



Primjena laserskoga skeniranja (LiDAR DJI Zenmuse L1) za procjenu strukturnih elemenata stabala i šumskih sastojina

Mario Ančić, Renata Pernar, Luka Kuljanac, Ante Seletković, Jelena Kolić

Nacrtač – Abstract

Napretkom tehnologije razvile su se nove metode prikupljanja podataka za potrebe daljinskih istraživanja. Jedna od takvih metoda je i LiDAR. Iako postoji desetljećima kao koncept, razvoj je bio usporen, jer sâm sustav obuhvaća više dijelova (laser, detektor, jedinica za obradu, GPS, inercijski mjerni uređaj i dr.) koji su bitni za funkcioniranje. Prvi primjenjivi LiDAR pojavio se pri kraju 20. stoljeća. Od toga vremena neprekidnim razvojem elektroničkih komponenti, računala i softvera smanjile su se fizičke dimenzije uređaja, ali se smanjila i njegova cijena te je LiDAR postao dostupan široj primjeni. Danas se proizvode dovoljno mali uređaji koji se mogu postaviti na bespilotne letjelice i koji se mogu koristiti prema potrebi. U ovom istraživanju LiDAR DJI Zenmuse L1 snimio je oblak točaka za izmjeru strukturnih parametara šume kako bi se utvrdila mogućnost primjene sustava za potrebe racionalizacije poslova i smanjivanja terenskoga rada, a ujedno upozorilo i na uočene prednosti i nedostatke primjene toga sustava.

Ključne riječi: daljinska istraživanja, LiDAR, bespilotna letjelica, prsni promjer, visina stabla

1. Uvod – Introduction

Šume i šumska zemljišta pokrivaju velike površine, ponekad nedostupne zbog konfiguracije terena. Kako bi se mogle provesti izmjere i pratiti promjene, potrebno je uvesti nove metode poput daljinskih istraživanja.

Jedan od najvećih zahvata u šumarstvu predstavlja prikupljanje podataka visoke točnosti na velikim površinama za potrebe izrade osnova gospodarenja i inventure šuma (Pranjić i Lukić 1997). Takav zahvat razumijeva angažman velikoga broja osoba u dužem razdoblju (Arslan i dr. 2022, Bodaghi i dr. 2022).

Klimatske promjene, ubrzane antropološkim utjecajem, u posljednje vrijeme postaju sve izraženije i intenzivnije te izazivaju nagle i nepredvidive vremenske nepogode s jakim vjetrovima i obilnom oborinom. Takvi vremenski uvjeti čine štetu na šumi (vjetrolomi, vjetrolomi i dr.) i narušavaju strukturu, a šumarski stručnjaci moraju izići na teren kako bi proveli izmjeru i procijenili nastalu štetu.

Upravo nove metode poput daljinskih istraživanja u šumarstvu pronalaze plodno tlo za prikupljanje i obradu velikoga broja podataka o šumama, njihovu zdravstvenom stanju i o mogućim opasnostima.

Primjenom daljinskih istraživanja u šumarstvu unapređuje se inventura šuma, smanjuje udio rada na terenu i omogućuje ušteda vremena i novca (Pernar i Šelendić 2006, Pernar i dr. 2020, Kolić i dr. 2025).

Stalnim napretkom tehnologije omogućena je izrada novih i unaprijeđeni postojeći senzori koji se koriste u daljinskim istraživanjima. Oni postaju sve pristupačniji i široko primjenjivi poput LiDAR-a (LiDAR – Light detecting and ranging), odnosno laserskoga 3D skeniranja. LiDAR je aktivni sustav, koji radi na principu emisije svjetlosnih impulsa, pri čemu se mjeri vrijeme njihova povratka i izračunava udaljenost između senzora i objekta. Pri snimanju LiDAR-om obično se koristi valna duljina bliskoga infracrvenoga spektra (900–1064 nm) jer omogućuje visoku refleksiju vegetacijske površine (Lefsky i dr.

2002). Rezultat je trodimenzionalni prikaz u obliku oblaka točaka s koordinatama X, Y i Z za svaku snimljenu točku.

LiDAR-i, prema platformi koja ih nosi pri snimanju, dijele se na terestričke (*Terrestrial Laser Scanning – TLS*), zračne (*Airborne Laser Scanning – ALS*), bespilotne (*UAS – Unmanned Aerial Vehicle (UAV) laser scanning*) i svemirske (*Spaceborne Laser Scanning – SLS*) (Petrie i Toth 2009, Beland i dr. 2019). Za snimanje iz zraka (ALS i SLS) služe razne platforme (npr. sateliti, zrakoplovi, bespilotne letjelice), koje omogućuju brzo i precizno prikupljanje trodimenzionalnih informacija o strukturnim svojstvima šuma i procjenu njihovih promjena (Lefsky i dr. 1999, Zimble i dr. 2003, Hall i dr. 2005, Maltamo i dr. 2005, Reutebuch i dr. 2005, Kellner i Asner 2009, Jaskierniak i dr. 2011, Ussyshkin i Theriault 2011, Valbuena i dr. 2013, Waseri dr. 2013, Queinac i dr. 2022, Rocha i dr. 2023, Balestra i dr. 2023, Balestra i dr. 2024, Kolić i dr. 2025).

Najčešće se u šumarstvu koriste sustavi ALS. Oni uključuju četiri osnovne komponente: LiDAR senzor, GPS uređaj, inercijsku mjernu jedinicu (IMU) te računalo za upravljanje i pohranu podataka (Baltsavias 1999, Wehr i Lohr 1999, Reutebuch i dr. 2005, Damić 2013).

Smanjivanje dimenzija LiDAR-a, integracija u bespilotne letjelice, visoka točnost i mogućnost prikupljanja podataka kroz krošnje bez obzira na vremenske uvjete, čini ga posebno pogodnim za potrebe šumarstva jer omogućuje snimanje šumske strukture i izradu preciznih modela terena.

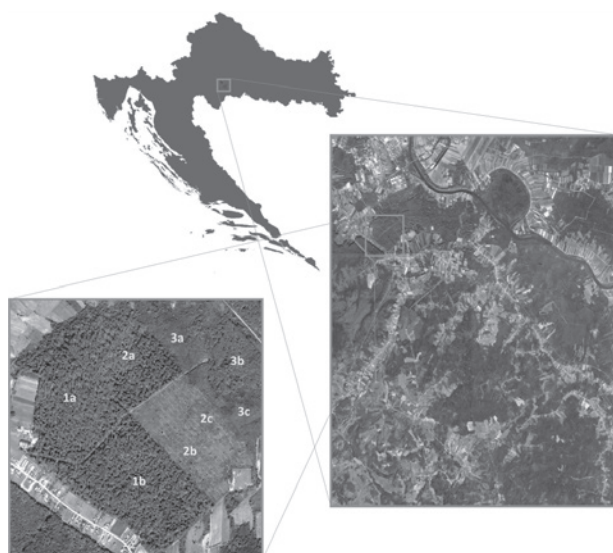
Cilj je rada na jednom odsjeku unutar gospodarske jedinice Petrinjski lug – Piškornjač ispitati mogućnost uporabe LiDAR-a za izmjeru parametara sastojina radi smanjivanja terenskoga rada i uštede vremena pri poslovima u uređivanju šuma te upozoriti na eventualne nedostatke pri obradi snimljenih podataka.

