



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

Iva Šikić

**Primjena podataka dobivenih zračnim laserskim skeniranjem pri izmjeri
šuma**

Zagreb, 2023.

Ovaj rad izrađen je u Laboratoriju za daljinska istraživanja i GIS, na Zavodu za izmjeru i uređivanje šuma Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Ante Seletkovića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2022./2023.

Sadržaj

1.	UVOD	4
1.1.	PROBLEMATIKA.....	1
1.2.	LiDAR	2
1.3.	Zračno lasersko skeniranje (ALS)	3
2.	OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RADA	5
3.	MATERIJAL I METODE RADA	6
3.1.	Terenska izmjera.....	8
3.2.	Obrada LiDARSKIH podataka.....	9
4.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	10
5.	RASPRAVA.....	21
6.	ZAKLJUČCI.....	22
7.	LITERATURA	23
8.	SAŽETAK	25
9.	SUMMARY	26
10.	ŽIVOTOPIS.....	27

1. UVOD

Šume predstavljaju najrasprostranjeniji kopneni ekosustav i pružaju mnoge životno važne funkcije ekosustava za okoliš i klimu. Pomažu regulirati klimu i održavaju slivove osiguravajući nam čistu vodu i utječu na pročišćavanje zraka koji udišemo. Rast šumskog fonda često pridonosi većoj apsorpciji ugljikovog dioksida iz atmosfere. Šume također pomažu u očuvanju i zaštiti biološke raznolikosti jer mnoge vrste žive u šumama i ovise o njima. One su i važan gospodarski resurs, ne samo za proizvodnju drvene građe, nego i drugih resursa koji se upotrebljavaju za lijekove i druge proizvode. Šume imaju važnu ulogu za dobrobit ljudi i rekreaciju (<https://www.eea.europa.eu/hr/articles/odrzivo-gospodarenje-kljucno-za-zdravlje>).

S obzirom na to, šumama se nastoji gospodariti s ciljem održivog razvoja, a za to je potrebno u svakom trenutku imati pouzdanu informaciju o kvaliteti i kvantiteti šumskih resursa.

1.1 Problematika istraživanja

Prikupljanje kvantitativnih podataka o šumama provodi se u okviru periodične inventure šuma pri čemu se obavlja izmjera i procjena ciljanih varijabli na unaprijed određenom uzorku površine odnosno stabala, te se dobivene vrijednosti projiciraju na ostatak šume.

U šumarskoj praksi, prilikom inventure šume definira se intenzitet izmjere, odnosno uzorak površine na kojemu se provodi izmjera stabala. Takva inventura (izmjera) šuma je vremenski i radno vrlo intenzivan posao, a samim time i iziskuje značajna novčana sredstva (Balenović, 2011, Jurjević, 2021).

U cilju bržeg, jednostavnijeg i jeftinijeg načina prikupljanja prostornih podataka, metode daljinskih istraživanja nalaze sve veću primjenu u mnogim djelatnostima, pa tako i u šumarstvu (Donassy i dr., 1983., Pernar i Šelendić, 2006). Nastavno, razvijaju se alternativne metode provedbe inventure šuma, pri čemu je prepoznat potencijal primjene daljinskih istraživanja.

Razvoj računalnih tehnologija omogućio je prikupljanje i pohranu velikog broja prostornih podataka koje osiguravaju kvalitetnu podlogu u raznim znanstvenim disciplinama pa tako i na području šumarstva. Tradicionalno prikupljanje podataka u šumarstvu bazira se na prikupljanju podataka na terenu u obliku izmjere. Nove računalne tehnologije omogućavaju prikupljanje velikog broja prostornih informacija u kratkom vremenu. U posljednjih 30-ak godina zračno lasersko skeniranje (ALS – engl. Airborne Laser Scanning) temeljeno na LiDAR (engl. Light Detection and Ranging) tehnologiji pobuđuje veliki interes istraživača diljem svijeta i nalazi operativnu primjenu u šumarstvu gospodarski razvijenijih zemalja (Naeset 2014., Rahlf i dr. 2014).

1.2. LiDAR

LiDAR je akronim od eng. Light Detection and Ranging (Wehr i Lohr 1999) što bi prevedeno na hrvatski značilo svjetlosno zamjećivanje i klasifikacija. LiDAR se zasniva na odašiljanju laserskih zraka. Osim pojma LiDAR koji je globalno prihvaćen akronim za ovu tehnologiju, u literaturi se svojevremeno koristio i pojam LADAR (eng. LAser Detection and Ranging, Wehr i Lohr, 1999). Osnovne prednosti ove tehnologije je potpuna automatiziranost, brzina i efikasnost.

LiDAR je potpuno automatiziran, aktivan, optičko-mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka dostupnih s aktualnih snimališta (Gajski, 2007).

Jedna od glavnih karakteristika LiDAR sustava je njihova mogućnost prikupljanja velikog broja visoko točnih trodimenzionalnih prostornih podataka velikih područja u razmjerno kratkom vremenskom periodu. LiDAR sustavi se temelje na laserskom skeniranju koje mjeri udaljenost između skenera i objekta izmjere, a ona se računa pomoću brzine svjetlosti i vremena potrebnog da emitirano lasersko zračenje dođe do objekta. (Baltsavias, 1999).

Razvojem laserskog skeniranja ima nekoliko ključnih prednosti koje su uvelike promijenile smjer razvoja daljinskih istraživanja u šumarstvu:

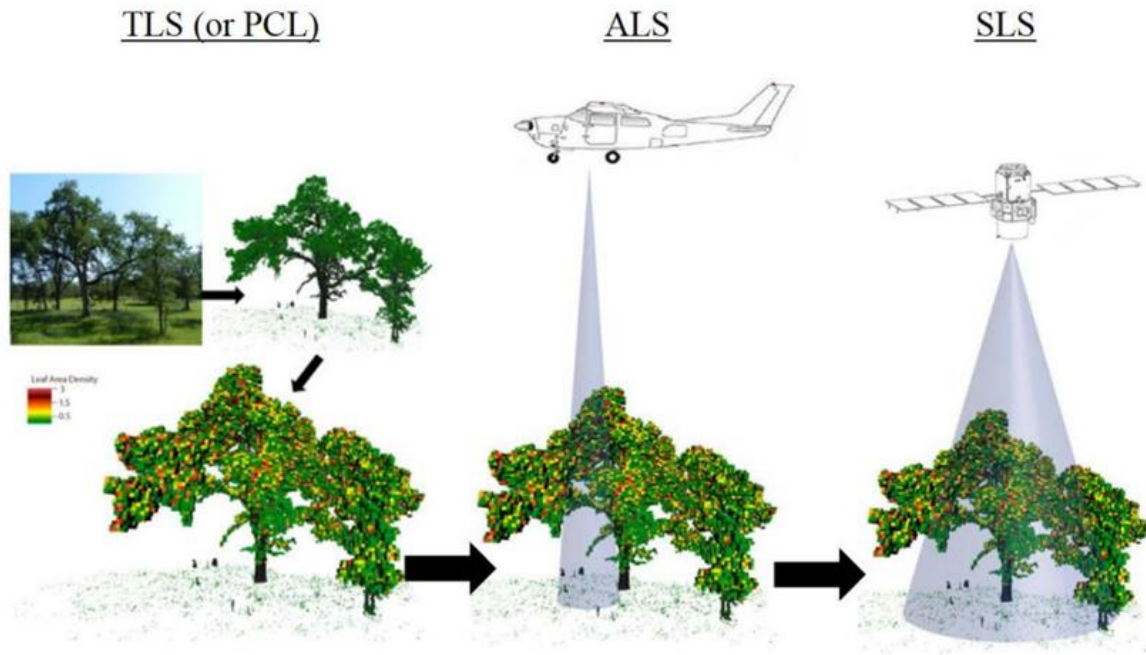
- 1) neovisnost o terenu
- 2) velika preciznost
- 3) neovisnost otvorenosti terena
- 4) neovisnost o danu / noći
- 5) brzina dobivanja podataka

Iako se u uporabi mogu naći različite vrste senzora kojima se prikupljaju informacije o šumskoj vegetaciji, LiDAR tehnologija se u zadnje vrijeme sve više koristi za pridobivanje podataka o šumskoj površini budući da može pružiti veoma točne informacije o obliku promatranog objekta uz pomoć georeferenciranih 3D oblaka točaka (Kwak i sur., 2007).

Mogućnosti LiDAR tehnologije prepoznate su u svijetu te se ona počinje intenzivnije istraživati početkom 21. stoljeća. Od tada se može pratiti sve veći broj objavljenih znanstvenih radova na temu njene primjene u brojnim sferama koji i dalje raste što je dokaz njene relevantnosti i svestranosti (Kičić i sur. 2017)

S obzirom na platformi koja nosi skener tehnologije laserskog skeniranja se mogu podijeliti na (Petrie i Toth, 2009; Balenović i sur., 2013; Berta, 2017):

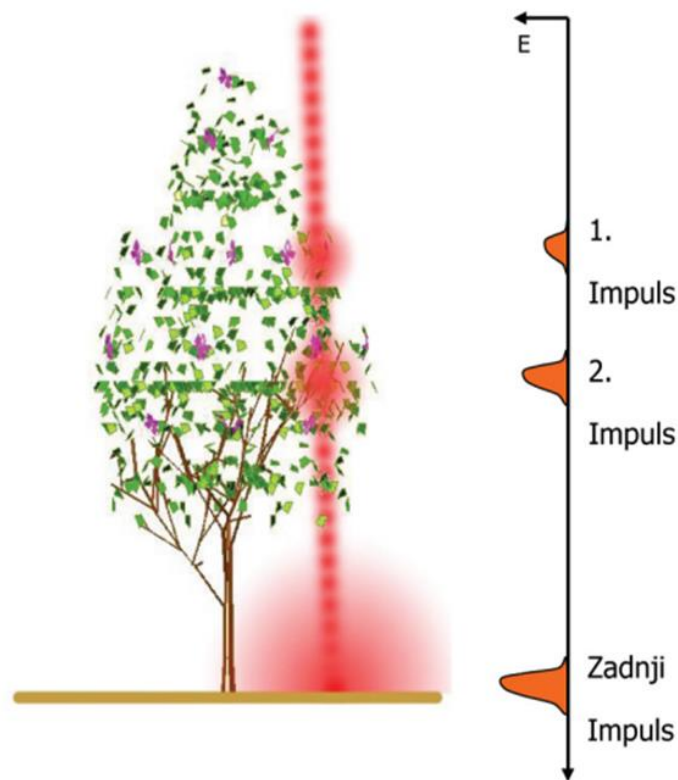
- 1) Lasersko skeniranje sa zemlje (engl. Terrestrial Laser Scanning - TLS)
- 2) Lasersko skeniranje iz zraka (engl. Airborne Laser Scanning - ALS)
- 3) Lasersko skeniranje iz svemira (engl. Spaceborne Laser Scanning - SLS)



Slika 1. Prikaz TLS, ALS i SLS tehnologije laserskog skeniranja (Izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/325320> (Preuzeto 23.4.2023.))

