

RADIONICA br. 4 HRZZ projekta "3D-FORINVENT"

"Završna radionica –
Prezentacija projektnih rezultata"

Jastrebarsko, 26. veljače 2021.



Procjena strukturnih elemenata šumskih sastojina korištenjem različitih podataka daljinskih istraživanja

Ivan Balenović

Hrvatski šumarski institut
Zavod za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku
Trnjanska cesta 35, Zagreb
ivanb@sumins.hr



HRVATSKI ŠUMARSKI
INSTITUT

CROATIAN FOREST
RESEARCH INSTITUTE



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



SADRŽAJ

- UVOD
- PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I DOBIVENIH REZULTATA
 - Balenović et al. 2019. **Testing the Applicability of the Official Croatian DTM for Normalization of UAV-based DSMs and Plot-level Tree Height Estimations in Lowland Forests.** *Croat J Forest Eng* 40(1): 163-174. <https://hrcak.srce.hr/217406>
 - Jurjević et al. 2020. **Impact of UAS Image Orientation on Accuracy of Forest Inventory Attributes.** *Remote Sens* 12(3): 404. <https://doi.org/10.3390/rs12030404>.
 - **Estimation of Forest Inventory Attributes using Various Remote Sensing Data - A Comparison Study.** (U PRIPREMI)
 - **Fotogrametrijska procjena volumena u sastojinama hrasta lužnjaka Pokupskog bazena.** (U PRIPREMI)



UVOD

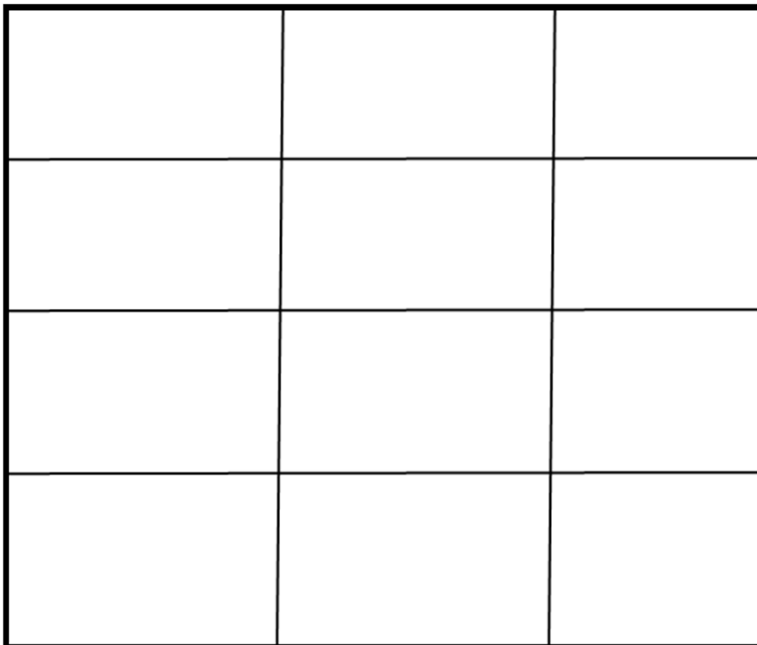
- Dva su glavna pristupa kod primjene podataka **daljinskih istraživanja (DI)** (oblak točaka, DMVK) u izmjeri (inventuri) šuma:
 - 1) pristup temeljen na pojedinačnom stablu (ITBA - engl. *Individual Tree-Based Approach*),
 - 2) pristup temeljen na površini – primjernoj plohi (ABA – engl. *Area-Based Approach*).
 - pojednostavljeno: na temelju podataka dobivenih iz DI (oblak točaka, DMVK) procjenjuju se strukturni elementi šumskih sastojina na razini plohe, a potom i na razini odsjeka



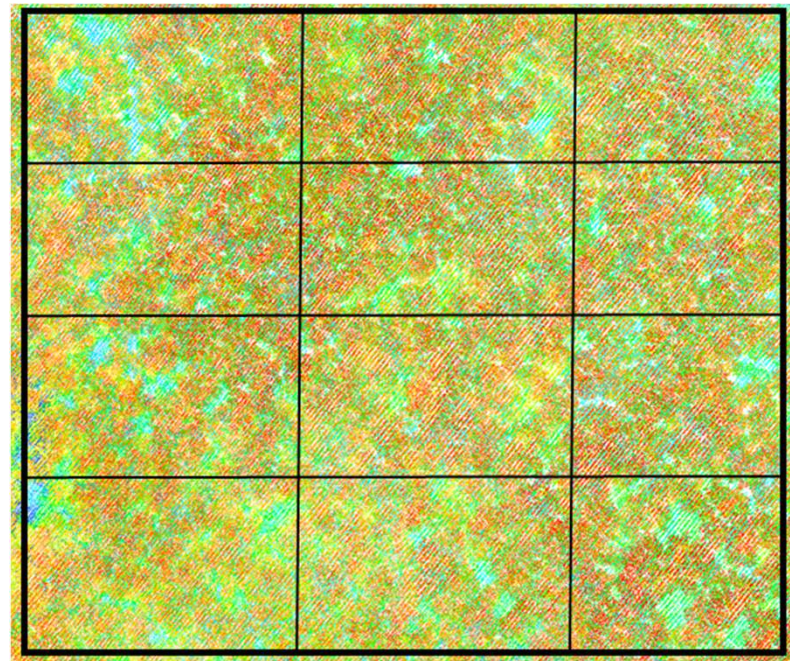
PRISTUP TEMELJEN NA POVRŠINI – primjernoj plohi (ABA)

- 1) Za područje inventure šuma (lijevo) prikupe se podaci DI (ALS, aerosnimke, UAV, ...) (desno)
 - Npr: šumska površina s odsjecima određenog uređajnog razreda

Područje inventure (odsjeci)



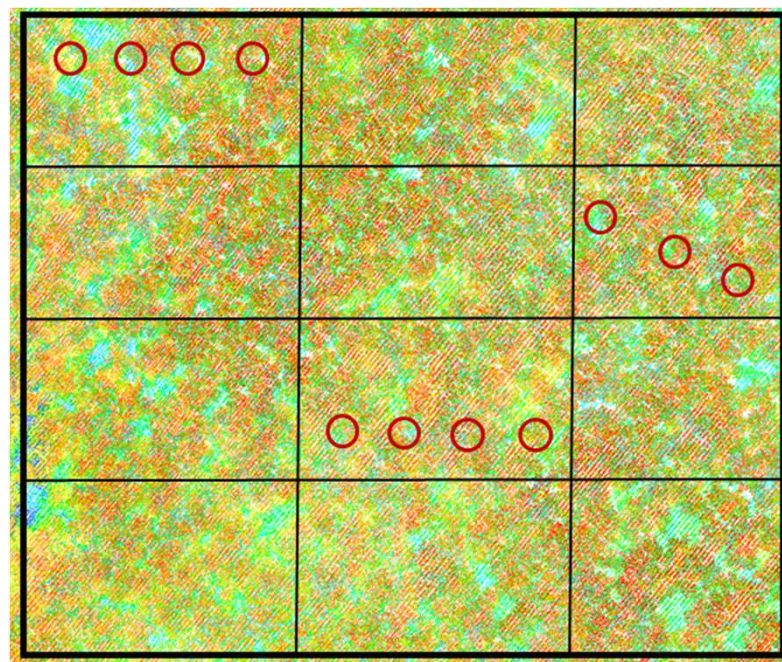
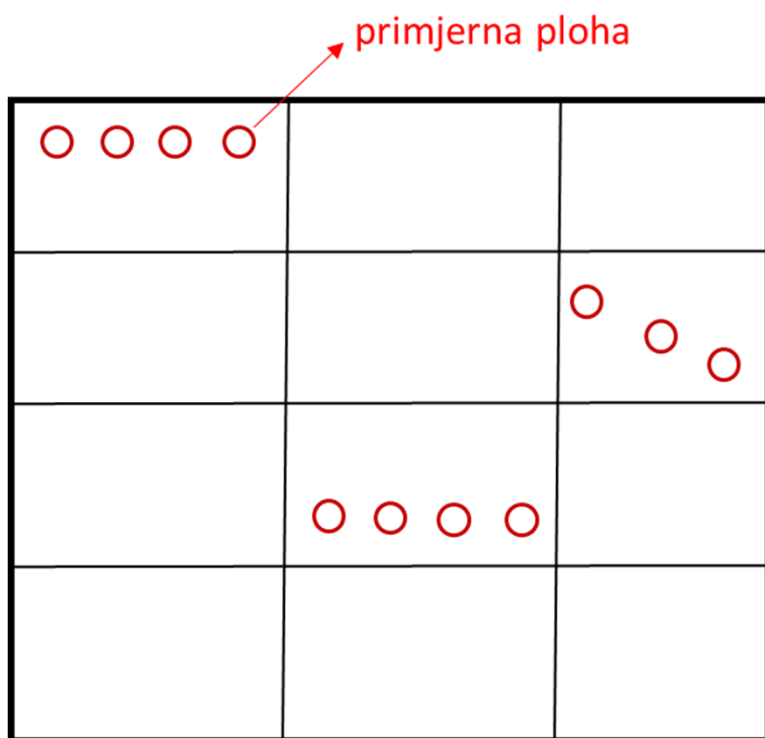
Odsjeci s podacima DI (npr. oblak točaka)