2. Materijal i metode – *Material and methods*

2.1 Područje istraživanja – *Study area*

Istraživanje je provedeno na području Uprave šuma podružnica Sisak, Šumarija Petrinja, GJ Petrinjski lug – Piškornjač, odsjek 1a (slika 1) površine 27,6 ha, starosti 125 godina. Glavna vrsta drveća bila je hrast lužnjak ophodnje 140 godina.

Na području istraživanja provedeno je snimanje LiDAR-om DJI Zenmuse L1 postavljenim na bespilotnu letjelicu DJI Matrice 300 RTK (HŠ d.o.o.). Li-

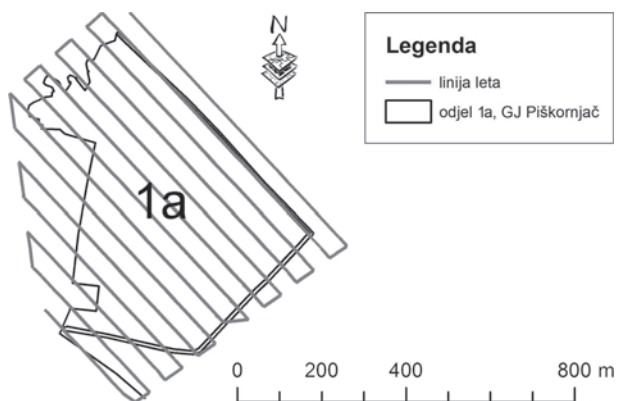


Slika 1. Položaj GJ Petrinjski lug – Piškornjač i područja istraživanja (odsjek 1a)

Fig. 1 Location of Management Unit Petrinjski lug – Piškornjač and research area (subcompartment 1a)

DAR DJI Zenmuse L1 odlikuje mogućnost rada u raznim uvjetima, velika brzina skeniranja od 240 000 točaka u sekundi za jedan, odnosno do 480 000 točaka u sekundi pri dva odnosno tri povrata po odaslanoj zruci. Osim navedenoga u L1 LiDAR integriran je i 20-megapikselni senzor RGB.

Prije samoga snimanja, za odabrani odjel, projektirane su linije leta (slika 2) po kojima će se letjelica kretati i snimati.



Slika 2. Projektirana linija leta bespilotne letjelice

Fig. 2 Projected flight paths of unmanned aerial vehicle

Snimano je zimi dok su stabla bez lišća kako bi se LiDAR-om prikupilo što više točaka. Za svaku je točku dobiven točan prostorni položaj definiran

koordinatama X, Y i Z, odmah su snimljene i RGB aerosnimke, koje su poslije korištene u predobradi podataka za vizualno poboljšanje oblaka točaka.

2.2 Obrada LiDAR-ovih podataka – LiDAR data processing

Nakon snimanja provedena je predobrada u programu DJI Terra, gdje su snimljene točke spojene s geolokacijskim podacima, a oblaku točaka pridruženi su podaci sa senzora RGB kako bi svaka točka dobila stvarnu boju.

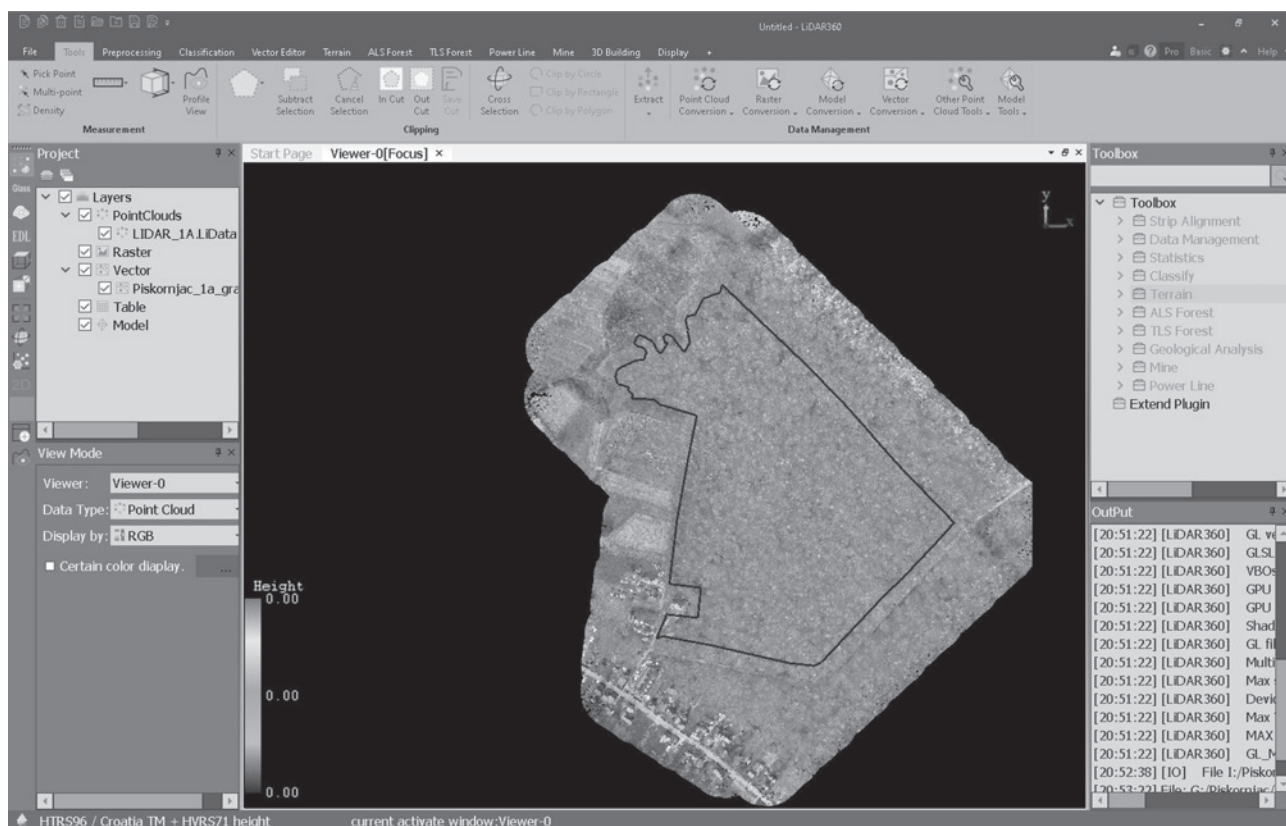
Daljnja obrada podataka rađena je pomoću softvera LiDAR360 tvrtke GreenValley, u kojem je učitani oblak točaka presječen vektorom granice odsjeka 1a preuzetim iz baze Hrvatskih šuma d.o.o. kako bi se dobili podaci vezani isključivo uz odsjek 1a (slika 3).

