

Obrada podataka laserskog skeniranja korišćenjem LAStools softverskog paketa

JOVAN D. KOVAČEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Građevinski fakultet, Beograd
NIKOLA Č. STANČIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Građevinski fakultet, Beograd

Stručni rad
UDC: 621.396.962.3
DOI: 10.5937/tehnika1803339K

Laserska metoda snimanja iz vazduha se pokazala kao veoma efikasna za prikupljanje podataka o površi terena. Zbog izuzetno velike količine podataka koja je nastaje avio-laserskim skeniranjem, efikasno korišćenje ovih podataka podrazumeva korišćenje nekih poluautomatskih ili automatskih metoda. Za potrebe obrade podataka laserskog skeniranja na tržištu je na raspolaganju veliki broj rešenja, različitih po mogućnostima, ceni i efikasnosti. Jedno od takvih rešenja predstavlja LAStools softverski paket. Tema ovog rada su funkcionalnosti LAStools softverskog paketa, koje su eksperimentalno ispitane i ocenjene. Eksperiment je podrazumevao kreiranje standardnih topografskih produkata iz avio-oblaka tačaka primenom LAStools-a. Na kraju rada su doneti zaključci o mogućnostima LAStools softverskog paketa, uz poseban osvrt na prednosti i mane, mogućnosti i nedostatke.

Ključne reči: avio-LiDAR, LAStools, obrada oblaka tačaka

1. UVOD

Laserska metoda skeniranja iz vazduha (engl. Airborne Laser Scanning - ALS) se poslednjih nekoliko decenija pokazala kao izuzetno efikasna kada je reč o prikupljanju podataka o površi terena, a posebno u slučajevima kada je reč o šumskim područjima, područjima obraslim gustom vegetacijom i urbanim sredinama [1]. Ovako prikupljeni podaci se predstavljaju u formi oblaka tačaka, gde se pored X, Y i Z koordinata tačaka uobičajeno za svaku tačku čuvaju i dodatni raspoloživi atributi poput vrednosti intenziteta povratnog signala, broja povratnog signala, RGB komponente (ukoliko se u okviru sistema nalazi i digitalna kamera) itd [2].

ALS metodom se dobija izuzetno velika količina podataka koja u zavisnosti od karakteristika laserskog skenera, kao i parametara realizovanog leta skeniranja dostiže i preko 100 tačaka po m² [1], [2]. Priroda prikupljanja podataka korišćenjem laserskog skeniranja iz vazduha je takva da se veliki broj tačaka odnosi na različite objekte i pojave kao što su površ terena, vege-

tacija, dalekovodi, krovovi zgrada i dr. Uspešno korišćenje podataka laserskog skeniranja podrazumeva klasifikaciju tačaka iz oblaka prema tome na koje se pojave i objekte odnose. Za ove potrebe razvijen je veliki broj algoritama koji su implementirani u okviru komercijalnih i drugih softverskih alata za obradu podataka laserskog snimanja [2].

Jedno od softverskih rešenja namenjeno za obradu podataka dobijenih laserskim skeniranjem je i paket softverskih alata LAStools.. Koristeći neke od raspoloživih LAStools alatki moguće je, između ostalog, vršiti klasifikaciju, deljenje područja u manje delove, konverziju, filtriranje, rasterizaciju, triangulaciju, opsecanje sadržaja, kreiranje izohipsi i poligonizaciju LiDAR podataka [3].

U okviru ovog rada razmotrene su optimalne procedure kreiranja različitih topografskih produkata na osnovu avio-LiDAR podataka korišćenjem LAStools softverskog paketa. Kroz eksperiment na test području sa zastupljenim ravničarskim i brdovitim terenom, sa i bez vegetacije kao i sa izgrađenim veštačkim objektima., testirana je hipoteza o primenljivosti paketa za obradu podataka laserskog skeniranja. Analizirana je intuitivnost, izražajnost i performanse paketa, kao i kvalitet kreiranih izlaznih produkata. Cilj rada obuhvata ocenu funkcionalnosti LAStools softverskog paketa, uz poseban osvrt na prednosti i mane, mogućnosti i nedostatke.

Adresa autora: Jovan Kovačević, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: jkovacevic@grf.bg.ac.rs

Rad primljen: 21.05.2018.

Rad prihvaćen: 08.06.2018.

