

Sara Baraba, mag. ing. geod. et geoinf.

# PRIMJENA LIDAR SUSTAVA ZA POTREBE PROJEKTIRANJA ŽELJEZNIČKIH PRUGA

## 1. Uvod

S razvitkom suvremenih geodetskih mjernih sustava i metoda prikupljanja prostornih podataka otvaraju se nove mogućnosti njihove primjene u različitim područjima gospodarskih djelatnosti. Jedno od tih područja jest projektiranje i održavanje željezničke infrastrukture, koja je zbog svojih specifičnosti poput velikoga broja popratnih objekata željezničke infrastrukture, duljine pruge, isprepletenosti s gradskim središtem kroz koji prolazi te vrlo često zahtjevne konfiguracije terena na kojemu je izgrađena vrlo velik izazov za geodetsku izmjeru i prikupljanje podataka.

Prema Zakonu o prostornom uređenju [1], idejni projekt za lokacijsku dozvolu mora sadržavati i geodetsku situaciju stvarnoga stanja terena u položajnome i visinskom smislu. To je vrlo važna stavka jer podrazumijeva da se i samo projektiranje građevine izvodi na geodetskoj podlozi (situaciji) koja prikazuje stvarno stanje na terenu. Naime, u prošlosti se često događalo da se projektirana situacija nije mogla iskolčiti na terenu jer nije bila projektirana na temelju stvarnoga stanja na terenu nego na postojećim, nedovoljno dobro održanim katastarskim planovima i kartama nastalima prije više desetljeća [2]. Rezultat su loše izrađena projektna rješenja, koja u kasnijim fazama provedbe projekta uzrokuju dodatne neplanirane troškove i bespotrebno produljuju radove u sklopu projekta.

Izrada kvalitetnih i pouzdanih geodetskih podloga pokazuje se kao jedna od najvažnijih zadaća prilikom projektiranja i zato je potrebno izabrati odgovarajuću metodu izmjere terena. Odabir geodetske metode izmjere terena u nadležnosti je izvođača radova, odnosno ovlaštenoga geodetskog stručnjaka koji jamči i odgovara za točnost izmjerenih podataka. Većina geodetskih radova u svim fazama projekta izvodi se sa stabiliziranih i položajno i visinski definiranih točaka geodetske osnove. U sklopu projektnoga zadatka naručitelj radova propisuje traženu preciznost točaka geodetske osnove prema geodetskim pravilnicima i zato se za određivanje njihovih koordinata koriste klasične metode geodetske izmjere poput poligonimetrije i nivelmana visoke točnosti. Naručitelj radova propisuje i mjerilo izrade geodetske situacije stvarnoga stanja terena koja će služiti za projektiranje, a to koliko će

detaljno topografski sadržaj biti snimljen ovisi o zadanoj mjerilu. S obzirom na to da se danas projektiranje više ne izvodi na planovima u analognome obliku, nego u 3D (trodimenzionalnom) sustavu uz primjenu CAD (engl. *Computer Aided Design*) računalnih programa, omogućen je i unos velike količine mjerenih podataka u te programe, čime se postiže kvalitetnije opisivanje terena. Geodetske metode izmjere terena međusobno se razlikuju po točnosti izmjere, ekonomičnosti metode, vremenskome okviru izmjere i primjeni, ovisno o konfiguraciji i površini terena.

U radu prikazane su osnove LiDAR (engl. *Light Detection And Ranging*) sustava i komponente od kojih se sastoji. Potom su ukratko objašnjeni način obrade podataka i točnost sustava skeniranja iz zraka te prikazane mogućnosti modeliranja prostornih podataka. U sklopu projekta „Izrada projektne dokumentacije za izgradnju drugog kolosijeka, modernizaciju i obnovu na pružnoj dionici Škrlevo – Rijeka – Jurdani“ izvedena je geodetska izmjera terena primjenom lidarske tehnologije u kombinaciji s klasičnim geodetskim metodama. Podaci mjerenja dobiveni od geodetske tvrtke koja je obavila mjerenja i izradila geodetsku situaciju korišteni su za izradu digitalnih modela prikazanih u ovome radu. U zaključku rada analizirana je uspješnost primjene LiDAR sustava u poslovima projektiranja željeznice i željezničke infrastrukture.

