

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

"Završna radionica –
Prezentacija projektnih rezultata"

Jastrebarsko, 26. veljače 2021.



Ispitivanje točnosti DMR-a u šumskom području

Ante Seletković

Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Zavod za izmjeru i uređivanje šuma
Svetošimunska cesta 25, Zagreb
aseletkovic@sumfak.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, I., Gašparović, M., Šimić 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.
- Gašparović, M., Šimić Milas, A., Seletković, A., Balenović, I., 2018: **A Novel Automated Method for the Improvement of Photogrammetric DTM Accuracy in Forests.** Šumarski list, Vol. 142, 11-12, str. 567-576, 2018.
- Gašparović, M., Seletković, A., Simic Milas, A., Jurjević, L., Nevečerel H., Lepoglavec, K., Šporčić, M., Berta, A., Balenović, I., 2018.: **Testing the efficiency of an automated method developed to improve vertical accuracy of photogrammetric DTM in the lowland forest areas.** International Symposium FORMEC 2018 "Improved Forest Mechanisation: Mobilizing natural resources and preventing wildfires", Madrid, Spain, 25-27 September 2018
- **ZAKLJUČAK**



UVOD

- Digitalni modeli terena (DTM) od velike su važnosti za primjenu u šumarstvu
- Da bi se smanjile radno intenzivne i dugotrajna terenska mjerenja, DTM-ovi se mogu učinkovito proizvesti iz podataka daljinskog istraživanja, prvenstveno koristeći zračno lasersko skeniranje (ALS) ili digitalnu aerofotogrametriju.
- Trenutno ALS predstavlja najnapredniju i najtočniju tehnologiju daljinskog istraživanja za generiranje DTM-a u šumovitim područjima.
- Međutim, niz zemalja širom svijeta, uključujući Hrvatsku, nemaju dobru pokrivenost podacima ALS-a, a fotogrametrijski izvedeni podaci predstavljaju nacionalni standard za generiranje DTM-a.
- Pogreške nadmorske visine u fotogrametrijskom DTM-u nisu rijetke, posebno u šumovitim područjima.



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

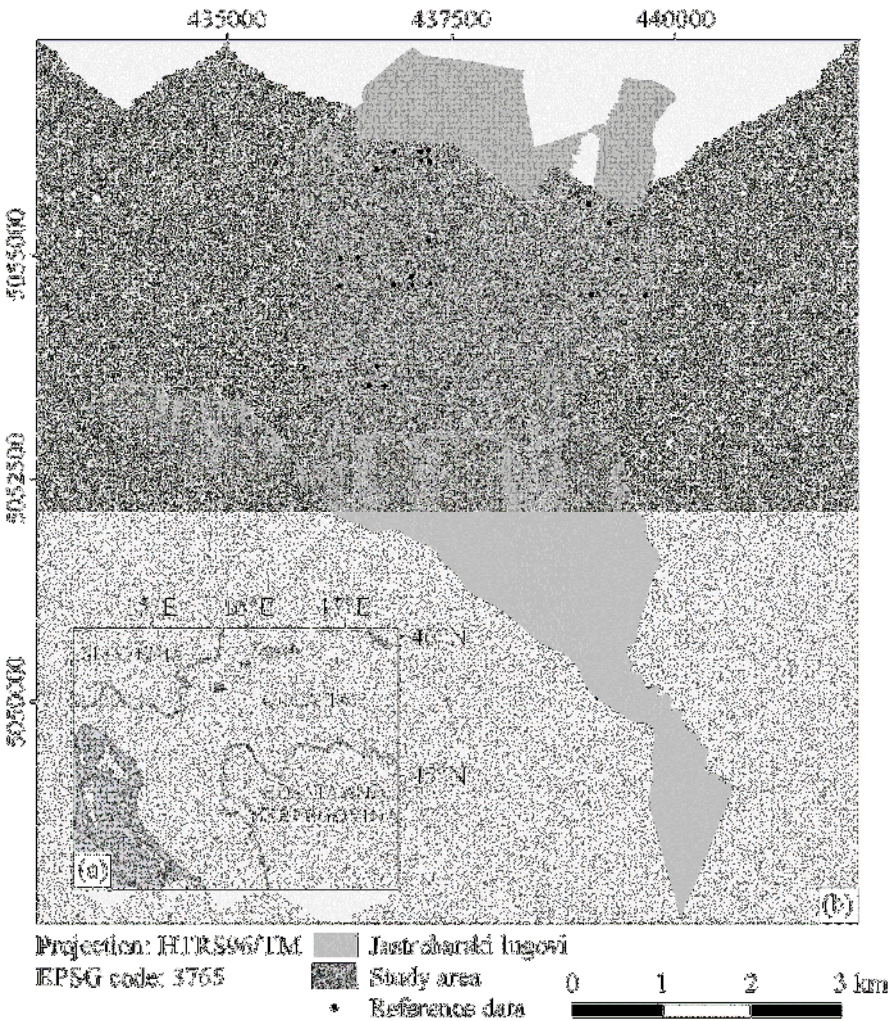
Balenović, I., Gašparović, M., Simić Milas, A., Berta, A., Seletković, A., 2018). **Accuracy Assessment of Digital Terrain Models of Lowland Pedunculate Oak Forests Derived from Airborne Laser Scanning and Photogrammetry.** *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(1): 117-128

Cilj:

- procijeniti vertikalnu točnost DTM-a različitih prostornih rezolucija (0,5 m, 1 m, 2 m, 5 m, 8 m) izvedenih iz oblaka točaka ALS visoke gustoće i postojećih fotogrametrijskih podataka u nizinskim šumama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.).
- točnost DTM-a u nizinskim šumama hrasta lužnjaka nije bila predmet sličnih studija.
- rezultati ovog istraživanja mogli bi biti od velikog interesa za zemlje koje još uvijek nemaju ALS podatke, ali imaju slične fotogrametrijske podatke za generiranje DTM-a.



