

## CREATION OF 3D MODELS BASED ON LiDAR DATA

**Vladica Krstić**

Academy of Technical -Educational Vocational Studies Niš, Serbia, [vkrstic@protonmail.com](mailto:vkrstic@protonmail.com)

**Vladimir M. Petrović**

Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Center for Ecology and Technoeconomics, Belgrade, Serbia, [petrovic@ihm.bg.ac.rs](mailto:petrovic@ihm.bg.ac.rs)

**Mirko Borisov**

University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia, [mborisov@uns.ac.rs](mailto:mborisov@uns.ac.rs)

**Zoran Ilić**

Academy of Technical -Educational Vocational Studies Niš, Serbia, [zoran.ilić.ni@akademijanis.edu.rs](mailto:zoran.ilić.ni@akademijanis.edu.rs)

**Abstract:** The interest in 3D data and 3D modeling is growing every day, and consequently, their role is becoming increasingly crucial in various application areas such as geodesy, construction, transportation, geology, mining, agriculture, urban planning, environmental protection, and more. The broad scope of application for these models speaks volumes about their efficiency and possibilities. LiDAR (Light Detection And Ranging) is a procedure in which, based on airborne laser scanning and data collected using additional devices integrated into the LiDAR system, coordinates are obtained for each point on the surface from which the laser beam is reflected (terrain, natural and man-made objects). The basic components of this system include a moving platform (airplane, helicopter, drone), a laser scanner that includes a laser rangefinder and beam steering device, GNSS (Global Navigation Satellite System), and INS (Inertial Navigation System). By combining measurements from these components, such as distances, angles of beam emission, aircraft rotation angles around coordinate axes, and the aircraft's position in a specific coordinate system, coordinates for points are derived. The creation of 3D models involves an exceptionally complex and intricate process. Although an infinite amount of data would be needed for a complete description of a 3D model, today's data collection technology and processing and modeling software enable the creation of high-quality models.

**Keywords:** 3D model, LiDAR, DTM, TIN, GRID.

## KREIRANJE 3D MODELA NA OSNOVU LiDAR PODATAKA

**Vladica Krstić**

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Srbija, [vkrstic@protonmail.com](mailto:vkrstic@protonmail.com)

**Vladimir M. Petrović**

Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Centar za ekologiju i tehnoekonomiku, Beograd, Srbija, [petrovic@ihm.bg.ac.rs](mailto:petrovic@ihm.bg.ac.rs)

**Mirko Borisov**

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija, [mborisov@uns.ac.rs](mailto:mborisov@uns.ac.rs)

**Zoran Ilić**

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Srbija, [zoran.ilić.ni@akademijanis.edu.rs](mailto:zoran.ilić.ni@akademijanis.edu.rs)

**Rezime:** Interes za 3D podacima i 3D modelovanjem svakog dana je sve veći pa samim tim i njihova uloga postaje izuzetno važna u različitim oblastima primene kao što su geodezija, građevinarstvo, saobraćaj, geologija, rudarstvo, poljoprivreda, urbanizam, zaštita životne sredine i sl. Vrlo široko područje primene ovih modela nam govori dovoljno o njihovoj efikasnosti i mogućnostima. LiDAR (*Light Detection And Ranging*) jeste postupak kojim se, na osnovu laserskog skeniranja iz vazduha i podataka koji se prikupljaju korišćenjem dodatnih uređaja ugrađenih u LiDAR sistem, dobijaju koordinate za svaku tačku površi od koju se odbio laserski zrak (teren, prirodni i izgrađeni objekti). Osnovne komponente ovog sistema jesu pokretna platforma (avion, helikopter, dron), laserski skener koji podrazumeva laserski daljinomer i uređaj za usmeravanje zraka, GNSS (*Global Navigation Satellite System*) i INS (*Inertial Navigation System*). Na osnovu kombinacije merenja navedenih komponenti, odnosno rastojanja, ugla emitovanja zraka, uglova rotacije letelice oko koordinatnih osa i položaja letelice u određenom koordinatnom sistemu dobijaju se koordinate tačaka. Izrada 3D modela predstavlja izuzetno složen i kompleksan proces. Iako bi za potpuno opisivanje 3D modela bio potreban beskonačan broj podataka, sa današnjom tehnologijom prikupljanja podataka i softverima za obradu i modelovanje omogućene su izrade vrlo kvalitetnih modela.

**Ključne reči:** 3D model, LiDAR, DMT, TIN, GRID.

## 1. UVOD

Informacije o površini Zemlje su interesantne za brojne oblasti primene kao što su rudarstvo, poljoprivreda, saobraćaj, geodezija, ekologija i drugo. Početno predstavljanje zemljine površine realizovano pomoću karata (geografskih, topografskih, tematskih...) i danas široko rasprostranjena. Takve karte su bile dvodimenzionalne, a visina terena koja predstavlja treću dimenziju, interpretirana je na različite načine, odnosno pomoću izohipsi, šrafiranjem, senčenjem, hipsometrijskom skalom ili kombinovano. Sa razvojem digitalne tehnologije povećane su mogućnosti za prikupljanje podataka o zemljištu i mogućnosti modelovanja, pa tako danas postoje metode koje omogućuju prikupljanje velike količine podataka i dobijanje što realnijih modela u trodimenzionalnom obliku.