## 2. Osnove rada LiDAR sustava

LiDAR pripada skupini metoda kojima se prikupljaju i interpretiraju podaci o udaljenim objektima bez fizičkoga dodira s njima, tzv. metodama daljinskih istraživanja. Sustav se temelji na detekciji i određivanju udaljenosti objekata uz pomoć svjetlosnih valova te ima vrlo široku primjenu u brojnim zadacima poput detekcije promjena u urbanim sredinama (npr. ilegalna izgradnja), 3D modeliranja gradova i cesta, detekcije arheoloških nalazišta, detekcije promjena nakon velikih potresa i poplava, određivanja visina građevinskih objekata ili izrade podloga za projektiranje plinovoda, naftovoda, autocesta, željezničkih pruga [2]. Općenito, sustavi koji se temelje na integraciji različitih mjernih senzora omogućavaju dobivanje raznovrsnih podataka na temelju kojih je moguća i detekcija potencijalnih opasnosti. Vezano uz sigurnost željezničkoga prometa, iz dobivenog 3D modela područja snimanja moguće je, na primjer, detektirati zadiranje nedopuštenih predmeta u slobodni profil pruge.

Lasersko skeniranje LiDAR-om može se izvoditi iz statičnoga položaja ili s pokretne platforme kao što su automobil, helikopter, zrakoplov ili, u novije vrijeme, bespilotna letjelica. Kada je riječ o izmjeri terena na

kojemu se nalazi željeznička infrastruktura, pogotovo kada se radi o terenu velike površine ili teško pristupačnome terenu, geodetski stručnjak nerijetko će odabrati metodu laserskoga skeniranja iz zraka. Prilikom geodetske izmjere snima se tzv. obuhvat zahvata (koridor), koji može uključivati prostor lijevo i desno od osi postojeće pruge odnosno prostor definiran u skladu s važećim dokumentima prostornoga uređenja.

Prije početka radova potrebno je zatražiti odobrenje za snimanje iz zraka od Državne geodetske uprave i Ministarstva obrane RH te obaviti kalibraciju LiDAR sustava. Kalibracijom sustava reducira se utjecaj sistematskih pogrešaka mjerenja i komponenti sustava na podatke mjerenja.

## 2.1. Načelo laserskoga skeniranja iz zraka

Područje izmjere ili koridor snimanja nadlijeće se zrakoplovom na čijoj je donjoj strani montiran LiDAR sustav. Ovisno o visini leta zrakoplova i vidnome kutu skenera, tijekom jednoga preleta moguće je izmjeriti jedan niz ili u nekoliko preleta više nizova, a ostavljanjem preklopa između nizova postiže se obuhvat cijeloga područja izmjere [3]. Koordinate točaka terena određuju se po načelu polarne metode mjerenja. U tu svrhu potrebno je poznavati udaljenosti između točaka terena i laserskoga skenera kao i kutove pod kojima se laserska zraka odašilje prema terenu prilikom skeniranja. Laserski skener dio je LiDAR sustava i sastoji se od nekoliko senzora koji omogućavaju izmjeru i određivanje navedenih veličina. Laserski odašiljač odašilje impuls prema objektu snimanja koji se reflektira i vraća nazad u prijamni senzor. Za potrebe snimanja topografije Zemlje obično se koristi blisko infracrveno lasersko područje. Udaljenost skenera od objekta snimanja ( $D$ ) određuje se na temelju mjerenja vremena koje je potrebno da laserski impuls stigne do objekta snimanja i reflektira se nazad prema izrazu (1),

$$D = \frac{c \cdot t}{2} \text{ [m]}$$

gdje su:

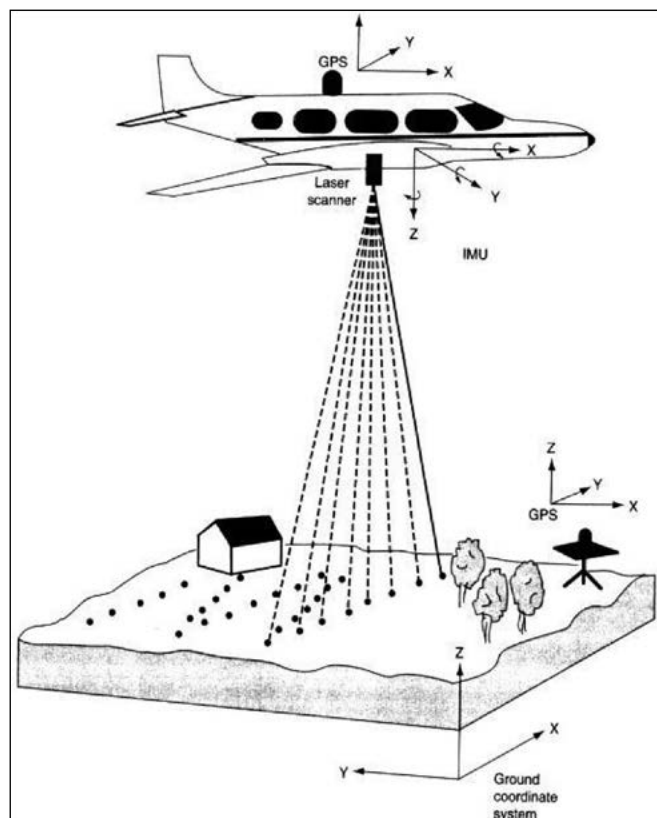
$c$  – brzina svjetlosti koja iznosi  $\sim 300\,000\,000$  m/s

