

Ispitivanje točnosti digitalnog modela terena iz različitih izvora

Čuić, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:883975>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-04**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ŠUMARSKI FAKULTET

ŠUMARSKI ODSJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ

ŠUMARSTVO

VEDRAN ČUIĆ

**ISPITIVANJE TOČNOSTI DIGITALNOG MODELA TERENA IZ
RAZLIČITIH IZVORA**

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, (rujan 2022.)

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Zavod:	Zavod za izmjeru i uređivanje šuma
Predmet:	Daljinska istraživanja i GIS u šumarstvu
Mentor:	Prof. dr. sc. Ante Seletković
Asistent- Znanstveni novak:	
Student:	Vedran Čuić
JMBAG:	0068228970
Akadska godina:	2021./2022.
Mjesto, Datum obrane:	Zagreb, 28.09.2022.
Sadržaj rada:	Stranica:15 Slika:3 Tablica:3 Navoda literature: 14
Sažetak:	Digitalni modeli terena (DMT) od velike su važnosti za primjenu u šumarstvu. Da bi se smanjile radno intenzivna i terenska mjerenja koja mogu biti dugotrajna, digitalni modeli terena (DTM) mogu se puno brže i učinkovitije proizvesti iz podataka dobivenih daljinskim istraživanjem, koristeći zračno lasersko skeniranje ili digitalnu aerofotogrametriju. U ovom završnom radu prikazani su neki od rezultata usporedbe i analize ocjene točnosti digitalnih modela terena (DTM-ova) izrađenih iz različitih izvora (aerosnimke, lasersko skeniranje, službeni DMT) kroz pregled nekoliko istraživanja provedenih na području Republike Hrvatske.

SADRŽAJ

1. UVOD	2
1.1 DIGITALNI MODEL TERENA (DMT)	2
1.2 DIJELOVI DMT-a	3
1.3 METODE PRIKUPLJANJA PODATAKA ZA DIGITALNI MODEL TERENA	4
2. TOČNOST DMT-a	6
3. HORIZONTALNA I VISINSKA TOČNOST DMT-a	7
4. INTERPOLACIJA	8
5. CILJ	9
6. PREGLED METODA I REZULTATA ISTRAŽIVANJA	10
7. ZAKLJUČAK	13
8. LITERATURA	14

1. UVOD

1.1 DIGITALNI MODEL TERENA (DMT)

Digitalni model terena je, najjednostavnije rečeno, statistički prikaz kontinuiranih površina reljefa (u vektorskom ili rasterskom obliku) s nizom poznatih x , y i z koordinata unutar proizvoljno odabranog koordinatnog sustava (Millner i Laflamme, 1958).

Digitalni model terena pruža trodimenzionalne informacije o Zemljinoj površini a definiran je brojčano, nizom točaka sa zadane sve tri koordinate (X , Y , Z). Ti brojčani podaci omogućuju nam daljnju računsku obradu pošto su spremljeni na medij (Stefanović i dr. 1977). Temeljem toga, digitalni modeli terena predstavljaju važan izvor podataka različitih znanstvenih grana poput geologije, hidrologije, agronomije i šumarstva.

U šumarstvu se DTM-ovi obično koriste u inventarizaciji šuma (Rahlf i sur., 2015; Puliti i sur., 2017, Balenović i sur., 2017), u hidrološkom modeliranju (Furze i sur., 2017), u analizi rizika od katastrofa (Ristić et al., 2017), te u raznim šumarskim operacijama uključujući planiranje i projektiranje mreže šumskih cesta (Grigolato et al., 2017; Çalişkan i Karahalil, 2017a), iskorištavanje drva i sječu (Çalişkan i Karahalil, 2017b; Đuka et al. , 2017.; Talbot i sur., 2017.).