1.3. Lasersko skeniranje iz zraka (ALS)

Lasersko skeniranje iz zraka metoda je koja se bazira na snimanju iz zraka pomoću letjelice koja na sebi nosi laser koji skenira površinu nad kojom letjelica preljeće. Ova metoda po izvedbi slična je klasičnoj fotogrametriji. Fotogrametrija je tehnika kojom se površina od interesa fotografira s kamerom koja je pričvršćena na letjelicu te se kao produkt dobivaju stereoparovi koji omogućavaju rekonstrukciju 3D snimljene površine. Kod korištenja lasera za skeniranje terena osigurano je precizno definiranje sve tri koordinate (x , y i z) za točke iz oblaka točaka. Prednosti ove metode nad fotogrametrijom su prije svega eliminacija deformacija, neovisnost o prisutnosti vegetacije jer laserske zrake odbijaju se od visine vegetacije te zatim dio zraka prolazi do tla. Zahvaljujući laserskih zrakama LiDARa moguće je određivanje visine vegetacije i precizan prikaz prikaz reljefa i mikoreljefa.



Slika 2: Princip skeniranja iz zraka (Gajski, 2005)

Većina ALS sustava sastoji se od 4 glavne komponente (Balenović i sur., 2013):

- 1) laserski skener
- 2) GPS
- 3) IMU
- 4) računalo za pohranu i obradu prikupljenih podataka

Udaljenost od senzora na letjelici do mjerne točke određuje se s obzirom na vremenski interval koji je potreban da laserski impuls dođe do objekta, odbije se od njega i vrati nazad do senzora. Laserski skener se sastoji od sljedećih glavnih dijelova (Gajski, 2005):

- 1) impulsnog lasera, čija se učestalost pulsiranja može mijenjati
- 2) mehanizma za skeniranje
- 3) prijemnog senzora sa sklopom za mjerenje vremena putovanja laserskog impulsa

Impulsni laseri općenito omogućuju daleko veće snage odaslanog impulsa, koje u topografskim primjenama mogu ići čak do 2MW (Wehr, Lohr, 1999).

ALS tehnologija najčešće se koristi u šumarstvu. Šumske ekosustave možemo promatrati kao sastojine koje su definirane površinom i brojem stabala po jedinici površine te za pojedine sastojine odrediti srednje vrijednosti. S druge strane, šumske ekosustave možemo promatrati iz perspektive pojedinačnih

stabala koja čine cjelinu tj. ekosustav. U skladu s time razlikuju se dva pristupa pridobivanja podataka :

- 1) procjeni parametara pojedinačnih stabala (engl. IndividualTree-Based Approach - ITB)
- 2) procjeni srednjih sastojinskih parametara (engl. Area-Based Approach – AB) prema (Reutebuch i sur., 2005; Yu i sur., 2010)

ITB metoda zasniva se na direktnom mjerenju snimljenih točaka ili drugim procesima segmentacije pojedinih stabala iz ALS podataka koji omogućavaju procjenu različitih parametara kao što su visina stabala, dimenzije krošanja, položaj stabala, vrstu drveća i sl. AB metoda zasniva se na statističkim modelima. Za modele su potrebne referentni terenski podatci koji osiguravaju primjenjivost modela na određenu sastojinu ili plohu. AB modeli koriste se pri manjoj gustoći skeniranja.

Oblaci točaka su jedan od produkata LiDAR metode. Ovaj pojam označava skup točaka snimljenih laserom od kojih svaka ima pripadajuće koordinate (x, y i z) te su pozicionirane u 3D prostoru. Osim koordinata svaka točka može sadržavati dodatne informacije kao što su boja, intenzitet, normale i transportnost. Oblaci točaka omogućavaju realistični prikaz jednog ili više objekata u prostoru te je primjena ovakvih podataka iznimno korisna. Oblaci točaka mogu biti statični ili dinamički. Kod dinamičkih oblaka točaka formirana je sekvenca nekoliko oblaka točaka.

Segmentacija oblaka točaka proces je koji je nužan kako bi se dobiveni podatci (oblak točaka) mogao koristiti kasnije i interpretirati. Segmentacije se zapravo može opisati kao klasifikacija ALS podataka gdje se podatci grupiraju s obzirom na geometrijske karakteristike u klase. Postoje dva osnovna kriterija: susjedstvo i morfometrijska sličnost. Segmentacija može biti automatizirana, ali se automatizirani procesi unapređuju i razvijaju.

DMR je digitalni model reljefa, a predstavlja skup položajno i visinski određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) s ciljem prikazivanja Zemljine površine. Podatci za izradu DMR-a mogu se prikupiti fotogramterijski, ali i LiDAR metodom.

Izvedenica iz DMR-a je Digitalni model visina što predstavlja pravilnu mrežu (grid) visinskih točaka, interpoliranih na osnovi odgovarajućeg Digitalnog modela reljefa. Točke u DMV-u su u pravilu raspoređene na svakih 25 m, ali ovisno o točnosti aerofotogrametrijskog snimanja razmak interpoliranih točaka može biti i gušći. (Državna geodetska uprava)

Visinu stabla predstavlja visinska razlika između DMT i DMVK.

Digitalni model terena (DMT) su klasificirane točke tla koje su prilikom obrade sirovih podataka normalizirane na nadmorsku visinu od 0 m dok sve točke vegetacije zajedno čine digitalni model visina krošanja (DMVK) (Državna geodetska uprava).

2. OPĆI I SPECIFIČNI CILJEVI RADA

U skladu s aktualnom problematikom šumarstva koja se odnosi na brži, jednostavniji i jeftiniji načina prikupljanja prostornih podataka za potrebe izmjere šumskih resursa, cilj ovog rada je ispitati mogućnost primjene podataka dobivenih zračnim laserskim skeniranjem pri izmjeri šuma. Na temelju produkata

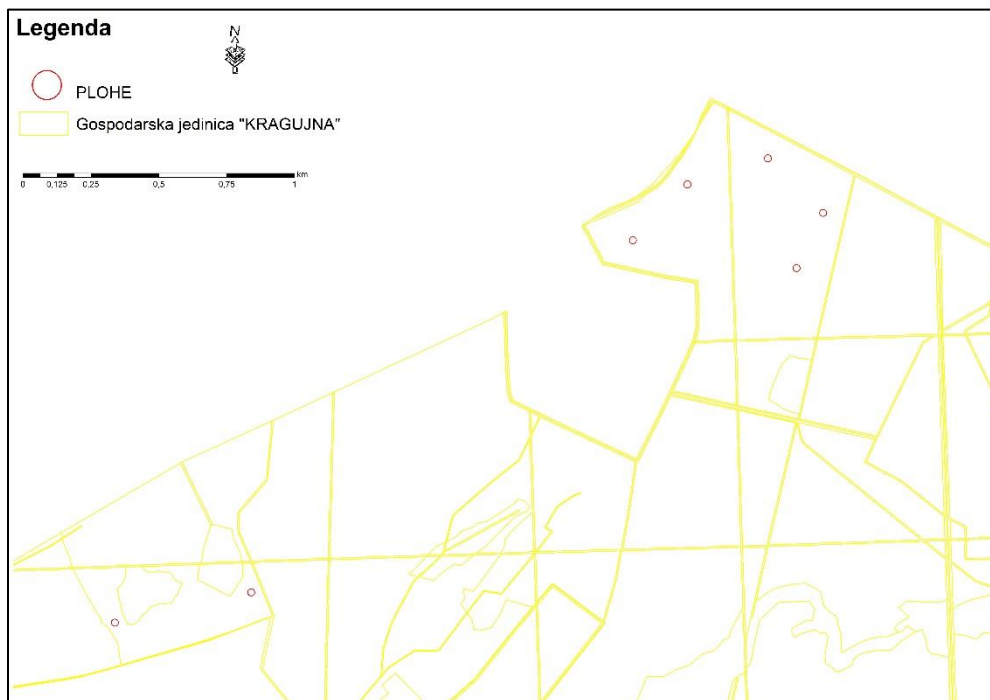
zračnog laserskog skeniranja (DMR,DMV,DMVK) na odabranim pokusnim ploham usporediti će se podaci terenske izmjere visina glavnih vrsta drveća sa podacima iz Lidarskog snimanja.

Dobiveni rezultati bit će uspoređeni sa dostupnom literaturom i dosad dobivenim podacima te će se uz proučavanje znanstvene i stručne literature obrazložiti i usporediti.

3. MATERIJAL I METODE RADA

Istraživanje je provedeno na području UŠP Vinkovci, šumarija Županja, na kojem se nalaze vrijedne šume hrasta lužnjaka i poljskog jasena.

Konkretno istraživanje je obavljeno u sastojinama Hrasta lužnjaka i poljskog jasena, gospodarske jedinice Kragujna unutar 5. dobnog razreda (Slika 3).



Slika 3. Područje istraživanja (g.j. Kragujna)

Za potrebe ovoga istraživanja područje istraživanja snimljeno je bespilotnom letjelicom (DRON) DJI M300 (Slika 4).