2. LASTOOLS SOFTVERSKI PAKET

Softverski paket LAStools je vodeći proizvod kompanije „Rapidlasso GmbH“ i predstavlja skup visokoefikasnih alati za obradu LiDAR podataka [3]. Softverski paket LAStools je organizovan u vidu alati koje su specijalizovane za izvršavanje pojedinačnih i konkretnih zadataka i mogu se izvršavati nad velikim setovima podataka. Softverski paket LAStools trenutno ima 52 alatke, kao i LASlib i LASzip biblioteke koja predstavljaju C++ API za čitanje/pisanje LiDAR podataka u standardnom LAS ili u kompresovanom LAZ formatu [3]. Pored korišćenja svake alatke posebno, za kompleksne procedure podržano je ulančavanje i kombinovanje alati u nekom od okruženja koje podržava skriptovanje. Radi poboljšanja performansi operacija, obradu je moguće raspodeliti na više (raspoloživih) procesorskih jezgara [3].

Alatke u okviru LAStools softverskog paketa su podeljene na dva dela. Prvi deo se odnosi na alatke koje su „besplatne“ za korišćenje i otvorenog koda (LGPL 2.1 [4]), a drugi deo čine alatke zatvorenog koda i koje zahtevaju licencu za većinu komercijalnih ili javnih upotreba. Sve alatke se mogu „slobodno“ koristiti za sve neprofitne, humanitarne i civilne edukativne potrebe, pri čemu će izlazni rezultati nelicenciranih verzija na kraju biti neznatno „pokvareni“ ukoliko je preoračen granični broj tačaka [3]. „Kvarenje rezultata“ podrazumeva ubacivanje šuma, brisanje pojedinih atributa tačaka, nasumično premetanje tačaka između klasa, ubacivanje crnih dijagonala duž izlaznih rezultata i sl. Kada god se to dogodi, korisnik se obaveštava na izlaznoj konzoli.

Svaka LAStools alatka radi na sledećem principu:

- uzima određenu količinu ulaznih podataka;
- primenjuje set algoritama uzimajući u obzir specifikovane parametre;
- izvozi rezultate seta algoritama u željenom formatu.

Alatke se mogu koristiti na sledeće načine:

- pozivom iz komandne linije;
- korišćenjem ugrađenog korisničkog interfejsa:
 - korisnički interfejsi za svaku alatku pojedinačno;
 - objedinjeni korisnički interfejs sa svim alatkama;
- integracijom sa ArcGIS, QGIS ili ERDAS IMAGINE softverima kao LiDAR Toolbox-a.

Od raspoloživih metoda korišćenja, korišćenje alati direktno iz komandne linije predstavlja najprirodniji i najizražajniji način korišćenja LAStools-a. Korišćenjem korisničkog interfejsa moguće je donekle pojednostaviti kreiranje sintaksno korektnih naredbi za komandu liniju. Korisnički interfejs LAStools alati

zapravo radi kao mehanizam kojim se vrednosti iz polja za upis, odabrane opcije i ostali specificirani parametri iz korisničkog interfejsa prvo „RUN“ dugmetom prevode u liniju koda za izvršavanje iz komandne linije. Kreiranoj liniji koda moguće je zatim izmeniti postojeće parametre ili je dopuniti novim parametrima, a tek zatim se naredba izvršava klikom na „START“ dugme interfejsa. Prednost ovakvog pristupa je što je kreiranu liniju za izvršavanje moguće sačuvati, kako bi se po potrebi naredni put direktno pokretala iz komandne linije ili koristila kao deo „batch“ procesa. Sa druge strane, pošto svako novo pokretanje alatke preko korisničkog interfejsa zahteva zadavanje i unošenje svih parametara (ne postoji mogućnost pamćenja ranije podešenih putanja i postavki), rad preko komandne linije značajno je brži.

Bez obzira na to da li je naredba ručno otkucana ili je kreirana korišćenjem korisničkog interfejsa, neophodno je da bude sledeće forme:

naziv_alatke set_parametara

Parametri, tj. sadržaj „set_parametara“ koji se koriste prilikom izvršavanja algoritma specificiraju se navođenjem naziva za konkretan parametar, nakon čega se, ukoliko to parametar zahteva, navodi vrednost koju korisnik želi da koristi. Redosled navođenja parametara nije od važnosti, a parametri se generalno mogu podeliti u dve grupe:

- opšti parametri – odnose se na parametre koji su nezavisni od alatke;
- specijalizovani parametri – zavise i specificiraju se za konkretnu alatku.

