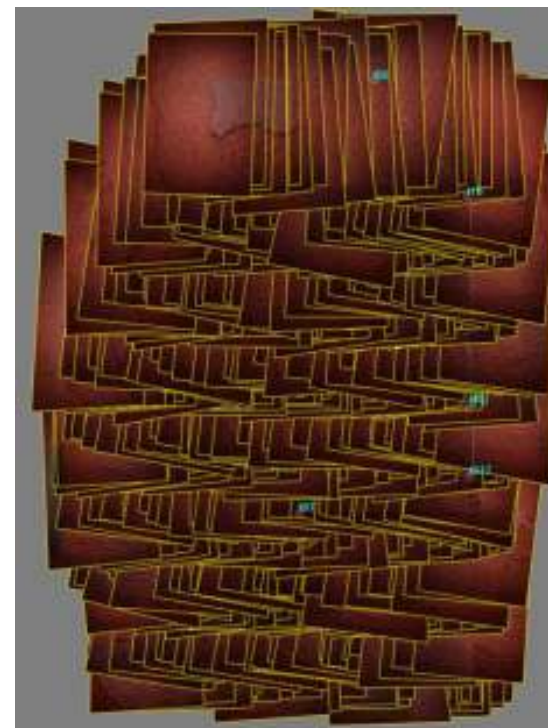




## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### UAV u izmjeri šuma

- UAV snimke
- Lipanj, 2017.g.
- Trimble UX5 HP; kamera Sony Alpha ILCE-R7
- 4 leta; uzdužni preklop = 90%, poprečni preklop= 80%; GSD≈8 cm
- Kontrolne točke (RTK GNSS + CROPOS VPSS pozicijski servis)

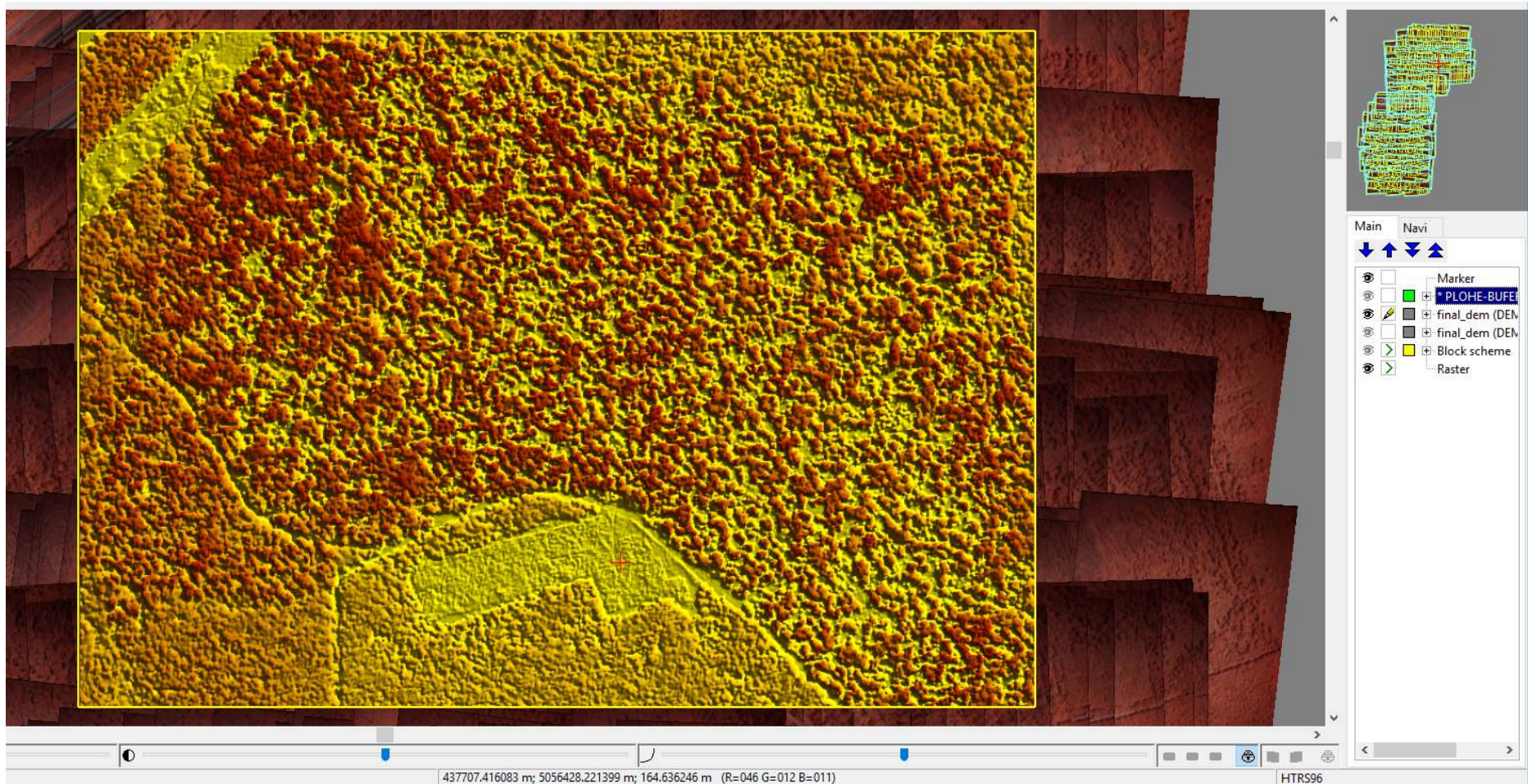


Orijentirani blok UAV snimaka

# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

## UAV u izmjeri šuma

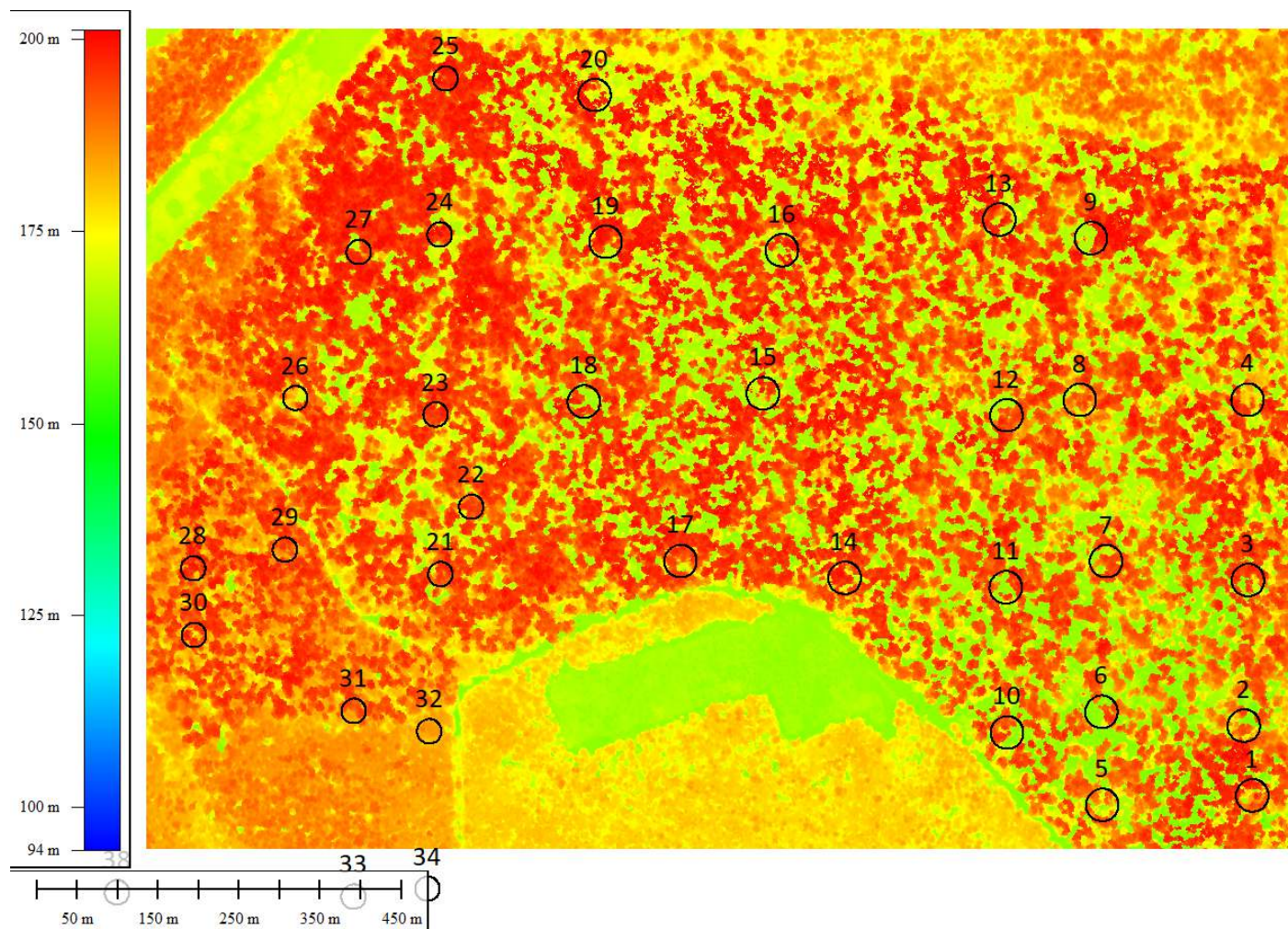
- **PHOTOMOD 6** (*DENSE DSM algoritam – SGM metoda*)
- **DMP** 10 cm × 10 cm



# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

## UAV u izmjeri šuma

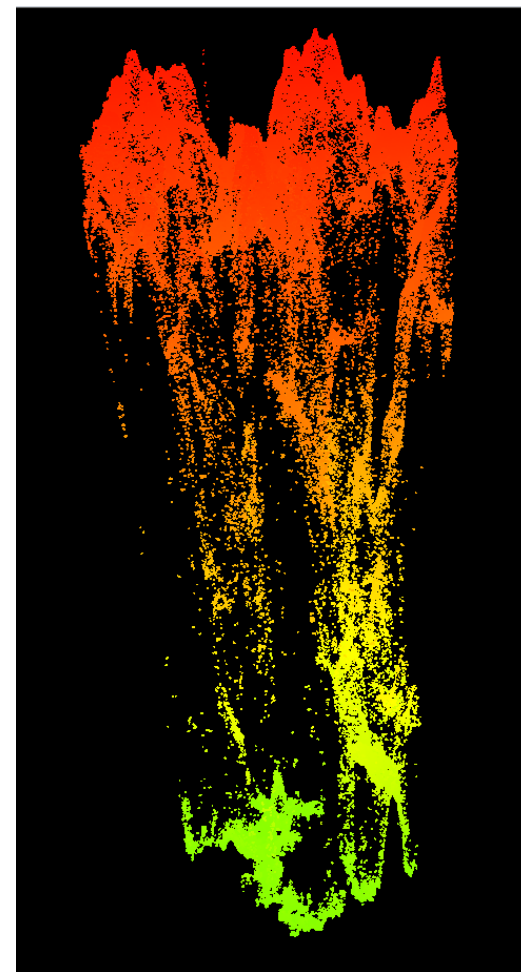
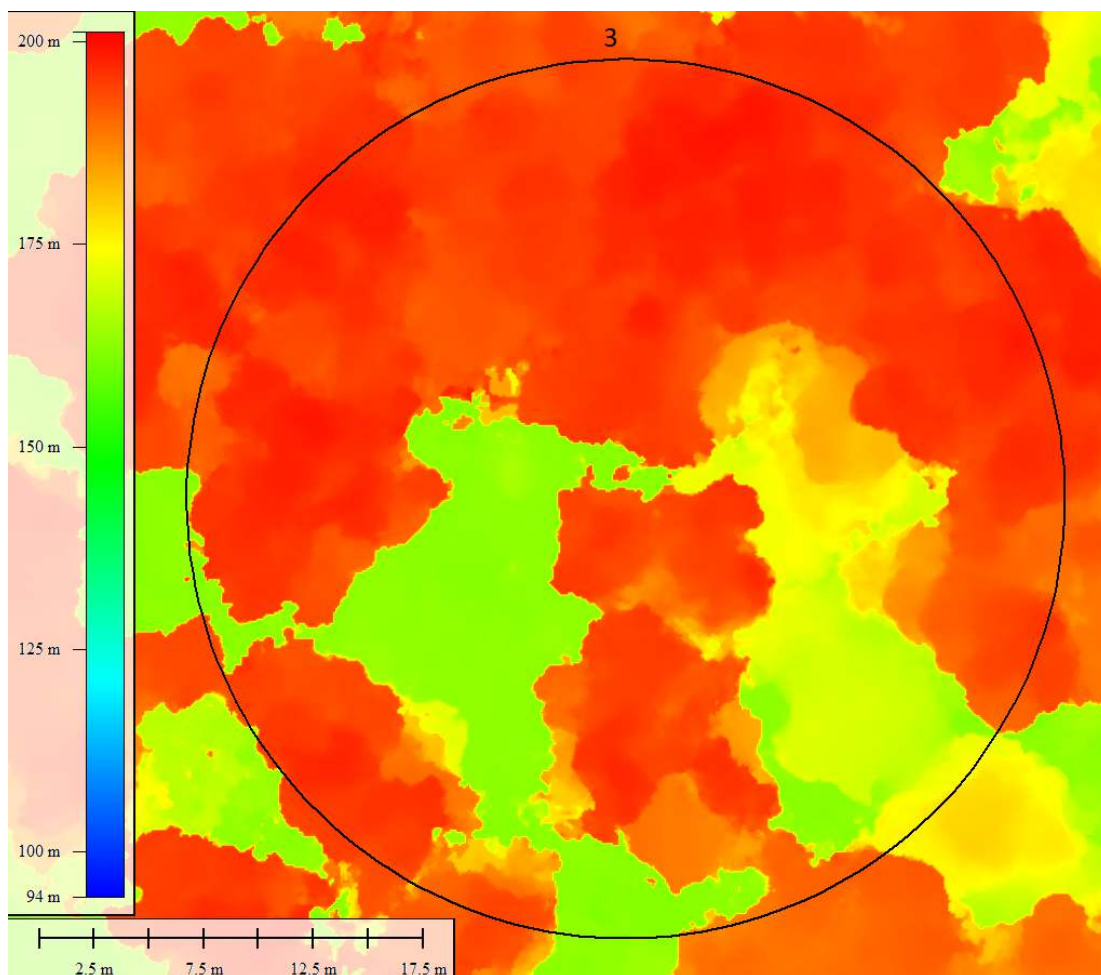
- PHOTOMOD 6
- DMP → 'Convert to points' → 'Oblak točaka' 10×10 cm



## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### UAV u izmjeri šuma

- PHOTOMOD 6
- DMP → 'Convert to points' → 'Oblak točaka' 10×10 cm



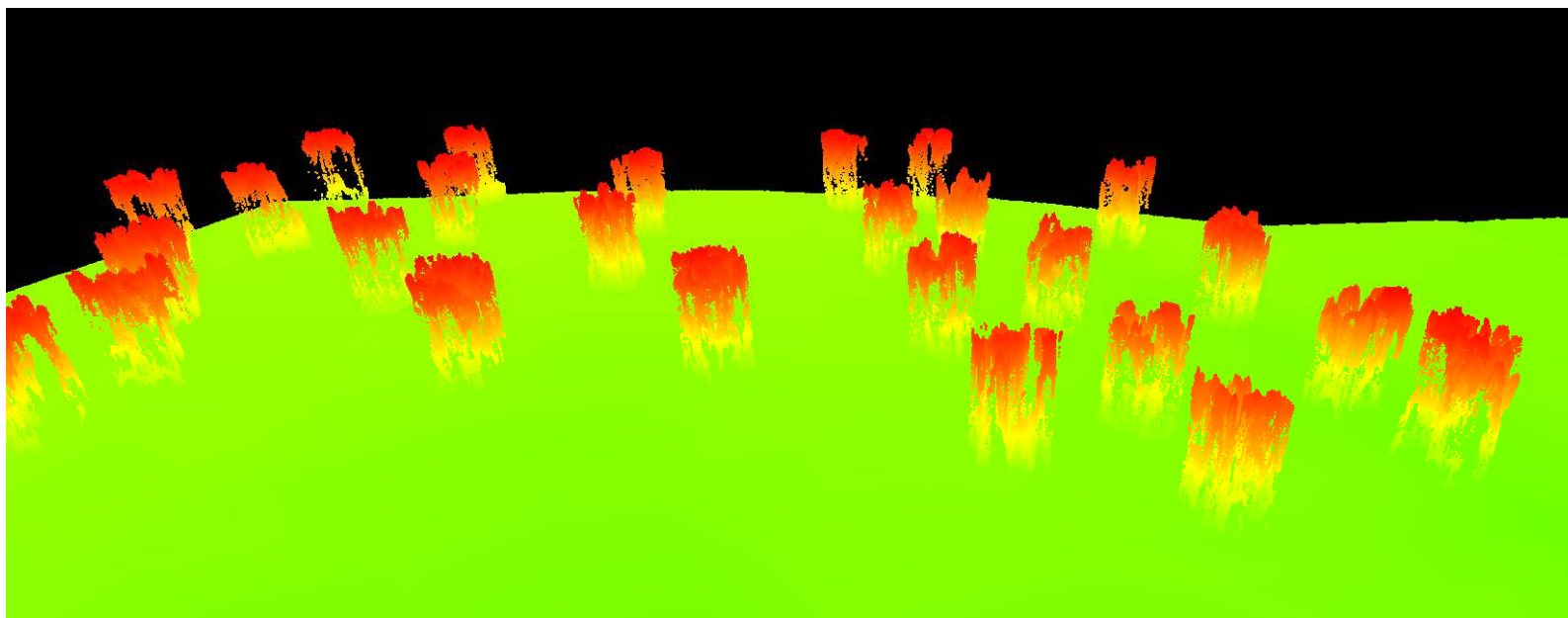
## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### UAV u izmjeri šuma