2) Terenska izmjera na reprezentativnom uzorku primjernih ploha

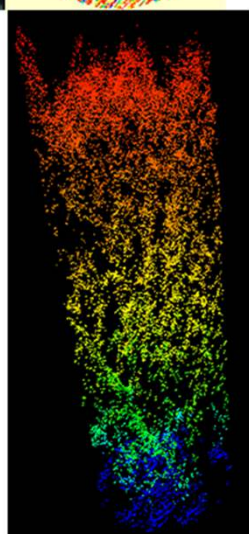
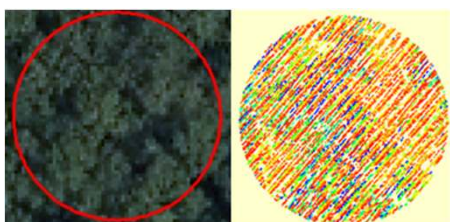
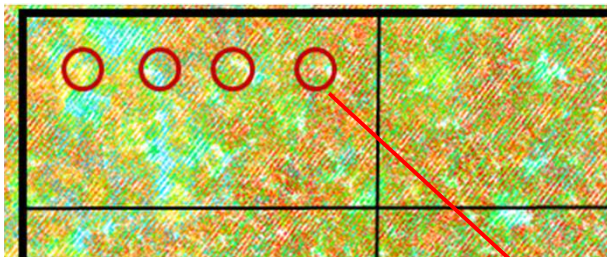
- **neophodna** za uspostavljanje odnosa (izrada modela) između terenskih podataka i podataka DI, ali u znatno manjoj mjeri nego kod klasične inventure šuma → značajne uštede u obimu terenskog rada
- Terenska izmjera i prikupljanje podataka DI trebaju koincidirati (poželjno barem isto vegetacijsko razdoblje)





3) Izračun mjerljivih podataka za plohe iz podataka DI

- Npr. FUSION LDV softver (McGaughey 2018) > 40 podataka za pojedinu plohu

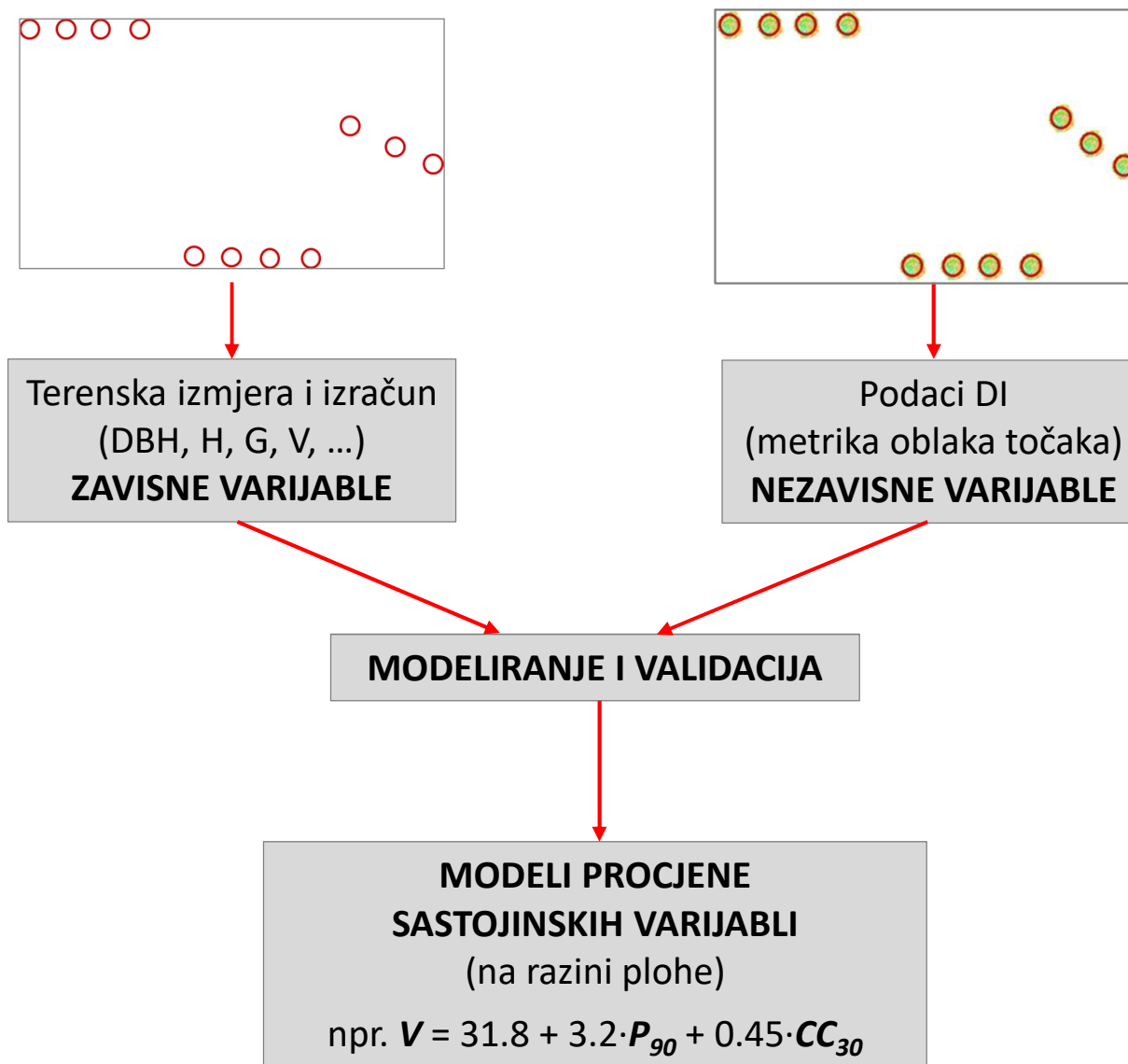


METRIČKI PODACI PLOHE za modeliranje strukturnih varijabli

- **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 točaka/piksela iznad određene visine, npr. 5, 10, 15 m...)



4) Modeli (jednadžbe) za procjenu strukturnih elemenata sastojina na razini plohe





5) Procjena strukturnih elemenata sastojina na razini odsjeka

a) Sumiranjem ili uprosječavanjem podataka ploha.