U ovom radu korišćena je LiDAR tehnologija za prikupljanje podataka, čiji su podaci korišćeni za kreiranje površinskog modela terena. Od sredine dvadesetog veka različite tehnike za prikazivanje digitalnih modela terena razvijaju se uporedo sa razvojem kompjuterske tehnologije, moderne matematike i računarske grafike. Digitalno modelovanje obuhvata čitav niz aktivnosti koje se odnose prvo na prikupljanje podataka, na njihovu obradu, izradu odgovarajućih kompjuterskih modela, analizu podataka, rukovanje modelom kao i aspektima upotrebe dobijenih modela u mnogobrojnim oblastima primene (Nys et al., 2020).

Proces formiranja 3D modela se sastoji od izbora i implementacije strukture podataka i izbora odgovarajuće metode kreiranja. Naime, uvođenjem treće dimenzije, imamo prostorne modele koji su veoma kompleksni i koji se ne mogu lako i nedvosmisleno opisati poznatim matematičkim zakonima. Sama topografija terena predstavlja kontinualnu 3D površinu koja nije ni malo jednostavna za opisivanje i prikazivanje. Svi 3D modeli predstavljaju matematičku reprezentaciju trodimenzionalnog prostora, koji u zavisnosti od stepena detalja predstavljaju više ili manje veran prikaz stvarnosti. Ti modeli su veoma kompleksni i za njihovo potpuno opisivanje sa svim detaljima bi bio potreban beskonačan broj tačaka. Sa najnovijim dostignućima u oblasti računarskog hardvera i softvera moguća je izrada vrlo kvalitetnih modela gde se obrađuju i milioni tačaka koji se danas standardno prikupljaju savremenim metodama za prikupljanje podataka kao što je lasersko skeniranje, fotogrametrijske i radarske metode. Najčešće korišćeni digitalni 3D modela su digitalni model terena (DMT), digitalni model zgrada (DMZ) i digitalni model površine (DMP).

## 2. LASERSKO PRIKUPLJANJE PODATAKA ZA DMT

Glavno pravilo prilikom prikupljanja podataka jeste da se određenom metodom prikupe reprezentativne tačke terena koje aproksimiraju stvarnu površ i omogućuju izradu kvalitetnog DMT-a. Osnovni kriterijumi koji određuju izbor odgovarajuće metode jesu cena, tačnost, gustina tačaka i zahtevnost obrade prikupljenih podataka.

### 2.1. Lasersko skeniranje

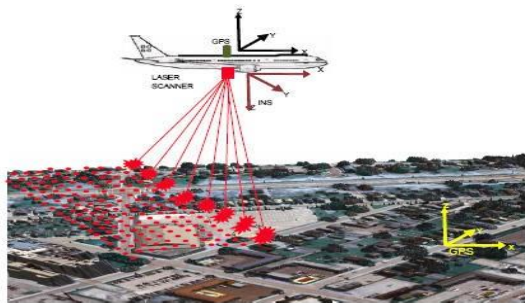
Ova tehnika predstavlja jednu od najmodernijih tehnologija za potrebe masovnog prikupljanja prostornih podataka u formi koordinata tačaka u prostoru. U cilju izrade praktičnog dela rada upravo su podaci dobijeni laserskim skeniranjem i korišćeni su za kreiranje 3D modela. Mogućnost snimanja nadmorskih visina u visokoj rezoluciji je glavna prednost LIDAR-a u odnosu na konvencionalne optičke instrumente, koji se koriste, za kreiranje modela terena. (Sumerling et al., 2010) Generalno, može se reći da je LIDAR potpuno automatizovana, aktivna, optičko-mehanička procedura za prikupljanje prostornih podataka dostupnih sa stvarnih mesta snimanja (Gajski, D. 2007) Princip rada se zasniva na korišćenju laserskog skenera koji šalje impulse ka ciljanim objektima koji se zatim reflektuju i vraćaju nazad do senzora. Vreme proteklo od emitovanja do prijema signala, uz poznavanje pozicije senzora i orijentacije omogućava precizno izračunavanje trodimenzionalnih koordinata na Zemlji. Razlikuje se terestričko i lasersko skeniranje iz vazduha. U ovom radu je primenjeno lasersko skeniranje iz vazduha (Andriasyan et al., 2020).