Digitalni modeli terena (DMT) od velike su važnosti za primjenu u šumarstvu. Da bi se smanjile radno intenzivna i terenska mjerenja koja mogu biti dugotrajna, digitalni modeli terena (DTM) mogu se puno brže i učinkovitije proizvesti iz podataka dobivenih daljinskim istraživanjem, koristeći zračno lasersko skeniranje ili digitalnu aerofotogrametriju. Terestrička mjerenja najtočniji su način za prikupljanje prostornih podataka te se upotrebljavaju u inženjerskoj geodeziji gdje je potreba za točnošću ulaznih podataka najveća. Međutim, za velike površine, terestrička su mjerenja skupa i dugotrajna te stoga manje učinkovita od metoda daljinskih istraživanja (Balenović i dr. 2018).

1.2 DIJELOVI DMT-a

Kao što sam naziv „digitalni“ govori, za izradu i korištenje DMT-a koriste se posebni računalni programi koji omogućuju unos, uređenje, obradu i analizu podataka, njihovo prikazivanje i sve ostale opcije koje nam mogu služiti kako bi smo što lakše obradili dobivene podatke.

Svaki od računalnih programa koji nam služe za izradu i daljnje korištenje DTM-a sadrže 3 osnovna dijela, a to su:

1. Unos podataka

- Stereografija
- Stereo satelitske snimke
- Digitalizirani zemljovid

2. Obrada i analiza podataka

- Izrada digitalnog modela terena
- Povezivanje digitalnog modela terena i baze podataka
- Analiza dobivenog modela

3. Prikaz podataka

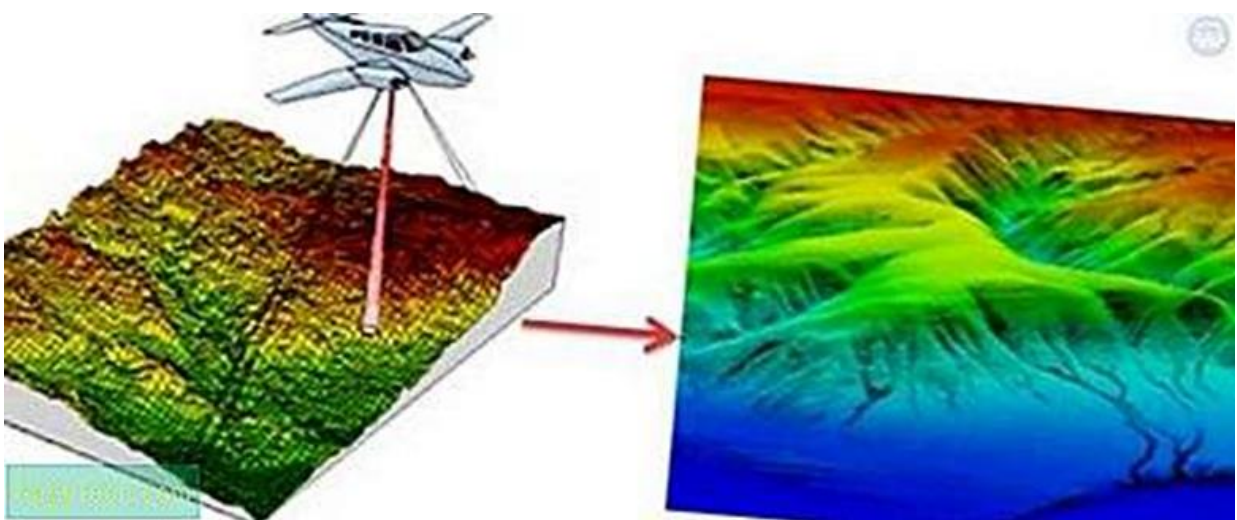
- Prikaz sadržaja u 3D obliku
- Animacija izrađenih 3D prikaza
- Priča perspektiva

1.3 METODE PRIKUPLJANJA PODATAKA ZA DIGITALNI MODEL TERENA

Glavna ideja kada govorimo o prikupljanju podataka je ta da se izmjerom prikupe glavne točke terena kako bi se na temelju istih mogao izraditi model koji će okvirno prikazati stvarnu površinu.