Slika 4. Bespilotna letjelica (DRON) DJI M300(Izvor: <https://www.dslrpros.com/dji-zenmuse-l1-lidar-rgb-survey-camera.html>) (Preuzeto 23.4.2023.)

koja je nosila senzor za fotogrametrijsko snimanje RGB P1 full frame 45 MP i lećom od 35 mm (Slika 4).



Slika 5. Kamera RGB P1 full frame 45 MP i lećom od 35 mm (Izvor: <https://www.dslrpros.com/dji-zenmuse-l1-lidar-rgb-survey-camera.html>) (Preuzeto 23.4.2023.)

Isto područje je snimljeno i LiDAR tehnologijom DJI L1 na visini od 100 m, a ostvarene su snimke gustoće točaka od 200-300 točaka/m² (Slika 5).



Slika 6. LiDAR DJI L1 (Izvor: <https://www.dslrpros.com/dji-zenmuse-l1-lidar-rgb-survey-camera.html>) (Preuzeto 23.4.2023.)

3.1 Terenska izmjera

Za potrebe ovog istraživanja postavljene su kružne pokusne plohe radijusa 13 metara, unutar gospodarske jedinice Kragujna, odjel/odsjek 1a,2a,8b. Ukupno je postavljeno sedam (7) ploha, a centar svake plohe je snimljen i pozicioniran metodom GNSS RTK (eng. Real Time Kinematics). Na plohi se odredila vrsta drveća, obavljala terenska izmjera prsnih promjera, visina i visina do prve grane, te se svakom stablu određivao položaj i udaljenost u odnosu na centar plohe (Slika 7)

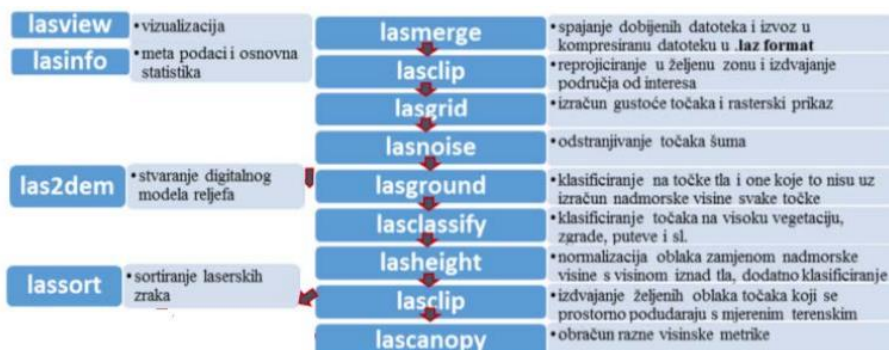
odsjek	ploha	polumjer	koordinata		br. Stabla	vrsta	kut	udaljenost	prsni promjer			visina	visina do 1. grane
			Y	X					d1	d2	dsr		
2a	28	13	683605,1	4996295,9	1	grab	8	3,41	25,6	25,6	25,6	24,8	8,8
2a	28	13	683605,1	4996295,9	2	hrast	63	5,20	37,2	38,2	37,7	32,8	16,7
2a	28	13	683605,1	4996295,9	3	grab	39	4,40	12,1	11,8	12,0	13,4	2,8
2a	28	13	683605,1	4996295,9	4	grab	53	8,04	24,4	24,9	24,7	19,7	2,8
2a	28	13	683605,1	4996295,9	5	grab	34	12,50	29,1	29,6	29,4	28,5	8,6
2a	28	13	683605,1	4996295,9	6	hrast	70	12,77	56,0	56,1	56,1	35,9	9,1
2a	28	13	683605,1	4996295,9	7	jasen	91	9,38	41,0	42,6	41,8	35	17,3
2a	28	13	683605,1	4996295,9	8	kruška	97	7,12	14,6	15,8	15,2	23	3,3
2a	28	13	683605,1	4996295,9	9	hrast	114	3,36	43,2	43,2	43,2	35,3	16,1
2a	28	13	683605,1	4996295,9	10	grab	105	5,36	18,5	19,1	18,8	19,3	3,4
2a	28	13	683605,1	4996295,9	11	grab	141	5,92	31,0	31,2	31,1	29,9	12,1
2a	28	13	683605,1	4996295,9	12	grab	133	13,01	12,8	12,5	12,7	15,6	2,2
2a	28	13	683605,1	4996295,9	13	grab	151	10,51	18,2	18,6	18,4	20,6	1,9
2a	28	13	683605,1	4996295,9	14	grab	151	10,41	14,8	15,7	15,3	18,7	2,8
2a	28	13	683605,1	4996295,9	15	grab	169	10,76	17,8	16,9	17,4	17,6	3
2a	28	13	683605,1	4996295,9	16	hrast	179	12,13	51,5	53,8	52,7	33,3	9,7
2a	28	13	683605,1	4996295,9	17	grab	226	11,41	27,6	28,0	27,8	24,9	3,7
2a	28	13	683605,1	4996295,9	18	jasen	227	5,93	49,4	48,4	48,9	37,3	19,2
2a	28	13	683605,1	4996295,9	19	grab	227	1,80	17,4	16,1	16,8	21,5	15,6
2a	28	13	683605,1	4996295,9	20	grab	273	6,96	25,2	24,9	25,1	24,5	12,7
2a	28	13	683605,1	4996295,9	21	grab	260	8,40	21,7	21,4	21,6	25	4,2
2a	28	13	683605,1	4996295,9	22	hrast	276	10,70	27,2	28,5	27,9	23,1	
2a	28	13	683605,1	4996295,9	23	grab	316	12,43	25,4	24,5	25,0	25,1	10,8
2a	28	13	683605,1	4996295,9	24	grab	316	10,68	22,9	23,7	23,3	23,3	5,7
2a	28	13	683605,1	4996295,9	25	grab	330	9,72	11,5	11,5	11,5	10,3	5,4
2a	28	13	683605,1	4996295,9	26	hrast	337	6,27	60,8	65,0	62,9	36,9	14
2a	28	13	683605,1	4996295,9	27	jasen	342	11,73	43,1	41,7	42,4	33,9	13,6
2a	28	13	683605,1	4996295,9	28	grab	352	12,64	13,4	13,9	13,7	15,3	1,8
2a	28	13	683605,1	4996295,9	29	grab	5	13,63	26,2	24,3	25,3		

Slika 7. Prikaz baze podataka za terenske plohe

3.2 Obrada Lidarskih podataka

Sva obrada prikupljenih LIDAR-skih podataka (vizualizacija, obrada, klasifikacija, pretvorba i ekstrakcija „sirovih“ podataka) obavljena je pomoću LAStools, Global Mapper, Quick Terrain Modeler (QTM) i Lidar 360 softvera. Obrada „sirovih“ (neobrađenih i neklasificiranih) podataka obavljena je pomoću LAStools softvera razvijenog od Rapidlasso gmbH grupe koji sadrži alate za klasifikaciju, ekstrakciju i pretvorbu LiDAR podataka. Prilikom obrade podataka ovim softverom koristila se metodologija prikazana u Berta (2017).

Korišteni alati i proces rada je prikazan u navedenoj shemi (Berta 2017);



Slika 8. Korišteni alati i shema procesa rada

Nakon utvrđivanja kvalitete korištenog oblaka točaka pristupa se automatskoj klasifikaciji na točke tla (engl. ground points) i točke iznad tla (engl. non-ground points) s alatom lasground. Ovaj postupak se u literaturi naziva filtriranje (engl. 'lidar data filtering') (Zhang i Qiu, 2012; Ivšić i sur., 2016). Također se alatom lasheight svakoj točki računa nadmorska visina što je potrebno za daljnje klasificiranje ili za stvaranje digitalnog modela reljefa.

Po utvrđivanju pogrešno svrstanih točaka, iste je moguće reklasificirati bilo ručno ili automatski. Postupak reklasifikacije točaka terena i ostalih točaka iznad terena se provodi dokle god se ne dobiju zadovoljavajući rezultati.

Kako bi se moglo pristupiti analizi pojedinog stabla, ona se prvo moraju detektirati iz LiDAR oblaka točaka, a to se radi kroz dva bitna koraka. Prvi je izrada digitalnog modela reljefa, digitalnog modela visina i digitalnog modela visine krošanja, a drugi je detekcija pojedinačnog stabla što uključuje identifikaciju njegove krošnje (Zhang i Qiu, 2012).