Za izdvojeni oblak točaka provedena je klasifikacija (tablica 1, slika 4) i postupak normalizacije. Normalizacija je postupak povezivanja oblaka točaka s površinom geoida koordinatnoga sustava u kojem je obavljeno snimanje (HTRS96/TM) kako bi se ujednačili podaci i pripremili za daljnju obradu i analizu.

Tablica 1. Visinske klase proizvoljne podjele primijenjene u klasifikaciji snimljenoga oblaka točaka

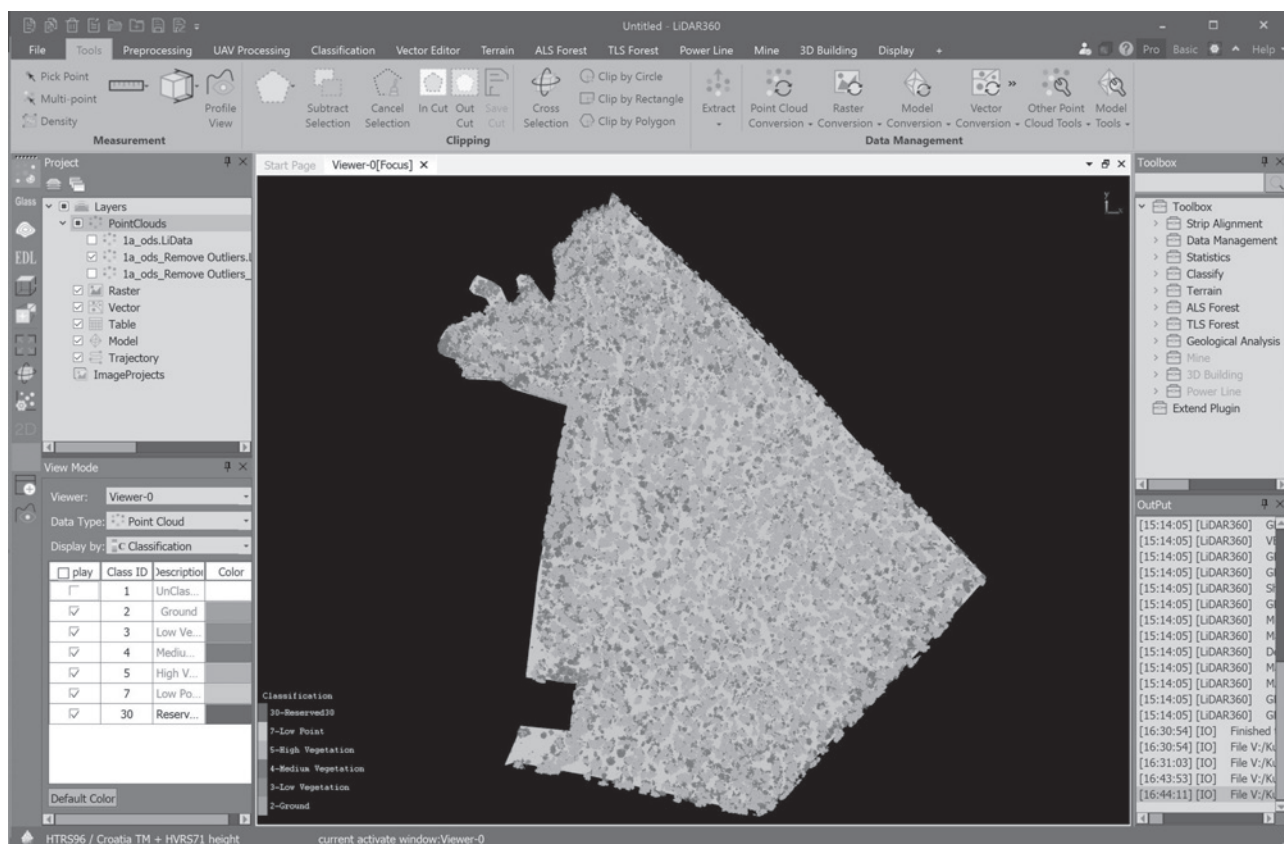
Table 1 Height classes of arbitrary division applied in the classification of the recorded point cloud

Visinske klase – Height classes					
Tlo Ground	Prizemno raslinje Low point	Prsni promjer Diameter at breast height	Niska vegetacija Low vegetation	Srednje visoka vegetacija Medium vegetation	Visoka vegetacija High vegetation
0 m	0 – 1,2 m	1,2 – 1,5 m	1,5 – 8 m	8 – 25 m	25 – 50 m