Kako bi uopće mogli koristiti i raspolagati podacima digitalnog modela terena, potrebno ih je prvo prikupiti. Za prikupljanje podataka koji služe za izradu DMT-a koristi se 5 metoda, a to su:

- 1) Terenska izmjera
- 2) Fotogrametrijsko prikupljanje podataka
- 3) Lasersko snimanje ili skeniranje
- 4) Radarsko prikupljanje podataka
- 5) Metoda vektorizacije s postojećih topografskih karata



Slika 1. Princip zračnog snimanja pri izradi digitalnog modela terena

Metode prikupljanja podataka mogu se usporediti po cijeni, gustoći prikupljanja podataka i točnosti (Ostović 2016.).

METODA PRIKUPLJANJA	GLAVNE KARAKTERISTIKE	PRIMJERI KORIŠTENIH SUSTAVA	TIPIČNA DMR TOČNOST
Terenska izmjera	<ul style="list-style-type: none"> - Najveća točnost - Mala gustoća prikupljanja - Visoki troškovi 	<ul style="list-style-type: none"> - DGPS - Tahimetrija (totalna stanica) - Nivelman 	<ul style="list-style-type: none"> - ≤ 1 m - 1 mm – 1 m - ≈ 1 mm
Stereoizmjera	<ul style="list-style-type: none"> - Visoka gustoća prikupljanja koja može biti polu – ili potpuno automatska - Problemi s vegetacijom 	<ul style="list-style-type: none"> - Aerosnimak - Satelitski snimak (SPOT, ASTER) 	<ul style="list-style-type: none"> - 0.1 – 1 m - 10 m (20 m)
Lasersko skeniranje	<ul style="list-style-type: none"> - Laserski skener je smješten u avion s GPS navigacijom - Podaci zahtijevaju filtriranje prije upotrebe - Može prodrijeti kroz vegetaciju do čistog terena ali može snimiti i površinu vegetacijskog pokrova 	<ul style="list-style-type: none"> - Avionsko lasersko skeniranje (LIDAR) 	<ul style="list-style-type: none"> - ≈ 20 cm – 1 m
Radarsko snimanje	<ul style="list-style-type: none"> - Najniža cijena po km² - Kompleksna obrada 	<ul style="list-style-type: none"> - Avionski SAR (Synthetic Aperture Radar) - Satelitski (EROS – Earth Resources Observation System, SRTM – Shuttle Radar Topography Mission) 	<ul style="list-style-type: none"> - ≈ 50 cm – 2 m - 10 m (25 m)

Tablica 1. Prikaz metoda prikupljanja podataka za DMT

2. TOČNOST DMT-a

Točnost se definira kao stupanj podudarnosti između izmjerene ili izračunate fizičke veličine i standardne veličine. U kartografiji i GIS-u pod pojmom točnost podrazumjevamo položaj nekog objekta na Zemlji obzirom na x i y koordinate. Općenito gledajući, točnost je jedan od najbitnijih aspekata svakog modeliranja kojemu je cilj konkretna primjena. U mnogim se radovima umjesto točnosti koristi pojam kvaliteta, a pri tom se misli na isto. Ipak, kvaliteta je nešto širi i apstraktniji pojam i odnosi se na prikladnost s obzirom na željenu primjenu, dok se pod točnošću podrazumjeva približnost stvarnim ili referentnim vrijednostima (Haining, 2003.).

Digitalni model terena, kao i svaki „model“, ne prikazuje stvarnu situaciju onakvom kakva ona zapravo je. Modeliranje je zapravo približno opisuje stvarnost, u ovom slučaju teren, i pri tome se, sasvim normalno tom procesu, u modelu javljaju greške u usporedbi sa stvarnošću.

Termin propagacija pogrešaka (eng. error propagation) pojavljuje se u literaturi za odnos prema greškama u DMT-u (Wilson i Bishop, 2013.).

Digitalni model terena je trodimenzionalna projekcija, što znači da se pogreške javljaju kod sve 3 dimenzije (x, y, z). Pogreška koja se odnosi na x i y vrijednost naziva se planimetrijska ili horizontalna pogreška, dok se pogreška koja se odnosi na z vrijednost naziva vertikalna ili visinska pogreška (Li i dr. 2005).