- FUSION LDV
- UAV 'Oblak točaka' normaliziran s tri različita DMR-a:
  - a) UAV 'Oblak točaka' &  $DMR_{ALS}$
  - b) UAV 'Oblak točaka' &  $DMR_{PHM}$
  - c) UAV 'Oblak točaka' &  $DMR_{PHM-C}$



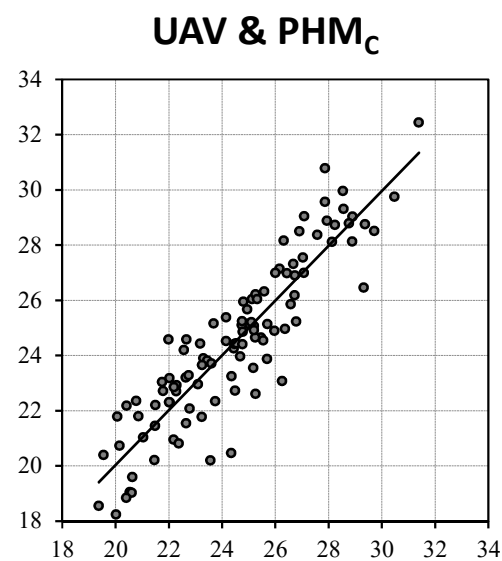
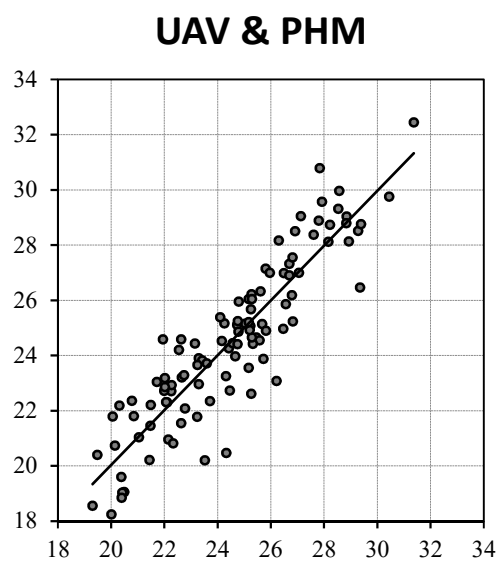
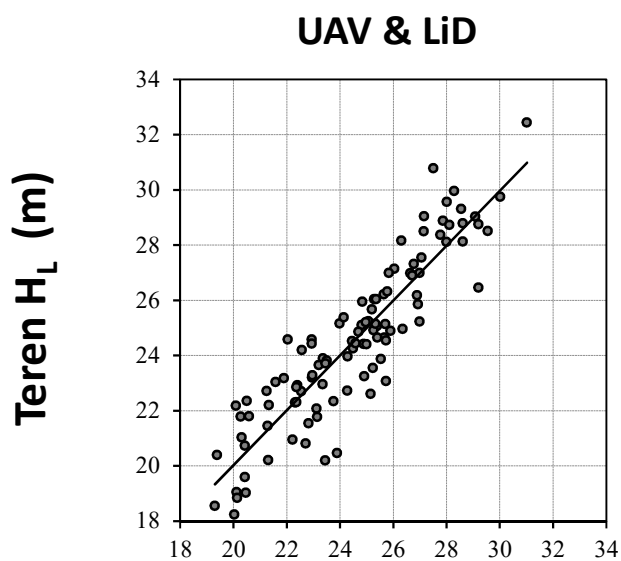
Za svaku plohu dobiven velik broj metričkih podataka (potencijalne nezavisne varijable) za izradu modela procjene srednje visine stabala na plohi ( $H_L$ ) – multivarijantna regresijska analiza



# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

## UAV u izmjeri šuma

Model	Jednadžba	$R^2_{adj}$	RMSE (m)	RMSE% (%)	MD (m)	MD% (%)
UAV & LiD	$H_L = 5.4105 + 0.6728 \cdot P_{99} + 0.0351 \cdot Per_{>25}$	<b>0.816</b>	1.251	<b>5.097</b>	-0.001	<b>-0.04</b>
UAV & PHM	$H_L = 4.8094 + 0.6919 \cdot P_{99} + 0.0358 \cdot Per_{>25}$	<b>0.813</b>	1.262	<b>5.140</b>	0.060	<b>0.245</b>
UAV & PHM <sub>C</sub>	$H_L = 4.7235 + 0.6963 \cdot P_{99} + 0.0349 \cdot Per_{>25}$	<b>0.812</b>	1.266	<b>5.158</b>	0.116	<b>0.471</b>



UAV  $H_L$  (m)

## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

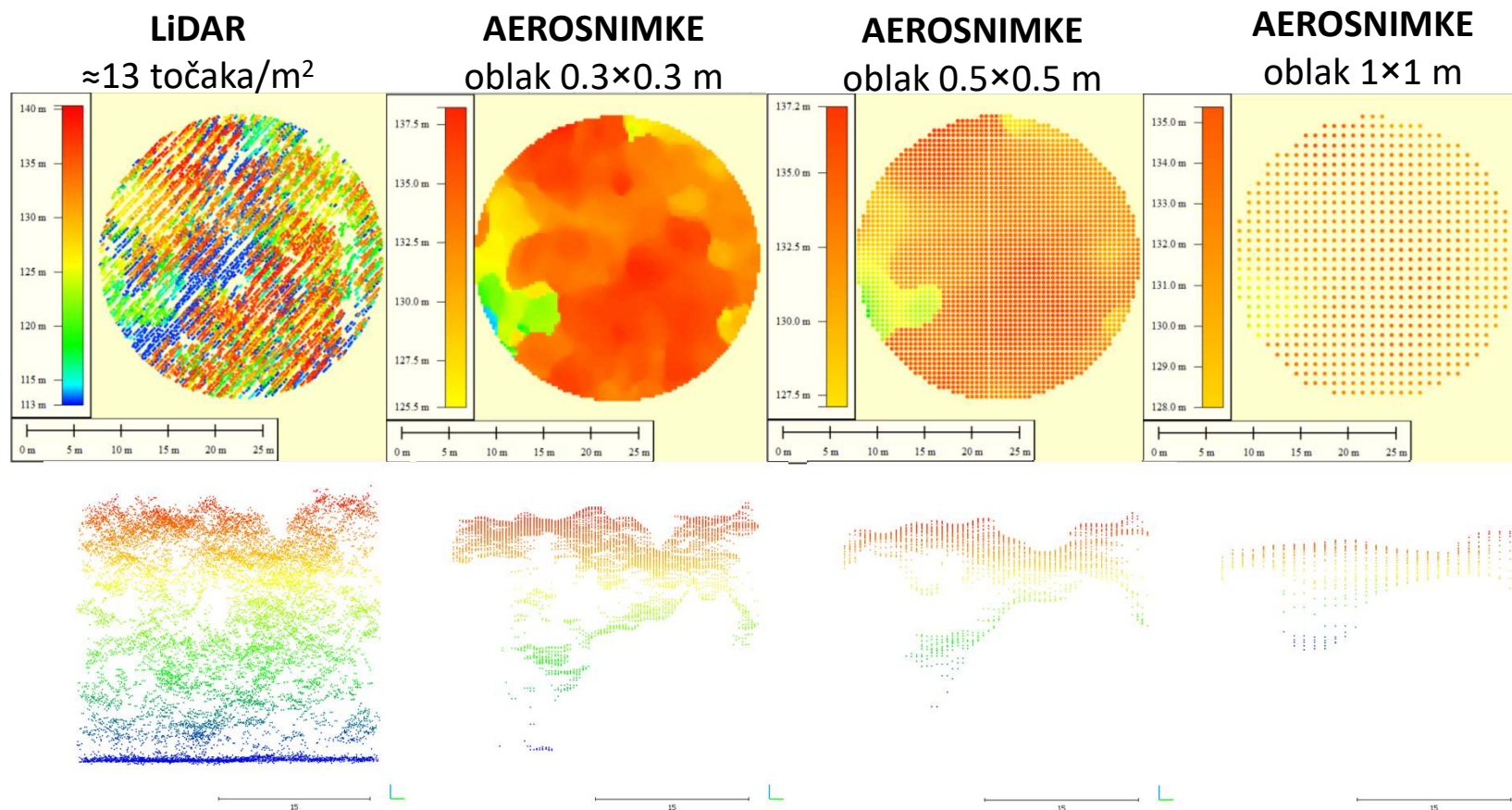
### UAV u izmjeri šuma

- Rezultati istraživanja potvrđuju veliki potencijal primjene bespilotnih letjelica i digitalne fotogrametrije u inventuri šuma
- UAV DMP tj. UAV 'oblak točaka' normaliziran s tri različita DMR-a daje vrlo slične, gotovo identične rezultate procjene srednje sastojinske visine na razini plohe
- U slučaju kada  $DMR_{ALS}$  nije dostupan, u nizinskim šumskim područjima moguće je koristiti  $DMR_{PHM}$  sličnih karakteristika za normalizaciju oblaka točaka (izrada DMVK) i procjenu strukturnih elemenata sastojina
- Preporuka → kontrola  $DMR_{PHM}$  i uklanjanje eventualnih vertikalnih pogrešaka

## DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

### LiDAR vs. AEROSNIMKE (GSD=0.3m, DGU)

- Koja prostorna rezolucija DMP-a / oblaka točaka iz aerosnimaka je dovoljna za procjenu sastojinskih varijabli ( $H_{AV}$ ,  $H_L$ ,  $H_D$ ) zadovoljavajuće točnosti?
- Veća prostorna rezolucija → veća količina podataka za procesiranje → zahtjevno za veće površine





# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

## LiDAR vs. AEROSNIMKE

- 83 plohe, g.j. Jastrebarski lugovi
- izrada DMP i oblaka točaka (PHOTOMOD 6) → normalizacija oblaka točaka s  $DMR_{LiD}$  (FUSION LDV) → izračun metrike (FUSION LDV) → izrada modela i validacija (STATISTICA 11)

### LiDAR

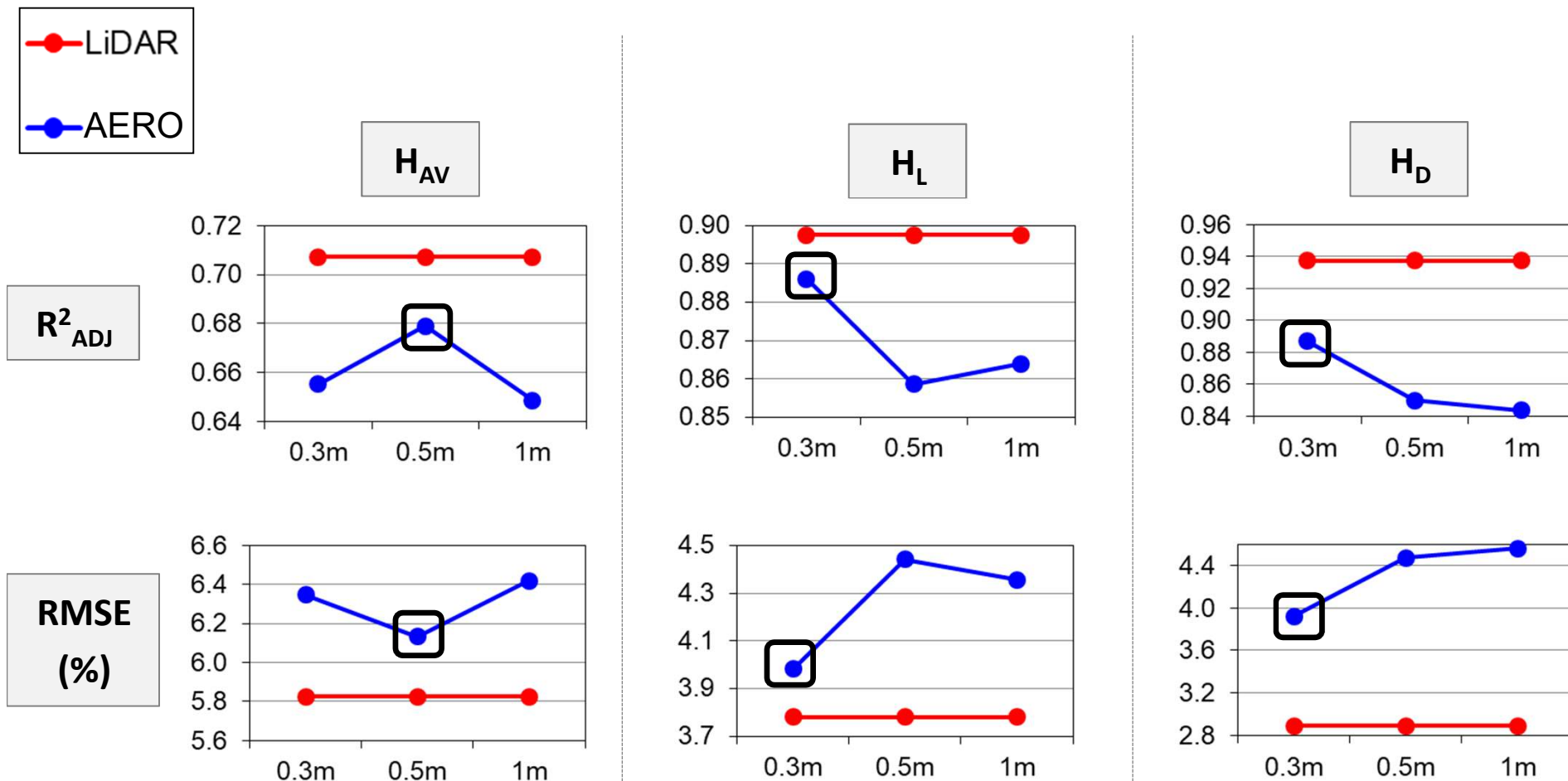
Varijabla	Odabrani prediktori
$H_{AV}$	SD; CURT_mean_CUBE
$H_L$	$P_{90}$
$H_D$	$P_{90}$

### AEROSNIMKE

Varijabla	Rezolucija (m)	Odabrani prediktori
$H_{AV}$	0.3	$P_{50}$
	0.5	$P_{50}$
	1.0	$P_{10}$
$H_L$	0.3	$P_{75}$ ; $CC_{30}$
	0.5	$P_{60}$
	1.0	$P_{60}$
$H_D$	0.3	$P_{75}$ ; $CC_{30}$
	0.5	$P_{70}$
	1.0	$P_{60}$

# DAF – DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

## LiDAR vs. AEROSNIMKE



Prostorna rezolucija

## AKTUALNA I BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

### INVENTURA ŠUMA NA RAZINI PLOHE I SASTOJINE

- SATELITSKE SNIMKE, AEROSNIMKE, UAV SNIMKE, LiDAR
  - procjena prsnog promjera, temeljnice, volumena, biomase, broja stabala
  - automatska klasifikacija i segmentacija sastojina

### INVENTURA ŠUMA NA RAZINI POJEDINAČNIH STABALA

- UAV SNIMKE, **ULS** (UAV LiDAR), **PLS** (ručni LiDAR)
  - procjena prsnog promjera, visine, temeljnice, volumena, biomase, itd.
  - automatska klasifikacija i segmentacija pojedinačnih stabala