$t$  – vrijeme putovanja laserskog impulsa [s].

To koliko će detaljno određeno područje biti snimljeno LiDAR sustavom ovisi o gustoći točaka koja se izražava brojem snimljenih točaka po jedinici površine (npr. 10 točaka/m<sup>2</sup>).

LiDAR sustav sastoji se od triju osnovnih komponenti: GNSS-a (globalni navigacijski satelitski sustav), IMU-a (engl. *Inertial Measuring Unit*) i laserskog ske-

nera (slika 1.) U cilju određivanja prostornoga položaja točaka terena potrebno je poznavati točnu poziciju skenera u referentnome koordinatnom sustavu koja se određuje GNSS mjerenjima te orijentaciju laserskoga skenera u prostoru koju određuje inercijalni mjerni sustav (IMU). Pored osnovnih komponenta LiDAR sadržava i ostale dijelove poput računala i pokretnoga čvrstog diska na koji se pohranjuju podaci mjerenja. Određeni proizvođači LiDAR sustava nude i digitalnu kameru kojom se usporedo izvodi snimanje terena, što olakšava posao obrade i identifikacije izmjerenih podataka.



Slika 1. Integracija osnovnih komponenta LiDAR sustava [4]

Nakon što je odaslana prema tlu, laserska se zraka može reflektirati od raznih površina, raspršiti po vegetaciji i ostalim objektima te reflektirati od površine tla. Drugim riječima, na temelju jednoga odaslano g impulsa senzor može zabilježiti nekoliko povratnih impulsa. LiDAR sustav omogućava i primanje informacije o intenzitetu reflektiranoga zračenja objekata. Objekti od materijala koji imaju različita reflektivna svojstva reflektiraju lasersku zraku različitim intenzitetom. Tako svjetliji objekti imaju bolja reflektivna svojstva (na primjer, snijeg, bijeli zid, listopadna šuma), dok tamniji objekti apsorbiraju veći dio spektra (na primjer, betonske površine, svježi asfalt) pa je i povratni signal slab zbog gubitka dijela energije, a točnost mjerenja opterećena pogreškama [3]. S obzirom na to da je že-

ljeznička pruga metalna konstrukcija podložna utjecaju korozije, tračnice pruge imaju slabiji intenzitet refleksije od objekata u njezinu okruženju [5]. Nedostatak LiDAR zračnoga laserskog skeniranja jest i nemogućnost izmjere dijela željezničke pruge u tunelu. Zbog toga je prije početka radova vrlo važno izvesti rekognosciranje terena kako bi se napravio dobar plan mjerenja i odabrala optimalna metoda za određeno područje.

## 2.2. Obrada podataka izmjere

Računalna obrada podataka obavlja se nakon snimanja i puno je zahtjevnija od terenske izmjere. Prije početka postupka obrade podataka prikupljenih LiDAR sustavom snimke je potrebno dostaviti Državnoj geodetskoj upravi i zatražiti odobrenje za uporabu zračnih snimaka. LiDAR prikuplja podatke o izmjeri tijekom leta u tzv. sirovome formatu sa svake od svojih komponenti i zato je vrlo važna njihova međusobna vremenska sinkroniziranost. Rezultat laserskoga skeniranja terena jest velika količina neobrađenih podataka predstavljena u obliku skupine točaka pod nazivom „oblak točaka“ (engl. *point cloud*). Svaka točka u oblaku točaka ima svoje trodimenzionalne Kartezijeve XYZ koordinate u državnome koordinatnom sustavu, za Republiku Hrvatsku u sustavu HTRS96 (Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1995.55).