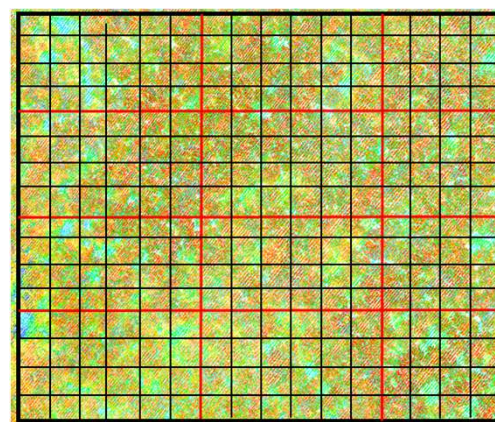
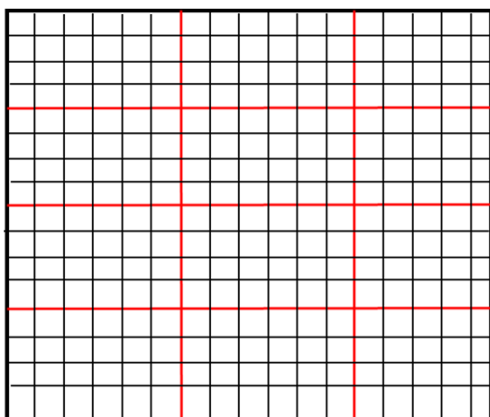
b) **‘Wall-to-wall’ mapiranje (čitave površine)**

- Čitava površina podijeli se na kvadrate čija je površina približno jednaka površini ploha
- Za svaki kvadrat se izračunaju odabrane nezavisne varijable (metrički podaci DI) te se na temelju izrađenih modela procjenjuju sastojinske varijable unutar svakog pojedinog kvadrata
- ✓ znatno se reducira broj terenski izmjerenih ploha u odnosu na klasičnu terensku izmjeru
- ✓ za svaki manji dio sastojine (kvadrat) dobije se procijenjena sastojinska varijabla koja se potom agregira/sumira na razinu odsjeka i to na cijelom području od interesa



6) Procjena strukturnih elemenata sastojina na razini odsjeka

b) 'Wall-to-wall' mapiranje (čitave površine)



215 m ³ /ha	232 m ³ /ha	396 m ³ /ha
378 m ³ /ha	413 m ³ /ha	523 m ³ /ha
180 m ³ /ha	396 m ³ /ha	264 m ³ /ha
396 m ³ /ha	428 m ³ /ha	136 m ³ /ha

$$V = 31.8 + 3.2 \cdot P_{90} + 0.45 \cdot CC_{30}$$



PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

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.** *Croat J Forest Eng* 40(1): 163-174.

<https://hrcak.srce.hr/217406>

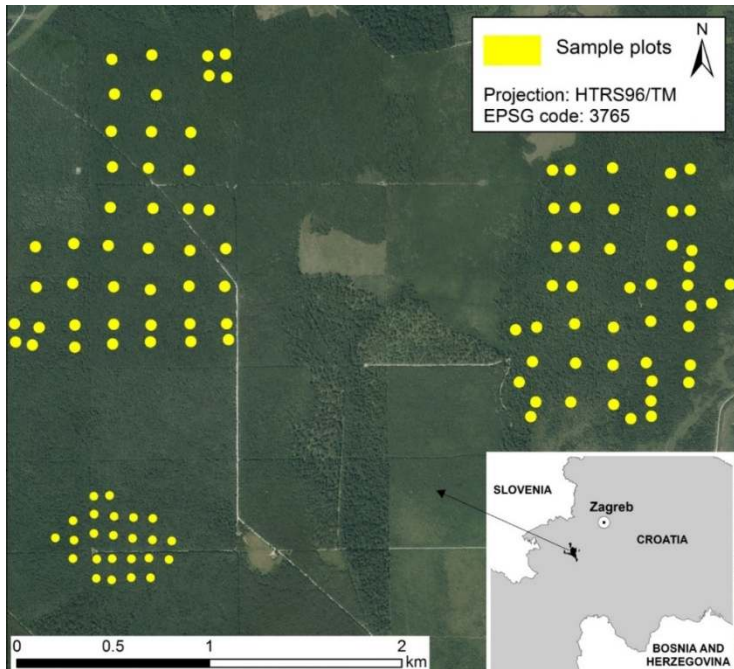
CILJEVI:

- ispitati mogućnost primjene bespilotnih letjelica (UAV) u kombinaciji sa službenim DMR-om u izmjeri šuma
- ispitati mogućnost korištenja službenog DMR-a za normalizaciju DMP-a (oblaka točaka, i izradu DMVK-a) i procjenu visine stabala na razini plohe
- **Normalizacija DMP** – pretvaranje nadmorskih visina u visine iznad tla
→ izrada DMVK = DMP – DMR
- **DMP** – rasterski prikaz (pikseli, 10×10 cm) gornje površine krošanja dobiven iz fotog. oblaka točaka odabiranjem točaka s najvišim vrijednostima visina u pravilnom gridu (pikselu)



PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

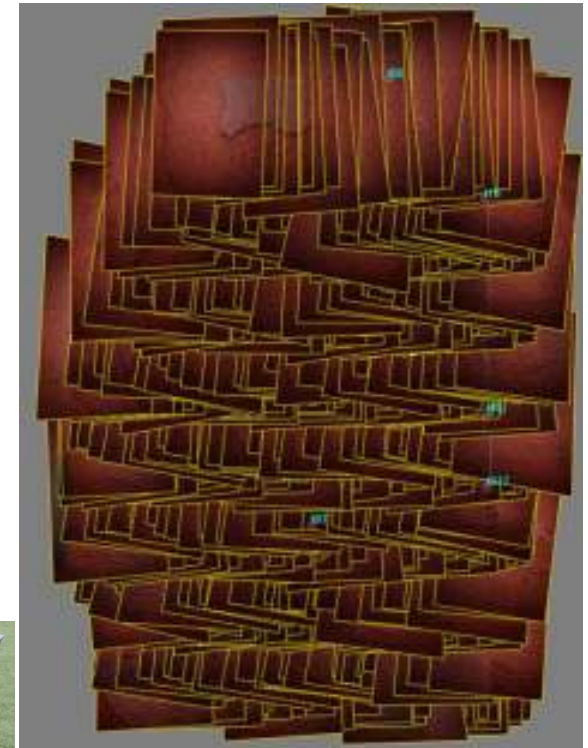
- g.j. Jastrebarski lugovi
- 105 ploha (III-VII dobni razred)