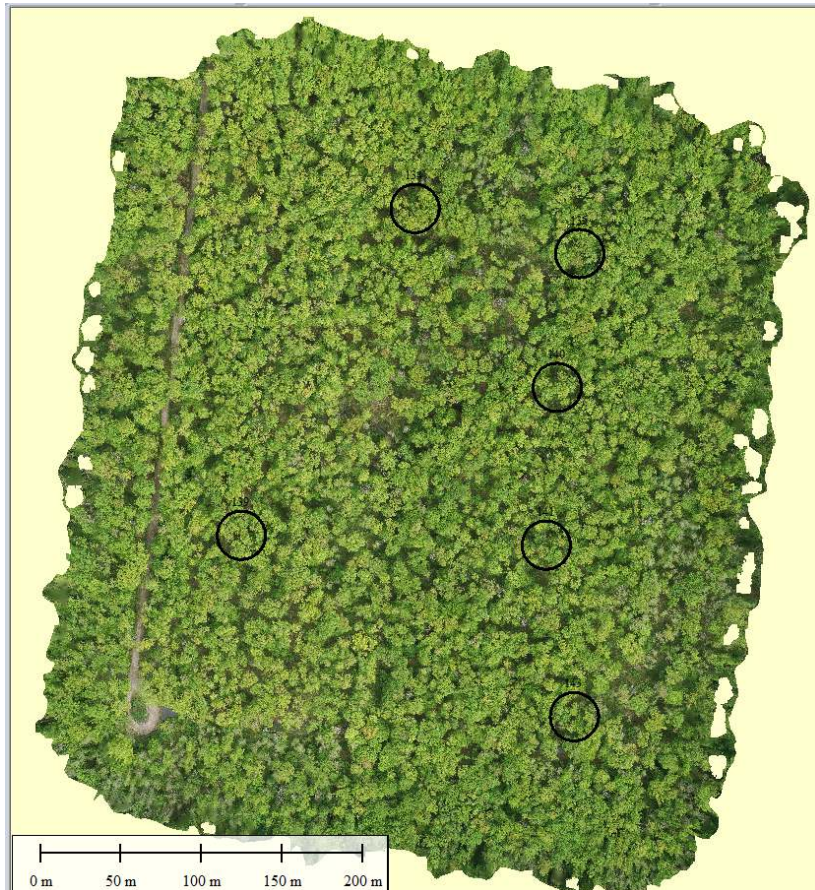
## ULS (*Unmanned Laser Scanning*) – UAV LiDAR

- UAV LiDAR vs. UAV fotogrametrija vs. ručni LiDAR u izmjeri pojedinačnih stabala i ploha
- UAV LiDAR – CADCOM d.o.o. (Zagreb, <http://www.cadcom.hr/>)
- LiDAR senzor - LS Nano M8
- <https://lidarswiss.com/ls-nano-m8/>
- 20 MP kamera
- Proizvođač: LidarSwiss GmbH (Switzerland)



## ULS (*Unmanned Laser Scanning*) – UAV LiDAR

- za testiranje snimljeno područje od 20 ha, 6 detaljno terenski izmjerenih ploha
- G.j. Jastrebarski lugovi, UR hrast lužnjak, 75 godina
- LiDAR  $\approx 320$  točaka/m<sup>2</sup>
- UAV snimke GSD = 2 cm



Digitalni ortofoto, GSD = 2 cm



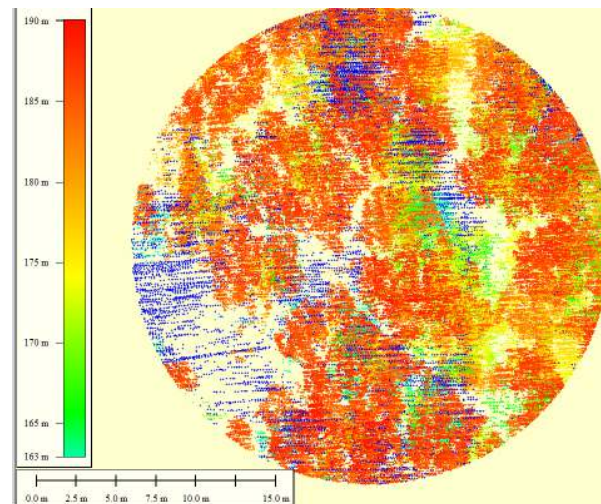
## ULS (*Unmanned Laser Scanning*) – UAV LiDAR

- Oblaci točaka na 1 plohi (r=15 m)

**UAV LiDAR**

**340 točaka / m<sup>2</sup>**

**Horizontalno**

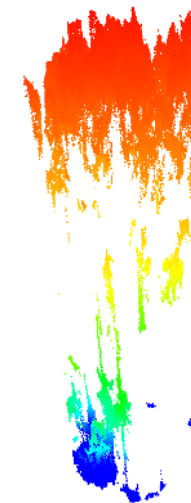
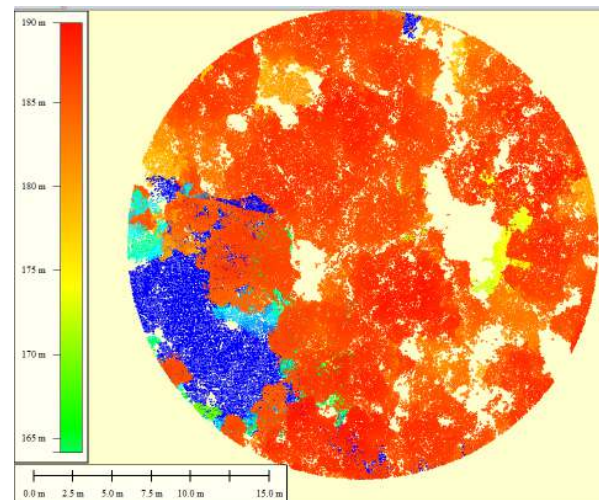