Obrada podataka obuhvaća postupke izravnoga georeferenciranja mjerenih podataka, izjednačenja nizova i kalibracije sustava, segmentacije oblaka točaka, klasifikacije i filtriranja te prorjeđivanja podataka [3]. U nastavku izdvojeni su postupci klasifikacije i filtriranja te prorjeđivanja podataka. Filtriranjem podataka korisne se informacije odvajaju od neželjenih (šumova), a klasifikacijom se korisne informacije razvrstavaju u razrede (klase). Najčešće se koriste tri klase: vegetacija, građevine i teren. Klasifikacija podataka jest automatski postupak unutar korištenoga programa za obradu podataka. Kvaliteta izrade digitalnih modela terena ovisi i o kvaliteti klasifikacije podataka i zato je često potrebna i dodatna reklasifikacija podataka koju provodi čovjek [6]. Zadaća prorjeđivanja podataka jest zadržavanje minimalnoga skupa podataka koji još uvijek mogu opisati predmet izmjere zadovoljavajućom kvalitetom [3].

Rezultat obrade podataka jest georeferenciran, filtriran i klasificiran oblak točaka koji se nadalje koristi za dobivanje 3D modela područja snimanja.

## 2.3. Točnost zračnoga laserskog skeniranja

Kao i sva druga geodetska mjerenja, mjerenja LiDAR sustavom opterećena su pogreškama. Otklanjanjem (divergencijom) laserske zrake od referentnoga položa-

ja omogućava se izmjera širega područja [3]. Međutim, povećanje kuta skeniranja uzrokuje smanjenje intenziteta reflektiranoga zračenja, što objašnjava Lambertov zakon kosinusa. Prema Newtonovu zakonu obrnutoga kvadrata, s porastom udaljenosti između skenera i objekta snimanja smanjuje se intenzitet reflektiranoga zračenja. Ako intenzitet reflektirane energije padne ispod određenoga praga vrijednosti, instrument ne može raspoznati laserski impuls od običnoga šuma te kao takav neće niti biti registriran kao mjerenje. Vjerojatnost da se takvo što dogodi veća je pri letenju na većim visinama [7]. U tome slučaju rezultat će biti nedostatak izmjerenih podataka na tome području.

Iz navedenoga proizlazi to kako će točnost (ponajprije ona horizontalna) biti bolja pri nižoj visini leta i pri skeniranju s manjim vidnim kutom. Visinska točnost ponajviše ovisi o točnosti GNSS komponente [3]. Svako geodetsko mjerenje, pa tako i LiDAR mjerenje, u konačnici treba obaviti u skladu s traženom točnošću i optimalnom potrošnjom resursa sustava, uzimajući u obzir kriterije ekonomičnosti i brzine prikupljanja podataka.

## 3. Modeliranje podataka LiDAR sustava

Klasificirani oblak točaka omogućava izradu 3D modela prostora odnosno snimljenoga područja Zemljine površine poput digitalnoga modela reljefa (DMR) i digitalnoga modela površine (DMP). 3D modeli jesu matematički prikazi trodimenzionalnoga prostora, a svrha njihove izrade jest što vjernija aproksimacija postojećega stanja prostora kako bi se omogućilo projektiranje, na primjer, novoga pružnog kolosijeka. Geodetskom izmjerom prikupljeni su i izračunani podaci o reljefu Zemlje (visinski podaci) na izmjerenim (uzorkovanim) točkama poznatih  $x$ ,  $y$  koordinata. Da bi se iz tih podataka izradio model, potrebno je procijeniti visinske vrijednosti na neuzorkovanim područjima, koristeći određenu metodu interpolacije. Za potrebe prikaza u digitalnome obliku visinski podaci mogu se prikazati u strukturi pravilne mreže točaka (engl. *grid*) ili nepravilne mreže trokuta (engl. *TIN – Triangulated Irregular Network*). TIN je metoda interpolacije koja povezuje točke uzoraka u nizove trokuta po načelu Delaunayeve triangulacije te određenim algoritmom procjenjuje vrijednosti nepoznatih točaka [8].