### 2.2. Lasersko skeniranje iz vazduha

LiDAR (*Light Detection And Ranging*) jeste postupak kojim se, na osnovu laserskog skeniranja iz vazduha i podataka koji se prikupljaju korišćenjem dodatnih uređaja ugrađenih u LiDAR sistem, dobijaju koordinate za svaku tačku površi od koju se odbio laserski zrak (teren, prirodni i izgrađeni objekti). Osnovne komponente ovog sistema jesu pokretna platforma (avion, helikopter, dron), laserski skener koji podrazumeva laserski daljinomer i uređaj za usmeravanje zraka, GNSS (*Global Navigation Satellite System*) i INS (*Inertial Navigation System*). Na osnovu kombinacije merenja navedenih komponenti, odnosno rastojanja, ugla emitovanja zraka, uglova rotacije letelice oko koordinatnih osa i položaja letelice u određenom koordinatnom sistemu dobijaju se koordinate tačaka (Sulaiman & Setan 2010).

Skeniranje željene površine se obavlja iz nekoliko naleta gde jedan prelet letelice predstavlja jednu liniju skeniranja. Rezultat je skup uređenih tačaka sa njihovim X, Y i Z koordinatama koji predstavlja oblak tačaka. Sama izrada 3D modela iz oblaka tačaka zahteva naknadnu softversku obradu, gde kvalitet dobijenog modela zavisi od gustine merenih tačaka. Emitovani zrak može imati višestruku refleksiju, što uzrokuje da određena tačka ima iste koordinate

(X, Y), a različitu visinu (Z koordinata). Prva refleksija može poticati od vegetacije ili površine objekta, vode, dok poslednja refleksija najverovatnije potiče od površi Zemlje, ili nekog veštačkog objekta (Jung et al., 2019).



Slika 1: Princip laserskog skeniranja iz vazduha

U odnosu na ostale tehnike za masovno prikupljanje podataka, LiDAR tehnologija ima značajne prednosti kada je u pitanju brzina rada i količina prikupljenih podataka. LiDAR sistemi standardno prikupljaju podatke od 10.000 do 25.000 tačaka u sekundi, dok neki sistemu prikupljaju i 80.000 tačaka. Druga prednost jeste ta da LiDAR koristi aktivan izvor svetlosti tako da prirodno svetlo i senke nemaju uticaja na snimanje, pa se ono može izvoditi u bilo koje doba dana ili godine. U praktičnim primenama, kada se uzmu u obzir svi izvori grešaka i različiti tipovi terena, tačnost ostvarena LiDAR-om iznosi od 20 cm do 30 cm (Jovanović et al., 2020).

### 3. SOFTVERSKA OBRADA PODATAKA

Oblak tačaka korišćen u ovom radu procesiran je uz pomoć programa *MicroStation V8i*. Većina CAD i GIS softverskih rešenja novijih verzija omogućavaju vizuelizaciju, klasifikacije, obradu i druge manipulacije sa podacima koji su prikupljeni putem LiDAR sistema. Oni pružaju mogućnosti kreiranja DMT i digitalnog modela površi. *MicroStation* je CAD softverski proizvod koji je namenjen za 2D i 3D dizajn i izradu, razvijen od strane *Bentley Systems*.

Takođe, *MicroStation* je korišćen u oblastima inženjeringa i arhitekture, prvenstveno za kreiranje građevinskih crteža. Razvijao se kroz svoje različite verzije tako da već uključuje napredne modele i rendering funkcije. Može pružiti specijalizirana okruženja za arhitektutu, građevinarstvo, mapiranje, dizajn biljaka i sl. Njegov osnovni format je DGN, iako može učitavati i eksportovati razne standardne CAD formate kao što su DWG ili DXF.

Neke od osnovnih prednosti ovog programskog rešenja su što podržava i preuzima višestruke formate datoteka, dajući korisnicima veću fleksibilnost tokom rada, odličan je za modelovanje svih površina, omogućava rad sa velikim količinama podataka i ima mogućnost renderinga i kompleksnih animacija.

Aplikacija MDL (*MicroStation Design Language*) je kreirana od *Terrasolid*, odnosno kompanija koja dizajnira softver specijalizovan za rad sa podacima dobijenih putem laserskog skeniranja. Aplikacije pružaju raznovrsne alate za geodete, građevinske inženjere, planere i svakog ko treba da obradi i procesira 3D LiDAR podatke. One pokrivaju čitav ciklus od usklađivanja sirovih podataka, filtriranja tačaka terena do stvaranja konačnih 3D vektorskih modela i terenskih prikaza (Axelsson, P. 1999). *Terrasolid* je razvio čitav niz inženjerskih aplikacija i sve Terra aplikacije su čvrsto integrisane sa *MicroStation*-om predstavljajući jednostavan grafički interfejs za korišćenje od strane korisnika. U ovom radu korišćene su aplikacije *TerraScan* i *TerraModeler*.

### 4. TEHNOLOGIJE IZRADE 3D MODELA

Upotrebom aplikacija *TerraScan* i *TerraModeler*, omogućeno je kreiranje DMT na osnovu klasifikovanog 3D oblaka tačaka sa ponudom raznih alata za vizuelizaciju i uređivanje modela. Zgrade i drugi objekti se takođe mogu klasifikovati i dodati u model za kreiranje DMP (Fabio 2006).