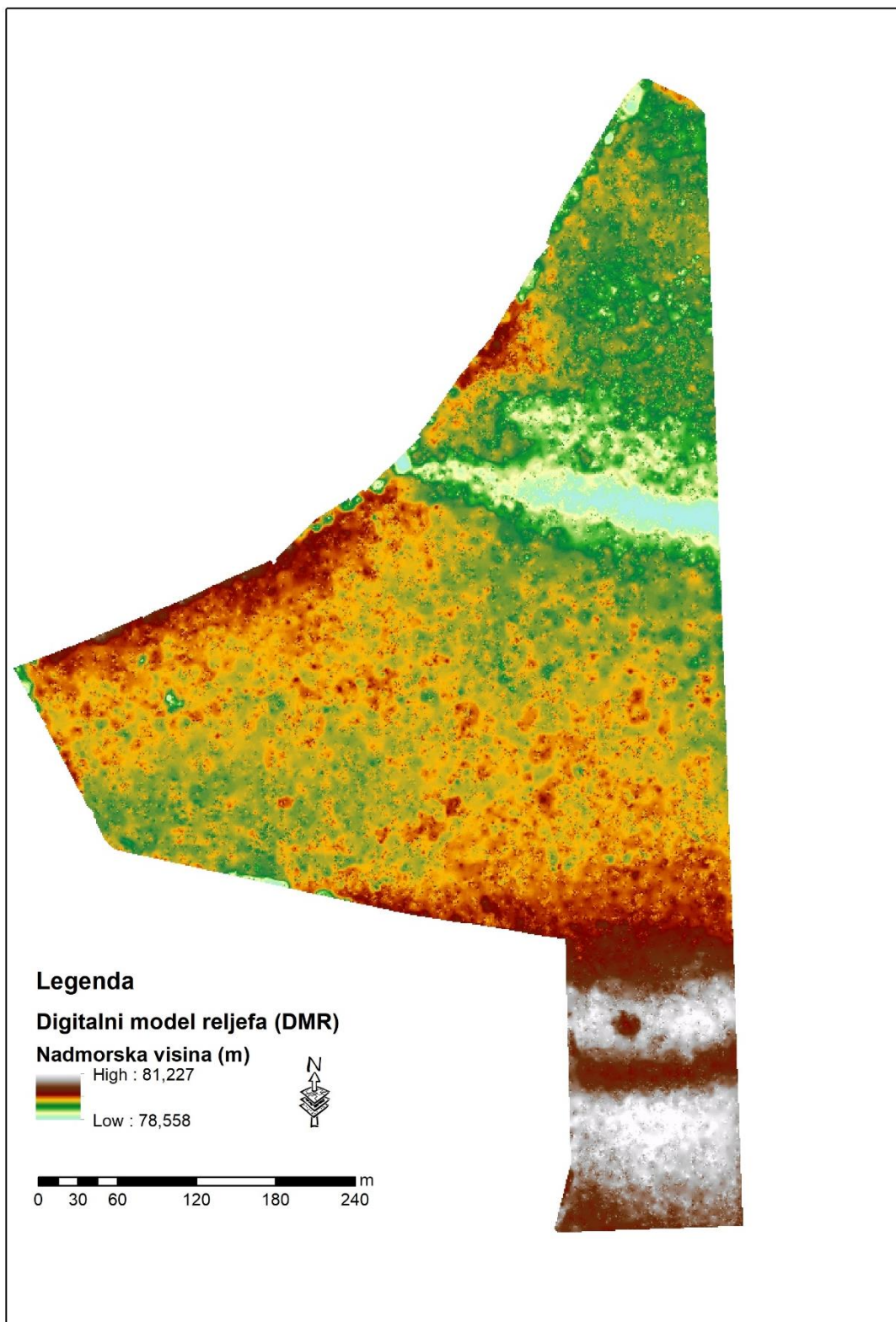
U ovom radu, kao što je već napomenuto u potpoglavlju Terenska izmjera, stabla su pozicionirana s obzirom na centar plohe te su kao takva sastavni dio GIS-a terenskih ploha i lako ih je detektirati na izrađenim digitalnim modelima visina krošanja (DMVK).

Na taj način moguće je odrediti točnu visinu određenog stabla.

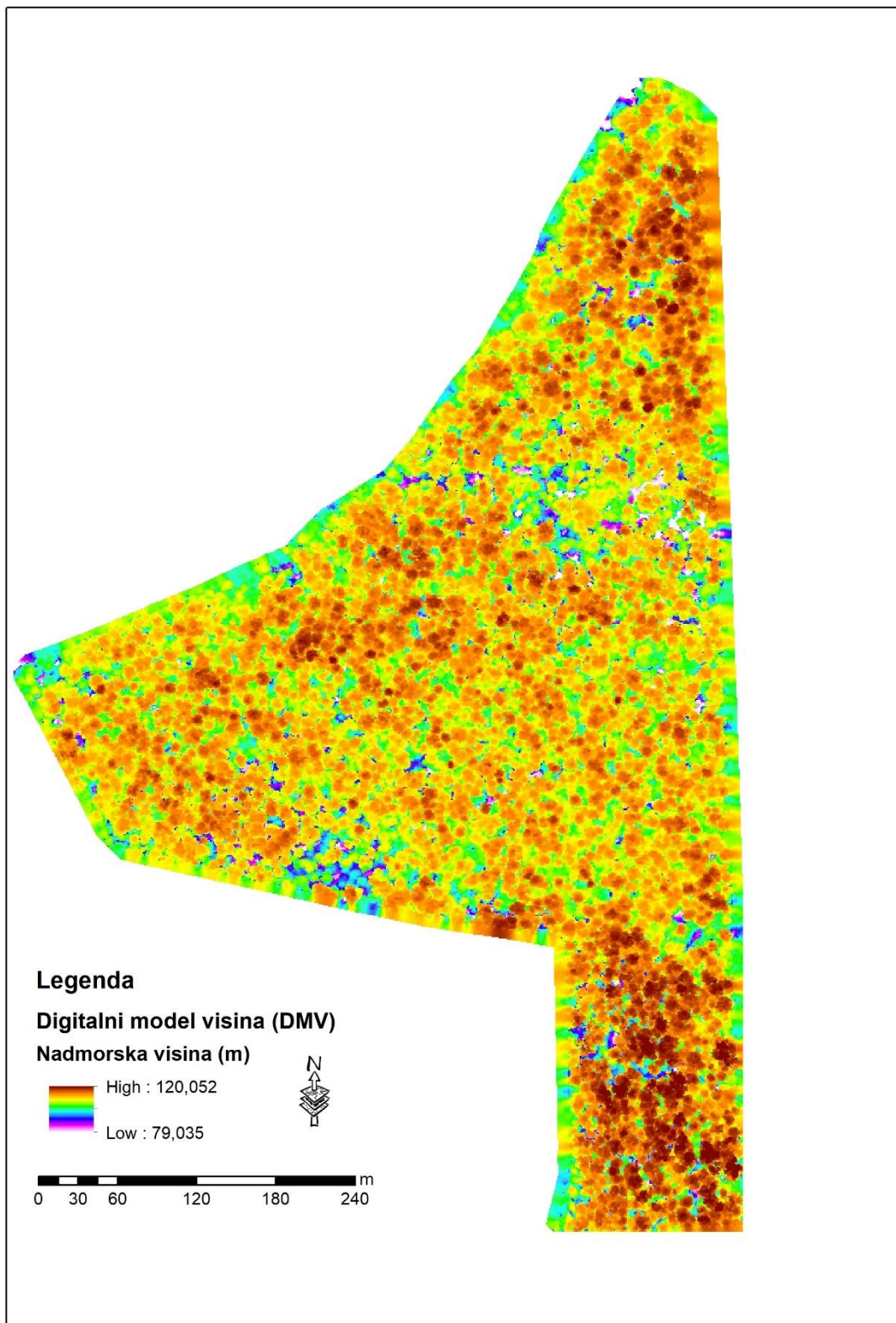
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Za svaku terensku plohu izmjerene su visine stabala pojedinih vrsta drveća te je svako stablo pozicionirano s obzirom na centar plohe. Unutar svake plohe uspoređivani su podatci za glavne vrste drveća hrast lužnjak i poljski jasen, s naglaskom na hrast lužnjak. U nekim ploham (ploha 52 i ploha 454) poljski jasen nije bio prisutan. S obzirom da je riješ o prirodnim šumama broj stabala i zastupljenost pojedinih vrsta unutar ploha nije isti pa će se u nastavku rada svaka ploha analizirati kao zasebni segment.

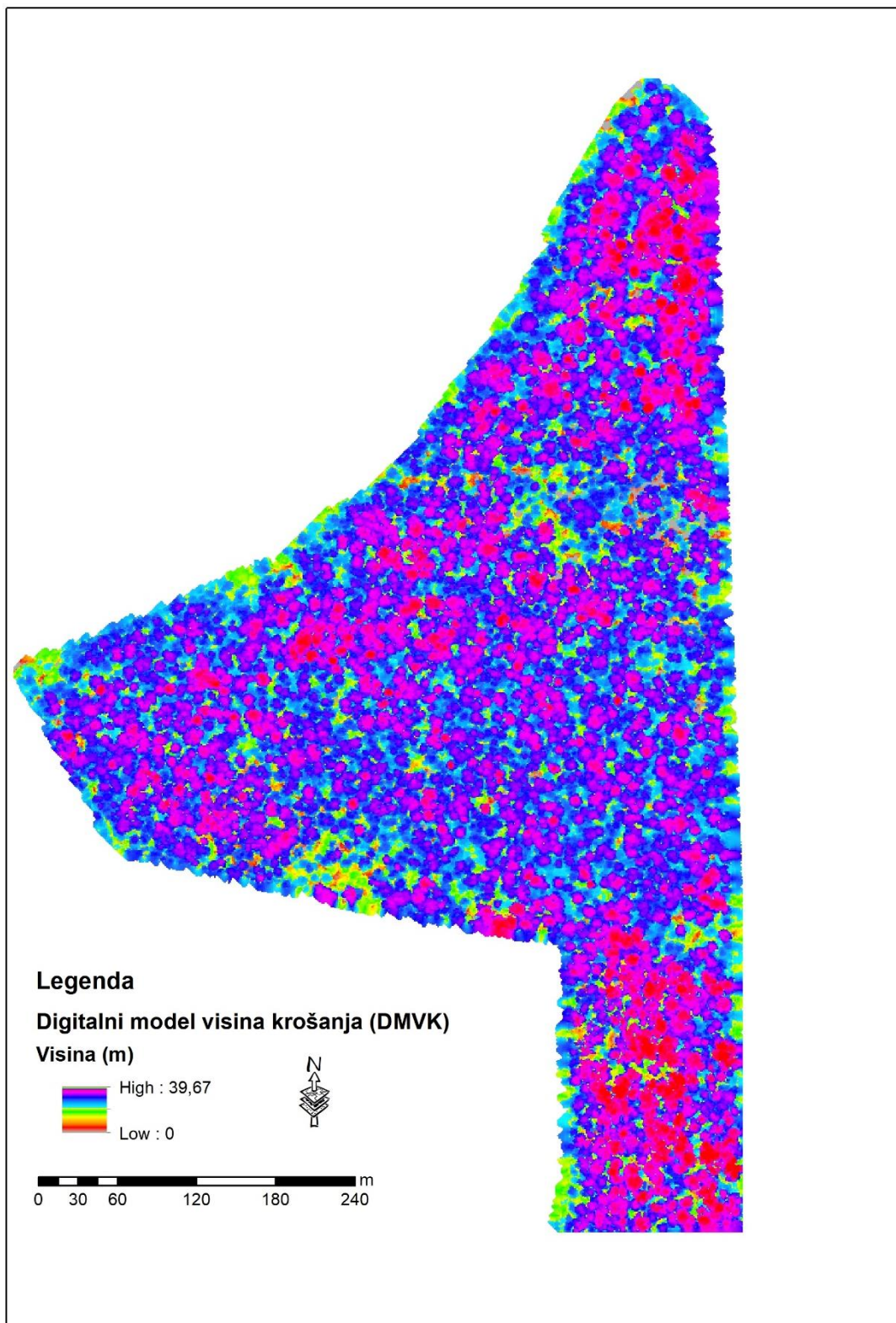
Na temelju podataka dobivenih zračnim laserskim skeniranjem (3D oblak točaka), za područje istraživanja izrađen je digitalni model reljefa – DMR (slika 9), kao i digitalni model visina – DMV (slika 10), iz kojih je generiran digitalni model visina krošanja – DMVK (slika 11), pomoću kojeg su se određivale visine stabala po pojedinim ploham.