Digitalni model reljefa i digitalni model površine prikazani u ovome radu izrađeni su računalno primjenom LAsTools programa [9]. Program sadržava skup alata za klasifikaciju, konvertiranje i filtriranje podataka LiDAR te za izradu digitalnih modela podataka koje je moguće prikazati, oblikovati i uređivati u nekome GIS

(geoinformacijski sustav) programu. Programski alat iz oblaka točaka generira „privremeni“ TIN vektorski model koji se potom prevodi u rasterski oblik.

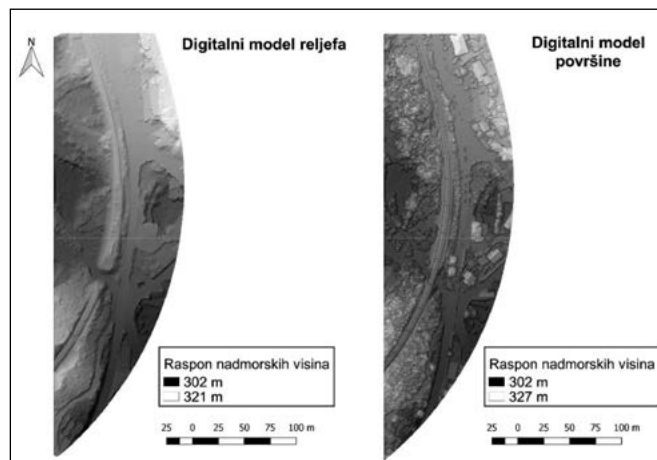
Pravilna mreža točaka jest mreža kvadrata jednakih površina, odnosno piksela. Prostorna rezolucija digitalnoga modela odnosi se na veličinu piksela i zato je pri izradi modela važno odabrati optimalnu vrijednost kako bi se postigla kvalitetna i što vjernija aproksimacija stvarnosti.

### 3.1. Digitalni model reljefa i digitalni model površine

Digitalni model reljefa u topografskome smislu predstavlja model Zemljine površine bez prirodnih i izgrađenih objekata, dakle „čisti“ reljef Zemlje. Program LAStools nudi mogućnost izrade digitalnoga modela reljefa na temelju klasifikacije oblaka točaka u dvije klase, odnosno i klasi koja sadržava točke terena odnosno čvrstoga tla i u klasi koja ih ne sadržava. Odabirom klase koja predstavlja čvrsto tlo te određenih parametara i tehnika filtriranja te odabirom veličine piksela generira se digitalni model reljefa. Digitalni model reljefa i digitalni model površine izrađeni su za potrebe ovog rada i prikazani u programu QGIS 2.18. Riječ je o programu otvorenoga koda u kojemu je moguće upravljati raznim vrstama i tipovima geografskih podataka i izrađivati grafičke prikaze tih podataka.

Na slici 2. prikazani su digitalni model reljefa i digitalni model površine dijela dionice željezničke pruge M203 Rijeka – Šapjane – državna granica u blizini željezničkoga stajališta Jušići korištenjem efekta tzv. osjenčanoga reljefa (engl. *hillshade*) u programu QGIS. Sjenčanje reljefa jest metoda prikaza reljefa kombinacijom svjetla i sjena uz pomoć koje je moguće dobiti vizualno razumljivu informaciju o obliku reljefa Zemlje. Na temelju DMR-a koji vrlo dobro vizualizira vertikalnu raščlanjenost terena na području planiranoga zahvata, a kako je prikazano lijevo na slici 2., projektanti mogu, na primjer, planirati terenske istražne radove i provoditi razne visinske analize terena.

Digitalni model površine predstavlja model Zemljine površine na kojemu su prikazani prirodni i izgrađeni objekti poput vegetacije, cesta, željezničke pruge i zgrada, a kako je prikazano desno na slici 2. U tome slučaju raspon nadmorskih visina piksela u modelu odnosi se na sve objekte koji se nalaze u tome prostoru pa se može vidjeti kako su krovovi zgrada i vrhovi biljnoga pokrova prikazani svjetlijom bojom (veća nadmorska visina). U kasnijim fazama projektiranja korištenjem CAD alata iz DMP-a je moguće izrađivati uzdužne i poprečne profile terena, računati volumen (kubaturu) zemljanih radova i ostale projektne zadatke.