Trimble UX5 HP



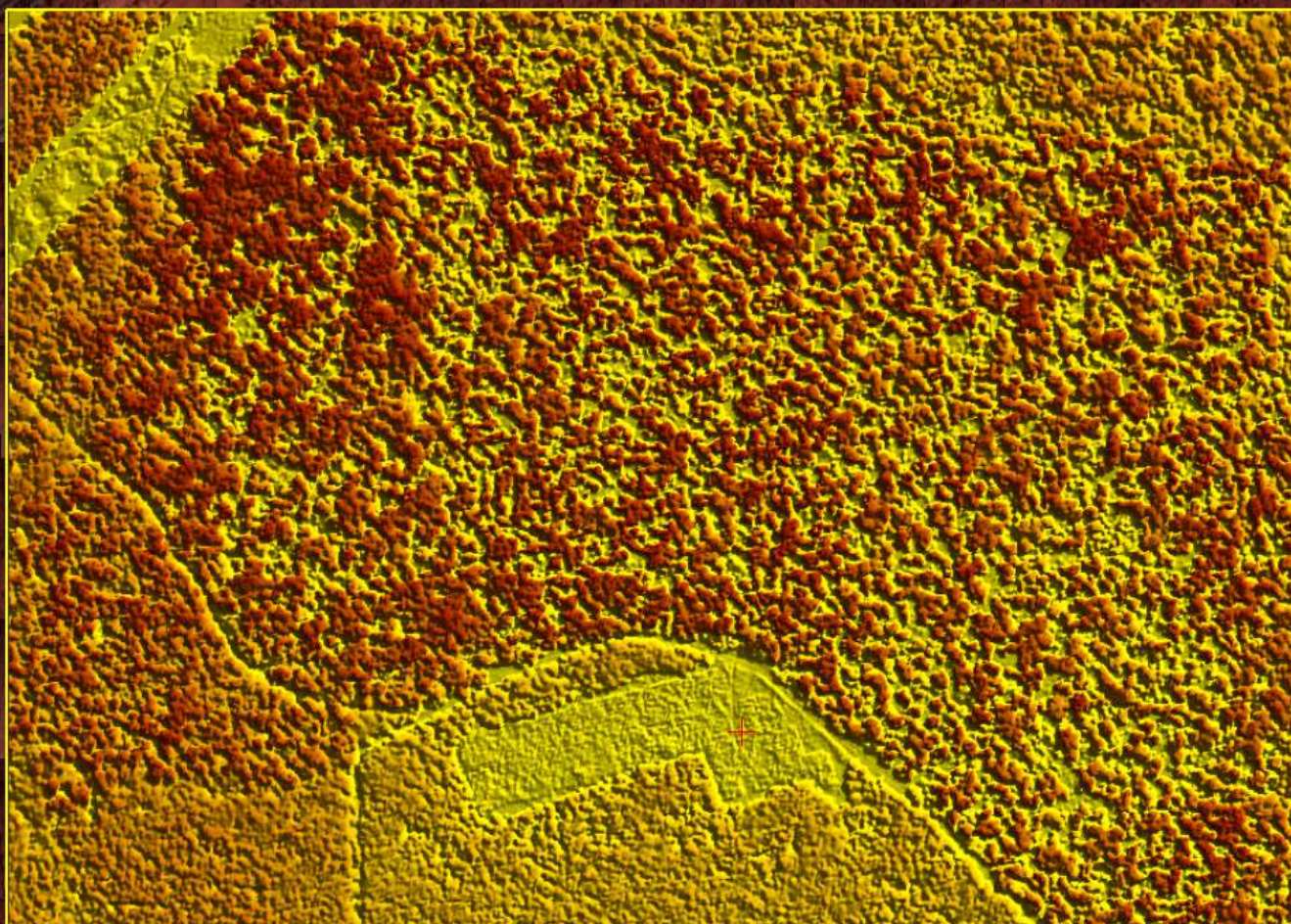
UAV snimke, GSD≈8cm





PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

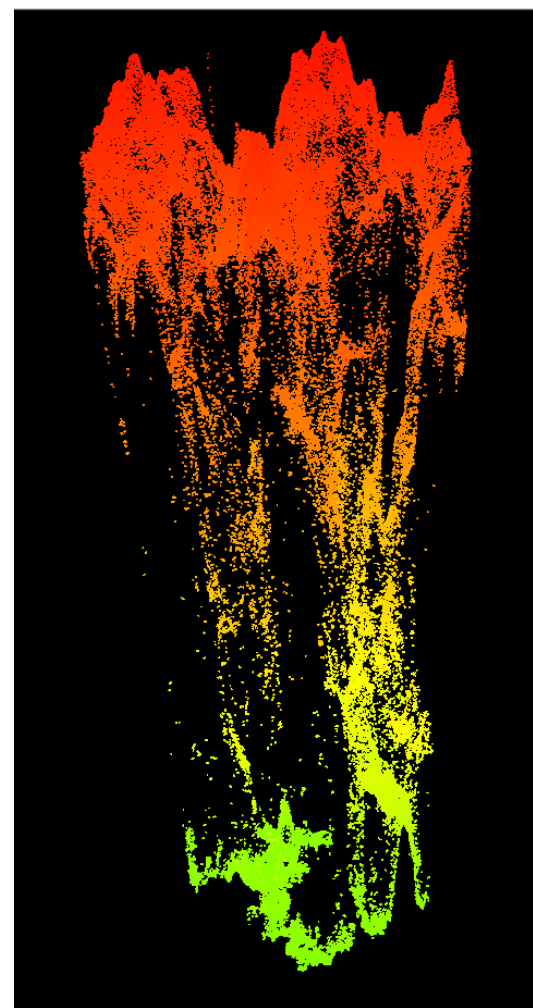
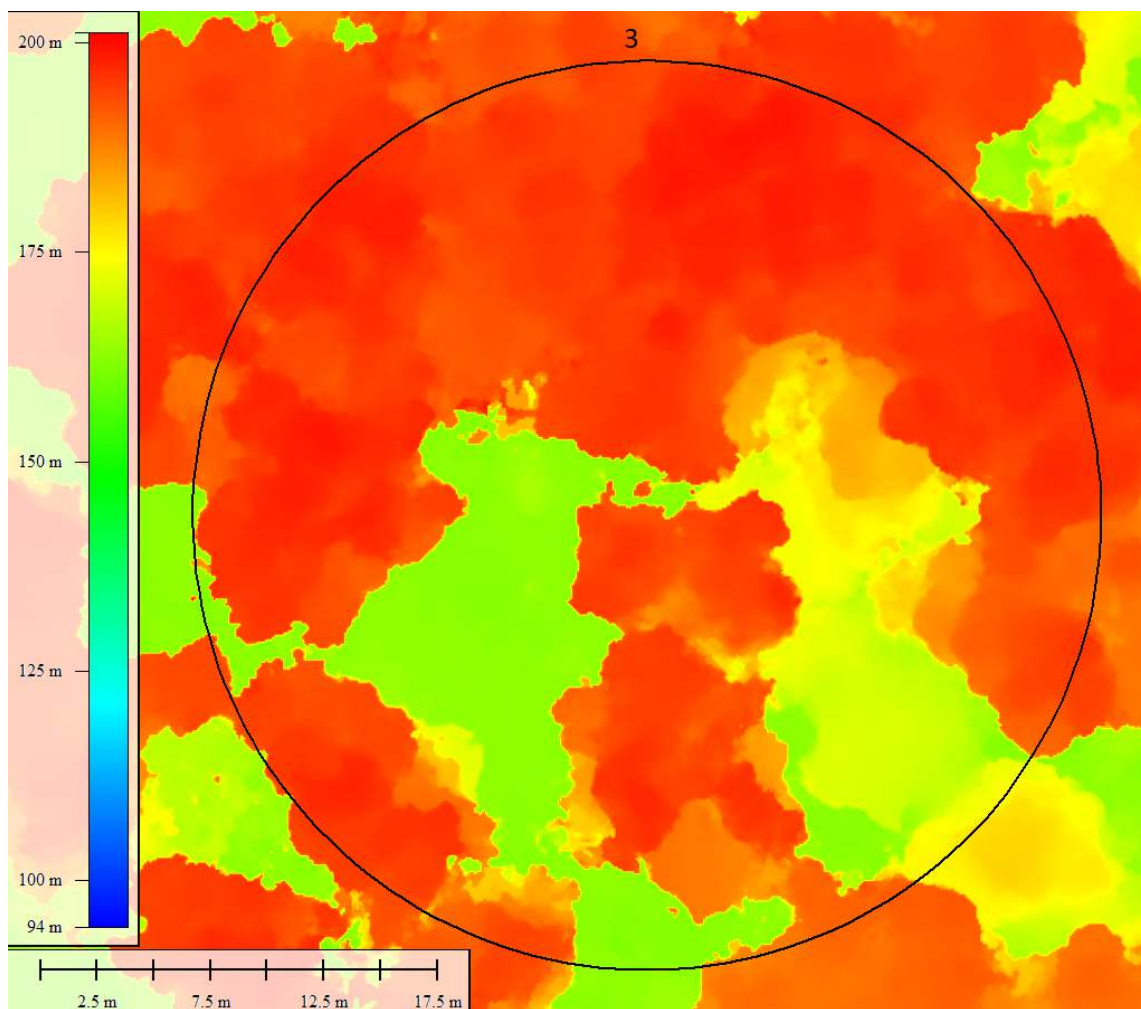
- **DMP** 10 cm × 10 cm
- **PHOTOMOD 6** (*DENSE DSM algoritam* – SGM metoda)





PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

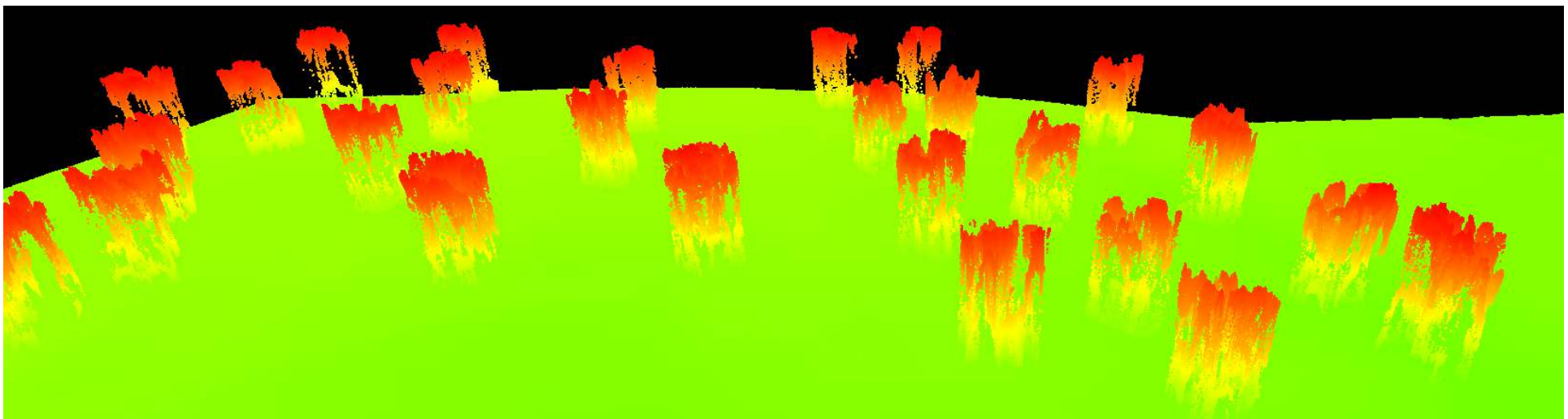
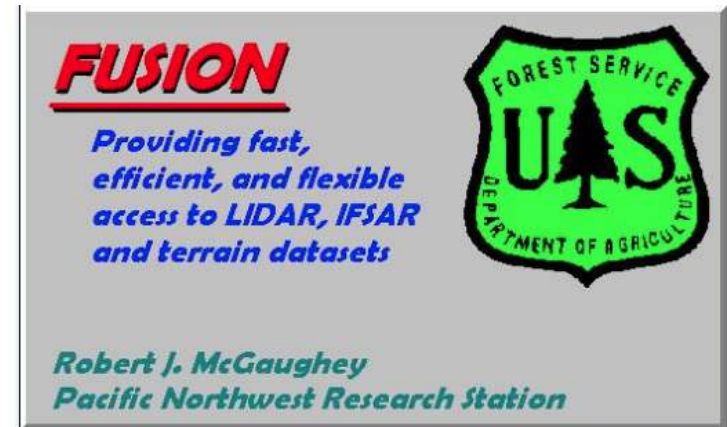
- **DMP** 10 cm × 10 cm → *'Convert to points'* → **'Oblak točaka'** 10×10 cm
- Radi daljnje obrade u FUSION LDV i dobivanje metričkih podataka





PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

- FUSION LDV softver
- UAV 'Oblak točaka' normaliziran s tri različita DMR-a:
 - a) UAV 'Oblak točaka' & DMR_{ALS} ($nDSM_{ALS}$)
 - b) UAV 'Oblak točaka' & DMR_{FOT} ($nDSM_{FOT}$)
 - c) UAV 'Oblak točaka' & DMR_{FOT-K} ($nDSM_{FOT-K}$)
- Za svaku plohu dobiven velik broj metričkih podataka (39 potencijalne nezavisne varijable) za izradu modela procjene **srednje visine stabala na plohi (H_L)**

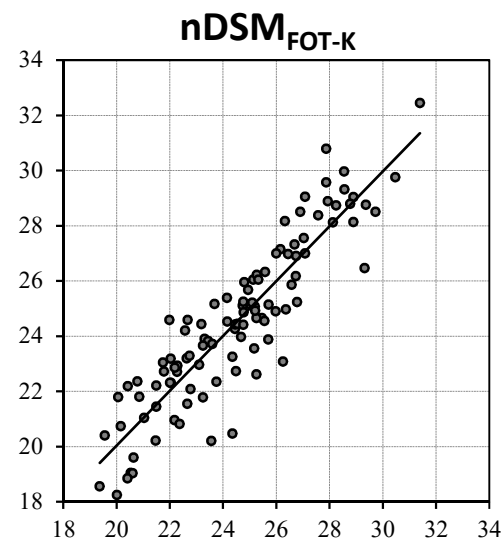
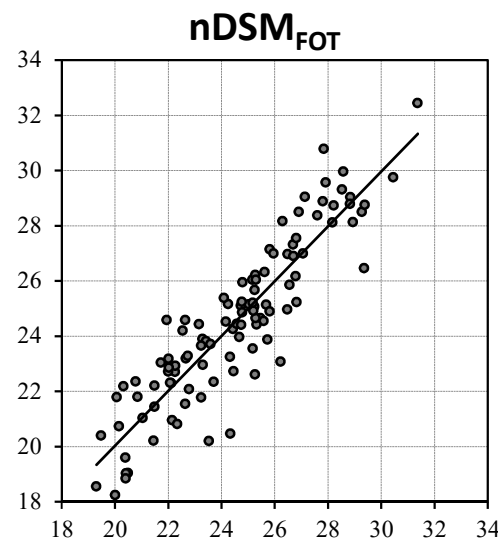
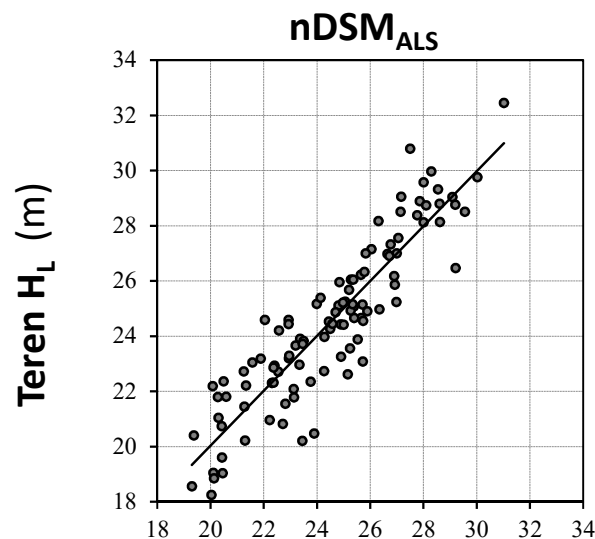




PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

- multivarijantna regresijska analiza
- kros-validacija (*Leave-One-Out Cross-Validation; LOOCV*)

Model	Jednadžba	R^2_{adj}	RMSE (m)	RMSE% (%)	MD (m)	MD% (%)
nDSM _{ALS}	$H_L = 5.41 + 0.67 \cdot P_{99} + 0.04 \cdot Per_{>25}$	0.816	1.251	5.097	-0.001	-0.040
nDSM _{FOT}	$H_L = 4.81 + 0.69 \cdot P_{99} + 0.04 \cdot Per_{>25}$	0.813	1.262	5.140	0.060	0.245
nDSM _{FOT-K}	$H_L = 4.72 + 0.70 \cdot P_{99} + 0.03 \cdot Per_{>25}$	0.812	1.266	5.158	0.116	0.471



UAV H_L (m)



PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

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.** *Croat J Forest Eng* 40(1): 163-174.