Ideja ovog rada je bila da se na osnovu klasifikovanog oblaka tačaka dobijenog u LAS formatu u etapama kreira DMT i DMZ i njihovim uklapanjem dobije DMP. Prikazani su i načini modelovanja puteva i vegetacije, kao dva najznačajnija elementa DMP pored građevinskih objekata. Takođe, na osnovu kreiranih modela i ortofotoa zadatog područja odrađene su rendering funkcije.

#### 4.1. Izrada DMT

Nakon određene obrade i otklanjanja grešaka, dobijeni oblak tačaka je klasifikovan. Klasifikacije se rade u okviru aplikacije *TerraScan* i mogu biti automatske ili ručne. Za dobijanje najboljih rezultata one se u praksi najčešće koriste kombinovano. Spiskovi klasa se čuvaju u formatu *.ptc* i oni se mogu koristiti u više projekata. Moguće je spisak klasa proširti, pojedine klase preimenovati ili izbrisati po potrebi. Program nudi nekoliko metoda za automatsku klasifikaciju tačaka u okviru *Routine* podmenija *TerraScan*-a. Te metode doprinose klasifikaciji tačaka

do neke granice ali se za pojedine detalje koji se klasifikuju mora pristupiti ručnoj klasifikaciji. Ona se radi od strane korisnika i zahteva dosta vremena (Vitalis et al., 2019).

Klasifikacija tačaka terena je svakako najbitnija TerraScan rutina za kreiranje DMT-a. Omogućena je putem automatske klasifikacije *Ground*. Funkcioniše tako što stvara trianguliranu površinu modela iterativno. Pre samog pokretanja, potrebno je odraditi klasifikaciju niskih tačaka. *Ground* klasifikacija se započinje odabirom lokalnih niskih tačaka koje predstavljaju sigurne pogotke na tlu. Izbor početne tačke se kontroliše parametrom *Max building size*. Ako se na primer vrednost za ovaj parametar postavi na 50m to znači da ova rutina predpostavlja da svaka površina veličine 50m x 50m ima barem jednu tačku na nivou terena i da se najniža tačka nalazi na tom nivou (TerraScan 2012).

Zatim se kreira TIN model od početnih tačaka terena. Trouglovi u ovom početnom modelu uglavnom su ispod površine tla, a samo vrhovi dodiruju tlo. U postupcima iteracije, ova aplikacija oblikuje model na gore dodavanjem više i više tačaka. Svaka dodata tačka čini model realnijim. Parametri iteracije određuju koliko blizu ravni trougla mora biti tačka da bi bila prihvaćena kao tačka terena i dodata u model. Parametri koji pomažu ovoj klasifikaciji su:

1. *Iteration angle* - Predstavlja maksimalni ugao između tačke, njene projekcije na ravan trougla i najbližeg trouganog vrha. Postoje neke preporučene vrednosti u zavisnosti od terena. Za ravne predele uglavnom se uzima vrednost oko 4, a za planinske predele i česte promene elevacije oko 10.
2. *Iteration distance* - Predstavlja maksimalnu udaljenost tačke do ravni trougla. Osigurava da iteracija ne pravi velike skokove na gore ako su trouglovi veliki. Obično se izimaju vrednosti od 0.5m do 1.5m.

Kreiranje DMT-a se sprovodi u nekoliko koraka. Potrebno je dati oblak tačaka importovati, a zatim pristupiti određenim alatima Terra aplikacija. *Display mode* kom okviru Terrande uaScan-a nam omogućuju kontrolu prikaza tačaka koje su predhodno učitane. Tačnije pomoću njih biramo attribute na osnovu kojih je izvršeno bojenje tačaka, u okviru kojih prozora želimo da prikažemo promene ili jednostavno selektujemo vidljivost ili nevidljivost pojednih klasa datog 3D oblaka.



Slika 2 Učitani oblak tačaka klase Tlo

Sam postupak kreiranja 3D modela terena zahteva formiranje posebnog modela *Editable Model* od učitanih tačaka koje pripadaju klasi Tlo. Ovim modelom dobija se realniji prikaz i pogled na teren koji se obrađuje. Takođe, olakšana je i identifikacija mogućih grešaka prilikom klasifikacije. *Model tool box* omogućava kreiranje tog površinskog modela kao i manuelnu klasifikaciju za otklanjanje grešaka čija je vizuelizacija izrađena u okviru TerraModeler-a. Alatk automatski pokreće aplikaciju ukoliko još nije učitana.

Za generisanje prikaza površinskog modela koriste se *Display Surface* alati koji omogućuju različite vizualizacije površinskih modela. Alati su sposobni za generisanje kontura, trouglova u boji, GRID struktura ili osenčenih površina.