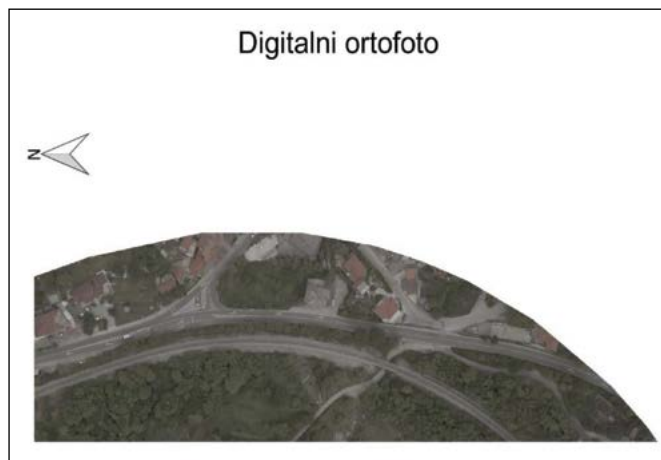


Slika 2. Digitalni modeli reljefa i površine dijela dionice pruge M203 Rijeka – Šapjane – državna granica

### 3.2. Digitalni ortofoto

Digitalna kamera, odnosno fotoaparatus, može paralelno snimati područja pružnoga koridora. S obzirom na to da je takav sustav prikupljanja podataka utemeljen na zakonima preslikavanja centralne projekcije te da postoje deformacije optičkih dijelova kamere, nagiba i pomaka kamere, zračne snimke opterećene su pogreškama. Mjerilo objekata na snimku mijenja se ovisno o visini kamere iznad zemlje pa se objekti na većoj nadmorskoj visini preslikavaju u većim dimenzijama od njihove stvarne veličine i obratno. Pomak reljefa jest deformacija koja utječe na prostornu točnost snimke kod koje se točke terena različitih visina preslikavaju pomaknuto u odnosu na njihov stvarni položaj [10]. Zračne snimke skeniraju se i prevode u rasterski oblik, čime počinje proces ortorektifikacije. Izrada ortofoto snimki jest računalni proces koji se temelji na preklopu snimaka s digitalnim modelom reljefa. Geometrijskom korekcijom zračnoga snimka slika svake točke postavlja se na njezino pravo mjesto, a rezultat je ortofoto snimak u mjerilu koje je jednako u svim njezinim dijelovima.

Na slici 3. prikazan je DOF (digitalni ortofoto) snimak dijela dionice željezničke pruge M203 Rijeka – Šapjane – državna granica. Točnost prikazanoga snimka izražena je kroz GSD (engl. *Ground Sampling Distance*) koji iznosi 10 cm odnosno 1 piksel snimka predstavlja 10 cm terena u stvarnosti. Izradom ortofoto snimaka omogućeni su lakša vizualna identifikacija te izmjera različitih stvarnih veličina izravno na snimcima ili preklop/uklop sa službenim katastarskim planovima radi utvrđivanja razine homogenosti planova po katastarskim općinama za daljnje potrebe projekta. Na taj se način postiže veća brzina i produktivnost pri rukovanju prostornim podacima u procesu projektiranja.



Slika 3. DOF snimak dijela dionice pruge M203 Rijeka – Šapjane – državna granica [11]

## 4. Zaključak

U sklopu rada ukratko su opisani LiDAR metoda laserskoga skeniranja iz zraka, načelo prikupljanja prostornih podataka i osnovna načela obrade podataka te su prikazani primjeri „izlaznih“ proizvoda u obliku digitalnoga modela reljefa, digitalnoga modela površine i digitalnoga ortofoto snimka. Polazeći od spoznaje kako je kvalitetno izrađena geodetska podloga polazna točka svakog uspješnog projektiranja, potrebno je odabrati onu metodu izmjere koja će pored tražene točnosti zadovoljiti kriterije poput ekonomičnosti i brzine prikupljanja podataka.

Jedna od osnovnih prednosti LiDAR metode jest učinkovito i brzo prikupljanje podataka u kratkome vremenu te mogućnost snimanja područja prekrivenih gustom vegetacijom i teško pristupačnih terena. Prikupljanjem veće količine prostornih podataka omogućena je izrada pouzdanih 3D digitalnih modela reljefa i digitalnih modela površina koji omogućavaju interpolaciju slojnica i izradu slojnih planova, a korištenjem digitalne kamere omogućena je i izrada DOF snimaka područja izmjere.

Točnost izrađenih digitalnih modela u velikoj mjeri ovisi o točnosti podataka iz kojih se izrađuju i zato pri planiranju mjerenja treba odabrati optimalne parametre poput visine leta i gustoće točaka te uređaje s kvalitetnom integracijom GNSS/IMU. LiDAR metoda skeniranja iz zraka temelji se na prikupljanju vrlo velike količine prostornih podataka, zbog čega se pri obradi može javiti problem razlikovanja snimljenih objekata.