<https://hrcak.srce.hr/217406>

ZAKLJUČCI:

- ✓ Rezultati potvrđuju veliki potencijal primjene bespilotnih letjelica i digitalne fotogrametrije u izmjeri šuma (na razini plohe)
- ✓ 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_{FOT} (službeni DMR RH) za normalizaciju oblaka točaka (izrada DMVK) i procjenu strukturnih elemenata sastojina
- ✓ Preporuka → kontrola DMR_{FOT} i uklanjanje eventualnih vertikalnih pogrešaka



PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

Jurjević L, Gašparović M, Simic Milas A, Balenović I, 2020. **Impact of UAS Image Orientation on Accuracy of Forest Inventory Attributes**. Remote Sens 12(3): 404.

<https://doi.org/10.3390/rs12030404>.

CILJ:

- ✓ Istražiti utjecaj različitih metoda orijentacije UAV snimaka na točnost procjene strukturnih elemenata sastojine na razini plohe (srednje visine stabala na plohi - H_L).

ZAŠTO:

- ✓ Za primjenu DI u izmjeri šuma potrebne su prostorne informacije (npr. središta ploha) vrlo visoke točnosti s minimalnim odstupanjima od stvarnih vrijednosti (npr. <1m)
- ✓ Bepilotne letjelice – različiti tipovi, karakteristike i mogućnosti, itd.
- ✓ Senzori na bespilotnim letjelicama – kamera; GPS/GNSS senzor (vrlo različitih karakteristika o kojima uvelike ovisi i točnost orijentacije snimaka)
- ✓ Dodatna procesiranja (potrebna ili ne): RTK (*Real-Time Kinematic*) ili PPK (*Post-Processed Kinematic*) pozicioniranje...



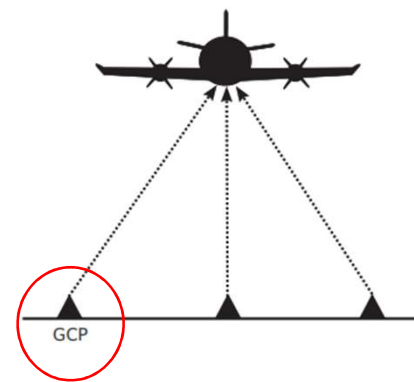
PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

• 3 metode orijentacije UAV snimaka

1) InSO

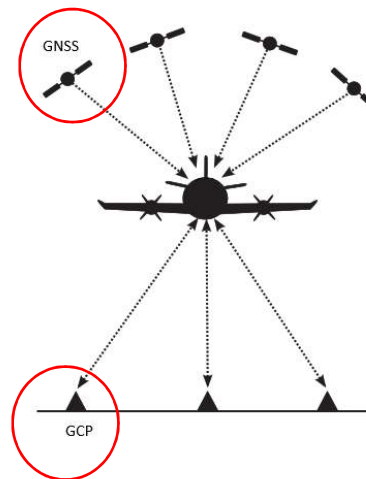
- vezne točke (fotogram. procesiranje)
- 5 GCPs

- „standard” kod jednostavnijih letačkih operacija i „low-cost” letjelica



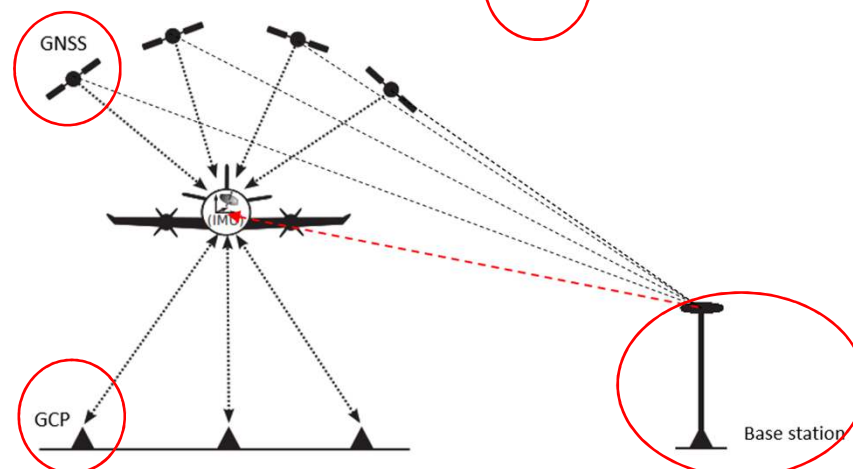
2) GNSS-SO₁

- vezne točke
- 5 GCPs
- GNSS (1-frekventni; non-PPK)



3) GNSS-SO₂

- vezne točke
- 5 GCPs
- GNSS (2-frekventni; PPK)