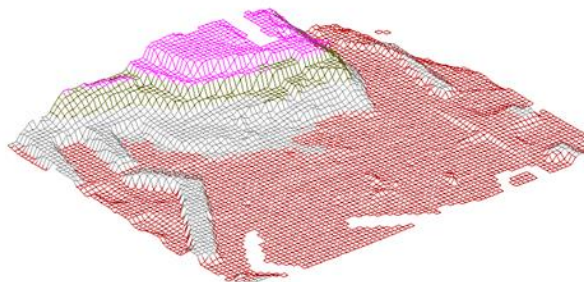
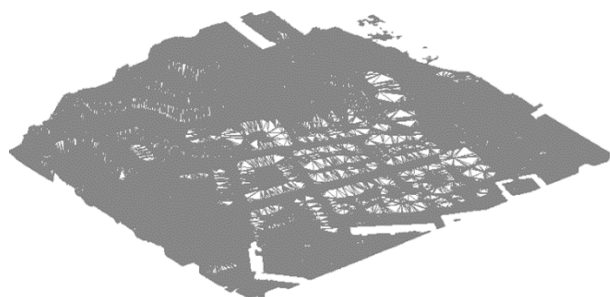
Najčešća i najpraktičnija metoda za prikazivanje DMT-a jeste *Display Shaded Surface*. Funkcioniše jednostavno tj. zahteva samo već kreirani *Editable Model* i nudi mogućnost izbora kolornih šema. Ovaj metod prikaza koristi HSV (*Hue-Saturation-Value*) model boja kako bi vizualizovao površinu. Korisniku je omogućeno da sam vrši izbor boja, sačuva u formatu .shs i koristi u okviru nekog drugog projekta.

Kreirani 3D model sadrži određene greške i nedostatke koji se otklanjaju manuelnom klasifikacijom. U tom procesu tačke koje se nalaze iznad površi terena i koje reprezentuju eventualne niske objekte tj. koje su greškom uključene u 3D model terena, kao i tačke koje su eventualno ispod površi, manuelno se klasifikuju u određenu klasu i na taj način isključuju iz modela terena. Površinski model je aktivno povezan sa učitanim laserskim tačkama, što znači da se svi prikazi površinskih modela automatski ažuriraju kako bi se prikazale bilo kakve promene u klasifikaciji tačaka tako da je ovaj model izrazito koristan za proveru klasifikacije tačaka terena. Najbolja metoda prikaza za tu svrhu je *Display Shaded Surface* u okviru TerraModeler-a (TerraScan 2012).

Nakon što se sve greške otklone, može se pristupiti i ostalim alatima TerraModeler-a za vizuelizaciju površi pa tako teren predstaviti u GRID ili TIN strukturi. Alat *Display Grid* generiše mrežnu reprezentaciju površinskog modela.

Može se kreirati šema boja gde se boja mrežnih kvadrata menja u zavisnosti od promene elevacije kao i potrebna veličina GRID ćelije dok *Display Triangles* alat omogućuje prikaz kreiranog modela površi u TIN strukturi (TerraModeler 2010).

**Slika 3 DMT u formi GRID i alat za kreiranje**



**Slika 4 DMT u formi TIN i alat za kreiranje**

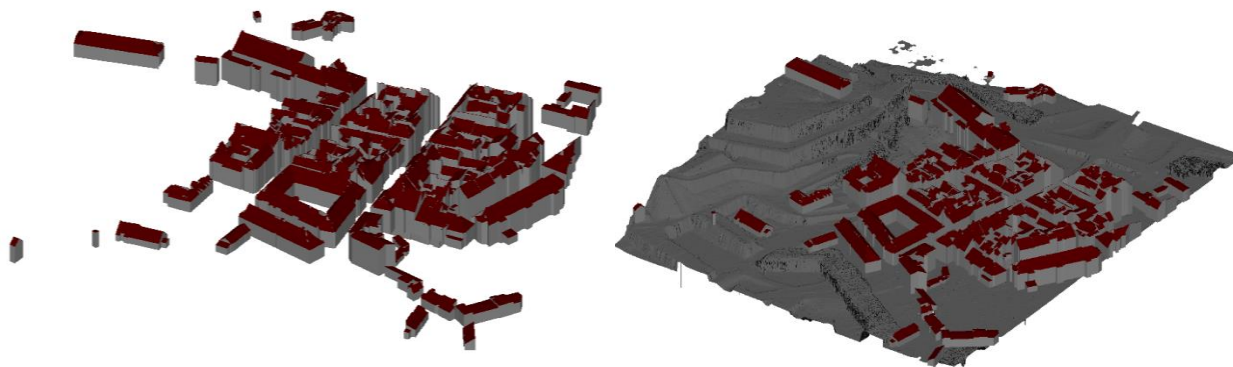
#### 4.2. Izrada digitalnog modela zgrada

Manipulacije oblacima tačaka kao i njihovo procesiranje i vizuelizacija su samo jedan deo mogućnosti TerraScan-a dok drugi deo omogućava kreiranje 3D vektorskih modela. Pošto je u sastavu teme rada dobijanje DMZ, pažnja u ovom poglavlju će biti posvećena alatima za 3D vektorizaciju objekata (3D Risk Mapping 2010).