Za izdvajanje određenih objekata iz oblaka točaka potrebno je provesti ispravnu klasifikaciju i filtraciju lidarskih podataka, što može biti dugotrajan postupak. Kada je riječ o izmjeri željezničke pruge u tunelu,

LiDAR sustav snimanja iz zraka nije pogodan. Na temelju svega navedenog jasno je to da se oslanjanjem samo na lidarsku tehnologiju snimanja iz zraka ne mogu postići zadovoljavajući rezultati. Navedena ograničenja mogu biti riješena primjenom klasičnih terestričkih geodetskih metoda, terestričkoga ili mobilnoga laserskog skeniranja pri izmjeri objekata željezničke infrastrukture.

Spajanjem podataka LiDAR i podataka dobivenih klasičnim geodetskim mjerenjima nastaje potpuni 3D model koridora pružne dionice sa svim bitnim prostornim informacijama koje su korisne stručnjacima pri izradi gotovo svih razina projekata, bez potrebe za ponovnim izlaskom na teren kako bi se prikupili potrebni podaci.

Na temelju svega navedenog može se zaključiti kako LiDAR metoda zračnoga laserskog skeniranja u kombinaciji s klasičnim geodetskim metodama može biti iskorištena na vrlo kvalitetan, učinkovit i inovativan način u postupku projektiranja željezničkih pruga i infrastrukture radi pružanja jasne i pouzdane predodžbe Zemljine površine i njezinih geomorfoloških oblika kao i svih prirodnih i izgrađenih objekata koji se nalaze na Zemljinoj površini.

## Literatura:

- [1] Zakon o prostornom uređenju, Narodne novine (153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19)
- [2] Kujundžić, D.: Zračni laserski skeneri LEICA ALS50-II i Corridor Mapper, Studentski zbor Geodetskog fakulteta, Zagreb, Ekscentar, No.10, str. 31-34, 2007.
- [3] Gajski, D.: Osnove laserskog skeniranja iz zraka, Studentski zbor Geodetskog fakulteta, Zagreb, Ekscentar, No. 10, str. 16-22, 2007.
- [4] [https://www.researchgate.net/figure/Typical-airborne-laser-scanning-system\\_fig6\\_31579757](https://www.researchgate.net/figure/Typical-airborne-laser-scanning-system_fig6_31579757)(veljača 2020.)
- [5] [https://www.researchgate.net/publication/337807383\\_An\\_Efficient\\_and\\_Accurate\\_Method\\_for\\_Different\\_Configurations\\_Railway\\_Extraction\\_Based\\_on\\_Mobile\\_Laser\\_Scanning](https://www.researchgate.net/publication/337807383_An_Efficient_and_Accurate_Method_for_Different_Configurations_Railway_Extraction_Based_on_Mobile_Laser_Scanning) (veljača 2020.)
- [6] Ivšić, L., Pribičević, B., Đapo, A., Kordić, B., Babić, L., Govorčin, M.: Klasifikacija LiDAR podataka na području urbanog jezera Jarun i analiza kvalitete podataka, Studentski zbor Geodetskog fakulteta, Zagreb, Ekscentar, No. 19, str. 93-103, 2016.
- [7] Woodget, A.S., Donoghue, D.N.M., Carbonneau, P.: An assessment of Airborne LiDAR for Forest Growth Studies, Studentski zbor Geodetskog fakulteta, Zagreb, Ekscentar, No. 10, str. 47-52, 2007.
- [8] Šiljeg, A.: Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara - primjer PP Vransko jezero (doktorski rad), Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2013.

- [9] <https://rapidlasso.com/lastools/> (lipanj 2020.)
- [10] <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc95/to150/p124.html> (veljača 2020.)
- [11] Projektni biro P45 d.o.o.: Izvješće o izvedenim geodetskim radovima, Zagreb, 2018.