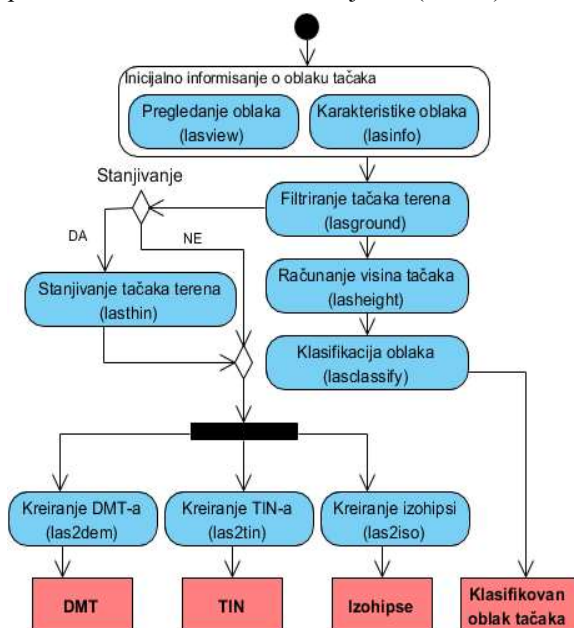
Opšti parametri se mogu primeniti za bilo koju alatku, čime se obezbeđuju funkcionalnosti poput definisanja ulaznih podataka, kreiranje izlaza, filtriranje i/ili transformacija ulaznog seta. Specijalizovani parametri su karakteristični za svaku alatku i upravo njima se obezbeđuju specifične funkcionalnosti svake alatke [3].

3. EKSPERIMENT

Eksperiment je osmišljen kako bi se ocenile mogućnosti LAStools softverskog paketa kao alata za kreiranje različitih topografskih produkata na osnovu avio-LiDAR podataka. Tom prilikom nisu iskorišćene funkcionalnosti svih raspoloživih alati, već samo one koje su neophodne za izvršavanje pojedinih koraka obrade. Eksperiment nije uzimao u obzir procedure inicijalne obrade podataka laserskog skeniranja, već je polazio od toga da su podaci raspoloživi kao georeferenciran, neklasifikovan oblak tačaka.

Prvi korak podrazumeva inicijalno upoznavanje sa oblakom tačaka, tj. 3D vizuelizacija oblaka lasview alatkom i dobijanje osnovnih statističkih karakteristika oblaka alatkom lasinfo. Naredni korak podrazumeva

procesiranje oblaka tačaka. U zavisnosti od ciljnih produkata, procesiranje može obuhvatati samo filtriranje tačaka terena lasground alatom radi kreiranja digitalnog modela terena (DMT) (las2dem), nepravilne mreže trouglova (engl. Triangulated Irregular Network – TIN) (las2tin) i/ili izohipsi (las2iso). Za ove produkte je moguće i dodatno izvršiti stanjivanje tačaka oblaka alatom lasthin, radi smanjivanja gustine tačaka u jednoličnim područjima. Ukoliko je krajnji cilj klasifikovan oblak tačaka, tada procesiranje nakon filtriranja mora da obuhvati i računanje visina tačaka terena koristeći lasheight alatu i zatim klasifikaciju tačaka alatom lasclassify. Nakon toga, rezultujući klasifikovan oblak tačaka može poslužiti za različite primene (vektORIZACIJU, 3D modeliranje itd.), pri čemu ovo neće biti obuhvaćeno ovim radom. Metodologija obrade podataka laserskog skeniranja pomoću LAStools paketa može se videti na sledećoj slici (slika 1).



Slika 1 - Obrada avio-LiDAR podataka LAStools paketom

3.1. Test područje

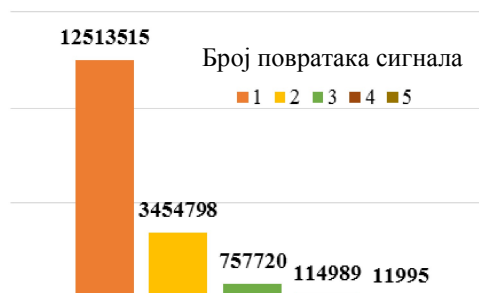
Skeniranje full-waveform LiDAR metodom izvršeno je u sklopu akvizicione kampanje maja 2017. godine. Podaci su prikupljeni RIEGL LMS-Q560 laserskim sistemom radi izrade topografskih podloga za potrebe izrade Idejnog projekta autoputa Beograd – Južni Jadran, sekcija III: Požega - Boljare [5]. Tokom inicijalne obrade izvršena je diskretizacija full-waveform signala, pri čemu je maksimalan broj povrataka signala ograničen na 5. Pored diskretizacije signala, obrada je podrazumevala georeferenciranje, poravnanje i uklapanje susjednih linija skeniranja. Izvršena je i kontrola kvaliteta korišćenjem orijentacionih tačaka i provera poravnanja susjednih linija skeniranja.