TerraScan nudi dva pristupa za kreiranje 3D vektorskih modela objekata, a to su poluautomatska i automatska vektorizacija. Osnovna razlika između ovih pristupa je stepen automatizacije kao i brzina kreiranja objekata. Dok se poluautomatska vektorizacija uglavnom koristi za kreiranje pojedinačnih objekata, automatska omogućuje dobijanje većeg broja objekata zbog čega je korišćena za kreiranje DMZ. Glavna prednost ovog pristupa vektorizacije zgrada je automatska proizvodnja 3D građevinskih modela za velika područja u relativno kratkom vremenu. Nedostatak procesa vektorizacije je što se u potpunosti oslanja na kvalitet izvornih podataka. Ako, na primer, nedostaju laserski podaci na delovima krova zgrade, ne postoji način da se stvori barem približni model zgrade zasnovan na predstavjenim delovima krovova (Jung et al., 2019).

Set alata koje TerraScan obezbeđuje za automatsku vektorizaciju zgrada na osnovu podataka dobijenih laserskom metodom skeniranja je prilično lak za upotrebu. Za potrebe ovog rada je korišćen alat *Vectorize Buildings*. Prilikom automatske vektorizacije koriste se dve klase *Roof Class* i *User roof class*. Prva traži od korisnika da izabere klasu u kojoj su smeštene tačke koje predstavljaju krovove zgrada (klasa Zgrade), dok druga predstavlja tačke koje je korisnik klasifikovao jer su bile preskočene u koracima automatske klasifikacije objekata. *Lower classes* predstavljaju klase koje čine tačke fizički bliske sa klasom krovova ili klasom tačaka koje pripadaju zidu zgrada i koje se koriste da bi se utvrdilo podnožje zidova i pomoglo tačnije postavljanje ivica krovova.

Pored tačnosti klasifikacije tačaka koje su upotrebljene u ovom postupku, kvalitet modela zavisi i od podešenih parametara. Svi parametri sem *Minimum area* i *Minimum detail* su ostavljeni na preporučenim vrednostima dok su vrednosti za ova dva parametra smanjeni na  $10m^2$  i  $2m^2$  u cilju dobijanja više detalja i kvalitetnijih modela. Kada se završi sa podešavanjem parametara započinje se proces vektorizacije. Može potrajati neko vreme dok se ne kreiraju prvi modeli, jer rutina prvo stvara modele za velike zgrade. Za bolji prikaz kreiranih objekata korišćen je *Smooth* prikaz.



Slika 5 Početni oblik digitalnog modela

Prema običnom načinu opisivanja modela zgrade, modeli TerraScan-a su na nivou detalja LOD 2. U LOD-u 2 su prikazani krovni oblici i ukupna struktura krovova, dok su zidovi samo obični vertikalni poligoni u ravni između ivice krova i terena. U cilju dobijanja DMP potrebno je da se uklupe predhodno kreirani DMZ i DMT.

Kvalitet automatske vektorizacije zgrada zavisi od kvaliteta obrade laserskih podataka koji se vrši u pripremi vektorizacije, ali i od gustine podataka. Veća gustina tačaka obezbeđuje kvalitetnije modele.

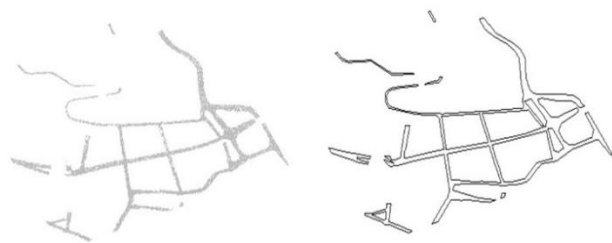
Shodno tome, postoji mogućnost korišćenja TerraScan-ovog alata *Measure Point Density* koja računa prosečan broj tačaka po kvadratnoj jedinici. Može da meri gustinu tačaka u pravougaonom ili kružnom području ili iz čitavog skupa tačaka koje su učitane u TerraScan-u. Takođe, može da određuje gustinu tačaka pojedinačne klase, izborom klase od interesa u okviru padajućeg menija *Class* što je u ovom slučaju klasa *Zgrade*.

Uzimajući u obzir da je klasifikacija tačaka kvalitetno odrađena i da je prosečna gustina tačaka na osnovu kojih su se modelovali objekti 24 tačke po  $m^2$  može se reći da je dobijeni DMZ na nivou LOD 2 kvalitetan i precizan sa svim neophodnim detaljima strukture krovova.

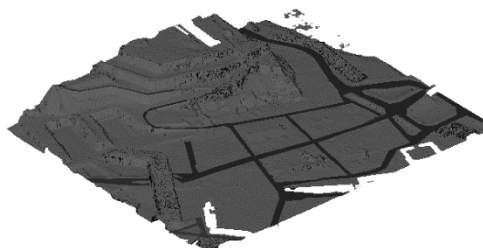
#### 4.3. Izrada digitalnog modela površi

Kao što je već rečeno, DMP je onaj model koji pored terena uključuje i ostale pojave na površi terena. U prethodnom poglavlju su modelovani objekti, ali u cilju dobijanja što potpunijeg i kvalitetnijeg modela, potrebno je modelovati i druge prirodne i veštačke objekte na terenu (saobraćajnice, vodotokove, vegetaciju i slično shodno potrebama naručioca posla). Za izabrani prostor realizovano je modelovanje saobraćajnica i vegetaciju kao dominantne elemente jednog DMP.