Slika 3. Oblak točaka s vektorskom granicom odsjeka 1a

Fig. 3 Point cloud with shapefile of subcompartment 1a



Slika 4. Prikaz nakon provedene klasifikacije oblaka točaka za odsjek 1a

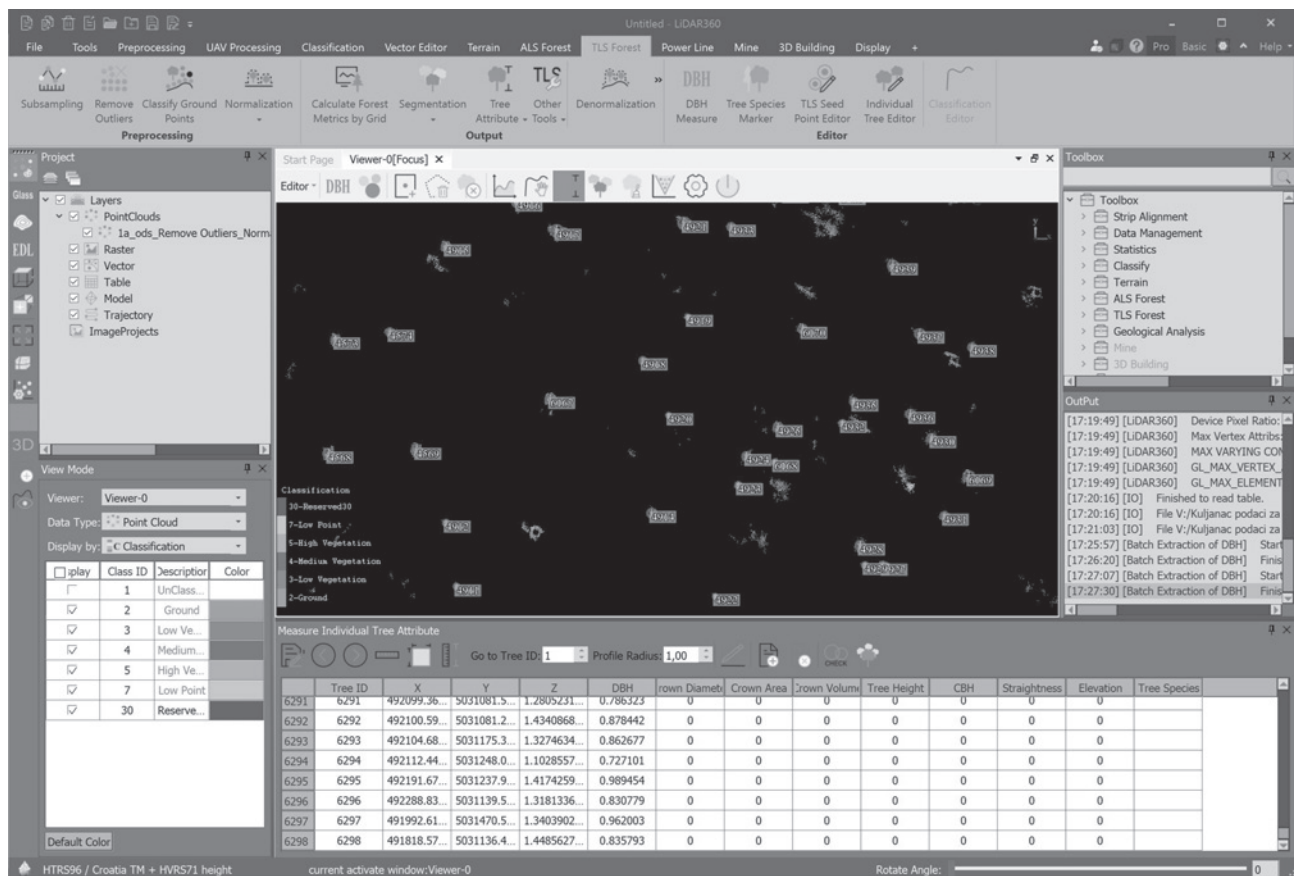
Fig. 4 View after point cloud classification for subcompartment 1a

Nakon klasifikacije i normalizacije slijedio je automatizirani postupak čišćenja oblaka točaka, kojim su uklonjene suvišne točke (točke koje program ne može povezati s objektima snimanja zbog prevelikoga rasipanja), a pročišćeni je oblak točaka pohranjen za daljnju obradu u postupku segmentacije.

Segmentacija započinje izradom početnih točaka (eng. *seed points*) u TLS modulu. Početne točke služe kao polazna osnova za algoritme segmentacije debla

u daljnjoj obradi i analizi. U našem slučaju one su prsni promjeri za koje se moraju definirati širina i visina zone unutar koje program traži točke za izmjeru.

Broj snimljenih točaka unutar zone varira od stabla do stabla, ovisno o grmlju, rasporedu i gustoći stabala i krošnji, odnosno količini listova na stablima. Što je veći broj točaka unutar zone, program lakše mjeri prsni promjer stabla (slika 5).