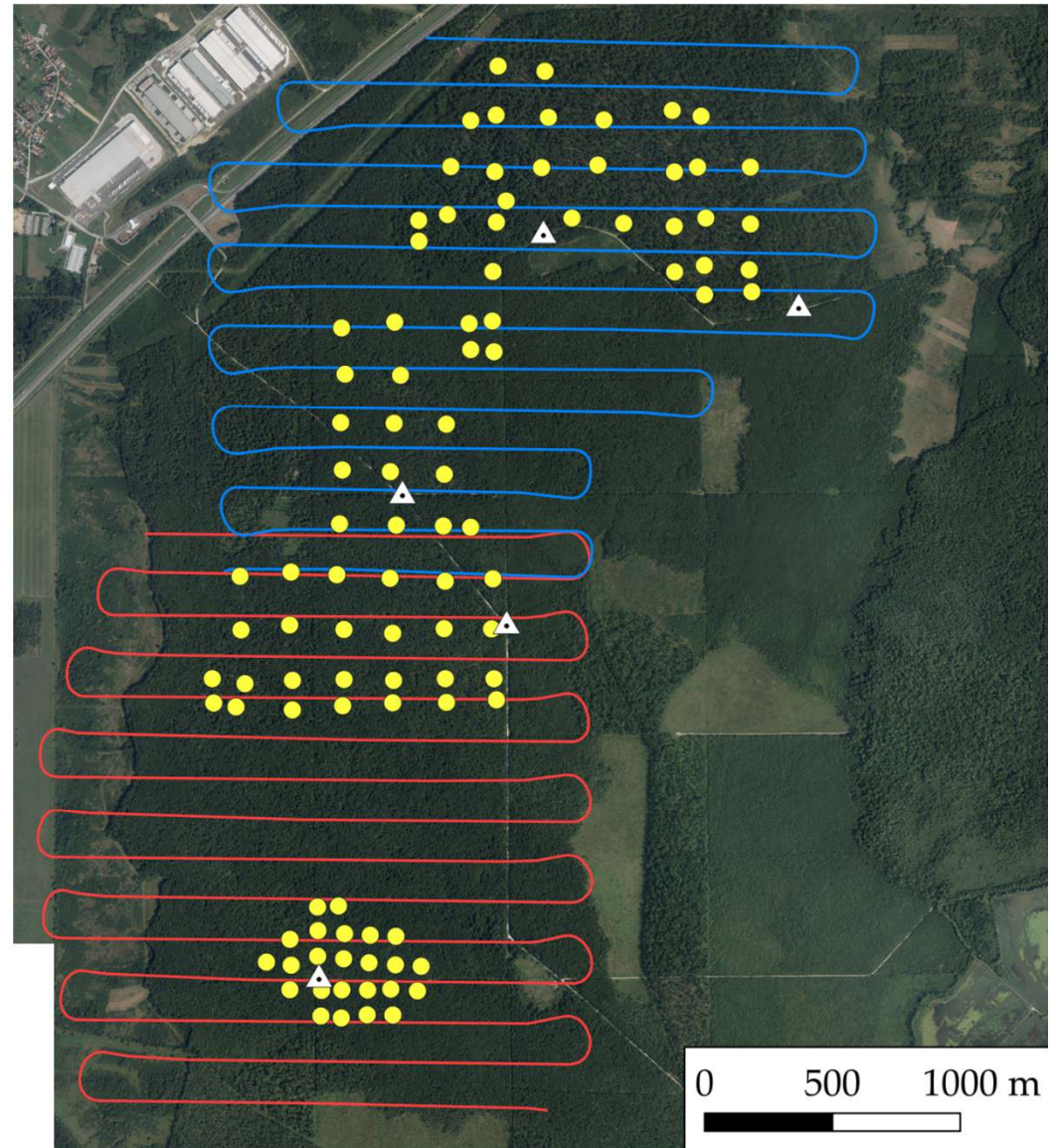




PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

- g.j. Jastrebarski lugovi
- 99 ploha (43 – 148 godina starosti)
- Oblaci točaka (≈ 72 točke / m^2)
- Normalizirani s DMR_{ALS}
- multivarijantna regresijska analiza
- kros-validacija (LOOCV)

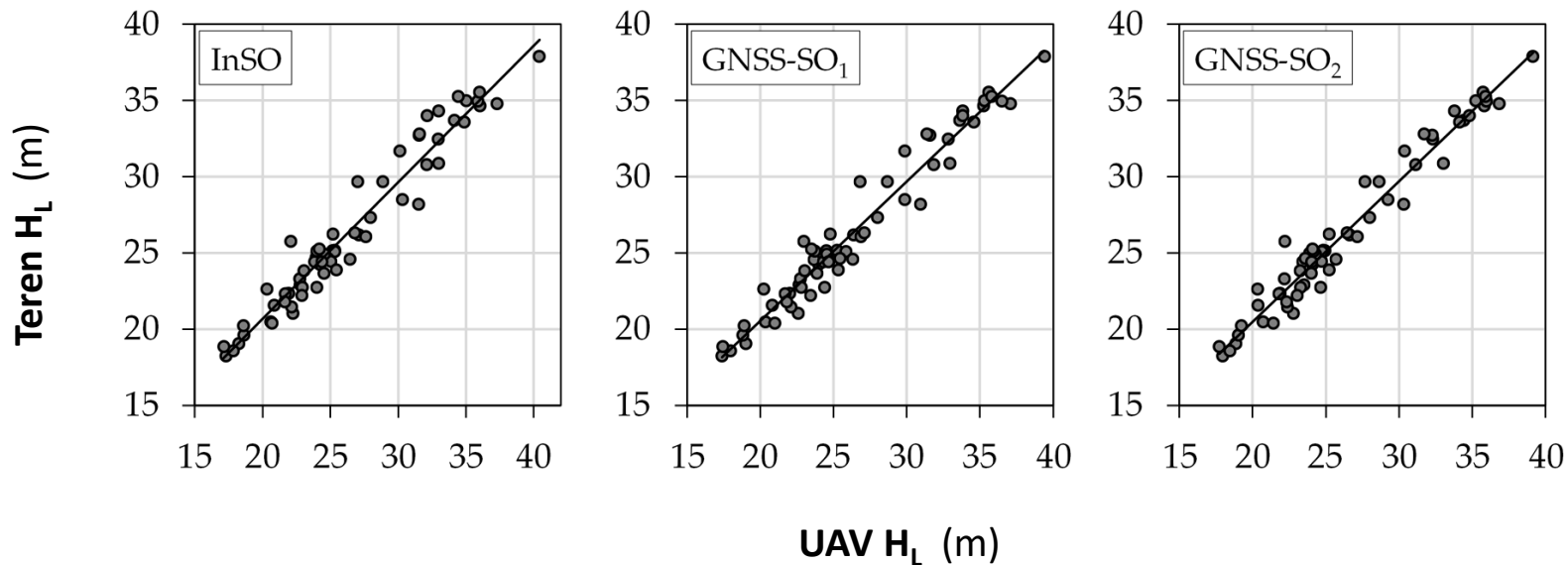
- △ GCPs
- Sample plots
- Flight 1
- Flight 2





PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

Metoda	Nezavisne varijable modela	R^2_{adj}	RMSE (m)	RMSE _% (%)	MD (m)	MD _% (%)
InSO	h_{max} , AAD, $SQRT_{mean}$	0.937	1.276	4.843	-0.015	-0.056
GNSS-SO ₁	h_{max} , $CURT_{mean}$, L_{kurt} , P_5	0.948	1.150	4.365	-0.007	-0.026
GNSS-SO ₂	SD, P_{95}	0.955	1.069	4.057	0.001	0.004





PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

Jurjević L, Gašparović M, Simic Milas A, Balenović I, 2020. **Impact of UAS Image Orientation on Accuracy of Forest Inventory Attributes**. Remote Sens 12(3): 404.
<https://doi.org/10.3390/rs12030404>.

ZAKLJUČCI:

- ✓ Sve 3 metode dalju slične rezultate;
- ✓ vrlo visoka točnost; oblak točaka bolje rezultate od nDSM
- ✓ Rezultati ukazuju da GCPs značajno utječu na orijentaciju UAV snimaka, dok dodavanje GNSS mjerenja, te postprocesiranih GNSS mjerenja tu točnost još poboljšavaju
- ✓ Male razlike između pojedinih metoda posljedica su ravnog terena te više-manje homogene strukture šumskih sastojina
- ✓ Za pretpostaviti je da bi te razlike u šumskim područjima heterogenije strukture te neravnog terena bile izraženije



PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

Estimation of Forest Inventory Attributes using Various Remote Sensing Data - A Comparison Study. (U PRIPREMI)

CILJ:

- ✓ Testirati različite 3D podatke DI (prikupljene iz raznih izvora) pri procjeni glavnih strukturnih elemenata na razini plohe
 - prsni promjer, visina (srednja i dominantna), broj stabala, volumen, biomasa
- nedostaju komparativne studije koje se bave usporedbom podataka o šumama dobivenih iz različitih 3D optičkih senzora DI
- Vrlo bitno da svi podaci (terenski i DI) budu prikupljeni u približnom vremenu

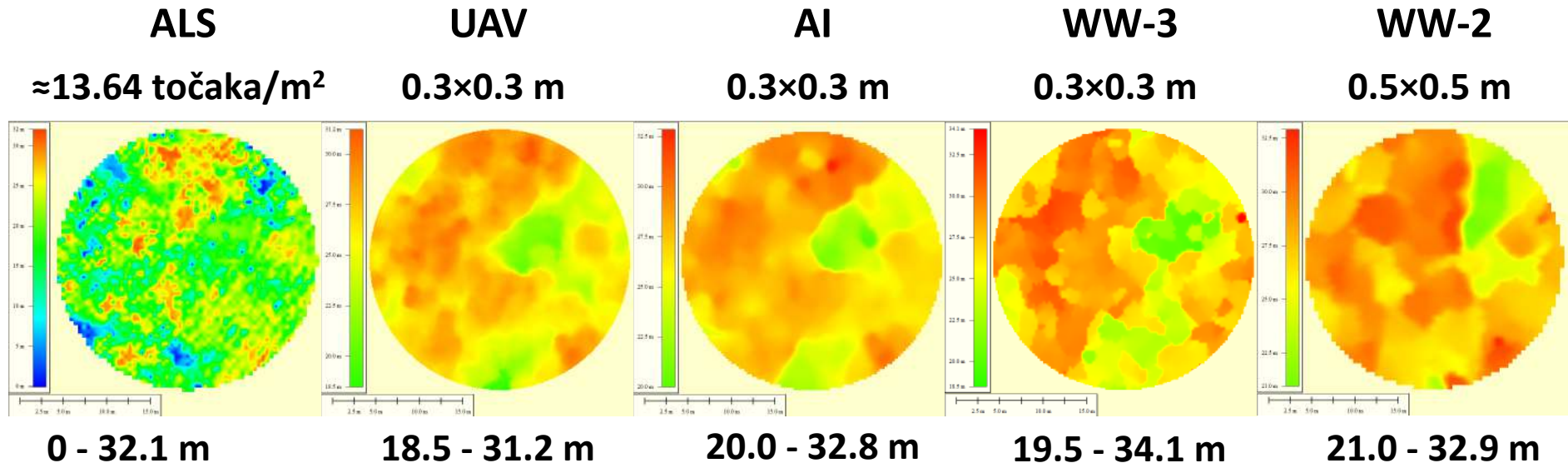
PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

TERENSKI PODACI

- 83 plohe
- 43-93 godine starosti

PODACI DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA

- 1) **ALS** – zračno lasersko skeniranje; ljeto 2016.
- 2) **UAV** – snimke besc. Letjelice; lipanj 2017.
- 3) **AI** – aerosnimke; ljeto 2015
- 4) **WV-3** – stereo satelitske snimke, MS; lipanj 2017
- 5) **WV-2** – stereo satelitske snimke, PAN; lipanj 2017

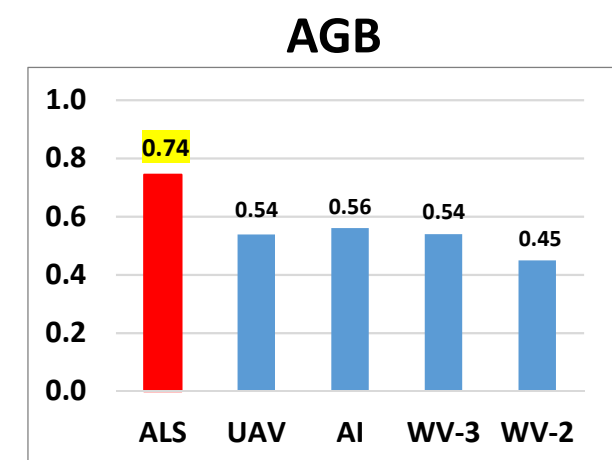
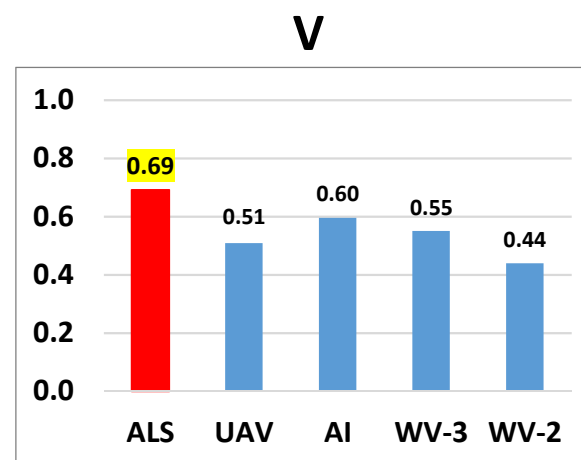
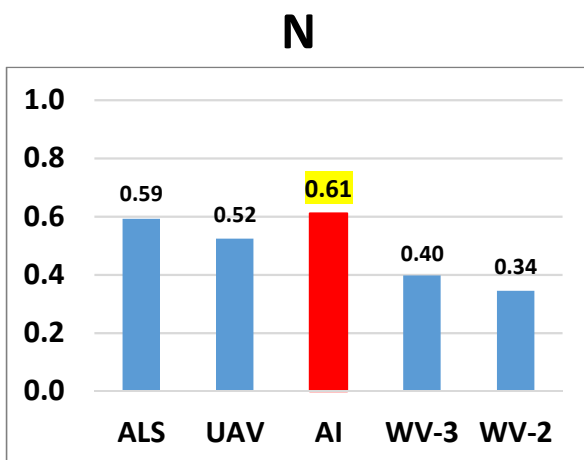
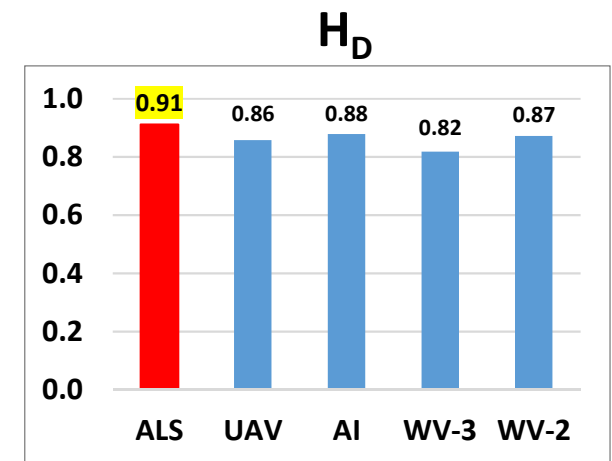
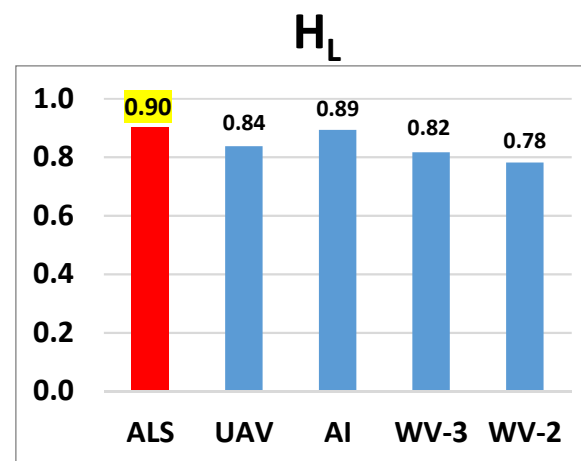
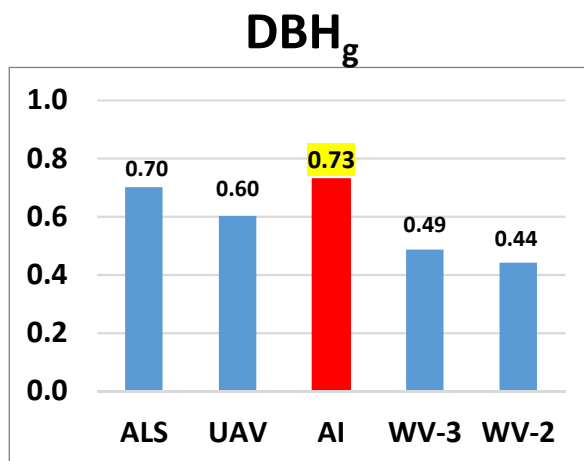


Normalizirani ALS oblak točaka i nDSM za UAV, AI, WV-3, WV-2) na primjeru jedne plohe



PREGLED PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA I REZULTATA

- multivarijantna regresijska analiza (max 5 varijabli za model)
- R^2_{adj} odabranih modela



HVALA !!!