Slika 9. Digitalni model reljefa (DMR) područja istraživanja



Slika 10. Digitalni model visina (DMV) područja istraživanja

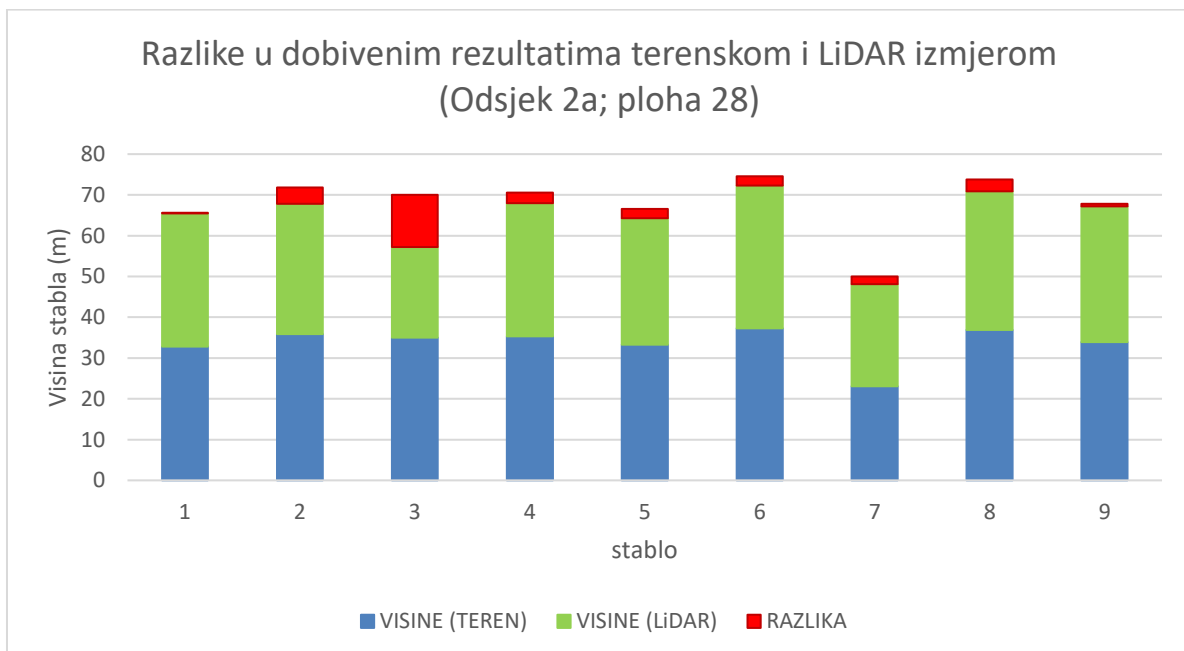


Slika 11. Digitalni model visina krošanja (DMVK) područja istraživanja

Tablica 1. Odsjek 2a; ploha 28

VISINE (TEREN)	VISINE (LiDAR)	RAZLIKA
32,8	32,7	0,1
35,9	31,9	4
35	22,2	12,8
35,3	32,7	2,6
33,3	31	2,3
37,3	35	2,3
23,1	25	1,9
36,9	34	2,9
33,9	33,3	0,6

Grafički prikaz 1. Odsjek 2a; ploha 28

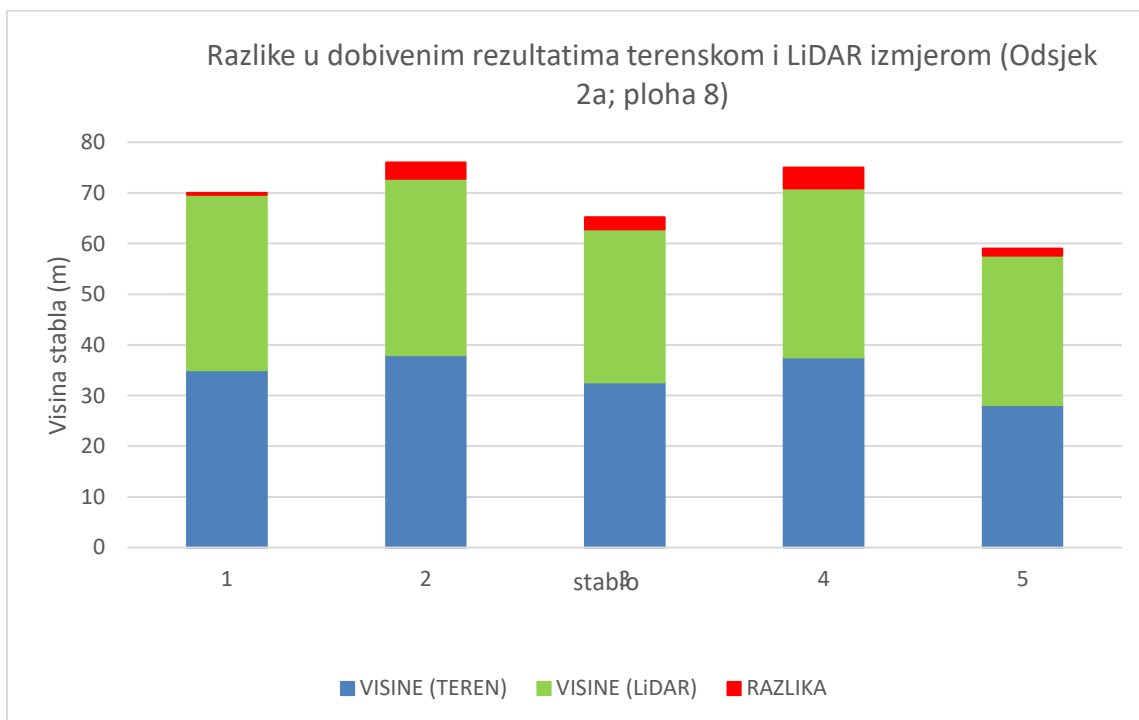


U Tablici 1. i grafičkom prikazu 1., koji se odnose na Plohu 28, vidljiva je razlika u visinama dobivenim terenskom izmjerom i laserskim skeniranjem iz zraka. Unutar ove plohe uspoređivane su visine za devet stabala. Prosječna pogreška iznosi 3,28 metara. Minimalna pogreška iznosi 0,1 metara, a maksimalna pogreška iznosi 12,8 metara.

Tablica 2. Odsjek 2a; ploha 8

VISINE (TEREN)	VISINE (LiDAR)	RAZLIKA
35	34,6	0,4
38	34,8	3,2
32,6	30,2	2,4
37,5	33,4	4,1
28,1	29,5	1,4

Grafički prikaz 2. Odsjek 2a; ploha 8

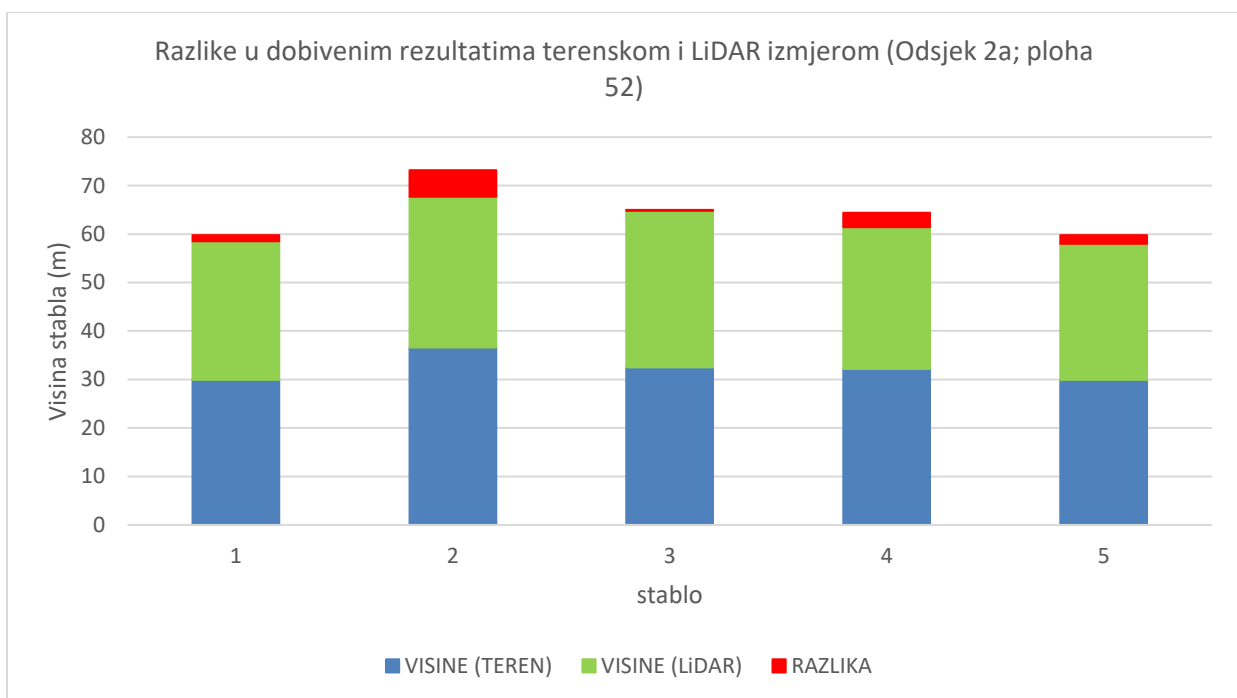


U Tablici 2. i grafičkom prikazu 2., koji se odnose na Plohu 8, također je vidljiva razlika u visinama dobivenim terenskom izmjerom i laserskim skeniranjem iz zraka. Unutar ove plohe uspoređivane su visine za pet stabala. Prosječna pogreška iznosi 2,3 metra. Minimalna pogreška iznosi 0,4 metara, a maksimalna pogreška iznosi 4,1 metara. Usporedno s Plohom 28 maksimalna pogreška je značajno manja kod Plohe 8 te je i prosječna pogreška manja za 1 metar visine stabla.