Najjednostavnije rečeno, točnost neke izmjerene točke je razlika između interpolirane (procijenjene) i izmjerene („stvarne“) vrijednosti. U istom se kontekstu srednja vrijednost koristi kao pokazatelj točnosti čitavog DMT-a. (Barada, 2017.)

U sferi digitalnog modeliranja reljefa pod konačnom mjernom točnosti se najčešće podrazumjeva srednja kvadratna pogreška ili standardna devijacija:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{z(x_i) - z(x_j)\}^2}$$

gdje je:

x_i = procijenjena vrijednost na lokaciji i

$z(x_i)$ = izmjerena (stvarna) vrijednost na lokaciji i

N = broj izmjerenih točaka

Srednja kvadratna pogreška ili standardna devijacija izražava razinu prema kojoj se interpolirane vrijednosti razlikuju od izmjerenih. Ona je u svijetu najkorištenija mjera za ocjenjivanje točnosti, ne samo digitalnih modela reljefa, već i ostalih modela iz GIS okruženja (Yang i Hodler, 2000; Wong i Lee, 2005; Aguilar i dr., 2005; Šiljeg, 2013.).

3. HORIZONTALNA I VERTIKALNA TOČNOST DMT-a

Jedan od najvažnijih faktora DMT-a, prije nego što se koristi i ocjeni prikladnost za uporabu, je njegova vertikalna i horizontalna točnost. Prema Hunter i Goodchild (1997.) modeli nagiba i smjera nagiba podložni su pogreškama koje su prisutne u DMT-ovima. Prema tome neophodno je obaviti ocjenu točnosti DMR-a jer se oni sami neprestano podvrgavaju pogreškama koje se mogu razdvojiti na dvije komponente – horizontalnu (pozicijsku) i vertikalnu (visinsku). Svjetski DMT-ovi znatno odstupaju od stvarnosti i podložni su raznim vrstama pogrešaka. Prema mnogim autorima, zbog grubih pogrešaka u prikupljanju podataka, metodologije obrade podataka, nedostatne orijentacije stereoslika, georeferenciranja stereoslika, razmaka između rešetaka, nepoznate kombinacije pogrešaka, ali i geografski ovisno o karakteristikama topografije i kopnenom pokrovu (Rodriguez i dr. 2006; Mukherjee i dr. 2013.).

Često se koriste takvi kakvi jesu bez ikakve procjene njihove preciznosti (točnosti) i pouzdanosti te bez razmatranja pogrešaka koje mogu utjecati na rezultate (Wechsler 2003.).

Prije izrade modela nagiba i njegova smjera, potrebno je definirati i usporediti: horizontalnu i vertikalnu točnost DMT-ova za područje cijele Republike Hrvatske u odnosu na referentne podatke te procijeniti razlike između njih.

4. INTERPOLACIJA

Interpolacija je postupak računanja nove vrijednosti koja se nalazi između dvije ili više poznatih vrijednosti. Njezin iznos nikada ne prelazi taj interval određen točkama između kojih se računa, a vrijednosti dobivene interpolacijom svrstavaju se u područje mogućega (Malvić, 2008.). Interpolacija je jedna od ključnih sastavnica obrade i analize podataka u GIS okruženju, a predmet je proučavanja statistike i geostatistike (Yang, 2009.). Može se reći da je interpolacija proces determinističke ili geostatističke procjene vrijednosti neuzorkovanih područja na temelju skupa izmjerenih (promatranih) vrijednosti s poznatim koordinatama, a sve u svrhu dobivanja kontinuirane površine s nizom vrijednosti.