- Pokupski bazen, dio g.j. Jastrebarski lugovi

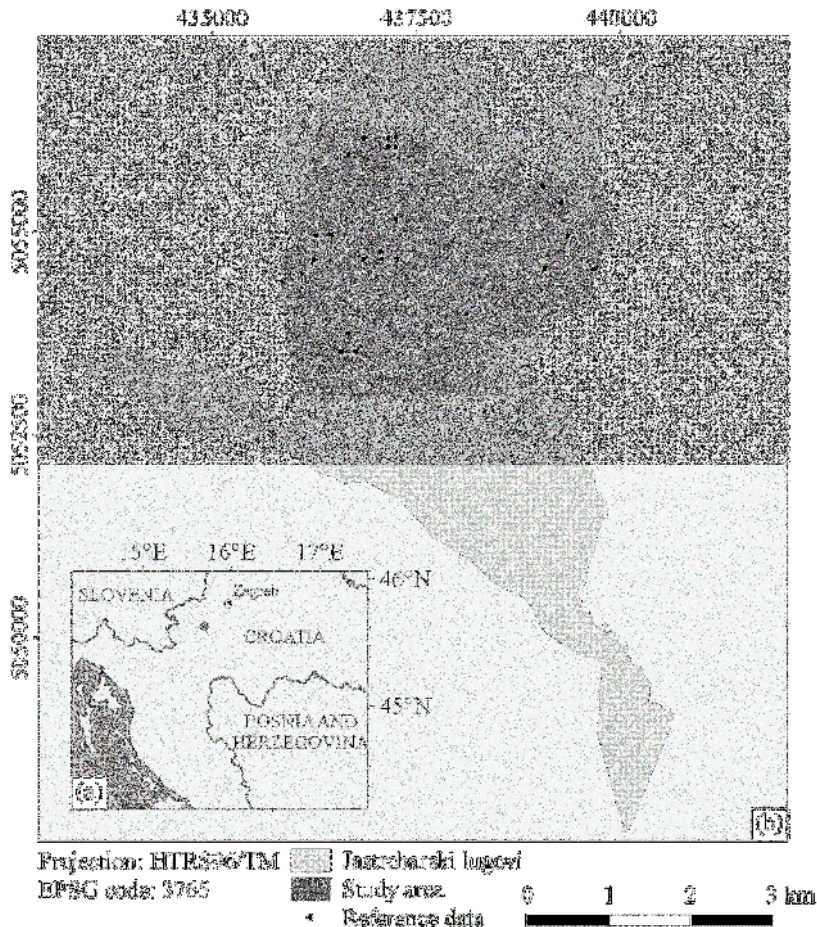


TERENSKI PODACI

- Preko područja istraživanja prekrivena je pravilna mreža točaka veličine 100 m.
- Četiri susjedne točke grupirane su u kvadrat, a zatim numerirane u smjeru suprotnom od kazaljke na satu.
- Iz svakog kvadrata odabrana je jedna točka s najmanjom numeracijom kao zemaljska kontrolna točka, s obzirom na to da je zadovoljen unaprijed definirani uvjet minimalne udaljenosti između točke i ruba šume i / ili granice podskupine šume.
- Minimalna udaljenost određena je na 20 m, 30 m i 50 m u šumskim sastojinama 21-60 godina, 61-100 godina i 101-160 godina.
- Ukupno je 114 točaka odabrano kao potencijalne zemaljske kontrolne točke.
- samo su točke zabilježene u FIXED modu prijarnika i s vertikalnom preciznošću ≤ 10 cm odabrane kao zemaljske kontrolne točke.
- Koordinate (x, y, z) odabranih točaka snimljene su pomoću GNSS prijarnika Stonex S9IIN povezanog s Hrvatskim sustavom za pozicioniranje (CROPOS), mrežom referentnih postaja koje ispravke u stvarnom vremenu prenose izravno na GNSS prijarnik mobilnim telefonom Internet.
- horizontalna i vertikalnu točnost položaja od 2 do 5 cm.



- Pokupski bazen, dio g.j. Jastrebarski lugovi



ALS (airborne laser scanning) PODACI

- ALS (airborne laser scanning) podaci ustupljeni od Hrvatskih voda, Zagreb, Hrvatska
- 29. lipnja i 25. kolovoza 2016.
- laserski skener Optech ALTM Gemini 167
- zrakoplov Pilatus P6.
- prosječna visina leta bila je 720 m iznad razine tla s prosječnom brzinom letenja od 51 m/s.
- učestalost ponavljanja laserskog impulsa bila je 125 Hz, a vidno polje $\pm 25^\circ$.
- gustoće točaka za istraživano područje uzimajući u obzir sve povrate i "samo posljednji" iznosili su 13,64 točke/m², odnosno 9,71 točke/m².
- horizontalna točnost 15 cm
- vertikalna točnost 8,3 cm.
- Točke su klasificirani u ASPRS standardne razrede točaka LiDAR (ASPRS 2008) korištenjem softvera TerraSolid (verzija 11) (Terrasolid Ltd., 2012.).
- ukupno je 7% svih povrata na istraživanom području klasificirano kao "tlo", što je rezultiralo prosječnom gustoćom od 0,91 točaka/m².
- generirani rasterski DTM 0,5 m (ALS-DTM0,5), 1 m (ALS-DTM1), 2 m (ALS-DTM2) i 5 m (ALS-DTM5)



Fotogrametrijski podaci i DTM izveden iz PHM-a

- Digitalne podatke o terenu koji se koriste za generiranje fotogrametrijskih DTM-ova osigurala je državna geodetska uprava (DGU).
- hrvatski nacionalni standard i trenutno jedini dostupni DTM podaci za veći dio Hrvatske,
- podaci o terenu prikupljeni su zračnom stereo fotogrametrijom pomoću digitalnih aero snimaka, vektorizacijom postojećih karata i prikupljanjem podataka na terenu.
- Potrebna apsolutna točnost digitalnih podataka o terenu (uključujući horizontalnu i vertikalnu točnost) potvrđenih kontrolnim točkama na tlu bila je $<\pm 1$ m standardnog odstupanja za točno definirane detalje i $<\pm 2$ m za nedovoljno definirane detalje.
- rasterski DTM-ovi s rezolucije 0,5 m (PHM-DTM0,5), 1 m (PHM -DTM1), 2 m (PHM-DTM2) i 5 m (PHM-DTM5), te 8 m (PHM-DTM8) na temelju optimalnog razmaka mreže (Global Mapper software)



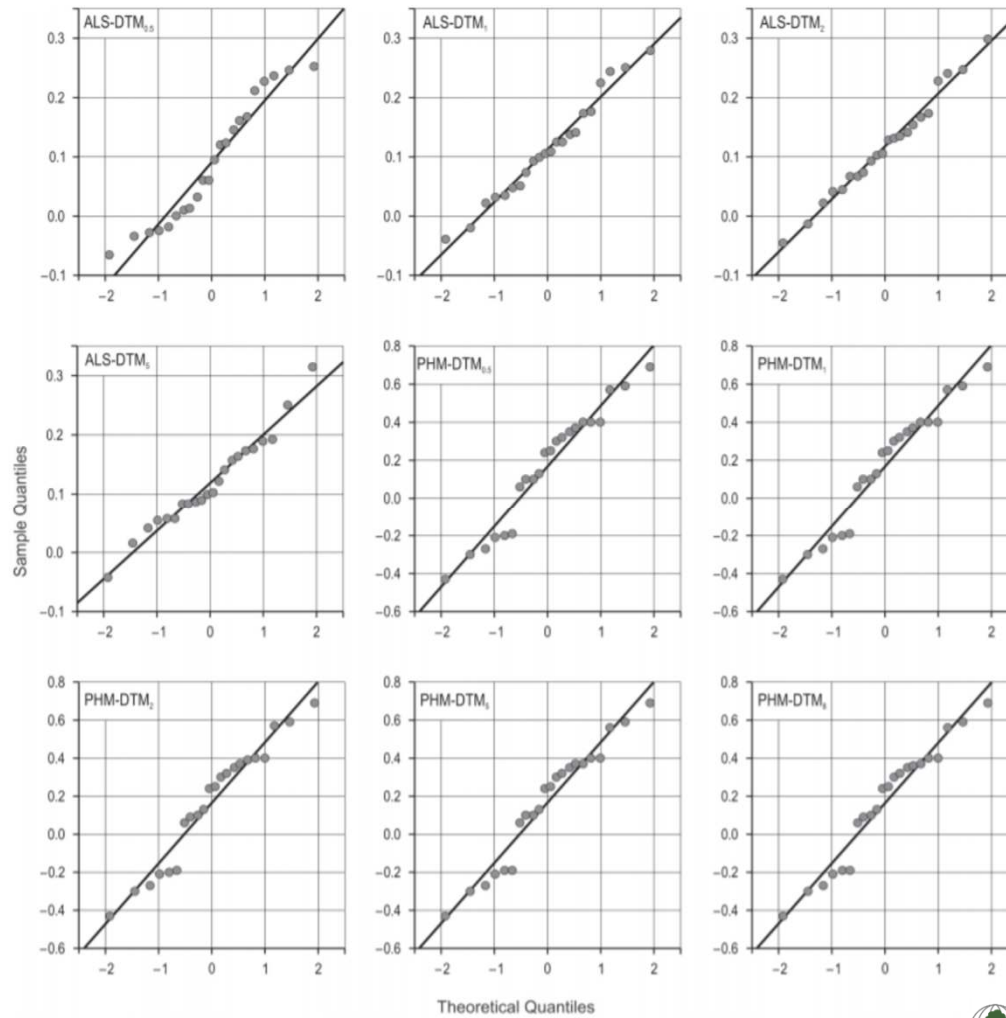
Procjena točnosti

- Procjene vertikalne točnosti DTM-a izvedenih iz ALS-a i PHM-a različitih rezolucija provedene su usporedbom kota zemaljskih kontrolnih točaka i kota planimetrijski odgovarajućih točaka izvučenih iz rasterskih DTM-ova.
- normalnost raspodjele pogreške testirana je za svaki DTM.
- Izračunate su vertikalne pogreške između DTM-a i vrijednosti visina kontrolnih točaka, a normalnost raspodjele pogrešaka analizirana je pomoću: Shapiro-Wilkovog testa

Parameter	Digital terrain models								
	ALS-DTM _{0.5}	ALS-DTM ₁	ALS-DTM ₂	ALS-DTM ₅	PHM-DTM _{0.5}	PHM-DTM ₁	PHM-DTM ₂	PHM-DTM ₅	PHM-DTM ₈
<i>W</i>	0.92	0.97	0.98	0.97	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
<i>p</i>	0.11	0.77	0.97	0.80	0.28	0.28	0.28	0.29	0.30

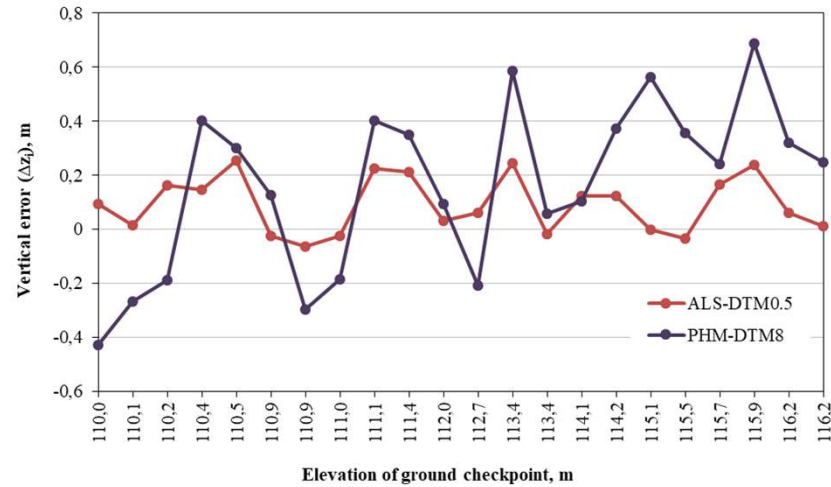
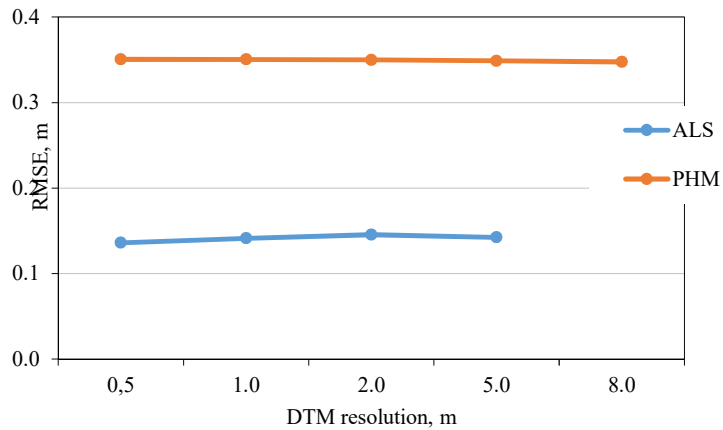


- normalnih QQ grafikona

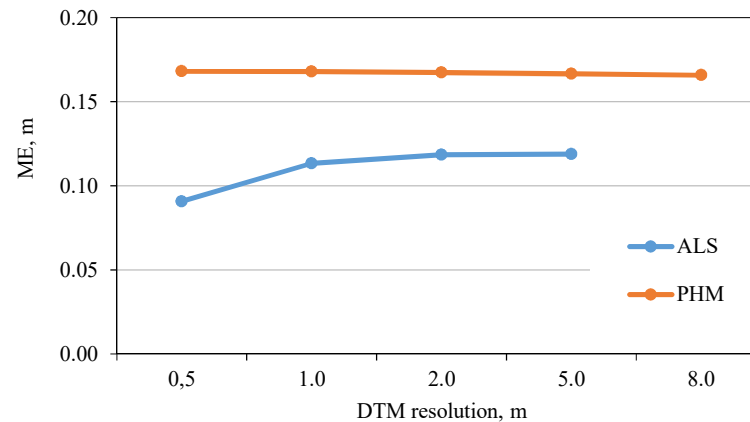
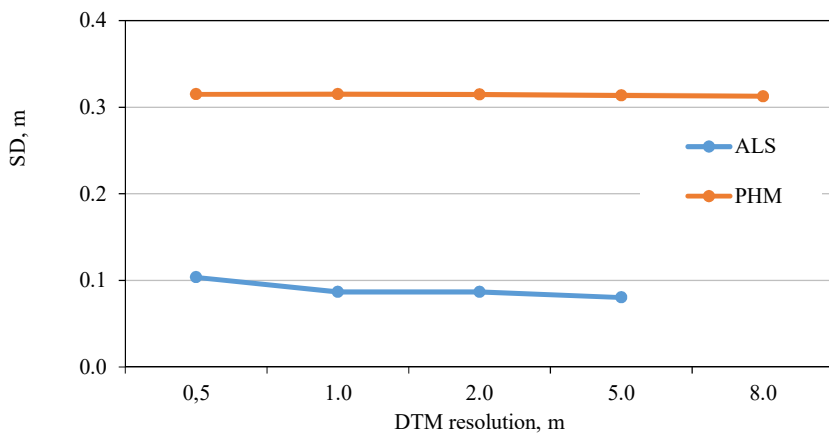


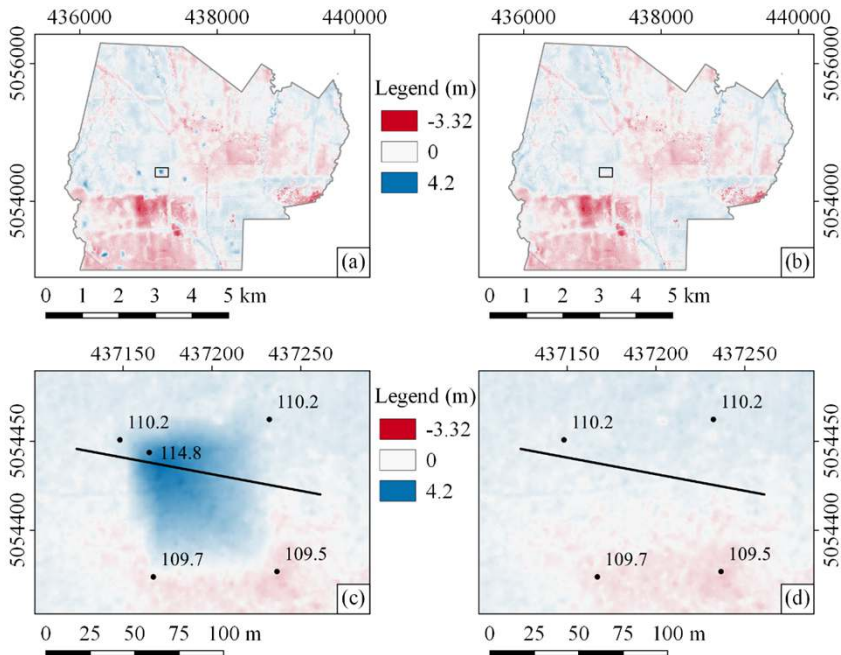


- vertikalna pogreška u točki i (Δz_i), korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE),
- srednja pogreška (ME), standardna devijacija (SD)

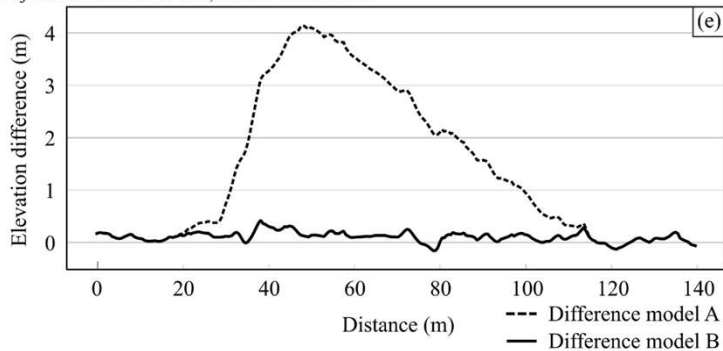


- ALS vs PHM
- Precjenjivanje DTM-a
- ALS 0,5m
- PHM 8m





Projection: HTRS96/TM, EPSG code: 3765



- Rasterski model rezolucije 0,5 m oduzimanjem ALS-DTM0,5 od PHM-DTM8 (model razlike A) - radi otkrivanja područja veće nadmorske visine razlike između PHM-DTM8 i ALS-DTM0.5
- Daljnja analiza otkrila je da su odstupanja uzrokovana fotogrametrijskim podacima - nadmorske visine znatno se razlikovale od nadmorskih visina svih okolnih točaka (slika c). Stoga su uklonjene sve točke za koje se kota razlikovala više od 1 m od kota četiri okolne točke, a generirani su novi, poboljšani PHM-DTM8 (slika b), kao i novi model razlike B (slika 5d)
- Grube pogreške – terensko mjerenje

Difference Model	RMSE, m	ME, m	SD, m	Max., m	Min., m
A	0.51	-0.14	0.49	4.25	-3.68
B	0.49	-0.15	0.47	3.10	-3.68

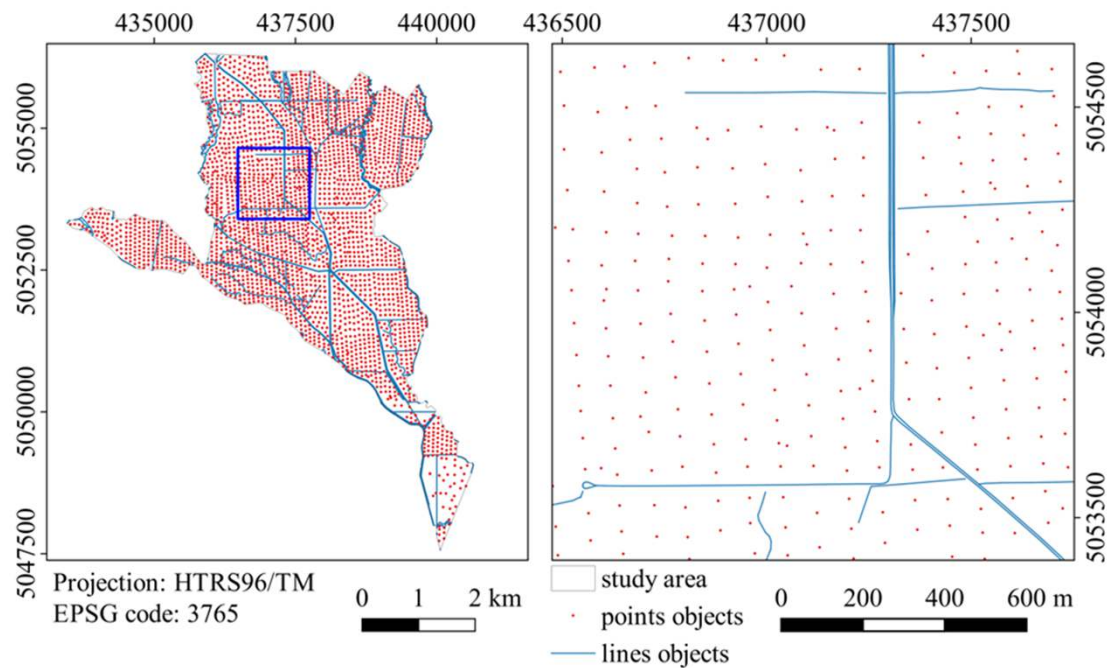
- Deskriptivna statistika za 54.687.600 piksela
- Vertikalna pogreška 4m



- Gašparović, M., Šimić Milas, A., Seletković, A., Balenović, I., 2018: **A Novel Automated Method for the Improvement of Photogrammetric DTM Accuracy in Forests.** Šumarski list, Vol. 142, 11-12, str. 567-576, 2018.

Nastavak prethodnog istraživanja, koje je potvrdilo poboljšanja visinskih točnosti DTMPHM nakon ručnog otkrivanja i uklanjanja grešaka.

- Glavni cilj
 - razviti automatsku metodu za otkrivanje i uklanjanje pogrešaka u fotogrametrijski izvedenim podacima terena,
 - poboljšanje vertikalne točnosti DTMPHM za nizinske hrastove šume u Hrvatskoj.
 - razviti brzu, jednostavnu i učinkovitu metodu koja će biti primjenjiva i za druga slična šumovita područja.

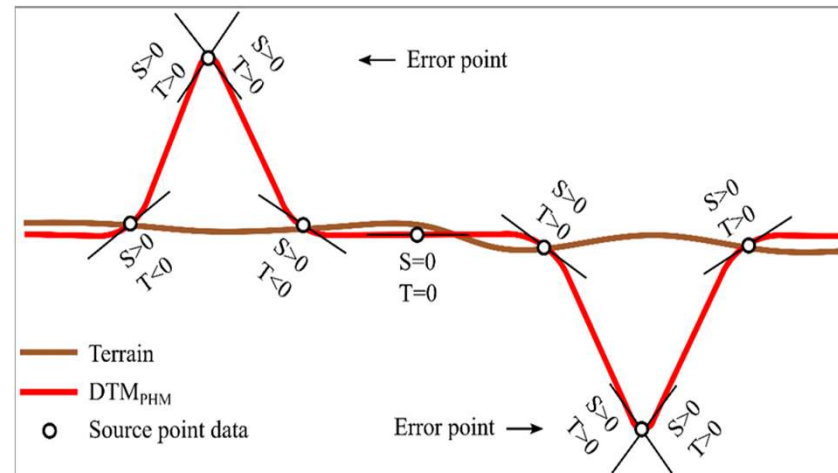
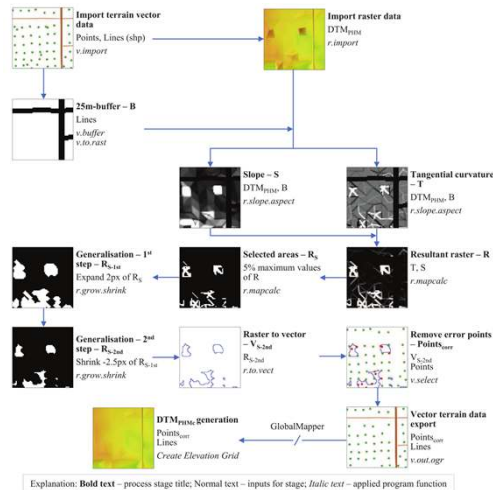


Fotogrametrijski digitalni podaci terena (3246 točkastih i 500 linijskih vektorskih objekata) korišteni za izradu DTMPHM: (a) čitavo područje; (b) područje odabrano za DTM demonstraciju metode, na slici (a) označeno plavim pravokutnikom. Na području istraživanja prosječni broj točaka u linijskim objektima iznosio je 492 točaka·km⁻², dok je prosječni broj točkastih objekata iznosio 141 točaka·km⁻².