Tablica 3. Odsjek 2a; ploha 52

VISINE (TEREN)	VISINE (LiDAR)	RAZLIKA
29,9	28,6	1,3
36,6	31,1	5,5
32,5	32,3	0,2
32,2	29,2	3
29,9	28,1	1,8

Grafički prikaz 3. Odsjek 2a; ploha 52

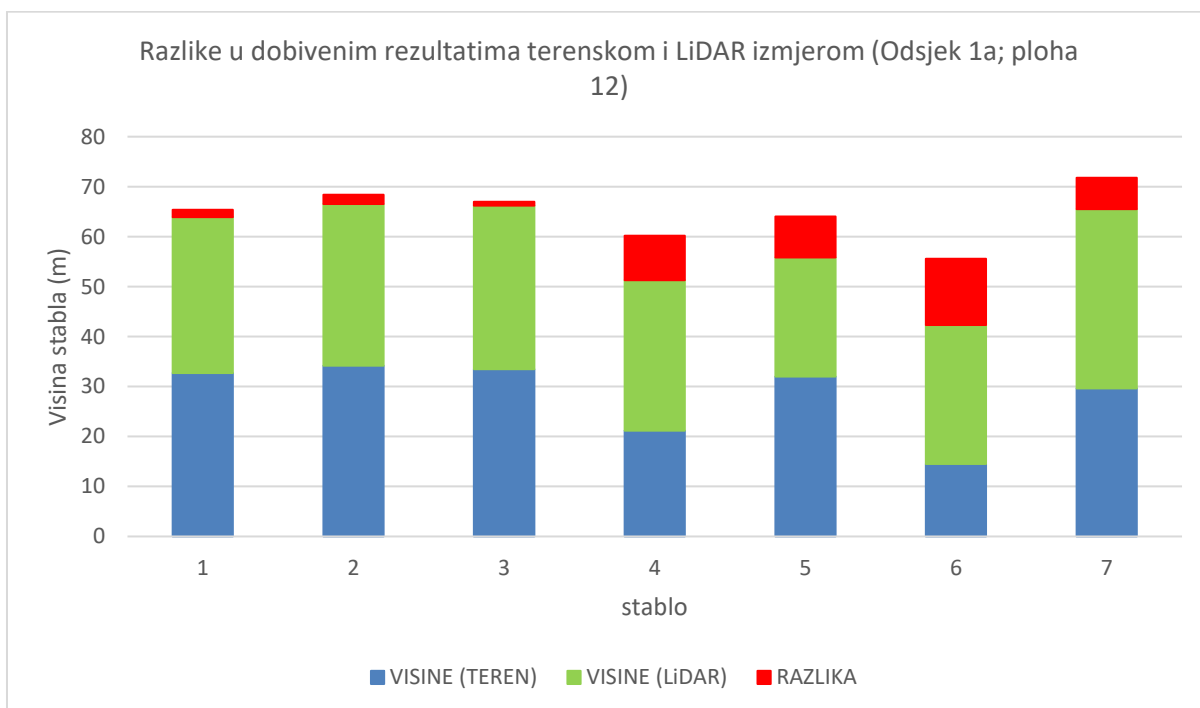


U Tablici 3. i grafičkom prikazu 3., koji se odnose na Plohu 52, također je vidljiva razlika u visinama dobivenim terenskom izmjerom i laserskim skeniranjem iz zraka. Unutar ove plohe uspoređivane su visine za pet stabala. Prosječna pogreška iznosi 2,3 metra, kao i kod Plohe 8. Minimalna pogreška iznosi 0,2 metara, a maksimalna pogreška iznosi 5,5 metara.

Tablica 4. Odsjek 1a; Ploha 12

VISINE (TEREN)	VISINE (LiDAR)	RAZLIKA
32,7	31,2	1,5
34,2	32,3	1,9
33,5	32,7	0,8
21,2	30,1	8,9
32	23,8	8,2
14,5	27,8	13,3
29,6	35,9	6,3

Grafički prikaz 4. Odsjek 1a; ploha 12

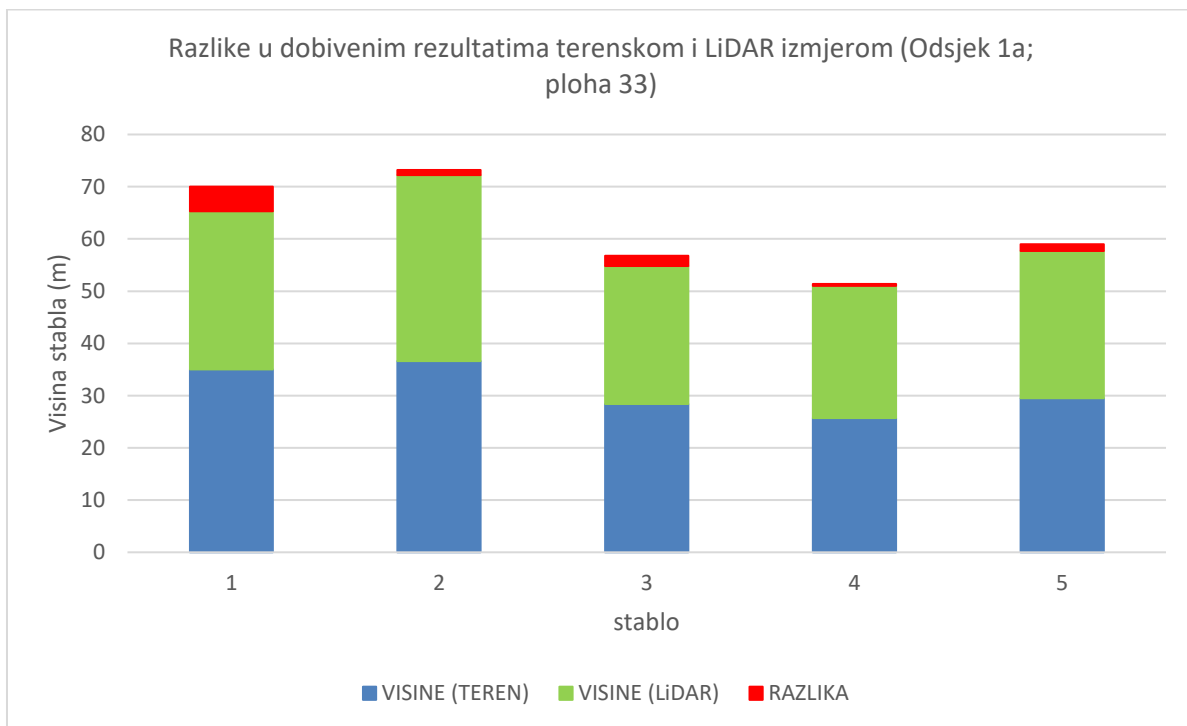


U Tablici 4. i grafičkom prikazu 4., koji se odnose na Plohu 12, također je vidljiva razlika u visinama dobivenim terenskom izmjerom i laserskim skeniranjem iz zraka. Uspoređivane su visine sedam stabala. Unutar ove plohe odstupanja prelaze 8 metara kod dva stabla. Prosječna pogreška iznosi 5,8 metra što je značajno veća prosječna pogreška s obzirom na Plohe 28, 8 i 52. Minimalna pogreška iznosi 0,8 metara, a maksimalna pogreška iznosi 13,3 metara. Unutar Plohe 12 zabilježen je najveći minimum i maksimum odstupanja što se očituje i u najvećoj prosječnoj pogrešci.

Tablica 5. Odsjek 1a; ploha 33

VISINE (TEREN)	VISINE (LiDAR)	RAZLIKA
35	30,3	4,7
36,6	35,6	1
28,4	26,4	2
25,7	25,31	0,39
29,5	28,23	1,27

Grafički prikaz 5. Odsjek 1a; ploha 33

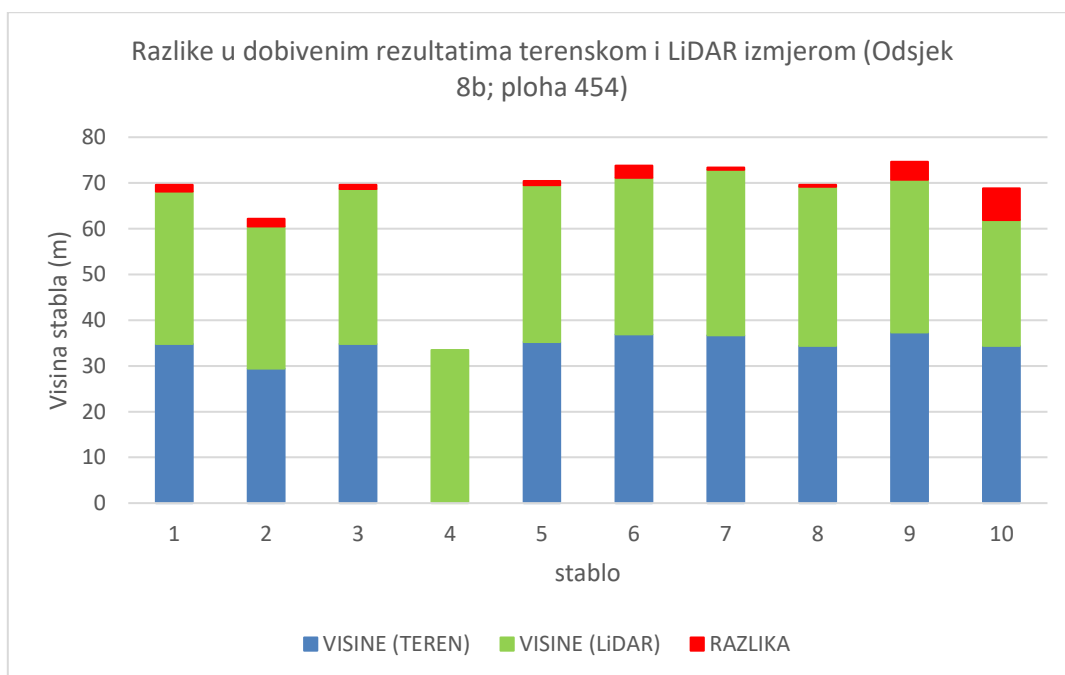


U Tablici 5. i grafičkom prikazu 5., koji se odnose na Plohu 33, također je vidljiva razlika u visinama dobivenim terenskom izmjerom i laserskim skeniranjem iz zraka. Unutar ove plohe uspoređivane su visine za pet stabala. Prosječna pogreška iznosi 1,8 metara. Minimalna pogreška iznosi 0,39 metara, a maksimalna pogreška iznosi 4,7 metara.