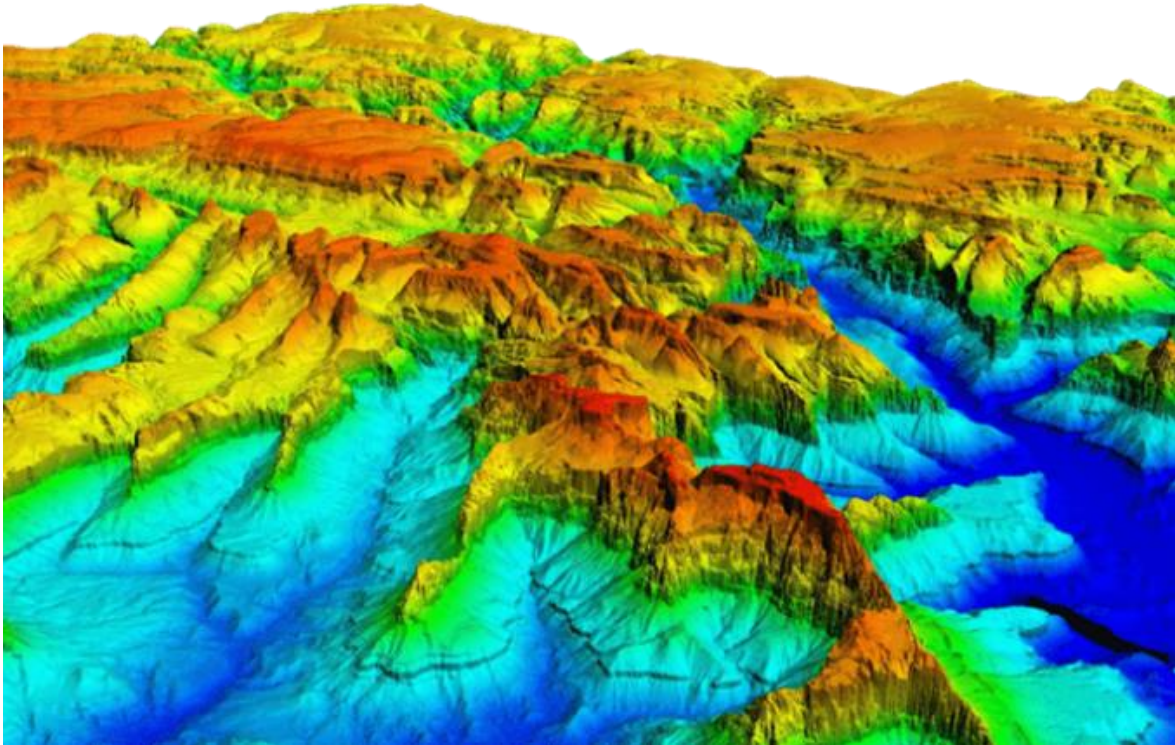
Problem procjene neke varijable sastoji se od određivanja vrijednosti za određenu točku za koju nisu vršena mjerenja. Ukoliko je poznata udaljenost između nepoznate točke za koju se radi procjena i poznatih točaka, te vrijednosti varijable u poznatim točkama, moguće je doći do procjene cijelog polja neke varijable. Opća formula većine prostornih interpolacija je (Webster i Oliver, 2007.).

Uz interpolaciju često se veže i pojam ekstrapolacija koji se odnosi na predviđanje vrijednosti određene varijable na mjestima izvan područja obuhvaćenog izmjerom (Burrough i McDonnell, 1998.). Rezultati ekstrapolacije su nesigurni, odnosno svrstavaju se u područje pretpostavljenoga.

Interpolacijske metode se mogu klasificirati na različite načine. Najčešća podjela je na lokalne i globalne, geostatističke i determinističke te točne i približne metode.

5. CILJ

U ovom završnom radu dati će se prikaz rezultata usporedbe i analize ocjene točnosti digitalnih modela terena (DTM-ova) izrađenih iz različitih izvora (aerosnimke, lasersko skeniranje, službeni DMT) kroz pregled nekoliko istraživanja provedenih na području Republike Hrvatske.