Kao test područje odabran je jedan segment kvadratnog oblika veličine 1 km × 1 km lociran istočno od naselja Arilje, Republika Srbija. Test područje karakterišu različiti tipovi reljefa, različit nivo urbanizacije (broj i veličina veštačkih objekata) i promenljivost količine i gustine vegetacije. Širi kontekst lokacije istraživanja, kao i njena konkretna lokacija prikazana je na narednoj slici (slika 2).



Slika 2 - Lokacija područja istraživanja na ortofoto mozaiku (maj 2017.)

Test područje sadrži ukupno 16.853.017 tačaka, sa histogramom prema broju povratnih impulsa prikazanom na sledećoj slici (slika 3). Sračunata gustina tačaka iznosi 16.85 tačaka/m² kada se uzimaju u obzir svi povratni signali, odnosno 11.93 tačaka/m² kada se računaju samo poslednji povratni signali. Srednje rastojanje između tačaka iznosi 0.24 m za sve povratne signale, odnosno 0.29 m samo za poslednje povratne signale.

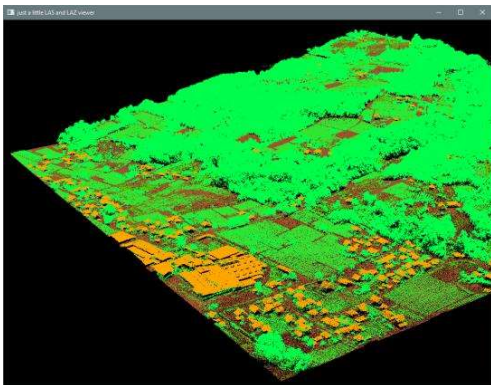


Slika 3 - Histogram tačaka po broju povratnih signala

3.2. Pregledanje oblaka tačaka

Za pregledanje oblaka tačaka na raspolaganju je alatka lasview. Lasview predstavlja jednostavan OpenGL pregledač LiDAR podataka u LAS/LAZ/ASCII formatu, koji takođe obezbeđuje i izmene i brisanje tačaka, kao i generisanje/prikaz TIN-a, selekcije dela tačaka ili svih tačaka fajla [3].

Glavna uloga pregledača jeste da se sagleda projekat i eventualno uoče grube greške poput neporavnanja skenova, pogrešnog georeferenciranja itd. Kako takvih grešaka u ovom slučaju nije bilo, odmah se prešlo na procesiranje oblaka tačaka.

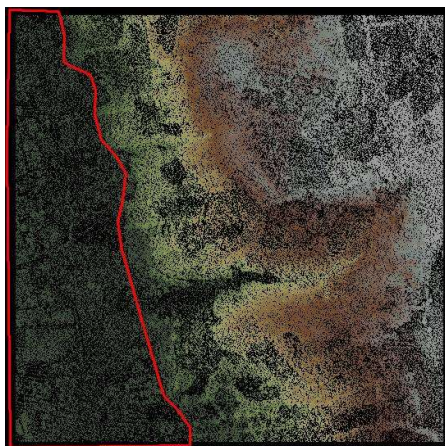


Slika 4 - Lasview pregledač LiDAR podataka

3.3. Filtriranje tačaka terena

Filtriranje tačaka terena podrazumeva razvrstavanje tačaka na one koje pripadaju terenu i na ostale tačke [6]. Za te potrebe, u okviru LAStoolsa namenjena je alatka lasground. Nivo uspešnosti najviše zavisi od toga koliko su dobro definisani parametri alatke, pa je zato poželjno izdvojiti dodatno vreme radi utvrđivanja parametara koji najbolje odgovaraju podacima.

Lasground alatka vrši filtriranje tačaka terena primenom varijacije algoritma Akselsona baziranog na prečišćavanju TIN-a [6]. Prvo se određuje početni skup tačaka koji pripada površi terena. Na osnovu grube mreže sa veličinom ćelije određene parametrom '-step', u svakom elementu ćelije se određuje set tačaka sa najmanjom visinom, a skup svih najnižih tačaka mreže gradi početni TIN. Zatim se svaka tačka LiDAR seta koja predstavlja poslednji povratni impuls laserskog zraka analizira da li pripada terenu. Na osnovu '-bulge', '-spike' i '-stddev' parametara, tačka se uključuje u TIN ili ne. Na ovaj način se TIN sukcesivno profinjuje sve dok se ne prođe kroz sve tačke kandidate. Na kraju se koristi parametar '-offset' kojim se i tačke koje se nalaze u blizini kreiranog TIN-a, razmatraju kao kandidati za tačke terena.