Tablica 6. Odsjek 8b; ploha 454

VISINE (TEREN)	VISINE (LiDAR)	RAZLIKA
34,8	33,3	1,5
29,4	31,1	1,7
34,8	33,9	0,9
	33,5	
35,2	34,3	0,9
36,9	34,2	2,7
36,7	36,2	0,5
34,4	34,8	0,4
37,3	33,4	3,9
34,4	27,5	6,9

Grafički prikaz 6. Odsjek 8b; ploha 454

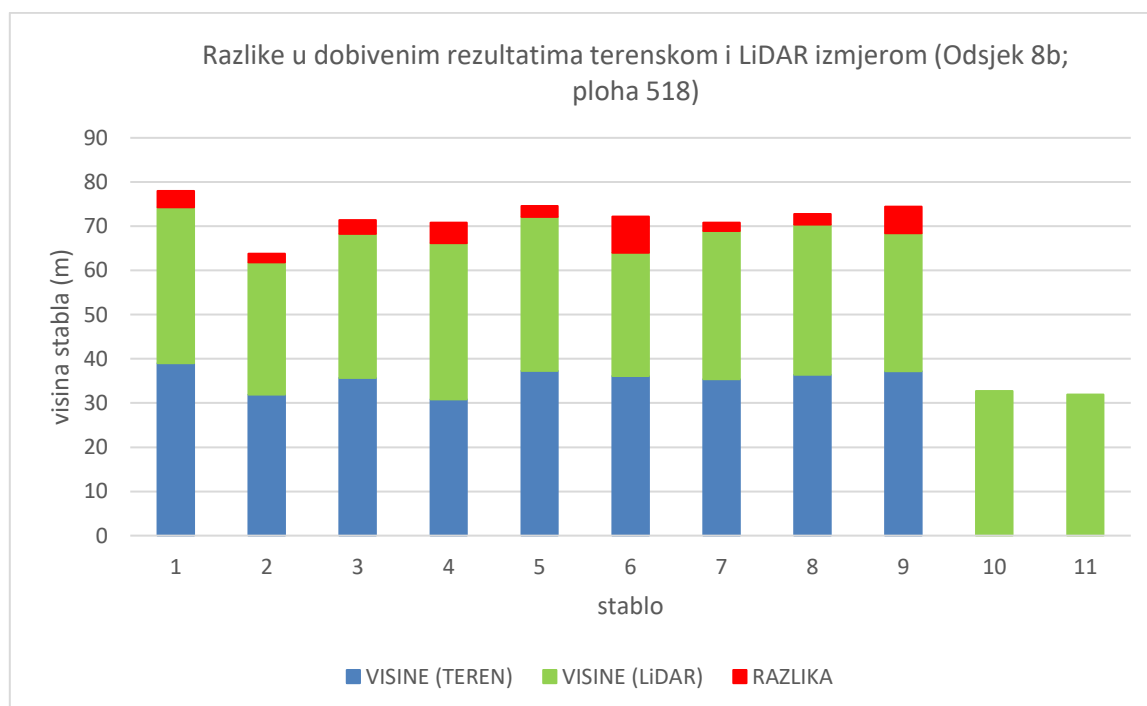


U Tablici 6. i grafičkom prikazu 6., koji se odnose na Plohu 454, također je vidljiva razlika u visinama dobivenim terenskom izmjerom i laserskim skeniranjem iz zraka. Unutar ove plohe uspoređivane su visine za veći broj stabala, njih deset. Za stablo četiri nije evidentirana visina izmjerena na terenu. Prosječna pogreška iznosi 2,2 metara. Minimalna pogreška iznosi 0,4 metara, a maksimalna pogreška iznosi 6,9 metara.

Tablica 7. Odsjek 8b; ploha 518

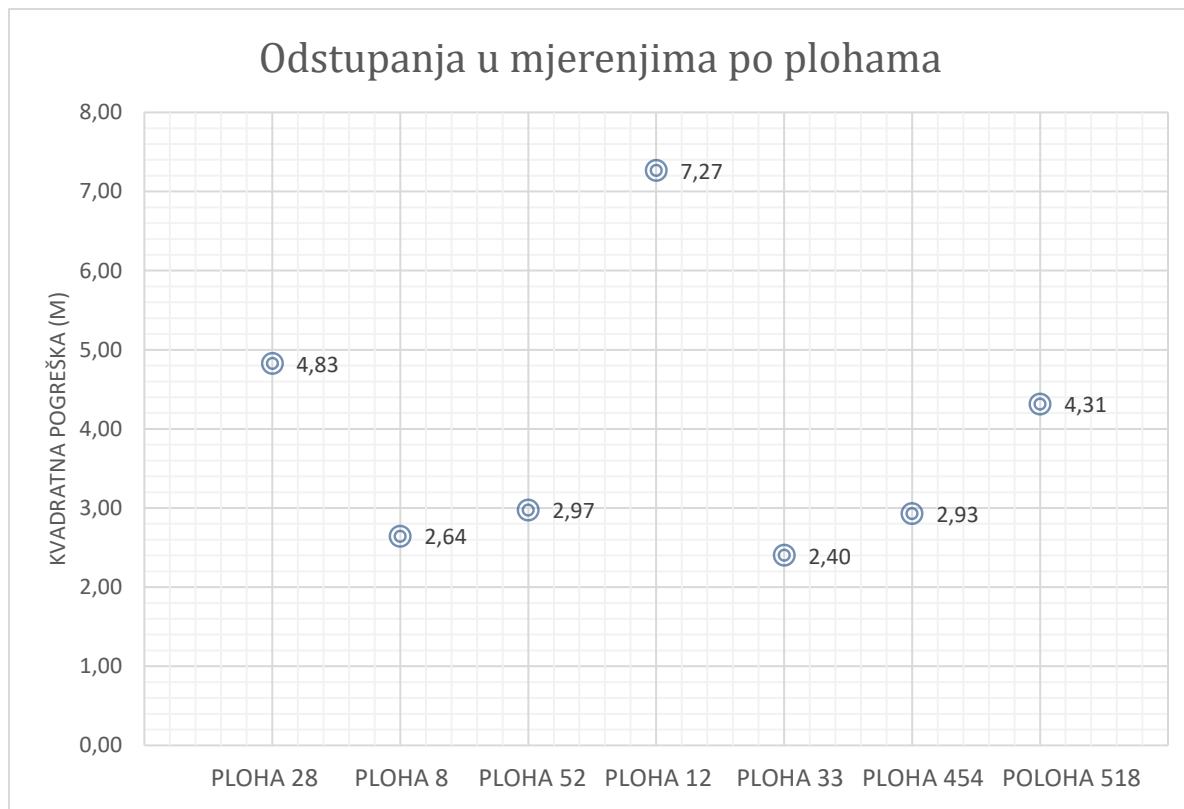
VISINE (TEREN)	VISINE (LiDAR)	RAZLIKA
39	35,3	3,7
31,9	29,9	2
35,7	32,6	3,1
30,8	35,4	4,6
37,3	34,8	2,5
36,1	27,9	8,2
35,4	33,5	1,9
36,4	34	2,4
37,2	31,2	6
	32,7	
	31,9	

Grafički prikaz 7. Odsjek 8b; ploha 518



U Tablici 7. i grafičkom prikazu 7., koji se odnose na Plohu 518, također je vidljiva razlika u visinama dobivenim terenskom izmjerom i laserskim skeniranjem iz zraka. Unutar ove plohe uspoređivane su visine za veći broj stabala, njih 11. Za stabla 10 i 11 nije evidentirana visina izmjerena na terenu. Prosječna pogreška iznosi 3,8 metara. Minimalna pogreška iznosi 1,9 metara, a maksimalna pogreška iznosi 8,2 metara.

Grafički prikaz 8. Prikaz kvadratnih pogrešaka po plohama



Na grafičkom prikazu 8. vidljive su kvadratne pogreške za pojedinu plohu. Ploha 12 ima najveću pogrešku koja iznosi 7,27 dok je najmanja pogreška za plohu 33.