Slika 2. Vizualni prikaz digitalnog modela reljefa

6. PREGLED METODA I REZULTATA ISTRAŽIVANJA

U svom radu Balenović i dr. 2018. navode kako se LiDAR tehnologija pokazala brza i učinkovita metoda izrade DTM-a na području šumarstva s velikom točnošću jer lasersko zračenje lako prolazi kroz krošnje drveća. Usprkos tome, u velikoj većini država (tu pripada i Republika Hrvatska) zračno lasersko skeniranje nije provedeno do kraja, to jest provedeno je na manjim dijelovima zemlje. Ostatak, odnosno velika većina i dalje nije pokrivena podacima zračnog laserskog skeniranja. U tom slučaju, DTM koji se temelji na stereo-fotogrametrijskoj izmjeri aerosnimaka uz podatke s terena, glavni je izvor podataka za izradu DTM-a. Tako napravljen DTM u prostorima prekrivenim šumskom vegetacijom je manje točan od DTM-a koji se dobije zračnim laserskim skeniranjem, a razlog tomu je pokrivenost terena vegetacijom. Također, Balenović i dr. 2018. istraživanjem su utvrdili da takvi fotogrametrijski digitalni podaci terena u područjima koje je pokriveno šumskom vegetacijom imaju određen broj „grubih grešaka“ koje znatno utječu na preciznost i točnost izrađenog DTM-a. Unatoč tome, Balenović i dr. 2018. su, nakon što su uvidjeli greške i utvrdili gdje se nalaze te ih manualno otklonili, ustanovili su znatno povećanje preciznosti fotogrametrijskog DTM-a (i do 50%) što navodi i u tablici.

Tablica 2. Vertikalna ocjena točnosti oba fotogrametrijska digitalna modela terena (izvornog i korigiranog) za cijelo područje (EA) i tri podpodručja (SA-1, SA-2, SA-3).

Area Područje	N_{pix}	Difference Model Rasterski model razlika	N_{er}	Standard accuracy measures Standardne mjere točnosti					Robust accuracy measures Robusne mjere točnosti			
				min (m)	max (m)	ME (m)	SD (m)	RMSE (m)	Q_{50} (m)	NMAD (m)	$Q_{98.3}$ (m)	Q_{95} (m)
EA	80,210,299	DTM _{PHM} -DTM _{LID}	91	-5.38	7.60	-0.19	0.53	0.56	-0.16	0.47	0.05	0.56
		DTM _{PHMC} -DTM _{LID}		-5.38	3.84	-0.20	0.50	0.53	-0.17	0.47	0.04	0.52
SA-1	1,418,541	DTM _{PHM} -DTM _{LID}	0	-1.22	0.67	-0.25	0.23	0.34	-0.25	0.23	-0.14	0.13
		DTM _{PHMC} -DTM _{LID}		-1.22	0.67	-0.25	0.23	0.34	-0.25	0.23	-0.14	0.13
SA-2	1,582,000	DTM _{PHM} -DTM _{LID}	11	-2.74	4.93	-0.24	0.78	0.81	-0.04	0.41	0.12	0.60
		DTM _{PHMC} -DTM _{LID}		-2.74	1.17	-0.28	0.69	0.75	-0.04	0.42	0.13	0.46
SA-3	1,580,336	DTM _{PHM} -DTM _{LID}	4	-1.63	7.60	-0.16	0.78	0.80	-0.31	0.25	-0.19	0.83
		DTM _{PHMC} -DTM _{LID}		-1.63	1.41	-0.32	0.25	0.40	-0.32	0.22	-0.22	0.07

$N(pix)$ - Broj piksela uključen u statističku analizu; $N(er)$ - Broj detektiranih i uklonjenih pogrešaka (točaka) iz izvornog DTM (Phm); min - maksimalna negativna pogreška, max - maksimalna pozitivna pogreška; ME - srednja pogreška; SD – standardna devijacija RMSE – korijen srednje kvadratne pogreške; Q_{xx} – % kvantila; NMAD – normalizirani medijan apsolutnih odstupanja

Šimek, Medak i Medved 2018. u svom istraživanju analiziraju visinske točnosti službenog DMT-a RH. Oni su svoje istraživanje proveli obzirom na nagib terena, izgrađenost urbanog područja te obzirom na vegetaciju, a analiza je provedena u odnosu na katastarske točke, terestrička mjerenja te digitalni model visina (DMV) koji se dobio na osnovi SRTM podataka. Od računalnih programa za pripremu i obradu podataka koristili su AutoCAD, Global Mapper, QGIS i Civil 3D, dok se analiza točnosti podataka napravljena u ArcGIS-u.

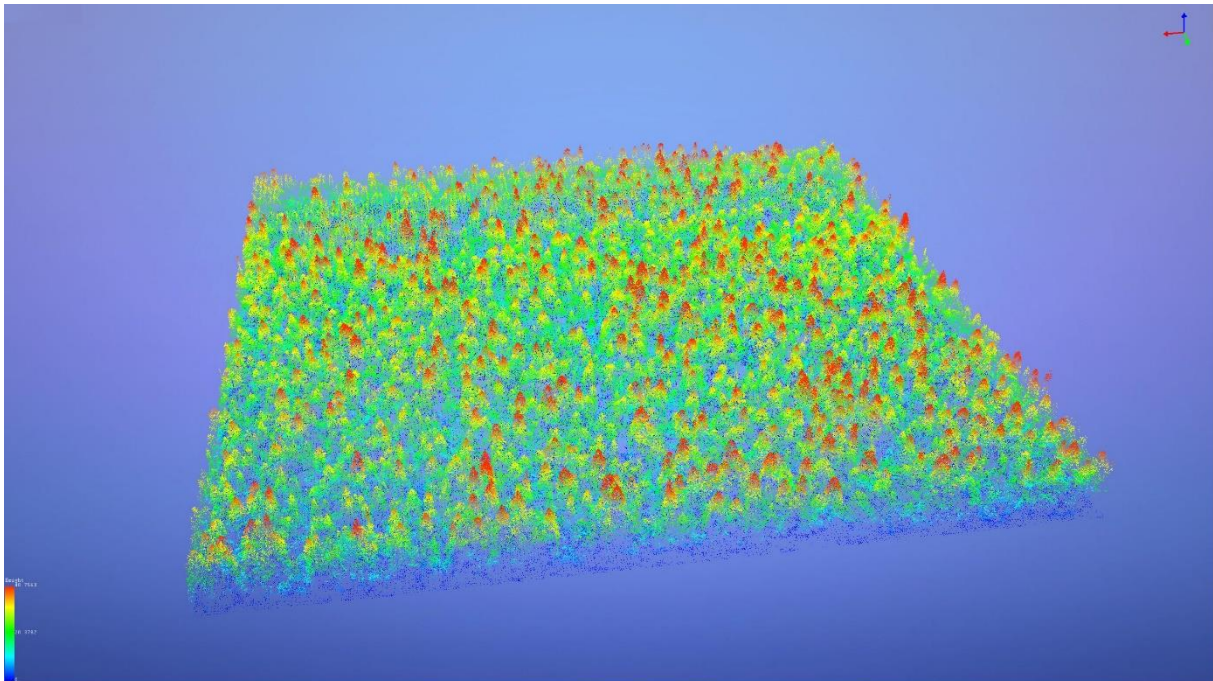
Rezultati koje su dobili obzirom na nagib terena nisu zadovoljili obzirom da se očekivala najveća točnost zbog hidroloških projekata. Rezultati dobiveni obzirom na stupanj urbanizacije i izgrađenosti su visoki, čime su dokazali da stupanj urbanizacije i stupanji izgrađenosti nema nikakav utjecaj na točnost DTM-a. Kod posljednjeg, šumskog područja, rezultati su bili očekivano loši zbog vegetacije i relativno male količine samih ulaznih podataka.

Zaključak do kojeg su došli je taj da su SRTM podaci, ako u obzir uzmemo visinsku točnost, znatno niži od službenog DTM-a RH. Jedino na šumskim područjima radi same vegetacije DMR bi trebalo kombinirano koristiti s preciznijim ulaznim podacima.