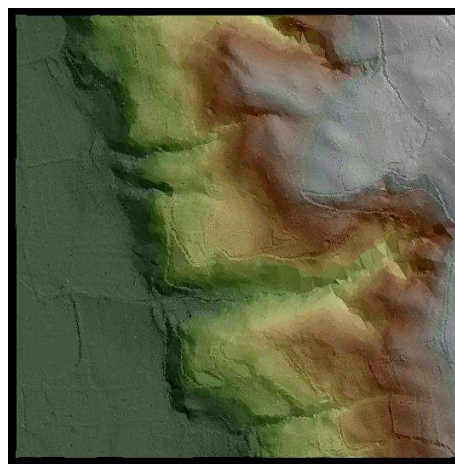
Slika 5 - Segmentacija područja po tipu reljefa

Ono što se pokazalo kao najveći problem filtriranja tačaka terena lasground alatkom jeste nemogućnost definisanja parametara koji će efikasno određivati tačke terena i za ravničarsko i za brdsko-planinsko područje.

Umesto toga, ispostavlja se da su optimalni ravničarski i brdski parametri suprotni, pa je zato za dobre rezultate potrebno područje segmentisati u skladu sa tipom reljefa koji preovlađuje (slika 5.), a parametre filtriranja prilagoditi svakom tipu reljefa posebno.

Standardna procedura kada se vrši segmentisanje oblaka zbog pripreme za obradu po delovima je da se kreiraju baferi delova. Na ovaj način se prilikom ponovnog spajanja delova u celinu izbegavaju artefakti duž ivica oblaka tačaka koji nastaju zbog prirode algoritama, a dodatno se smanjuje zahtev proračuna zbog manjeg broja tačaka.

Za svaki deo je zatim potrebno odrediti optimalne parametre, kako bi se filtriranje tačaka terena izvršilo što kvalitetnije. Nakon što je nad segmentima izvršeno filtriranje tačaka terena, izvršeno je njihovo spajanje nazad u celinu (uz uklanjanje područja bafera). Primer uspešno realizovanog segmentisanja, filtriranja po segmentima i spajanje filtriranih segmenata nazad u celinu može se videti na sledećoj slici (slika 6.).



Slika 6 - Površ terena nakon filtriranja tačaka terena

3.4. Računanje visina tačaka iznad terena

Računanje visina tačaka iznad terena predstavlja postupak koji prethodi klasifikaciji oblaka tačaka. Za te potrebe, u okviru LAStools-a na raspolaganju je alatka lasheight.

Alatka generiše TIN površi terena na osnovu klasifikovanih tačaka terena, a zatim se računa visina svake tačke u odnosu na generisani TIN. Računanje visina tačaka iznad površi terena je linearan postupak. Uz pretpostavku da su tačke terena dobro određene, dovoljno je ostaviti podrazumevane parametre alatke.

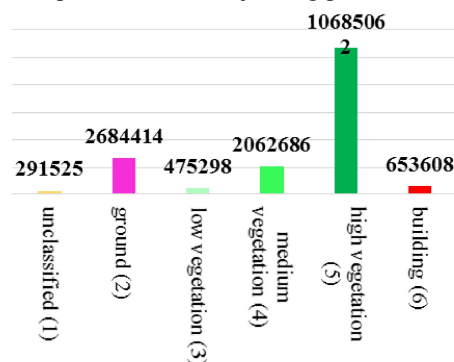
3.5. Klasifikacija tačaka krovova i tačaka vegetacije

Nakon što je izvršeno određivanje visina tačkama, može se pristupiti klasifikaciji tačaka. Alatka *lasclassify* služi za razvrstavanje tačaka na tačke krovova objekata (klasa 6) i na tačke visoke vegetacije (klasa 5). Osnovni princip alatke je da se prvo detektuju susedne tačke koje se nalaze na visini iznad specificirane. Zatim se utvrđuje koliko detektovane susedne tačke kreiraju horizontalno glatku ili hrapavu površ, na osnovu čega se tačke klasifikuju kao tačke zgrada ili tačke visoke vegetacije [3]. Da bi bila određena i niska vegetacija (klasa 3) i srednja vegetacija (klasa 4), u dodatnom koraku je potrebno iskoristiti funkcionalnost alatke *lasheight* za razvrstavanje tačaka po visini.

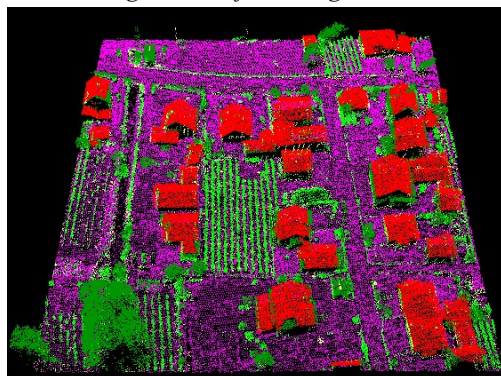
Početni parametar prilikom korišćenja *lasclassify* alatke je *'-ground_offset'* kojim se definiše minimalna visina iznad terena da bi tačka bila kandidat za klasifikaciju. Po uputstvu *lasclassify* alatke za pouzdanu detekciju tačaka krovova neophodna je minimalna gustina od 2 povratna impulsa/m² [3]. Kada je vrednost gustine značajno veća, potrebno je smanjiti veličinu koraka *'-step'* kojim se vrši grupisanje bliskih tačaka, a sa ciljem preciznijeg određivanja ivica krovova i detekcije manjih krovnih površina. Međutim, variranje vrednosti koraka nije moguće posmatrati nezavisno u odnosu na *'-planar'* i *'-rugged'* parametre kojima se definiše mera glatkoće/hrapavosti grupe tačaka da bi one bile klasifikovane kao tačke krovova odnosno visoke vegetacije. Manja vrednost koraka znači da će manje tačaka biti korišćeno za određivanje mere glatkoće/hrapavosti i, samim tim, pojedinačna odstupanja tačaka iz grupe imaće veći uticaj. Pored ovih parametara, dodatno su na raspolaganju i opcije *'-wide_gutters'*, kojom se krovovi kompletnije određuju i *'-keep_overhang'*, koja omogućava izdvajanje visoke vegetacije nadvijene nad krovovima. Kada na području postoje manji objekti, na raspolaganju je opcija *'-small_buildings'*, pri čemu se ispostavilo se da ona često više kreira greške nego što doprinosi dobroj detekciji.

Kao što je ranije napomenuto, *lasclassify* alatka određuje samo tačke visoke vegetacije. Zbog toga je korišćenjem *lasheight* alatke izvršeno i određivanje niske i srednje vegetacije. Postupak je podrazumevao da se sve tačke koje nisu prethodno klasifikovane kao tačke terena ili tačke krovova objekata, klasifikuju kao niska ili srednja vegetacija u zavisnosti od visine. Kao niska vegetacija smatrane su sve tačke koje se nalaze na visini između 0.3 m i 0.5 m, a kao srednja vegetacija sve tačke na visinama između 0.5 m i 2.0 m. Ovakav pristup neminovno dovodi do stepenastog određivanja visoke vegetacije, gde će u zavisnosti od postavljenih granica, u najnižem delu visokog drveća tačke biti klasifikovane kao niska vegetacija, središnji deo

drveća kao tačke srednje vegetacije i ostatak kao tačke visoke vegetacije. Trenutno ne postoji opcija u okviru *LASTools* paketa za rešavanje ovog problema.



Slika 7 - Histogram klasifikovanog oblaka tačaka



Slika 8 - Prikaz dela klasifikovanog oblaka tačaka

3.6. Stanjivanje oblaka tačaka

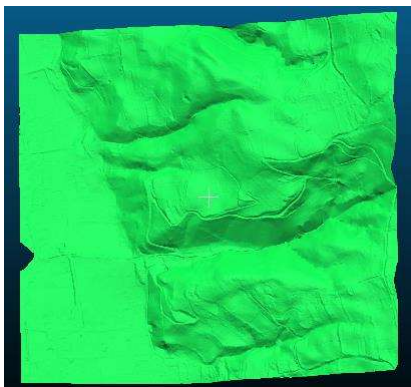
Kao rezultat filtriranja tačaka terena određeno je preko 2.5 miliona tačaka terena (slika 7.). Jasno je da nije u svim delovima područja neophodna ovako velika količina podataka, tj. ima smisla izbaciti (prorediti) tačke. Osnovna ideja stanjivanja podrazumeva da se broj tačaka umanji koliko god je moguće, a da se pri tome kvalitet reprezentacije površi terena najmanje smanji [7]. Prorédivanje ili stanjivanje oblaka tačaka može se uraditi *lasthin* alatkom. *Lasthin* koristi jednostavan algoritam tako što prvo kreira uniformnu mrežu (sa veličinom ćelije *'-step'*) preko područja seta podataka i zatim po određenom pravilu zadržava tačke u svakoj ćeliji mreže. Posebno je pogodna opcija adaptivnog prorédivanja (*'-adaptive xx yy'*) gde se prorédivanje vrši uzimajući u obzir da tačke novog *TIN*-a od kompletnog seta tačaka vertikalno ne odstupaju više od *xx* vrednosti, pri čemu maksimalno rastojanje između tačaka može biti *yy*. Upravo ova varijanta je i iskorisćena za potrebe eksperimenta, gde je nakon stanjivanja broja tačaka terena smanjen za ≈80%.

3.7. Generisanja TIN-a, DMT-a i izohipsi

Za potrebe kreiranja *TIN*-a, *DMT*-a i izohipsi, koriste se samo tačke terena (klasa 2) iz klasifikovanog

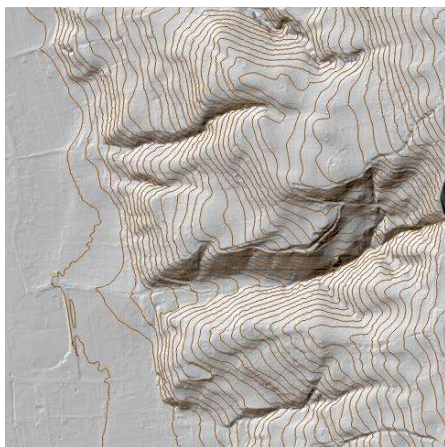
oblaka tačaka. Samim tim, ukoliko su ovo ciljni produkti obrade oblaka tačaka, njih je moguće kreirati odmah nakon postupka filtriranja tačaka terena.

TIN površi terena je kreiran u .OBJ formatu sa podrazumevanim parametrima korišćenjem alatke las2tin. Potreba za dodatnim podešavanjima parametara nije postojala, zato što je upravo kvalitet filtriranja tačaka terena i kasnijeg stanjivanja kontrolisana vizuelizacijom TIN-a.



Slika 9 - Prikaz kreiranog TIN-a

DMT površi terena se kreira koristeći alatku las2dem. Alatka nema veliki izbor parametara na raspolaganju. Najvažnija je veličina piksela rezultujućeg rastera koja se definiše parametrom '-step'. Raster je kreiran sa veličinom piksela u skladu sa maksimalnim horizontalnim rastojanjem između tačaka definisanim prilikom stanjivanja tačaka terena, jer je time obezbeđeno da neće biti rupa u kreiranom DMT-u. DMT je kreiran kao elevacioni model terena u .TIFF formatu.



Slika 10 - Prikaz kreiranog DMT-a sa preklapljenim kreiranim izohipsama

Izohipse su kreirane kao .SHP fajl sa linijskim entitetima korišćenjem alatke las2iso. Ekvidistancija je podešena na 5 m, a od ostalih parametara, kao najvažniji su se pokazali '-concavity', '-clean' i '-smooth'. Kako bi se izbegle deformacije na ivicama područja, '-concavity' je postavljen na malu vrednost. Pomoću '-

clean' parametra uspešno su uklonjeni neželjeni artefakti u ravničarskom području (javljaju se zbog male i spore promene visine), a '-smooth' je obezbedio da kreirane izohipse nisu nazubljene.

4. ZAKLJUČAK

LAStools softverski paket je jedno od komercijalnih rešenja koje uspešno rešava problem obrade podataka laserskog skeniranja. Paket je pretežno orijentisan na srednji i krajnji nivo obrade LiDAR podataka, odnosno kao ulaz se podrazumeva da je oblak tačaka već kreiran, uz postojanje nekoliko alatki kojima se greške nastale tokom kreiranja oblaka tačaka mogu otkloniti. Od trenutka kada je oblak kreiran, LAStools pokriva kompletan proizvodni proces od konačnih topografskih produkata.

Nakon korišćenja LAStools-a može se zaključiti da je softver intuitivan, a da raspoloživa dokumentacija na dobar način, precizno i koncizno prikazuje funkcionalnosti svake alatke, uz brojne smernice za pravilan odabir parametara. Najveći nedostatak paketa je što svaka alatka specificirane parametre primenjuje na celom setu podataka definisanim kao ulaz, tj. nema unutrašnjih mehanizama prilagođavanja definisanih parametara različitim tipovima terena i/ili različiti nivoima urbanizacije. Ovaj problem je donekle moguće prevazići segmentiranjem područja u skladu sa karakteristikama koje preovlađuju. Sa druge strane, evidentno je da se alatka jako dobro nosi sa velikom količinom podataka, gde je uz raspodelu obrade po procesorskim jezgrima moguće postizanje jako visokih performansi.