Model saobraćajnica je takav da je na osnovu tačaka koje su u okviru klase *Asfaltni put* kreirani određeni linijski elementi. Za tu svrhu korišćen je alat *Draw polygons*. Ovaj alat crta linijama 3D oblik oko skupa tačaka unutar određene klase. Potrebno je selektovati izvornu klasu i izabrati vrednosti za parametre. *Gap size* definiše maksimalnu razdaljinu između tačaka, dok *Min size* i *Max size* definišu najmanju i najveću veličinu poligona koji će biti iscrtan. U ovom slučaju, sve vrednosti parametara su ostavljene na preporučenim vrednostima.



Slika 6 Učitana klasa tačaka puta (levo) i kreirani poligoni (desno)



Slika 7 Kreirani DMT sa modelom

Po potrebi moguće je menjati atribute, jednostavnom selekcijom kreiranih linijskih elemenata i izborom boje iz ponuđene palete ili izborom debljine linija. *Smooth* prikaz je koristan radi bolje vizuelizacije.

Što se tiče modelovanja vegetacije, cilj je bio da se napravi gotov model koji će se postavljati na određene koordinate i time predstavljati visoku vegetaciju tj. drveće. Model je pravljen u okviru *Solids Modeling* koji

podržava *MicroStation*. On omogućava da se veoma brzo kreiraju 3D modeli različitog dizajna u zavisnosti od ciljeva korisnika. Za potrebe ovog rada korišćena su dva alata *Cylinder Solid* i *Sphere Solid*. Da bi model što realnije prikazivao vegetaciju potrebno je u okviru učitanoog oblaka tačaka pronaći neku optimalnu visinu elemenata visoke vegetacije. Postupak se najjednostavnije radi tako što učitamo klase T10 i High vegetation i koristeći alat *Measure Distance* odredimo rastojanje između dve tačke.

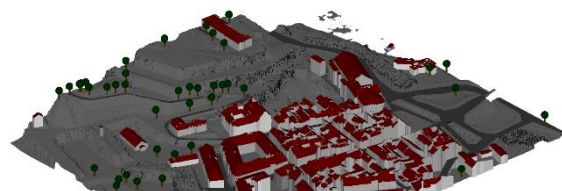
Cilj je bio da se na više mesta proveri visina i uzme jedna optimalna vrednost za model, što je u ovom slučaju 7m. Ta vrednost se unosi u okviru *Cylinder solid* alata, dok je krošnja drveta je definisana parametrima opcije *Sphere solid* i za njen prečnik je uzeta vrednost 3m.

Kako bi model bio postavljen tačno na određeno mesto, tj na koordinate terena neophodno je učitati tačke klase T10 u XYZ formatu. TerraScan omogućava da se tačke nekoliko klasa ili samo jedne određene klase sačuvaju kao poseban LAS format koji se posle lako može eksportovati u XYZ format. Kada su importovane koordinate tačaka terena i kada je učitana klasa visoke vegetacije, model se jednostavno kopira na mesta koja predstavljaju visoku vegetaciju. Zumiranjem i rotacijom prolazi se kroz čitav oblak tačaka. Preporučljivo je pronaći izolovane elemente visoke vegetacije u cilju što tačnijeg postavljanja modela.

Nakon što se dovoljan broj modela postavi, sve tačke iz modela se uklone radi bolje preglednosti. S obzirom da je cilj modelovanja bio da se kreira DMP, potrebno je učitati prethodno kreirane modele tačnije DMT, DMZ i modele puta. Kreirani elementi u *Wireframe* prikazu su dati na slici 8 dok je konačan oblik DMP je prikazan na slici 9.



Slika 8 Kreirani elementi digitalnog modela površi u Wireframe prikazu



Slika 9 Konačni oblik digitalnog modela površi u Smooth prikazu

Cilj je takođe bio učitati na kreiranu mrežu prethodno vektorizovane objekte kako bi krovne konstrukcije dobile teksturu. Nakon što su se svi nivoi i ortofoto snimci učitani, može se pristupiti procesu renderovanja. Potrebno je pokrenuti *Rendering*→*Materials* i u okviru *Material Editor*-a izabrati odgovarajuću paletu. U ovom slučaju to je *dcdrape* paleta a zatim izabranu paletu dodeliti odgovarajućim nivoima. Nivo *Default* je kreirana meš mreža, a nivo 6 predstavlja krovne strukture. Materijali su povezani sa svim nivoima i zatvoreni elementi tih nivoa preuzimaju materijal (Remondino, F. 2010).