Područje	Raspon rezultata	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Vrijednosti unutar $\pm 0,5$ m
Mali nagib terena	90% vrijednosti u rasponu od -1,3 m do +0,3 m	-0,56 m	0,65 m	45%
Uske ulice u središtu grada	85% vrijednosti u rasponu $\pm 0,35$ m	-0,01 m	0,35 m	90%
Šuma	70% vrijednosti u rasponu od -1,25 m do +0,25 m	-0,71 m	0,63 m	31%

Tablica 3. Rezultati točnosti za tri lokacije različitih topografskih karakteristika

Balenović i dr. 2019. provode još jedno istraživanje s ciljem mogućnosti korištenja službenog hrvatskog DMT-a za izmjeru srednje visine stabala u nizinskim šumama hrasta lužnjaka. U tu svrhu su podaci dobiveni izmjerom službenim hrvatskim DMT-om uspoređeni s podacima dobivenim konkretnom izmjerom na terenu. Nakon što su izmjerom DMT uočene i otklonjene pogreške, razlika je bila mala odnosno gotovo zanemariva. Tim podacima došli su do zaključka da bi se službeni DMT mogao koristiti u svrhu nacionalne inventure šuma nizinskih područja nakon otklanjanja grubih pogrešaka. Pogreške nisu bile statistički značajne na mjernim plohama već izvan njih. Dakle preporučuje se svakako otkrivanje i otklanjanje pogrešaka prije korištenja DMT-a u svrhu inventure šuma.



Slika 3. Digitalni prikaz primjene LiDAR-a u inventarizaciji šuma

7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prikazani su neki od rezultata usporedbe i analize ocjene točnosti digitalnih modela terena (DTM-ova) izrađenih iz različitih izvora (aerosnimke, lasersko skeniranje, službeni DMT) kroz pregled nekoliko istraživanja provedenih na području Republike Hrvatske.

Jedan od najvažnijih faktora DMT-a, prije nego što se koristi i ocjeni prikladnost za uporabu, je njegova vertikalna i horizontalna točnost.

Točnost se definira kao stupanj podudarnosti između izmjerene ili izračunate fizičke veličine i standardne veličine.

Terestrička mjerenja najtočniji su način za prikupljanje prostornih podataka, a kroz pregled literature korištene u svrhu izrade završnog rada i predstavljenih rezultata, može se zaključiti da se LiDAR tehnologija pokazala kao brza i učinkovita metoda izrade DTM-a na području šumarstva s velikom točnošću jer lasersko zračenje lako prolazi kroz krošnje drveća.

8. LITERATURA

Ivan Balenović, Luka Jurjević, Anita Simic Milas, Mateo Gašparović, Danijela Ivanković, Ante Seletković (2019.); *Testing the Applicability of the Official Croatian DTM for Normalization of UAV-based DSMs and Plot-level Tree Height Estimations in Lowland Forests*

Ivan Balenović, Mateo Gašparović, Anita Simic Milas, Alen Berta, Ante Seletković (2018.); *Accuracy Assessment of Digital Terrain Models of Lowland Pedunculate Oak Forests Derived from Airborne Laser Scanning and Photogrammetry*

Mateo Gašparović, Anita Šimić Milas, Ante Seletković, Ivan Balenović (2018.); A novel automated method for the improvement of photogrammetric DTM accuracy in forests – „Nova automatska metoda za poboljšanje točnosti fotogrametrijskog DTM-a u šumama“

Karlo Šimek, Damir Medak, Ivan Medved (2018.); Analiza visinske točnosti službenoga vektorskoga digitalnoga modela reljefa Republike Hrvatske dobivenog fotogrametrijskom restitucijom

Wilson, J. (2011): Digital terrain modeling, *Geomorphology* 137 (1), 269-297

Šiljeg, A. (2013): Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero, doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Rodriguez, E., Morris, C. S., Belz, J. E. (2006): A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), 249-260.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., (1998): Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, New York.

Wechsler, S. P. (2003): Perceptions of digital elevation model uncertainty by DEM users. *URISA-WASHINGTON DC-*, 15(2), 57-64.

Li, Z., Zhu, Q., Gold, C. (2005): Digital Terrain Modeling, CRC Press, London.

Aguilar, F. J., Agüera, F., Aguilar, M. A., Carvajal, F., (2005): Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 71 (7), 805 -816. 3

Webster, R., Oliver, M. A. (2007): Geostatistics for Environmental Scientists, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester.

Malvić, T. (2008): Kriging geostatistička interpolacijska metoda, Hrvatsko geološko društvo, Zagreb

Državna geodetska uprava: URL: <https://dgu.gov.hr>