**Vertikalno**



**UAV fotogrametrija**

**395 točaka / m<sup>2</sup>**

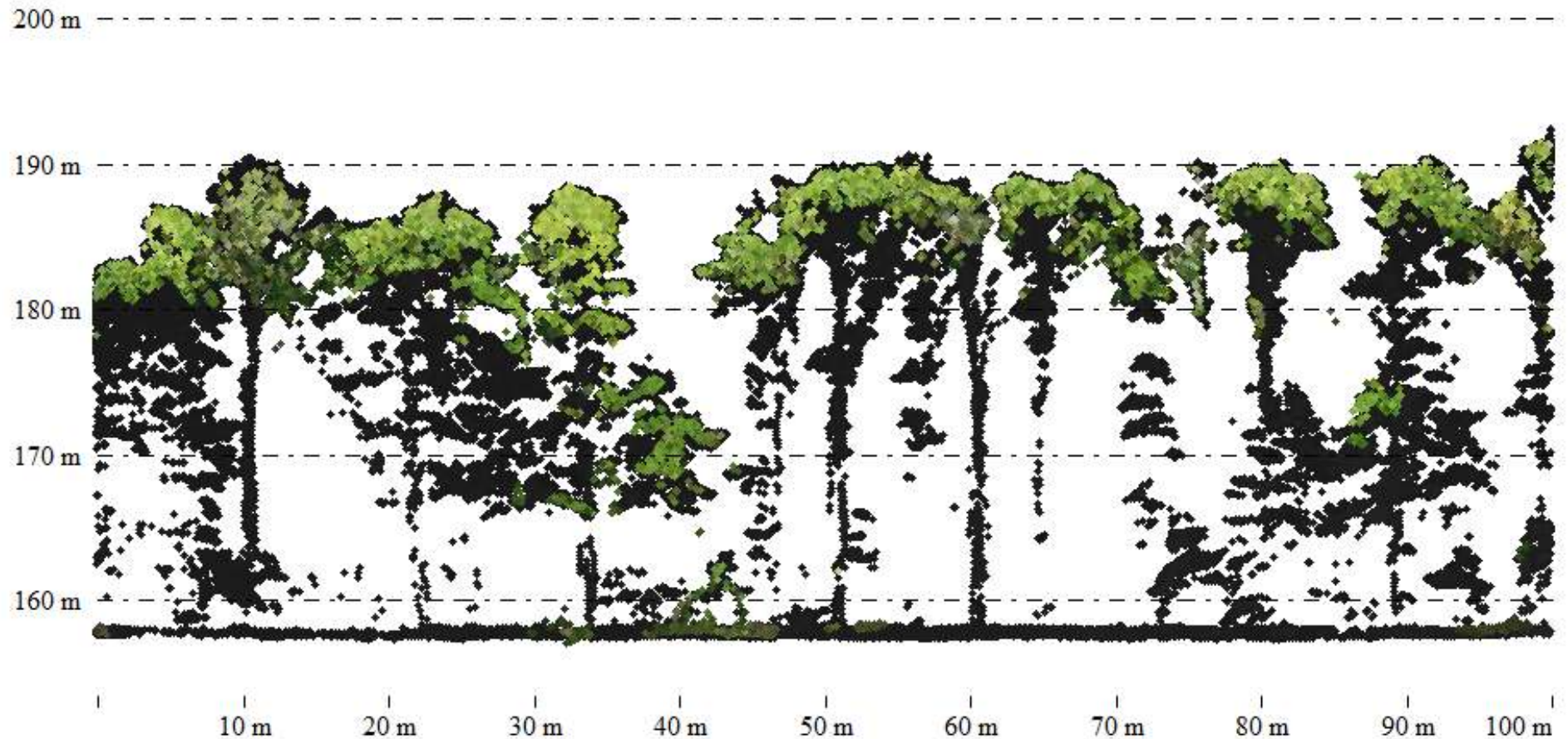


## ULS (*Unmanned Laser Scanning*) – UAV LiDAR

- Vertikalni profili kroz sastojinu u dužini 100 m
- Crne točkice – UAV LIDAR; zelene točkice – UAV fotogrametrija

From Pos: 439566.389, 5054989.846

To Pos: 439474.965, 5055030.351



## PLS (*Personnel laser scanning*) – ručni laserski skener

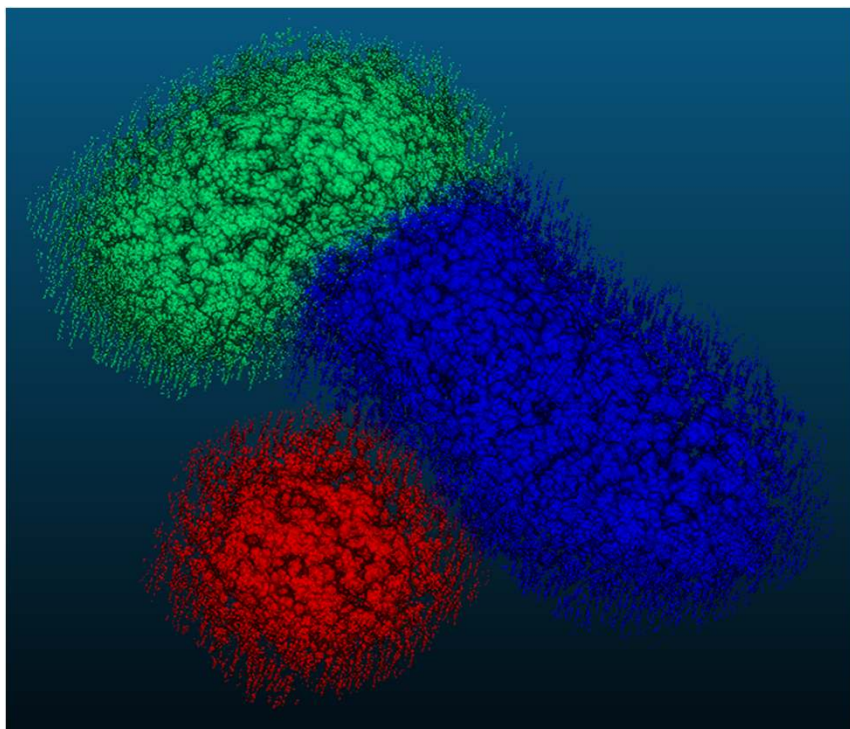
- **ZEB-HORIZON** – najnoviji tip ručnog laserskog skenera
  - proizvođač: GeoSLAM (UK, <https://geoslam.com/>)
  - zastupnik: **Geo-centar** (Čakovec, <https://geocentar.com/>)
- težina: 1.3 kg
- **domet: 100 m** (prethodne verzije 15-20 m)
- prikupljanje do 300,000 točaka po sekundi
- relativna točnost mjerenja: 1-3 cm
- senzor uređaja rotira se u svim smjerovima za 360° te konstantno odašilje signale i prikuplja informacije na povezanu vanjsku memoriju (hard disk).





## PLS (*Personnel laser scanning*) – ručni laserski skener

- za testiranje odabrano 6 detaljno terenski izmjerenih ploha
  - G.j. Jastrebarski lugovi, UR hrast lužnjak, 75 godina
- prije skeniranja – inicijalizacija (kalibracija) skenera - 1 min
- preporučeno skenirati u ciklusima od 20 min, te ponovno uređaj kalibrirati
- postupak skeniranja se sastojao u jednostavnom i nasumičnom prolasku operatera po plohi tijekom kojega je povezao početak i kraj putanje kretanja
- skeniranje obavljeno za manje od 90 min; tri ciklusa (1 + 3 + 2 plohe)

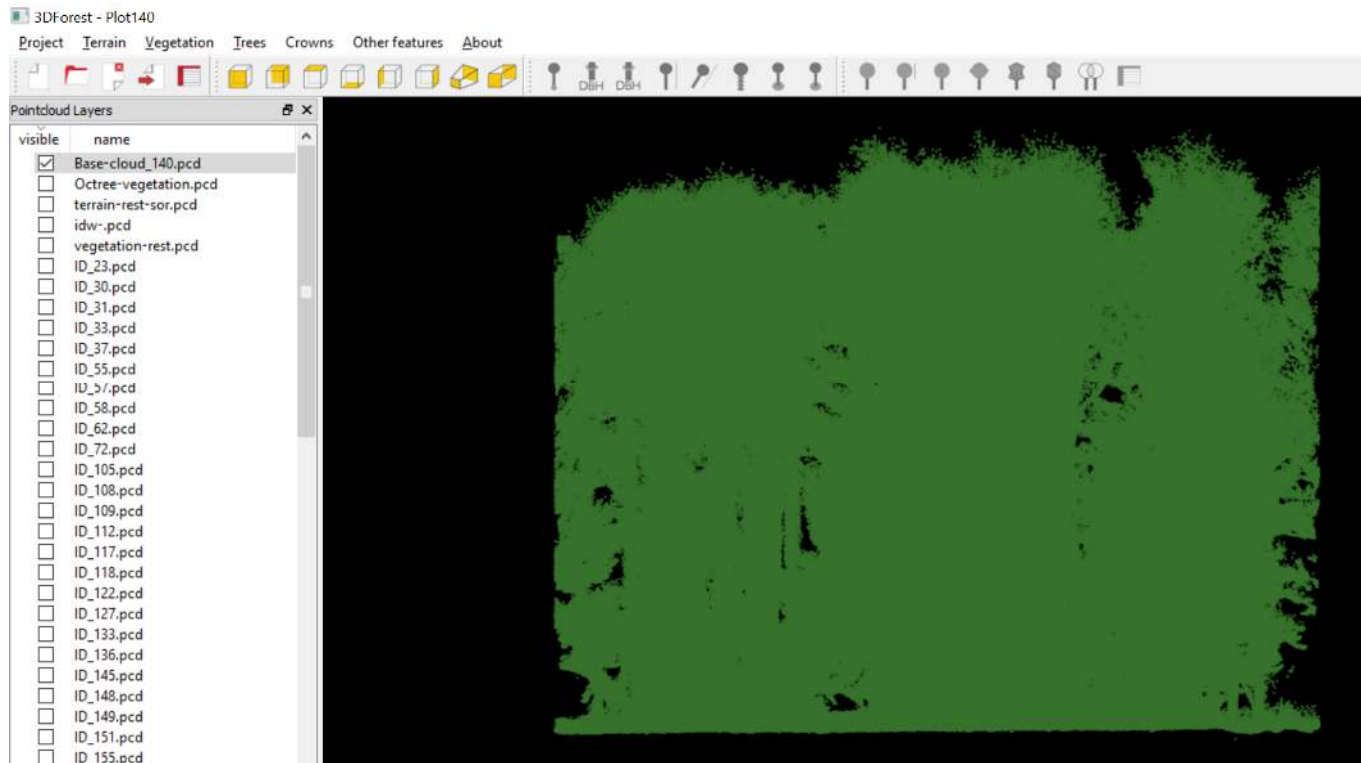


- Nakon skeniranja, za pret-procesiranje i prijenos podataka trebalo je otprilike vremena koliko i za terensko skeniranje
- Dobiven je 3D oblak točaka u LAS formatu (kompatibilan s industrijskim softverima za obradu LiDAR podataka).