Pojedinačne alatke iskorišćene u okviru eksperimenta (lasground, lasheight, lasclassify, las2dem, las2tin, las2iso itd.) su se pokazale kao dorasle zadacima za koje su predviđene. Kao ključna komponenta proizvodnog procesa se svakako može izdvojiti filtriranje tačaka terena lasground alatkom od čijeg kvaliteta i uspeha zavise svi naredni koraci. Sve alatke poseduju veliki izbor parametara kojima je omogućeno prilagođavanje rezultujućih produkata u skladu sa konkretnim potrebama korisnika. Vizuelnom analizom utvrđeno je da je kvalitet svih kreiranih produkata zadovoljavajući i da je najveći problem pojava neželjenih artefakata i spajanje susednih objekata kao posledica nedovoljne gustine tačaka i grešaka klasifikacije.

5. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Vlade Republike Srbije za finansiranje ovog rada u okviru projekta TR 36020.

Autori duguju zahvalnost i preduzeću „MapSoft doo“ za obezbeđene podatke i podršku prilikom realizacije eksperimenta.

LITERATURA

- [1] Vosselman G, Maas H. G, *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing, 2010.
- [2] Shan J, Toth C. K, *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. CRC Press, 2008.
- [3] LAStools [Internet]. [citirano 11. 5. 2018.]. Dostupno na: <https://rapidlasso.com/lastools/>
- [4] LGPL 2.1 licenca [Internet]. [citirano 18. 5. 2018.]. Dostupno na: <https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/lgpl-2.1.en.html>
- [5] „MapSoft doo“ [Internet]. [citirano 18. 5. 2018.] (Dostupno na: <http://mapsoft.rs/index.php>)
- [6] Axelsson, P, *Processing of laser scanner data - algorithms and applications*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54(2-3), pp. 138-147, 1999.
- [7] Xuelian M, Nate C, Kaiguang Z, *Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues*, Remote Sensing 2010, 2, 833-860, 2010.
- [8] Elmqvist M, Jungert E, Lantz F, Persson Å, Söderman U, *Terrain Modelling and Analysis using Laser Scanner Data*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIV-3/W4 Annapolis, MD, 2001.
- [9] Hug C, Krzytek P, Fuchs W, *Advanced Lidar Data Processing with LasTools*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing in International Archives of Photogrammetry; 35; 832-837; ISPRS congress by Organising Committee of the XXth International Congress for Photogrammetry and Remote Sensing; 12-23. July 2004, Istanbul, Turkey, 2004.
- [10] Mücke W, *Analysis of full-waveform airborne laser scanning data for the improvement of DTM generation*, Master Thesis, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing (IPF) Vienna University of Technology, 2008.
- [11] Pfeifer N. and Briese, C, (): *Geometrical aspects of airborne laser scanning and terrestrial laser scanning*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36 (Part 3/W52), 311–319, 2007.
- [12] Wagner W, *Physical principles of airborne laser scanning*, 2005.
- [13] Brodić N, *Obrada podataka laserskog skeniranja za urbana područja korišćenjem programskog sistema OPALS*, Diplomski-master rad, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Republika Srbija, 2012.
- [14] Pejić M, *Tačnost modeliranja objekata tehnologijom terestričkog laserskog skeniranja*, Doktorska disertacija Univerzitet u Beogradu, Beograd, Republika Srbija, 2013.

SUMMARY

PROCESSING OF ALS DATA USING LASTOOLS

The airborne laser scanning has been proven as very efficient method for collecting the surface data. As ALS collects extremely large amount of data, efficient use of this data involves the use of some semi-automatic or automatic methods. For this purpose, large number of solutions, different in scope, cost and efficiency are available on the market. One of the available solutions is LAStools software package. Focus of this paper is on the functionalities of the LAStools software package, which are tested and assessed through the experiment. The experiment covered creation of standard topographic products from ALS point cloud using LAStools. At the end of this paper, conclusions about the possibilities of the LAStools software package are made, with a special overview of the advantages and disadvantages, the possibilities and shortcomings.

Key words: *airborne laser scanning, LAStools, point cloud processing*