Metoda za automatsku detekciju visinskih pogrešaka u DTMPHM

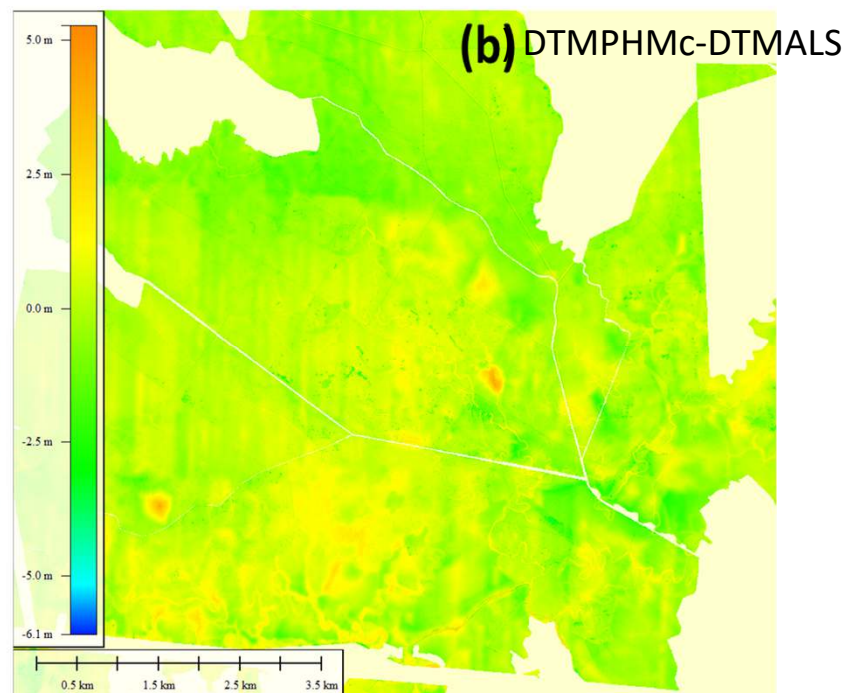
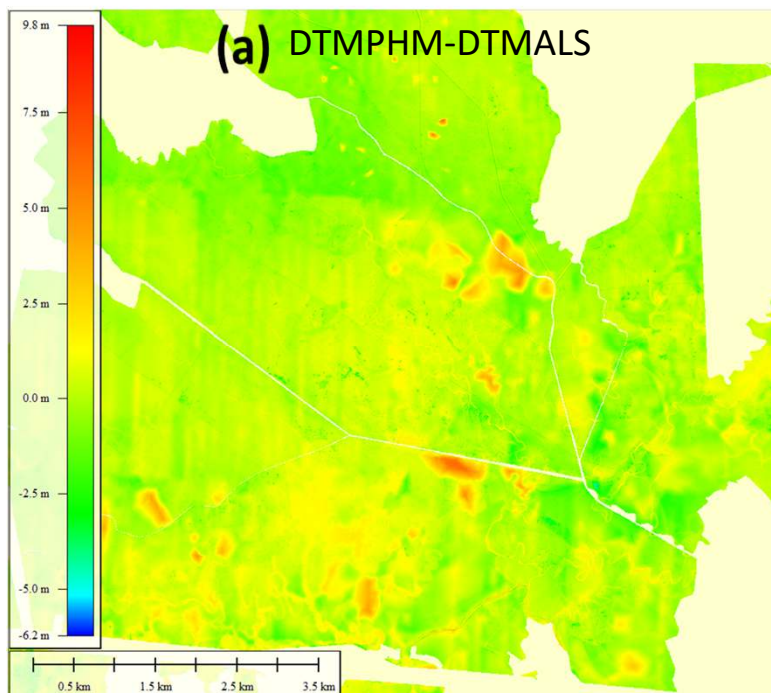
- Grass GIS softver
- metoda je usmjerena isključivo na podatke o točkama, dok podaci o linijama nisu analizirani (grube pogreške u DTMPHM prvenstveno su uzrokovane podacima o točkama)
- kombiniranjem vrijednosti nagiba (S) i tangencijalne zakrivljenosti (T) pomoću izraza: $R = |T| \cdot S$, izračunat je rezultatni raster (R).
- Iz rezultatnog rastera (R) odabrana su područja potencijalnih točaka pogreške (5% maksimalnih vrijednosti R) i ekstrahirana u novom binarnom rasteru RS
- izveden je dvostupanjski postupak generalizacije
- u završnom koraku generalizirani RS -2-i raster vektoriziran je i preklopljen s podacima vektorskih točaka izvornog DTMPHM-a.
- Točke pogreške otkrivene su i uklonjene iz DTMPHM kako bi se dobili ispravljeni podaci o točkama i poboljšani DTM (DTMPHMc)





REZULTATI

- metoda je automatski otkrila 10.186 pogrešaka ili 20,5% od ukupnog broja točaka – 1 po ha (0,97).
- za procjenu predstavljene metode stvoren je diferencijalni rasterski model između DTMPHM i DTMALS (slika a), kao i između DTMPHMc i DTMALS (slika b) s prostornom rezolucijom od 5 m



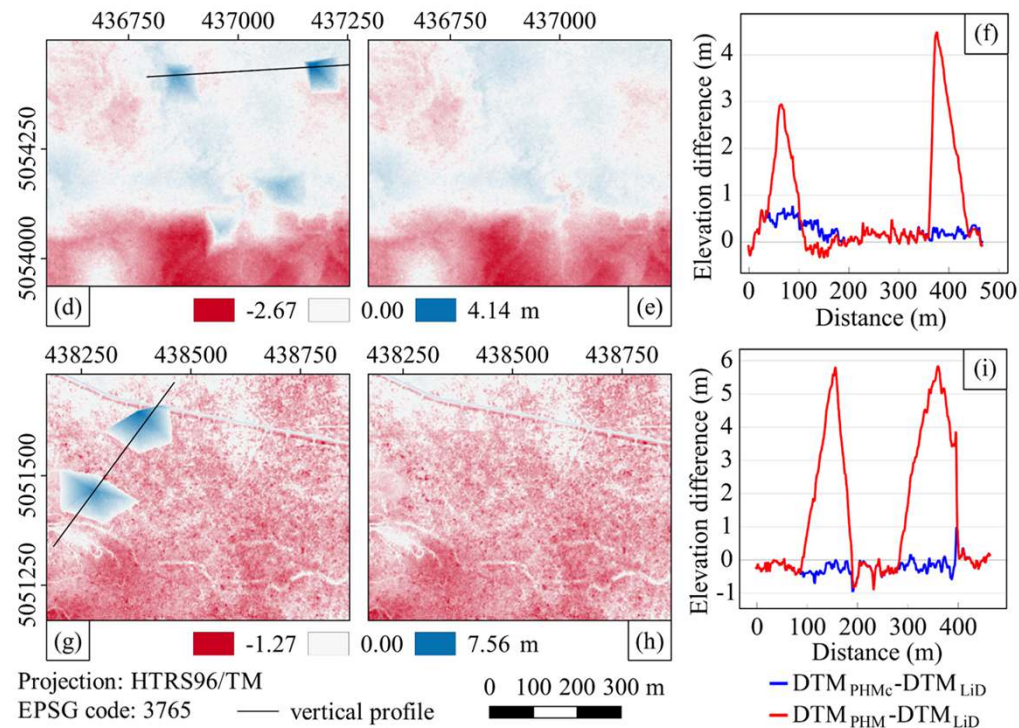


- Usporedba s DTMALS-om potvrdila je da je automatizirana metoda znatno poboljšala vertikalnu točnost DTMPHM-a

Difference Model	N _{pix}	N _{er}	Accuracy measures				
			min (m)	max (m)	ME (m)	SD (m)	RMSE (m)
DTM _{PHM} -DTM _{LiD}	4,081,772	10,186	-6.23	9.79	0.13	1.06	1.07
DTM _{PHMc} -DTM _{LiD}	4,081,772		-6.10	5.26	0.03	0.89	0.89

N_{pix} - number of pixels considered in statistical analyses; N_{er} - number of detected and removed error points in original; min - maximum negative error; max - maximum positive error; ME - mean error; SD - standard deviation; RMSE - root mean square error

- Primjeri učinkovitosti metode na dva odabrana dijela istraživanog područja.
- Lijevo: modeli razlike DTMPHM-DTMALS;
- Sredina: modeli razlike DTMPHMc-DTMALS
- Desno: Okomiti profil na cijelom uzorkovanom području (crna crta na modelima razlika).





Zaključak

- prva usporedna procjena preciznosti DTM-a izvedenih iz ALS-a i PHM-a nizinskih šuma hrasta lužnjaka
- rezultati ovih istraživanja potvrdili su da je ALS izuzetno prikladna tehnologija daljinskog istraživanja za precizno modeliranje terena u gustim šumskim područjima
- DTM izveden iz ALS-a ima veću točnost u odnosu na DTM izveden iz PHM-a.
- ALS – DTM 0.5m najveća točnost
- PHM-a, DTM s grubljom prostornom razlučivosti (8 m), koji je definiran kao optimalan za zadane izvorne podatke, pokazao je najveću točnost.
- nacionalni digitalni fotogrametrijski podaci za šumska područja sadrže specifične pogreške (odstupanja) koje su značajno utjecale na točnost DTM-a.
- u nedostatku ALS podataka, fotogrametrijski podaci o terenu mogli bi se koristiti za stvaranje DTM-a u nizinskim šumama (ravničarski teren), ali uz najveći oprez.
- razvijena automatizirana metoda za otkrivanje i uklanjanje visinskih pogrešaka u fotogrametrijskom DTM-u za šumska područja, praktična, brza
- usporedba s ALS DTM potvrđuje da predstavljena metoda uspješno otkrila i uklonila visinske pogreške iz fotogrametrijski izvedenog DTM-a i značajno poboljšala vertikalnu točnost.



Hvala