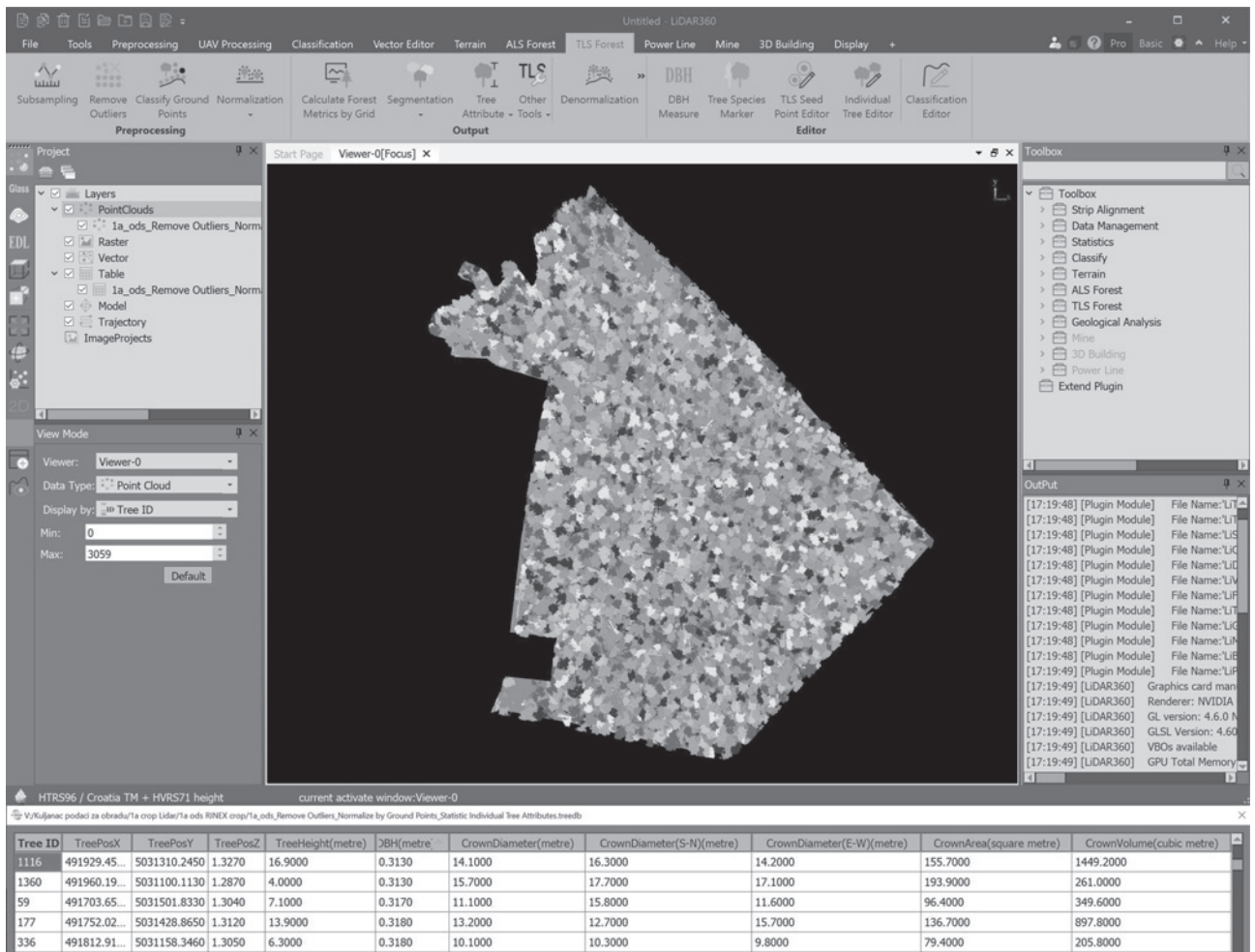


Slika 5. Postupak automatskoga izdvajanja prsnih promjera

Fig. 5 Procedure for automatic extraction of diameter at breast height (DBH)

Pri izdvajanja početnih točaka prsnih promjera za svaki je definiran njegov jedinstveni broj i prostorne koordinate X, Y i Z u zadanom koordinatnom sustavu, što je vidljivo u tablici koja se veže uz početne točke (slika 5) i kao takva pohranjuje za proces segmentacije.

Odabirom opcije TLS segmentation, na osnovi izdvojenih početnih točaka (iz prethodno formirane tablice) započinje automatizirani proces izdvajanja pojedinačnih stabala i izračun njihovih strukturnih parametara iz oblaka točaka (slika 7).



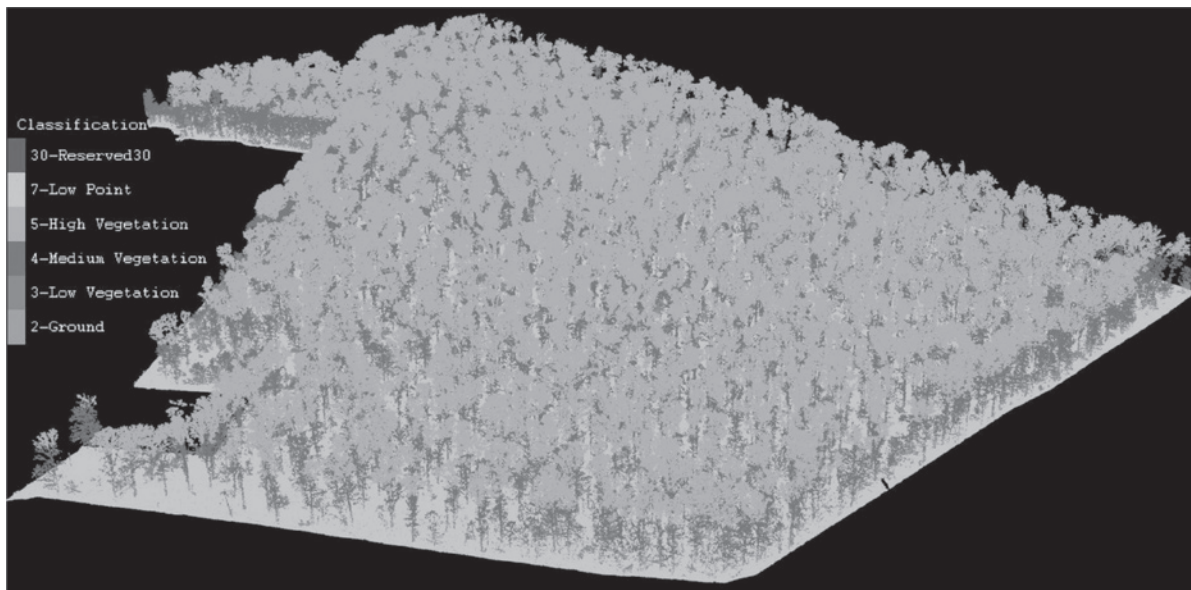
Slika 6. Provedena segmentacija i tablica nastala u postupku segmentacije

Fig. 6 Completed segmentation and the table generated during the segmentation process

Završetkom procesa segmentacije, uz grafički prikaz rasporeda izdvojenih stabala dobiva se i tablica s koordinatama, prsnim promjerom, visinom te podaci o promjerima, površini i volumenu krošnje svakoga izdvojenoga stabla (slika 6).

3. Rezultati – Results

Rezultat prvoga dijela obrade podataka je klasificirani oblak točaka sa šest proizvoljno određenih visinskih klasa (slika 7).



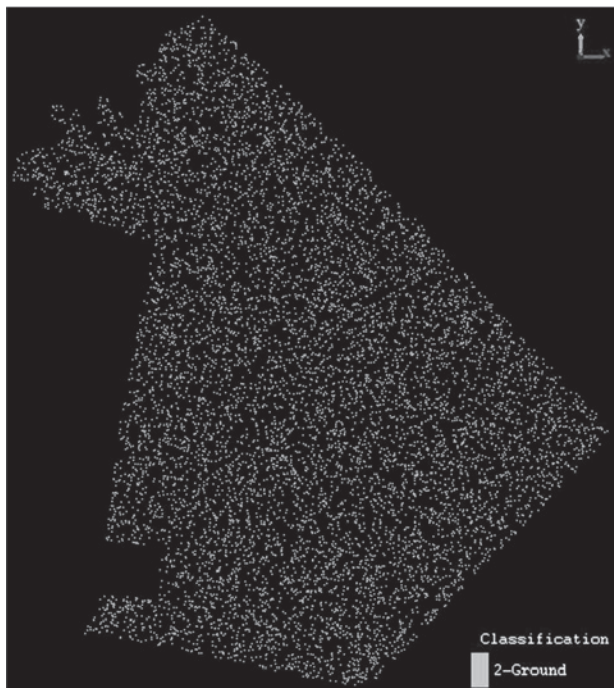
Slika 7. Rezultat klasifikacije preostalog dijela neklasificiranih točaka: perspektivni prikaz

Fig. 7 Result of the classification of the remaining unclassified points: perspective view

Najvažniji dio u postupku je klasifikacija točaka na tlu (eng. *ground points*), a odnosi se na identifikaciju i označivanje točaka unutar snimljenoga oblaka točaka koje predstavljaju površinu tla. Taj je postupak ključan jer upravo on definira digitalni model

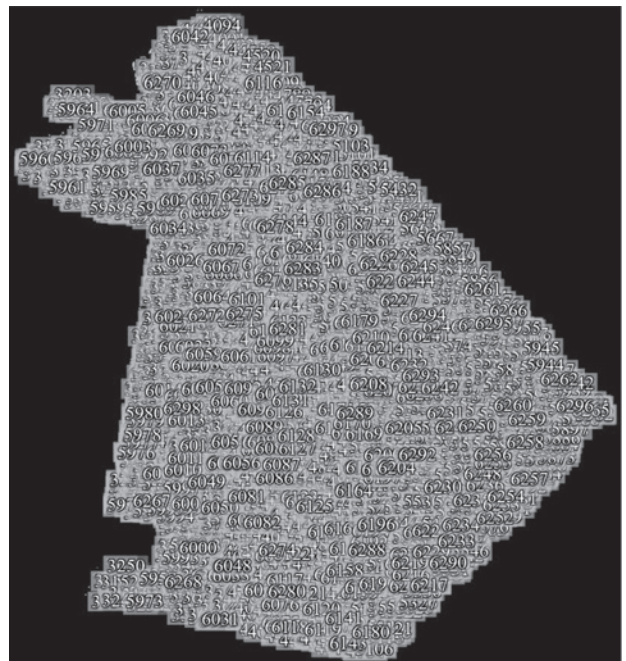
visine (eng. *digital elevation model*) i sve druge podatke o terenu (slika 8).

Na osnovi klasificiranih podataka izdvojene su 6342 početne točke, odnosno program je registrirao toliko prsnih promjera stabala unutar odsjeka 1a i sve ih označio s Tree ID (slika 9).



Slika 8. Klasificirane točke na tlu (*ground points*) u program LiDAR360

Fig. 8 Classified ground points in LiDAR360 software



Slika 9. Rezultat automatskoga izdvajanja početnih točaka u program LiDAR360

Fig. 9 Result of automatic extraction of seed points in LiDAR360 software

Kako bi se prikazalo stvarno stanje izdvojenih početnih točaka, uvećan je jedan segment (slika 10).



Slika 10. Uvećani dio rezultata izdvajanja početnih točaka (prсни promjeri)

Fig. 10 Enlarged section of seed point extraction results (diameter at breast height)

Na uvećanom dijelu može se primijetiti kako, unatoč dovoljnomu broju i uočljivu kružnom rasporedu točaka, neki prсни promjeri nisu izdvojeni, dok je kod drugih došlo do velikoga osipanja pa također nisu izdvojeni.

Pretpostavka je da su se navedena odstupanja dogodila zbog velikoga osipanja točaka zbog gušće podstojne etaže (slika 11).

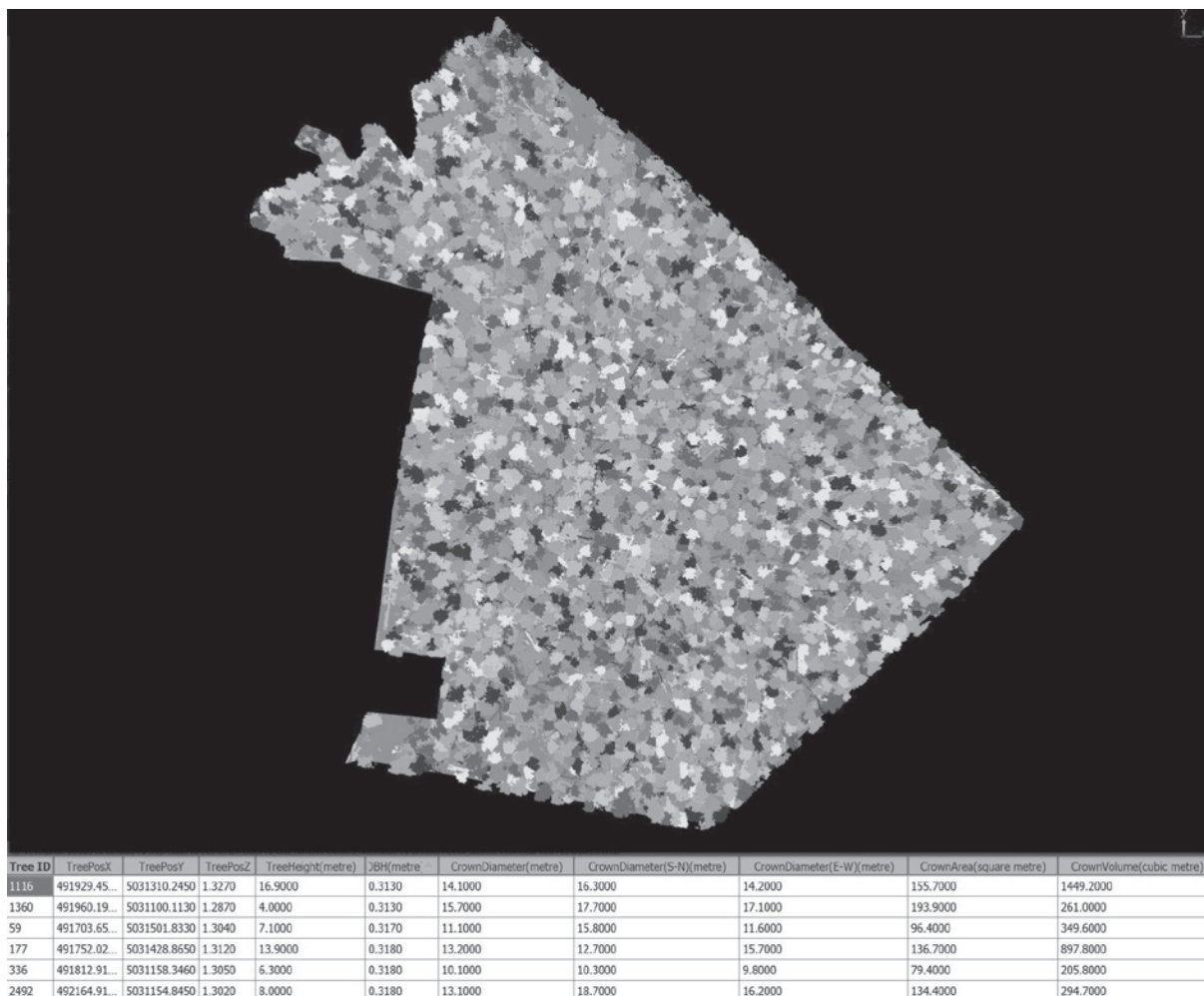
Nakon provedenoga postupka segmentacije na osnovi izdvojenih početnih točaka kao rezultat dobivaju se izdvojena stabla na cijeloj površini odsjeka 1a (slika 12).

Izdvojena su stabla prikazana različitim bojama, a uz njih je formirana i tablica strukturnih parametara (slika 12), koja uz identifikacijski broj (Tree ID) sadrži podatke o točnom položaju (prostorne koordinate) svakoga izdvojenoga stabla, njegov prсни promjer i visinu te za krošnju podatke o promjeru, površini i volumenu. U tablici se mogu pregledavati vrijednosti za svako stablo, a u slučaju uočenih nepravilnosti to se stablo može izdvojiti i vizualno pregledati na osnovi koordinata i identifikacijskoga broja (Tree ID).



Slika 11. Uvećani segment bočnoga prikaza (zona točaka prikazana crvenom bojom za izdvajanje početnih točaka, imenovana kao Reserved 30)

Fig. 11 Enlarged segment of lateral view (zone of points displayed in red for seed point extraction, labeled as Reserved 30)

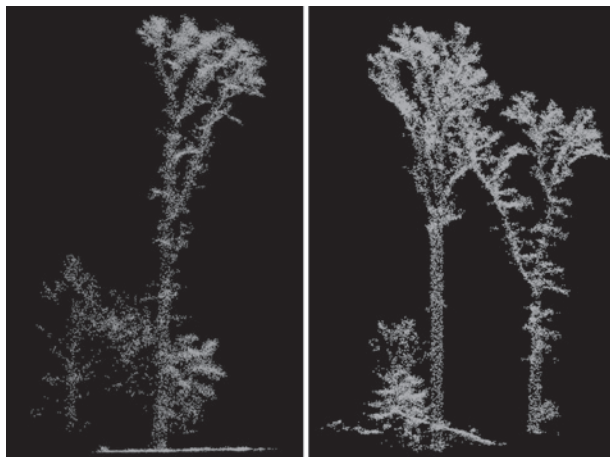


Slika 12. Rezultat provedenoga postupka segmentacije (grafički prikaz segmentiranih stabala i tablica s podacima strukturnih parametara)

Fig. 12 Result of segmentation procedure (a graphical representation of segmented trees and a table containing structural parameter data)

Budući da je napravljen automatski postupak izdvajanja polaznih točaka, može se pretpostaviti da će se pojaviti nelogični podaci u obliku grupacije točaka u veći oblak na mjestima gdje je bilo više grmova ili su stabla bila bliža jedna drugima, te će se oni spojiti i segmentirati zajedno ili će se spojiti s nekim od stabala koja se nalaze u njihovoj blizini (slika 13).

Tako uočene greške potrebno je naknadno obraditi i za njih izdvojiti ručnim postupkom polazne točke te ponoviti segmentaciju. Cijeli postupak naknadne obrade lako je izvesti na manjim ploham, dok je na velikim površinama isti postupak teško i nepraktično provoditi.



Slika 13. Greške nastale pri automatskom izdvajanju polaznih točaka uočljive nakon segmentacije

Fig. 13 Errors occurring during automatic extraction of seed points, observable after segmentation procedure

4. Zaključak – Conclusion

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti:

- ⇒ Pomoću LiDAR-a moguće je skenirati sastojinu i provesti izmjeru strukturnih parametara sa zadovoljavajućim rezultatima.
- ⇒ Primjena LiDAR-a može pridonijeti rješavanju mnogih problema s kojima se svakodnevno susreću šumari pri klasičnom načinu izmjere, obrade i analize podataka u uređivanju šuma.
- ⇒ Primjenom LiDAR-a ne isključuje se terenski rad, već njegova primjena pomaže u racionalizaciji poslova (npr. za potrebe uređivanja šuma), što smanjuje opseg terenskoga rada i tako štedi vrijeme i novac.
- ⇒ Podaci dobiveni LiDAR-om omogućuju izradu preciznoga modela reljefa, koji se mogu koristiti pri planiranju i modeliranju za druge potrebe u šumarstvu (uzgojni radovi, sječa, izvlačenje i dr.).
- ⇒ Potrebno je kontinuirano pratiti najnovija dostignuća u razvoju LiDAR-a i softvera za obradu snimljenih podataka kako bi se poboljšala i olakšala njihova primjena u operativi.
- ⇒ Prilikom snimanja LiDAR-om uočeni su i neki od nedostataka vezanih uz prethodnu obradu snimljenih podataka (povezivanje i usklađivanje s prostornim podacima ...), odgovarajuću softversku i hardversku podršku (visoke cijene, zahtjevi za jakim hardverom, softverska podrška ...) i dr., a koje treba još ispitati, jer sada se u šumarstvu već primjenjuju noviji sustavi LiDAR-a (DJI Zenmuse L2) i novije programske podrške (DJI Terra).

5. Literatura – References

- Arslan, A. E., M. İnan, M. F. Çelik, E. Erten, 2022: Estimations of forest stand parameters in open forest stand using point cloud data from terrestrial laser scanning, Unmanned Aerial Vehicle and Aerial LiDAR Data. *European Journal of Forest Engineering*, 8(2): 46–54. <https://doi.org/10.33904/ejfe.1174123>
- Balestra, M., E. Tonelli, A. Vitali, C. Urbinati, E. Frontoni, R. Pierdicca, 2023: Geomatic data fusion for 3D tree modeling: The case study of monumental chestnut trees. *Remote Sensing*, 15(8), 2197. <https://doi.org/10.3390/rs15082197>
- Balestra, M., S. Marselis, T. T. Sankey, C. Cabo, X. Liang, M. Mokroš, X. Peng, A. Singh, K. Stereńczak, C. Vega, V. Gregoire, M. Hollaus, 2024: LiDAR data fusion to improve forest attribute estimates: A review. *Current Forestry Reports*, 10: 281–297. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00223-7>
- Baltsavias, E. P., 1999: Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogramme-*
- try and Remote Sensing* 54(2–3): 199–214. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00015-5)
- Beland, M., G. Parker, B. Sparrow, D. Harding, L. Chasmer, S. Phinn, A. Antonarakis, A. Strahler, 2019: On promoting the use of lidar systems in forest ecosystem research. *Forest Ecology and Management*, 450: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117484>
- Bodaghi, M., J. Kránitz, A. Jung, 2022: UAV lidar imaging-based forest mapping. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Cartography and GIS*, T. Bandrova, M. Konečný, S. Marinova (eds.), Nessebăr, Bulgaria, 20–25 June 2022, Volume 2: 229–236.
- Damić, D., 2013: LiDAR – primjena u šumarstvu. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Završni rad, 17 str.
- Hall, S. A., I. C. Burke, D. O. Box, M. R. Kaufmann, J. M. Stoker, 2005: Estimating stand structure using discrete-return lidar: An example from low density, fire prone ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 208(1–3): 189–209. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.12.001>
- Jaskierniak, D., P. N. J. Lane, A. Robinson, A. Lucieer, 2011: Extracting LiDAR indices to characterise multilayered forest structure using mixture distribution functions. *Remote Sensing of Environment*, 115(2): 573–585. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.10.003>
- Kellner, J. R., G. P. Asner, 2009: Convergent structural responses of tropical forests to diverse disturbance regimes. *Ecology Letters*, 12(9): 887–897. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01345.x>
- Kolić, J., R. Pernar, A. Seletković, M. Ančić, 2025: Determining the accuracy of structural parameters measured from LiDAR images in lowland oak forests. *Forests*, 16(2), 340. <https://doi.org/10.3390/f16020340>
- Lefsky, M. A., W. B. Cohen, S. A. Acker, T. A. Spies, G. G. Parker, D. Harding, 1999: Lidar remote sensing of biophysical properties and canopy structure of forest of Douglas-fir and western hemlock. *Remote Sensing Environment*, 70(3): 339–361. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00052-8)
- Lefsky, M., W. Cohen, G. Parker, D. Harding, 2002: LiDAR remote sensing for ecosystem studies. *Bioscience*, 52(1): 19–30. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0019:LRSFES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0019:LRSFES]2.0.CO;2)
- Maltamo, M., P. Packalen, X. Yu, K. Eerikainen, J. Hyypä, J. Pitkanen, 2005: Identifying and quantifying structural characteristics of heterogeneous boreal forests using laser scanner data. *Forest Ecology and Management*, 216(1–3): 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.034>
- Oluić, M., 2001: Snimanje i istraživanje zemlje iz svemira: sateliti, senzori, primjena. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Geosat d.o.o. za istraživačko razvojne usluge, Zagreb, 51 str.

Perić, M., 2018: Mogućnosti primjene metoda daljinskih istraživanja za praćenje stanja šuma uzrokovano elementarnim nepogodama. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Diplomski rad, 47 str.

Pernar, R., D. Šelendić, 2006: Prilog povećanju interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka za potrebe uređivanja šuma. Glasnik za šumske pokuse, 5: 467–477.

Pernar, R., M. Ančić, A. Seletković, J. Kolić, 2020: Važnost daljinskih istraživanja pri procjeni šteta na šumskim sastojinama uzrokovanih velikim prirodnim nepogodama. U: Gospodarenje šumama u uvjetima klimatskih promjena i prirodnih nepogoda, I. Anić (ur.), HAZU, Zagreb, 143–160.

Petrie, G., C. K. Toth, 2009: Introduction to laser ranging, profiling and scanning. In: Topographic laser ranging and scanning, J. Shan, C. K. Toth (eds.), CRC Press, Palm Beach County, Florida, United States, 1–28.

Pranjić, A., N. Lukić, 1997: Izmjera šuma. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 410 str.

Queinnec, M., N. C. Coops, J. C. White, G. McCartney, I. Sinclair, 2022: Developing a forest inventory approach using airborne single photon lidar data: From ground plot selection to forest attribute prediction. *Forestry*, 95(3): 347–362. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpab051>

Reutebuch, S. E., H.-E. Anderson, B. J. McGaughey, 2005: Light detection and ranging (LiDAR): An emerging tool for multiple resource inventory. *Journal of Forestry*, 103(6): 286–292.

Rocha, K. D., C. A. Silva, D. N. Cosenza, M. Mohan, C. Klauber, M. B. Schlickmann, J. Xia, R. V. Leite, D. R. A. Almeida, J. W. Atkins, 2023: Crown-level structure and fuel load characterization from airborne and terrestrial laser scanning in a longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) forest ecosystem. *Remote Sensing*, 15(4), 1002. <https://doi.org/10.3390/rs15041002>

Ussyshkin, V., L. Theriault, 2011: Airborne lidar: Advances in discrete return technology for 3D vegetation mapping. *Remote Sensing*, 3(3): 416–434. <https://doi.org/10.3390/rs3030416>

Valbuena, R., P. Packalen, L. Mehtätalo, A. García-Abril, M. Maltamo, 2013: Characterizing forest structural types and shelterwood dynamics from Lorenz-based indicators predicted by airborne laser scanning. *Canadian Journal of Forest Research*, 43(11): 1063–1074. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-014>

Waser, L., R. Day, L. Chasmer, A. Taylor, 2013: Influence of vegetation structure on Lidar-derived canopy height and fractional cover in forested riparian buffers during leaf-off and leaf-on conditions. *PLoS ONE*, 8(1): e54776. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054776>

Wehr, A., U. Lohr, 1999: Airborne laser scanning – an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3): 68–82. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8)

Zimble, D. A., D. L. Evans, G. C. Carlson, R. C. Parker, S. C. Grado, P. D. Gerard, 2003: Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 87(2–3): 171–182. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00139-1)

Abstract

Application of Laser Scanning (LiDAR DJI Zenmuse L1) to Assess Structural Elements of Trees and Forest Stands

Advances in technology have led to the development of new methods for collecting data for remote sensing. One such method is LiDAR. Although LiDAR has existed as a concept for decades, its development has been slow because the system consists of several essential components (laser, detector, processing unit, GPS, inertial measurement unit, etc.). The first practical LiDAR systems appeared at the end of the 20th century. Since then, continuous advancements of electronic components, computers, and software have reduced both the physical size and the cost of these devices, making LiDAR accessible to the general public. Today, the devices are small enough to be mounted on unmanned aerial vehicles and used as needed. In this study, a point cloud was recorded using the DJI Zenmuse L1 LiDAR to measure the structural parameters of the forest, in order to assess the system's potential for streamlining work and reducing field efforts. At the same time, the observed advantages and disadvantages of using this LiDAR system have been highlighted.

Keywords: remote sensing, LiDAR, unmanned aerial vehicle, diameter at breast height, tree height

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Izv. prof. dr. sc. Mario Ančić *
e-pošta: mancic@sumfak.unizg.hr
Prof. dr. sc. Renata Pernar
e-pošta: rpernar@sumfak.unizg.hr
Prof. dr. sc. Ante Seletković
e-pošta: aseletkovic@sumfak.unizg.hr
Izv. prof. dr. sc. Jelena Kolić
e-pošta: jkolic@sumfak.unizg.hr
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Svetošimunska cesta 23
10000 Zagreb
HRVATSKA

Luka Kuljanac, univ. bacc. ing. silv.
e-pošta: lukakuljanac123@gmail.com
Ulica Vilka Panaca 11
44250 Petrinja
HRVATSKA

Primljeno (*Received*): 3. 11. 2025.
Prihvaćeno (*Accepted*): 24. 11. 2025.
Prethodno priopćenje – *Preliminary note*

*Glavni autor – *Corresponding author*