## SAŽETAK

### PRIMJENA LIDAR SUSTAVA ZA POTREBE PROJEKTIRANJA ŽELJEZNIČKIH PRUGA

Tehnologija prostornoga laserskog skeniranja nalazi svoju primjenu u geodetskim zadacima vezanima uz projektiranje velikih i složenih infrastrukturnih objekata poput željezničke infrastrukture. Izrada kvalitetne i pouzdane geodetske podloge koja prikazuje stvarno stanje terena preduvjet je uspješnoga projektiranja. LiDAR jest mjerni sustav koji se temelji na detekciji i određivanju udaljenosti objekata uz pomoć svjetlosnih valova. U radu je dan kratki pregled osnovnih načela rada sustava LiDAR, točnosti izmjere te obrade podataka mjerenja radi dobivanja pouzdanoga prostornog 3D modela. Primjenom programa CAD i GIS moguće je iz klasificiranog oblaka točaka izraditi proizvode poput digitalnoga modela reljefa i digitalnoga modela površine, a snimanjem digitalnom kamerom moguće je izraditi digitalni ortofoto snimak. LiDAR u kombinaciji s klasičnim geodetskim metodama daje sve bitne prostorne informacije koje se na učinkovit način mogu koristiti za potrebe projektiranja željezničkih pruga.

**Ključne riječi:** LiDAR, željeznička pruga, projektiranje, geodetska podloga, digitalni model reljefa, digitalni model površine, digitalni ortofoto snimak

**Kategorizacija:** stručni rad

## UDK: 625.11

Podaci o autoru:

Sara Baraba, mag. ing. geod.et geoinf.  
HŽ Infrastruktura d.o.o., Mihanovićeve 12, 10000 Zagreb  
sara.baraba@hzinfra.hr

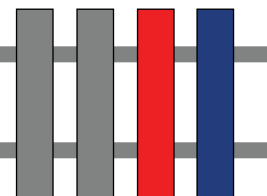
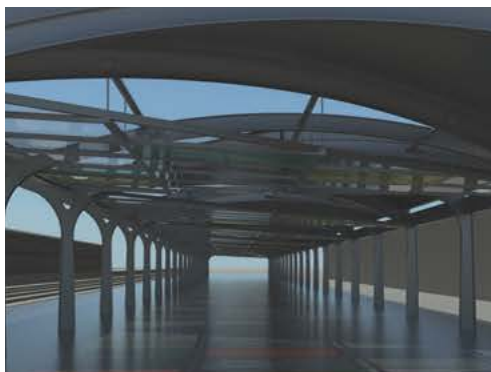
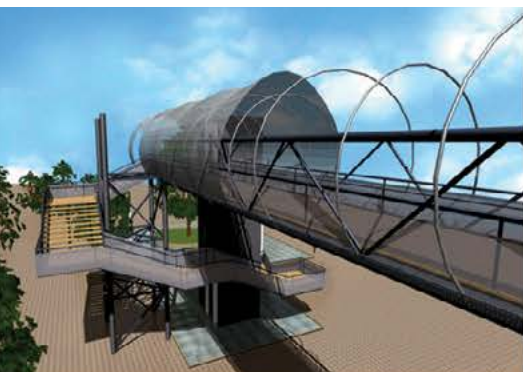
## SUMMARY

### APPLICATION OF THE LiDAR SYSTEM FOR THE NEEDS OF RAILWAY LINE DESIGN

Spatial laser scanning technology finds its application in geodetic tasks related to the design of large and complex infrastructure facilities, such as railway infrastructure. Creating a reliable geodetic surveying map of good quality that shows the actual state of the terrain is a prerequisite for successful design. LiDAR is a measuring system based on the detection and determination of the distance of objects with the help of light waves. The paper gives a brief overview of the basic principles of LiDAR system operation, measurement accuracy and processing of measurement data in order to obtain a reliable spatial 3D model. Using CAD and GIS programmes, it is possible to create products such as a digital relief model and a digital surface model from a classified point cloud, and it is possible to create a digital orthophoto image by recording with a digital camera. LiDAR combined with classical geodetic methods provides all the essential spatial information that can be effectively used for the needs of designing railway lines.

**Ključne riječi:** LiDAR, railway line, design, geodetic surveying map, digital relief model, digital surface model, digital orthophoto image

**Categorization:** professional paper



**Željezničko projektno društvo d.d.**

*Mi oblikujemo vaše željeznice.*

*We design your railways.*

ŽPD d.d. ❖ Trg kralja Tomislava 11 ❖ 10 000 Zagreb ❖ Hrvatska  
Tel: + 385 1 48 41 414 ❖ + 385 1 37 82 900 ❖ Fax: +385 1 6159 424 ❖ Žat: 29 00  
e-mail: [zpd@zpd.hr](mailto:zpd@zpd.hr)  
[www.zpd.hr](http://www.zpd.hr)