## PLS (*Personnel laser scanning*) – ručni laserski skener

- za klasifikaciju i izmjeru stabala, pret-procesirani oblak točaka potrebno je dodatno obraditi
- npr. u slobodnom softveru **3D FOREST** (<http://www.3dforest.eu/>)
- polu-automatiziranom obradom iz oblaka točaka moguće je segmentirati tlo i svu vegetaciju
- za svako stablo na plohi moguće je odrediti lokaciju, procijeniti prsni promjer, visinu stabala, dimenzije debla, dimenzije krošnje, itd.

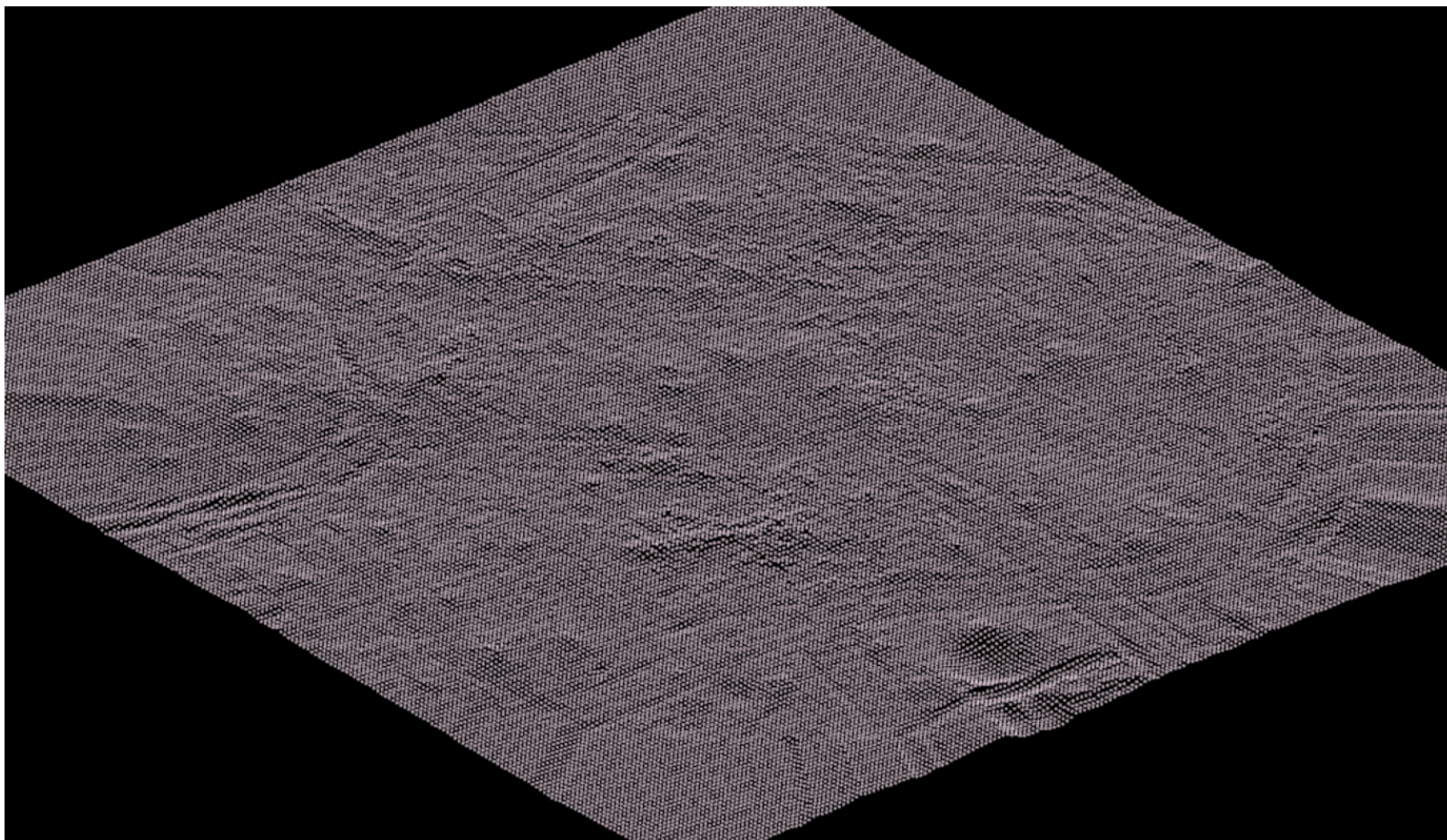
### Učitani pret-procesirani oblak točaka za 1 pluhu



## PLS (*Personnel laser scanning*) – ručni laserski skener

- Automatski segmentirano tlo
- dodatno manualno obrađeno (izbrisane pogrešno segmentirane točke)

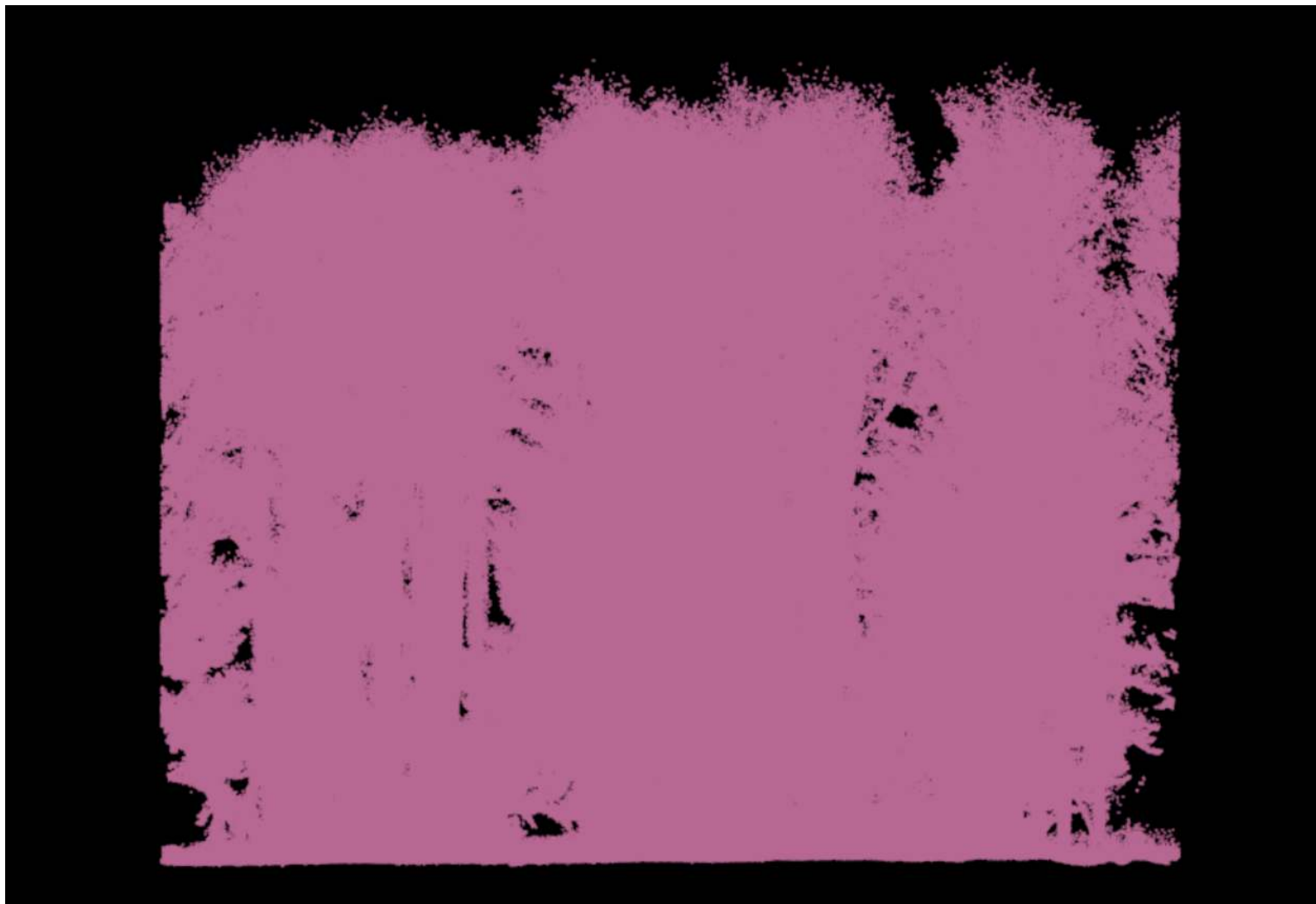
Tlo segmentirano iz oblaka točaka



## PLS (*Personnel laser scanning*) – ručni laserski skener

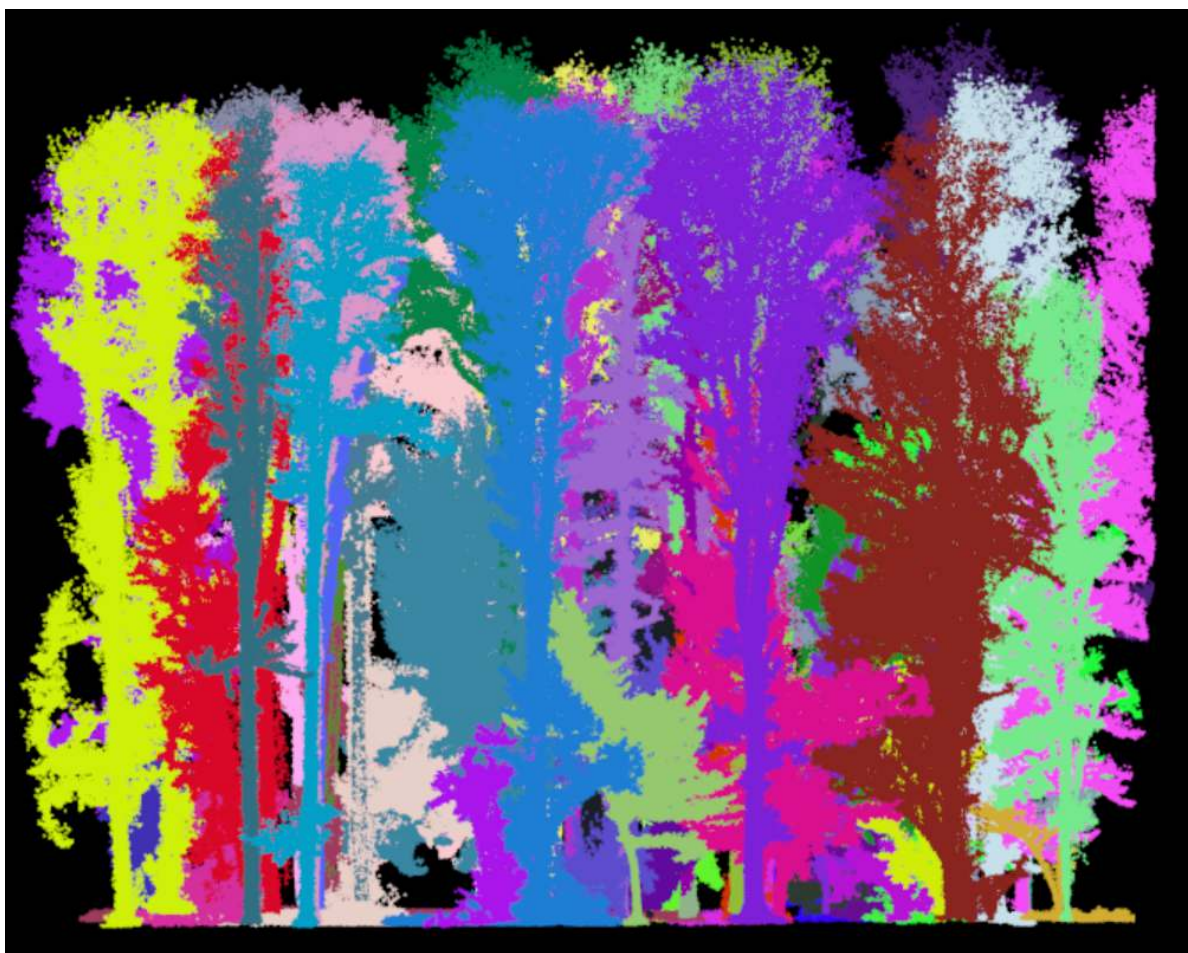
- Automatski segmentirana 'čitava vegetacija' na plohi od tla

Vegetacija segmentirana iz oblaka točaka



## PLS (*Personnel laser scanning*) – ručni laserski skener

- Automatski segmentirano svako stablo i grm na plohi
- Ovisno o strukturi sastojine, te gustoći skeniranja (metodi skeniranja na plohi) potrebno je manje ili više manualne obrade kako bi se uklonile pogreške automatske segmentacije

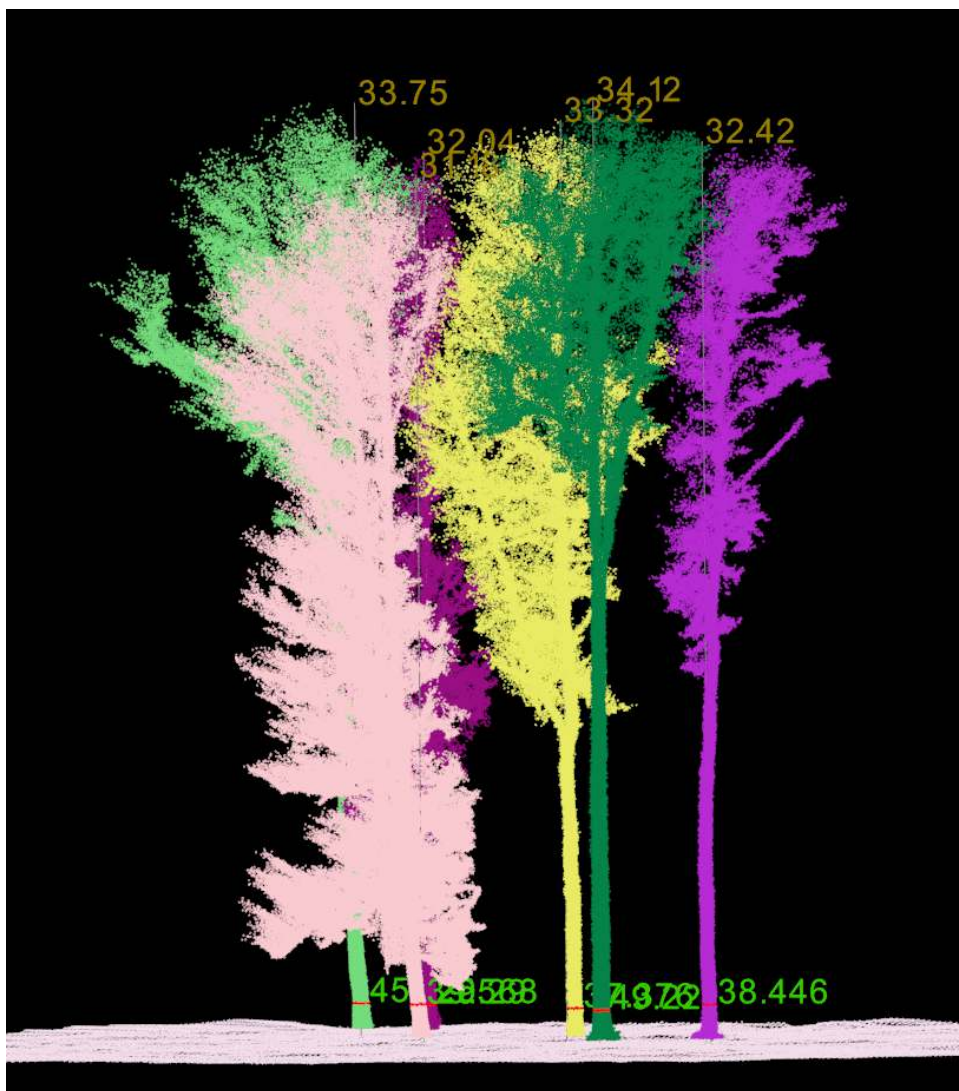


Segmentirana pojedinačna stabla  
iz oblaka točaka



## PLS (*Personnel laser scanning*) – ručni laserski skener

- Automatski izračunate pozicije, visine i prsni promjeri stabala



Raspon odstupanja za 6 primjernih stabala hrasta lužnjaka:

Varijabla	Min	Max
X (m)	0.09	0.32
Y (m)	0.04	0.25
Z (m)	0.001	0.12
DBH (cm)	-1.31	-2.39
H (m)	0.68	1.48

**HVALA !!!**