Slika 10 Rezultat kombinovanja LiDAR podataka i ortofoto snimaka

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su opisani osnovni principi i koncepti digitalnog modelovanja terena. Analizirane su metode prikupljanja i modelovanja geopodataka za potrebe izrade 3D modela. Pri tom je objašnjeno na koji način kreiramo osnovne vrste modela kao što su digitalni model terena, digitalni model zgrada i digitalni model površi. Posebno je obrađena metodologija kreiranja 3D modela na osnovu LiDAR podataka. Softver koji je korišćen, *MicroStation v8i*, pružao je neometan rad i u postupcima modelovanja i vektorizacije davao dovoljno dobre rezultate.

Na osnovu klasifikovanih tačaka, obrađeni su postupci kreiranja DMT-a i modelovanje u osnovnim strukturama GRID i TIN. Sa kratkim osvrtom na principe manuelne klasifikacije prikazano je kako se mogu otkloniti određene greške u cilju dobijanja što kvalitetnijih modela terena. Zatim, na osnovnu podataka o izrađenim objektima kreirao se DMZ putem automatske vektorizacije koja je omogućila da se u relativno kratkom vremenu dobiju modeli čitavog područja. Kao smernica za procenu kvaliteta rezultata vektorizacije poslužila je izračunata gustina tačaka. Ona je pokazala da su kreirani modeli objekata na LOD 2 nivou dovoljno kvalitetni i precizni sa svim neophodnim detaljima krovne strukture. Ovaj model svakako predstavlja osnovu i od suštinskog je značaja za aplikacije koje koriste digitalne 3D modele gradova. Poslednja i najkompleksnija struktura, DMP, zahtevao je modelovanje još dva dominantna elementa tj. modelovanje puteva i modelovanje vegetacije kroz čiji se postupak upoznalo sa ostalim alatima TerraScan-a kao i osnovama *Solids modeling*-a.

Interes za 3D podacima i 3D modelovanjem svakog dana je sve veći pa samim tim i njihova uloga postaje izuzetno važna u različitim oblastima primene kao što su geodezija, građevinarstvo, saobraćaj, geologija, rudarstvo, poljoprivreda, urbanizam, zaštita životne sredine i sl. Vrlo široko područje primene ovih modela nam govori dovoljno o njihovoj efikasnosti i mogućnostima. Izrada 3D modela predstavlja izuzetno složen i kompleksan proces. Iako bi za potpuno opisivanje 3D modela bio potreban beskonačan broj podataka, sa današnjom tehnologijom prikupljanja podataka i softverima za obradu i modelovanje omogućene su izrade vrlo kvalitetnih modela.

#### LITERATURA

- Axelsson, P. (1999): Processing of laser scanner data - algorithms and applications, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54 (2-3), pp. 138- 147, 1999.
- Gajski, D. (2007): Osnove laserskog skeniranja iz zraka, *Ekscentar*, no. 10, pp. 16-22.
- Andriasyan, M., Moyano, J., Nieto, J.E. & Antón, D., (2020): From Point Cloud Data to Building Information Modelling: An Automatic Parametric Workflow for Heritage. *Remote Sensing*, 12(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12071094>
- Jovanović, D., Milovanov, S., Ruskovski, I., Govedarica, M., Sladić, D., Radulović, A. & Pajić, V., (2020): Building Virtual 3D City Model for Smart Cities Applications: A Case Study on Campus Area of the University of Novi Sad. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 476). <https://doi.org/10.3390/ijgi9080476>
- Jung, J. & Sohn, G. (2019): A line-based progressive refinement of 3D rooftop models using airborne LiDAR data with single view imagery. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 149, 157–175.
- MicroStation, (2010), pristupljeno 10.11.2023, [ftp.bentley.com/visualization/MicroStation\\_Visualization\\_SS3.pdf](ftp.bentley.com/visualization/MicroStation_Visualization_SS3.pdf)
- Nurul, S. S. & Halim, S. (2010), DTM generation from LiDAR data by using different filters in open – source software pristupljeno 10.11.2023, <https://core.ac.uk/download/pdf/11800782.pdf>
- Nys, G.A., Poux, F., Billen, R., 2020. CityJSON Building Generation from Airborne LiDAR 3D Point Clouds. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 9(9).DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi9090521>
- Remondino, F., (2005) pristupljeno 10.11.2023, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/5-w10/papers/remondin.pdf>
- Sumerling G., (2010): Lidar Analysis in ArcGIS 9.3.1 for Forestry Applications, An Esri White Paper, 2str.
- TerraModeler User's Guide,(2010), pristupljeno 10.11.2023, <https://www.terrasolid.com/download/tmodel.pdf>
- 3D Risk Mapping, pristupljeno 10.11.2023,
- Vitalis, S.; Otori, K.; Stoter, J. (2019): Incorporating Topological Representation in 3D City Models. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 8, 347. [https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/201130/2/Leonardo\\_Tutorial\\_Final\\_vers5\\_ENGLISH.pdf](https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/201130/2/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_ENGLISH.pdf)
- TerraScan USER GUIDE, (2012), pristupljeno 10.11.2023, <https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf> (10.11.2023.)