5. RASPRAVA

U ovom se radu prikazala izmjera sedam ploha metodom laserskog skeniranja iz zraka te su se dobiveni podatci uspoređivali s podacima dobivenim terenskom izmjerom. Kod svakog stabla utvrđenja je razlika u izmjerenim visinama. Razlike u visinama za pojedinačna stabla odstupala su neovisno o vrsti ili samoj visini stabla. Prosječna odstupanja su iskazana za svaku plohu koje su se promatrale kao zasebni manji segmenti. Primarna problematika izmjere šuma i visina pojedinačnih stabla odnosi se na samu vrstu drveća. Kod četinjača posebice smreka jela i vrsta sličnog habitusa određivanje visine stabla jednostavnije je i kod terenske izmjere, ali i kod laserskog skeniranja iz zraka, što za posljedicu ima točnije podatke o visini samih stabala. Hrast lužnjak i poljski jasen po svojem habitusu znatno se razlikuju od četinjača te sama građa krošnje otežava terensko utvrđivanje vrha krošnje, ali se i kod laserskog skeniranja iz zraka mogu javiti pogreške. U ovome radu uspoređivali su se podatci dobiveni laserskim skeniranjem iz zraka s terenskim podacima. Jedno od ključnih pitanja je da li su terenski podatci koji su uzeti kao referentni doista točni. Kod terenske izmjere osim vrste drveća i građe krošnje

samih stabala na točnost utječe i ljudski faktor. Sibona i dr. (2016.) uspoređivali su točnost LiDAR-a i terenskih izmjera na način da su dobivene podatke o visinama uspoređivali sa stvarnom visinom stabala koja je izvedena iz 100 posječenih stabala. Otkrili su da je visina stabla izvedena iz podataka LiDAR-a bliža stvarnoj visini od mjerenja na terenu. Uzevši sve navedeno u obzir razlike u dobivenim podacima govore o većoj ili manjoj korelaciji između samih metoda izmjere šuma, ali terenska mjerenja nužno ne moraju biti referentna.

6. ZAKLJUČCI

Dobiveni podatci koji su prikupljeni laserskim skeniranjem iz zraka (LiDAR) mogu se koristiti za potrebe izmjere šuma te određivanje visina stabala zahvaljujući oblaku točaka unutar kojeg je svaka točka definirana sa sve tri koordinate (x, y i z).

Izmjera šuma često zahtjeva izmjere velikih površina te je terenska metoda izmjere na takvim površinama vrlo skupa te zahtjeva puno vremena rada. Također, određeni tereni na kojima treba provesti izmjeru nisu pristupačni ili sigurni za kretanje.

Metodom laserskog skeniranja iz zraka osigurava se brzo snimanje i pristup nepristupačnim terenima.

Terenska izmjera ovisi o vrsti stabala, habitusu i građi krošanja te ljudskom faktoru što može utjecati na točnost dobivenih podataka.

Dobivenim rezultatima za sedam ploha utvrđene su pogreške na razini stabla i na razini ploha.

6. LITERATURA

1. Balenović, I., 2011: Mogućnost primjene digitalnih aerofotogrametrijskih snimaka različitih prostornih rezolucija u uređivanju šuma, Disertacija, 166 str., Zagreb.
2. Balenović, I., Alberti, G., Marjanović, H., 2013: Airborne Laser Scanning – the Status and Perspectives for the Application in the South-East European Forestry, SEEFOR, 4(2): 59-79
3. Baltsavias, E.P., 1999: A comparison between photogrammetry and laser scanning, Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54: 89-94
4. Basa, L., Juraj, I. (2011): Oblak točaka i AutoCAD Civil 3D 2011, Ekscentar, no. 14, str. 34-39, URL-2: <http://hrcak.srce.hr/file/106551> (12.4.2023.)
5. Berta, A. (2017). *Procjena šumske biomase pomoći LIDAR tehnologije u degradiranim šumama brežuljkastoga i nizinskoga vegetacijskog pojasa u središnjoj Hrvatskoj* (Disertacija). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:171875> (12.4.2023.)
6. Donassy, V. i dr. (1983): Daljinska istraživanja u geoznanostima, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.
7. Đapo, A., Kordić, B., Medved, I., Miler, M. (2007): Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, no. 10, str. 35-38, URL-4: [hrcak.srce.hr/ file/32559](http://hrcak.srce.hr/file/32559) (12.4.2023.)
8. Golek, D., Dobrinić, D., Kordić, B. (2012): Usporedba terestričkih laserskih skenera Ekscentar, br. 15, pp. 54-61: <https://hrcak.srce.hr/file/121451> (12.4.2023.)
9. Ivšić, L., Pribičević, B., Đapo, A., Kordić, B., Babić, L., Govorčin, M., 2016: Klasifikacija LiDAR podataka na području urbanog jezera Jarun i analiza kvalitete podataka, Ekscentar, 19: 98-103
10. Jurjević, L. & Balenović Ivan (2022) Remote sensing for forest inventory. U: 7th SPLIT Remote Sensing Professional Summer School 2022.
11. Kičić, M. (2017). 'Upotreba lidarskih podataka pri praćenju vegetacije urbanih područja', Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, citirano: 28.04.2023.
12. Lin, Y., West, G., 2016: Retrieval of effective leaf area index (LAI_e) and leaf area density (LAD) profile at individual tree level using high density multi-return airborne LiDAR, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 50: 150-158
13. Miler, M., Đapo, A., Kordić, B., Medved, I., 2007: Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, 10: 35-38
14. N æ s s e t , E., 2004: Estimation of above- and belowground biomass in boreal forest ecosystems. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVI (8/W2): 145–148, Freiburg.
15. P e r n a r , R., D. Š e l e n d i ć , 2006: Prilog povećanju interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka za potrebe uređivanja šuma, Glas. šum. pokuse, pos. izd. 5: 467–477, Zagreb

16. Petrie, G., Toth, C.K., 2009: Airborne and Spaceborne Laser Profilers and Scanners, Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing, CRC Press: 29-85
17. Reutebuch, S.E., Andersen, H.-E., McGaughey, R.J., 2005: Light Detection and Ranging (LIDAR): An Emerging Tool for Multiple Resource Inventory, Journal of Forestry, 103(6): 286-292
18. Sibona, E.; Vitali, A.; Meloni, F.; Caffo, L.; Dotta, A.; Lingua, E.; Motta, R.; Garbarino, M. Direct measurement of tree height provides different results on the assessment of LiDAR accuracy. *Forests* **2016**, *8*, 7. [Google Scholar] [CrossRef]
19. Wehr, A., Lohr, U., 1999: Airborne laser scanning – an introduction and overview, Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54: 68-82
20. Zhang, C., Qiu, F., 2012: Mapping Individual Tree Species in an Urban Forest Using Airborne Lidar Data and Hyperspectral Imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 78(10): 1079-1087

Linkovi:

<https://www.eea.europa.eu/hr/articles/odrzivo-gospodarenje-kljucno-za-zdravlje>

<https://www.dji.com/hr/matrice-300>

7. SAŽETAK

Šume predstavljaju najrasprostranjeniji kopneni ekosustav i pružaju mnoge životno važne funkcije ekosustava za okoliš i klimu. S obzirom na to, šumama se nastoji gospodariti s ciljem održivog razvoja, a za to je potrebno u svakom trenutku imati pouzdanu informaciju o kvaliteti i kvantiteti šumskih resursa. Tradicionalno prikupljanje podataka u šumarstvu bazira se na prikupljanju podataka na terenu u obliku izmjere. Nove računalne tehnologije omogućavaju prikupljanje velikog broja prostornih informacija u kratkom vremenu. U posljednjih 30-ak godina zračno lasersko skeniranje (ALS – engl. Airborne Laser Scanning) temeljeno na LiDAR (engl. Light Detection and Ranging) tehnologiji pobuđuje veliki interes istraživača diljem svijeta i nalazi operativnu primjenu u šumarstvu. U skladu s aktualnom problematikom šumarstva koja se odnosi na brži, jednostavniji i jeftiniji načina prikupljanja prostornih podataka za potrebe izmjere šumskih resursa, u ovom radu ispitana je mogućnost primjene podataka dobivenih zračnim laserskim skeniranjem pri izmjeri šuma. Istraživanje je provedeno na području UŠP Vinkovci, šumarija Županja, na kojem se nalaze vrijedne šume hrasta lužnjaka i poljskog jasena. Za područje istraživanja iz LiDARSKIH podataka (3D oblak točaka) izrađen je digitalni model reljefa (DMR), digitalni model visina (DMV) i digitalni model visine krošanja (DMVK). Dobiveni podatci koji su prikupljeni laserskim skeniranjem iz zraka (LiDAR) mogu se koristiti za potrebe izmjere šuma te određivanje visina stabala zahvaljujući oblaku točaka unutar kojeg je svaka točka definirana sa sve tri koordinate (x, y i z).

Ključne riječi: zračno lasersko skeniranje (ALS), 3D prostorni podaci, inventura šuma, DMR, DMV, DMVK.

8. SUMMARY

Forests represent the most widespread terrestrial ecosystem and provide many vital ecosystem functions for the environment and climate. Considering this, forests are managed with the goal of sustainable development, and for this it is necessary to have reliable information about the quality and quantity of forest resources at all times. Traditional data collection in forestry is based on data collection in the field in the form of measurements. New computer technologies make it possible to collect a large amount of spatial information in a short time. In the last 30 years or so, airborne laser scanning (ALS - English Airborne Laser Scanning) based on LiDAR (English Light Detection and Ranging) technology arouses great interest of researchers all over the world and finds operational application in forestry. In accordance with the current issue of forestry, which refers to faster, simpler and cheaper ways of collecting spatial data for the purposes of measuring forest resources, this paper examines the possibility of applying data obtained by aerial laser scanning in forest measurement. The research was carried out in the area of Vinkovci FOREST ADMINISTRATION, Županja forestry, where there are valuable forests of larch oak and field ash. A digital terrain model (DTM), a digital surface model (DSM) and a canopy height model (CHM) were created for the research area from LiDAR data (3D point cloud). Based on the products of aerial laser scanning (DTM, DSM, CHM) on the selected experimental plots, the field measurement data of the heights of the main tree species were compared with the data from the Lidar survey. The obtained data collected by laser scanning from the air (LiDAR) can be used for the purposes of forest measurement and determination of tree heights thanks to the cloud of points within which each point is defined by all three coordinates (x, y and z).

Key words: aerial laser scanning (ALS), 3D spatial data, forest inventory, DTM, DSM, CHM.

9. ŽIVOTOPIS

Iva Šikić rođena je 03.05.1996. u Zagrebu. Osnovnu i srednju školu (opću gimnaziju) pohađala je u Zagrebu. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisuje 2015. godine, a 2020. stječe titulu sveučilišne prvostupnice radom na temu „Preobrazba brownfield područja u gradovima pejzažnom arhitekturom“ pod vodstvom prof. dr. sc. Damir Krajnik. Posljednja je godina diplomskog studija Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša.