

TERESTRIČNO 3D (TRIRAZSEŽNO) LASERSKO SKENIRANJE

TERRESTRIAL 3D (THREE-DIMENSIONAL) LASER SCANNING

Blaž Mozetič

UDK: 004.3:778.18

POVZETEK

3D (trirazsežno) lasersko skeniranje je nova tehnologija na področju celovitega zajemanja prostorskih podatkov. V besedilu sta opisana osnovni način delovanja in delitev terestričnih 3D laserskih skenerjev glede na način merjenja razdalje skener-objekt. Opisani so osnovni elementi skenerjev: natančnost, izvedba, hitrost skeniranja, ločljivost in velikost pike, doseg, tarče, vidno polje, transport, napajanje in programska oprema. V nadaljevanju so predstavljeni problem odbojnosti skeniranih površin, rezultati postopka 3D laserskega skeniranja in primeri uporabe.

KLJUČNE BESEDE

3D laserski skener, 3D lasersko skeniranje, 3D oblak točk

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.04

ABSTRACT

3D (three-dimensional) laser scanning is a new technology in the field of complex object recording. The paper explains the functioning of terrestrial 3D laser scanners and their differences according to the way they measure the distance between the scanner and the object. Basic elements of scanners are described, such as accuracy, form, scanning rate, resolution and beam spot size, range, target, field of view, transport, energy supply and software. Furthermore, the problem of surface reflectance is pointed out and some results and examples of 3D laser scanning are shown.

KEY WORDS

3D laser scanner, 3D laser scanning, 3D point cloud

1 UVOD

Podatke o objektih v prostoru in samem prostoru pridobimo z najrazličnejšimi geodetskimi tehnikami. Ena izmed novejših tehnik je 3D (trirazsežno) lasersko skeniranje, ki je navdušila mnogo uporabnikov, saj ima očitno prednosti pred ostalimi metodami v celovitem zajemanju prostorskih podatkov. Zajem podatkov je hitrejši in cenejši v primerjavi z ostalimi metodami zajema, domeritve skorajda niso potrebne, saj so skenirani vsi objekti v vidnem polju 3D laserskega skenerja, oblake točk lahko uporabimo večkrat in za različne namene. V zadnjih letih je 3D lasersko skeniranje postalo zelo pomembna metoda zajemanja podatkov o objektih, saj v kratkem časovnem intervalu skeniranja pridobimo veliko število prostorskih koordinat točk, ki predstavljajo površino skeniranega objekta.

Splošne opredelitve instrumentov za 3D lasersko skeniranje še ni. Nekateri so poskušali razmejiti 3D laserske skenerje na osnovi njihovega principa delovanja, kar je vodilo v neplodno diskusijo, ali 3D laserski skenerji »pripadajo« geodeziji ali fotogrametriji. Za uporabnika je pomembno, da pride do rezultata hitro, preprosto, poceni in da dosežena natančnost ter zanesljivost ustrežata njegovim zahtevam.

2 3D LASERSKI SKENERJI

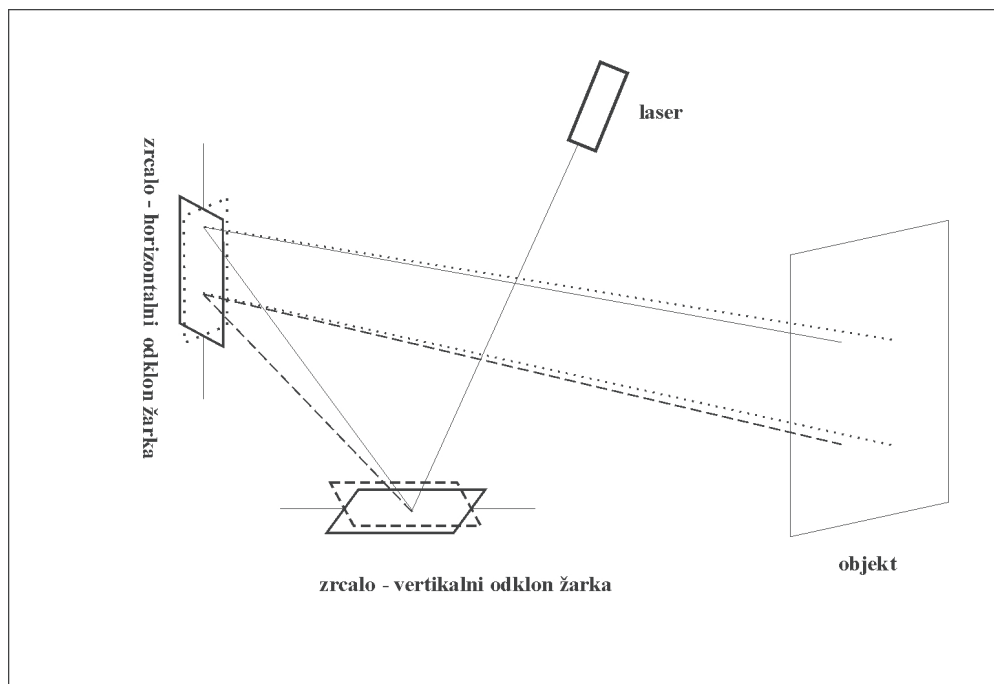
2.1 Opis 3D laserskih skenerjev

Z uporabniškega vidika je 3D laserski skener naprava, ki na osnovi opravljenih meritev omogoča pridobitev oziroma izračun prostorskih koordinat točk skeniranega objekta:

- samodejno in v sistematičnem vzorcu,
- z veliko hitrostjo delovanja (100 ali 1000 točk na sekundo),
- skoraj v stvarnem času.

3D laserski skenerji se uporabljajo:

- stacionarno na nepremičnem mestu (industrija),
- kot mobilni sistemi na stativih ali podobnih stojalih (geodezija, arheologija ...),
- kot letalski sistemi za topografsko uporabo.



Slika 1: Način delovanja rotirajočih zrcal.

V nadaljevanju so obravnavani 3D laserski skenerji, kot mobilni sistemi na stativih ali podobnih stojalih, ki jih imenujemo terestrični 3D laserski skenerji in se uporabljajo v kulturni dediščini, arheologiji, pri meritvah deformacij, topografskih meritvah in v strojništvu.

S 3D laserskimi skenerji skeniramo površino objekta. Skeniranje je izvedeno z enim ali dvema gibljivima zrcaloma, ki omogočata zelo majhne spremembe v odklonskem kotu laserskega žarka, projiciranega na površino objekta (slika 1). Osnovni pogoj za izvedbo 3D laserskega skeniranja je, da skenirana površina odbija lasersko svetlobo. Za izračun prostorskih koordinat točk potrebujemo podatek o odklonskem kotu zrcal in poševni razdalji med 3D laserskim skenerjem in objektom. Glede na način merjenja razdalje delimo terestrične 3D laserske skenerje na (Boehler et al., 2001):

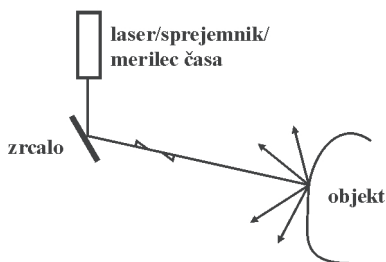
- "ranging", in
- triangulacijske skenerje.

2.1.1 »Ranging« skenerji

»Ranging« skenerji delujejo na osnovi metode časovnega intervala potovanja elektromagnetnega valovanja med začetno in končno točko ali na osnovi metode primerjave faze oddanega in sprejetega moduliranega signala. Prvi je dobro poznan pri impulznih elektronskih razdaljemernih. Skenerji uporabljajo majhne rotirajoče naprave (slika 2) za kotno odklanjanje žarka (najmanj eno ali dve zrcali), za izračun razdalje pa uporabljajo preproste algoritme, kar lahko vodi do slabše natančnosti. Tipični standardni odklon za merjene razdalje znaša nekaj milimetrov. Ker so razdalje majhne, je ta natančnost enaka za vso površino skeniranega objekta. Na natančnost določitve prostorskih koordinat vpliva tudi natančnost določitve kotnega odklona laserskega žarka.

Tudi druga metoda je znana pri faznih elektronskih razdaljemernih. V tem primeru je oddani žarek moduliran s harmoničnim valovanjem. Razdalja se računa na podlagi fazne razlike med oddanim in sprejetim valovanjem. Zaradi podrobnejše analize signala so rezultati določitve razdalje natančnejši. Zaradi zahtevane jakosti odbitega valovanja se lahko zgodi, da imajo takšni skenerji zmanjšan doseg delovanja.

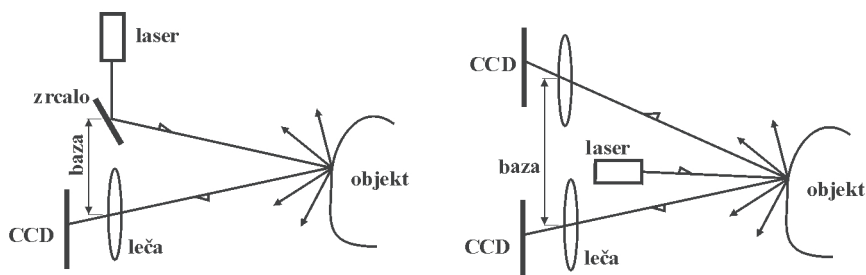
Z »ranging« skenerji lahko delamo na večji oddaljenosti od objekta kot s skenerji, ki delujejo na osnovi triangulacije, vendar je dosežena natančnost slabša, še posebej pri kratkih razdaljah. Natančnost določitve prostorskih koordinat znaša od nekaj milimetrov do treh centimetrov (Boehler et al., 2001).



Slika 2: Način delovanja »ranging« skenerja.

2.1.2 Triangulacijski skenerji

Druga skupina skenerjev temelji na osnovi triangulacije. Svetlobni žarek, ki ga odda laserski izvor, se projicira na površino objekta. Položaj točke na objektu se registrira s CCD kamero. Osnovni način delovanja je zelo preprost. Laserski žarek je proti objektu usmerjen pod določenim kotom, medtem ko je dolžina baze znana iz kalibriranja 3D laserskega skenerja. Razdalja od instrumenta do objekta je izračunana iz kota in dolžine baze. Obstajata tehnični rešitvi z eno ali dvema CCD kamerama (slika 3). Skenerji triangulacijskega tipa dosežejo natančnost določevanja prostorskega položaja točke okrog milimetra pri razdaljah krajših od dveh metrov (Boehler et al., 2001). Natančnost je odvisna od dolžine baze skenerja in oddaljenosti skeniranega objekta.



Slika 3: Način delovanja ene (levo) in dveh CCD kamer (desno).

2.2 Osnovni elementi 3D laserskih skenerjev

Čeprav geodeti obravnavamo natančnost kot prevladujoč element, ko primerjamo mersko opremo, moramo v primeru 3D laserskih skenerjev upoštevati tudi druge elemente, ki so pomembni pri naši odločitvi, kakšen 3D laserski skener bomo uporabili za določeno nalogo. Elementi, ki vplivajo na našo odločitev, so: izvedba, natančnost, hitrost skeniranja, ločljivost in velikost laserske pike, doseg, tarče, vidno polje, transport, napajanje, programska oprema ter ne nazadnje tudi cena.

Izvedba. Obstajata dva načina izvedbe terestričnih 3D laserskih skenerjev (slika 4): kameraskener in panoramski skener. Kameraskener skenira v naprej določenem vidnem polju, omejenim z zgradbo snemalne glave, ki se med postopkom skeniranja ne vrti. Panoramski skener ima snemalno glavo, ki se med skeniranjem profilov samodejno vrti okrog ene osi. Velika prednost 3D laserskega skeniranja je njihova zmožnost delovanja v popolni temi.



Slika 4: Osnovni izvedbi skenerjev: kameraskener (levo), panoramski skener (desno) (vir: www.mensi.com).

Natančnost. Natančnost določitve prostorske lokacije skenirane točke je odvisna od natančnosti določitve razdalje in natančnosti kotnih meritev. 3D laserski skenerji z optimalnim razmerjem med kotno in dolžinsko natančnostjo so sposobni določiti prostorski položaj točke z natančnostjo ± 6 mm za posamezno točko ter ± 2 mm za modelirano točko na razdalji 50 metrov (Santala, 2003), kar je bilo potrjeno tudi s testiranjem.

Hitrost skeniranja. Kljub veliki hitrosti zajemanja podatkov lahko 3D lasersko skeniranje postane časovno potraten postopek, kadar je potrebna velika gostota točk za doseganje visoke ločljivosti zajetega objekta. Hitrost zajemanja 100 točk na sekundo lahko še vedno obravnavamo kot počasno skeniranje. Hitrost 1000 točk na sekundo je zadovoljiva v večini primerov. Iz tega ne smemo sklepati, da bomo za izvedbo projekta potrebovali 10-krat manj časa, saj časa, ki ga porabimo za ostale operacije (prevoz, priprava opreme, meritve kontrolnih točk, premikanje s stojišča na stojišče, pisarniška obdelava podatkov ...), ne moremo skrajšati.

Ločljivost in velikost pike. Ločljivost 3D laserskega skenerja je teoretično funkcija velikosti kotnega zasuka zrcala, ki ga je še mogoče izvesti. Ločljivost 3D laserskih skenerjev z enim zrcalom (Callidus) je odvisna od kotnega zasuka zrcala, ki omogoča navpično odklanjanje laserskega žarka ($0,25^\circ$, $0,5^\circ$, 1°), in od kotnega zasuka merilne glave, ki omogoča vodoravne premike laserskega žarka ($0,0625^\circ$, $0,125^\circ$, $0,25^\circ$, $0,5^\circ$, 1°). Pri 3D laserskih skenerjih z dvema zrcalom je ločljivost odvisna le od kotnega zasuka zrcal. Velikost laserske svetlobne pike je odvisna od natančnosti fokusiranja. Tehnični podatki za Cyrax 2500 navajajo velikost laserske pike premera 6 mm na razdalji 50 m.

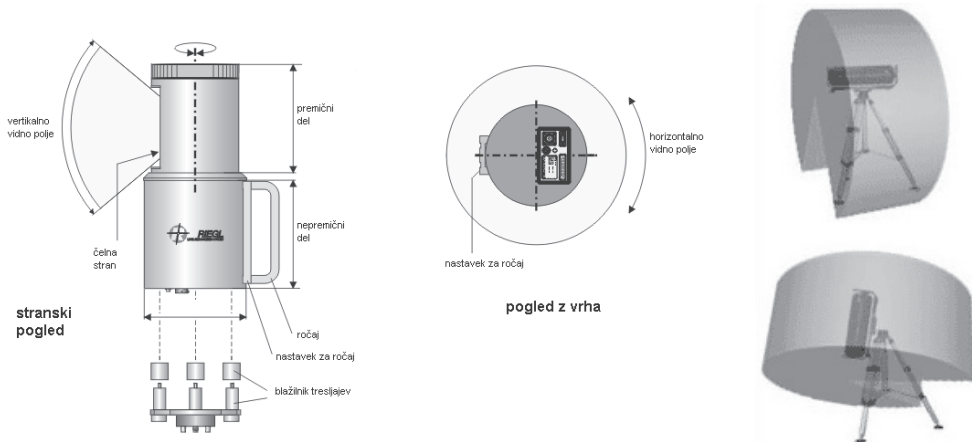
Doseg. Doseg 3D laserskih skenerjev je zelo odvisen od odbojnosti materialov, stanja atmosfere, difuzne svetlobe. Na splošno so skenerji, ki delujejo na osnovi časovnega intervala, manj občutljivi kot fazni in triangulacijski skenerji. V preglednici 1 so prikazani podatki o dosegu nekaterih 3D laserskih skenerjev, pri katerih dosežemo optimalne rezultate.

proizvajalec	tip	doseg [m]	princip
Riegl	LMS-Z420	1000	tof
Optech	ILRIS-3D	800	tof
Mensi	GS 100	100	tof
Cyra Teh.	Cyrax 2500	100	tof
Callidus	Callidus	80	tof
MetricVision	MV 200	60	tof
Mensi	S 25	25	tri

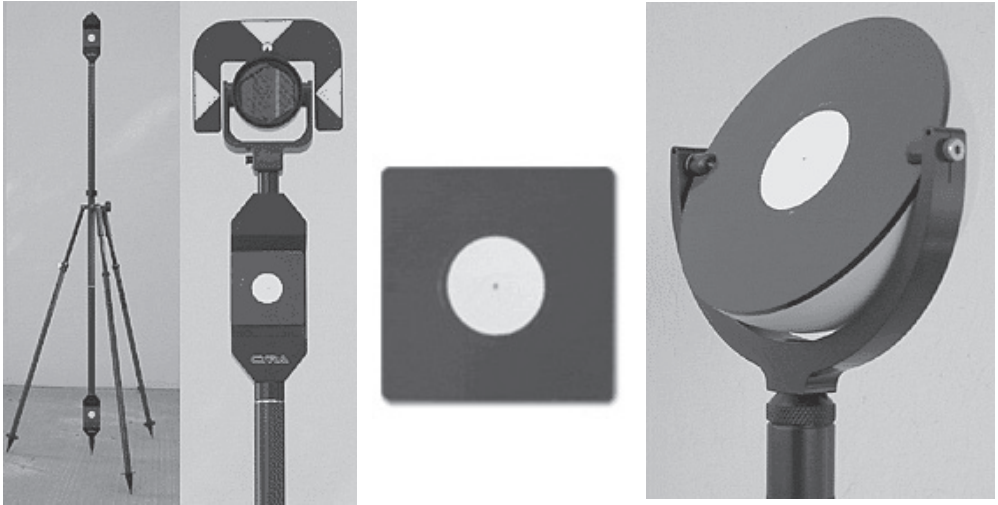
Preglednica 1: Doseg 3D laserskih skenerjev (tof – metoda časovnega intervala, tri – metoda triangulacije).

Vidno polje. Velikost vidnega polja, ki ga razdelimo na vodoravno in navpično sestavino (slika 5), je odvisna od izvedbe 3D laserskega skenerja. Fiksni 3D laserski skenerji, ki nimajo možnosti samodejne rotacije okrog osi med skeniranjem, imajo zato manjše vidna polja, saj je omejeno z zgradbo snemalne glave. Običajno lahko skeniramo vidna polja $40^\circ \times 40^\circ$ (Cayrax 2500). 3D laserski skenerji z eno rotacijsko osjo pokrijejo območje $46^\circ \times 320^\circ$ (Mensi S25), medtem ko skenerji z dvema rotacijskima osem pokrijejo območje $360^\circ \times 180^\circ$ (Callidus PS 3200). Velikost vidnega polja je pomembna pri skeniranju v zaprtih prostorih, kjer lahko iz enega samega stojišča brez posredovanja operaterja skeniramo ves prostor.

Tarče. Za združevanje več skenogramov (oblakov točk), narejenih z različnih stojišč, ali preslikavo meritev v želeni koordinatni sistem, je priporočljiva uporaba posebnih tarč, ki jih skenerjeva programska oprema samodejno zazna (slika 6). Nekateri proizvajalci ponujajo kot dodatno opremo posebne tarče z visoko odbojnostjo, ki so primerne tudi za polarno terestrično izmero in fotogrametrične meritve.



Slika 5: Vidno polje 3D laserskega skenerja (vir: www.rieglusa.com, www.mensi.com).



Slika 6: Tarče za 3D lasersko skeniranje (vir: www.leica-geosystems.com).

Transport. Idealno bi bilo, da bi bila oprema za skeniranje majhna in lahka. Večina skenerjev srednjega in dolgega dosegaja je še vedno relativno velika. Pomembni sta robustnost (odpornost, vzdržljivost) opreme in kvaliteta transportnih kovčkov. 3D laserski skener in baterija lahko skupaj tehtata tudi do 30 kg.

Napajanje. Uporabljajo se prenosne akumulatorske baterije ali priklon na električno omrežje. Pri baterijah sta zaželeni čim daljša doba delovanja in čim manjša masa baterij. Uporaba električnega omrežja ni najbolj praktična. Ponavadi ena baterija zdrži en snemalni dan. Izkušnje kažejo, da so šibkejši del opreme za 3D lasersko skeniranje notranje baterije prenosnega računalnika.

Programska oprema. Programska oprema za 3D lasersko skeniranje je sestavljena iz različnih programskih modulov. Njihova kakovost ima znaten vpliv na kakovost končnega izdelka in na količino porabljenega časa za njegovo izdelavo. V celotnem postopku od zajema podatkov do končnega izdelka so programski moduli naslednji:

- modul za krmiljenje (upravljanje) skenerja,
- modul za obdelavo oblakov točk,
- modul za geometrično enostavne ploskve,
- modul za kreiranje zapletenih ploskovnih modelov,
- modul za upodobitev površin in
- modul za upravljanje podatkov in postopkov.

Cena. Edini ponudnik terestričnih 3D laserskih skenerjev v Sloveniji je podjetje Geoservis, d.o.o. Cene za model Cyrax 2500 ali 3000 se gibljejo med 70 000 in 100 000 evrov. Manjši paket

programske opreme s polno licenco stane okrog 10 000 evrov. Ker je postopek skeniranja prvi korak do končnega izdelka, se je v tujini uveljavila praksa, da uporabnik 3D laserski skener najame. Pridobljene podatke (prostorske oblake točk) potem poljubno obdeluje z različno programsko opremo.

2.3 Odbojnost površin

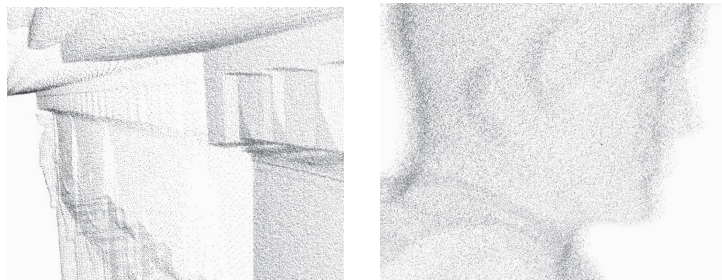
Osnovni pogoj za izvedbo 3D laserskega skeniranja brez posebnih odbojnih tarč je, da skenirane površine odbijajo lasersko svetlobo določene valovne dolžine. Površine iz različnih materialov različno odbijajo lasersko svetlobo (slika 7). Nekatere je sploh ne, zato nastajajo v 3D oblakih točk "črne luknje" – območja brez točk. Laserska svetloba se odbija tudi od vseh objektov (ljudi, avtomobilov, dreves, uličnih svetilk ...), ki se med skeniranjem nahajajo v vidnem polju 3D laserskega skenerja. Odvečne točke v oblaku točk imenujemo šumi, ki jih hitro in preprosto odstranimo s posebnimi programi.



Slika 7: Različni materiali in različna odbojnost: fotografija (levo), skenirano (desno) (vir: Geoservis, d.o.o.).

3 REZULTAT SKENIRANJA IN PRIMERI UPORABE 3D LASERSKIH SKENERJEV

Rezultat postopka 3D laserskega skeniranja je prostorski oblak točk skeniranega objekta (slika 8), ki ga uporabnik z različno programsko opremo obdeluje za svoje potrebe. Dobra programska oprema je ključ za dober rezultat. Čeprav je postopek zajemanja podatkov zelo hiter in preprost, saj je dejansko najlažji del, se moramo zavedati, da je treba veliko časa in potrpežljivosti za doseg končnega rezultata. Razmerje med porabljenim časom za skeniranje in pisarniško obdelavo je nekje med 1 : 3 do 1 : 5, odvisno od zahtevnosti skeniranja, velikosti in celovitosti objekta ter želenega končnega rezultata.



Slika 8: Prostorski oblak točk: detajl objekta (levo) in kipa (desno) (vir: Geoservis, d.o.o.).



Slika 9: Cyrax 2500 (vir: Geoservis, d.o.o.).

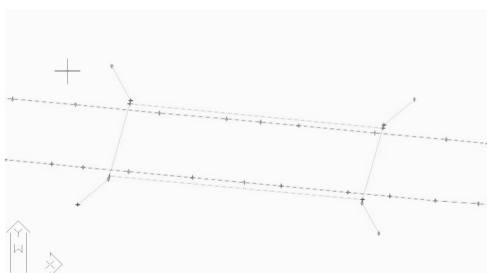
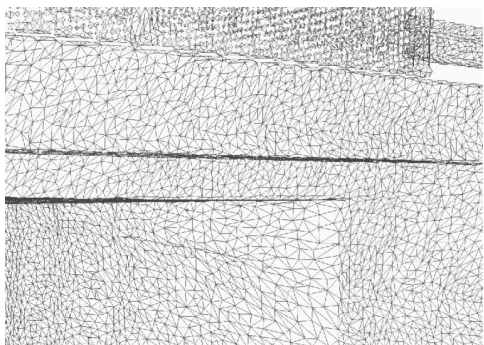
Vse točke v oblaku točk imajo pripadajoče prostorske koordinate (x, y, z) v skenerjevem koordinatnem sistemu z izhodiščem v skenerjevem centru. Večina objektov je zajeta iz različnih stojišč, zato je treba posamezne oblake točk združiti. Oblake združimo na podlagi najmanj treh identičnih veznih točk, označenih s posebnimi tarčami. Če želimo, da imajo točke v prostorskem oblaku točk podane koordinate v državnem koordinatnem sistemu, uporabimo tudi oslonilne točke, ki imajo v tem primeru skenerjeve in državne koordinate, ki so določene z geodetskimi metodami.



Slika 10: Kulturna dediščina: fotografija (levo zgoraj), oblak točk s šumi (desno zgoraj), oblak točk brez šumov (levo spodaj), mreža nepravilnih trikotnikov (desno spodaj) (vir: Geoservis, d.o.o.).

Raznovrstnost modelov 3D laserskih skenerjev nam omogoča, da si izberemo 3D laserski skener, ki bo najbolj primeren za izvedbo določene naloge. V tuji literaturi je veliko primerov uporabe 3D laserskih skenerjev, vendar sem se odločil, da predstavim njihovo uporabo na slovenskih primerih (slike 7, 8, 10, 11). Za skeniranje omenjenih primerov je bil uporabljen terestrični 3D laserski skener Cyrax 2500 (slika 9), ki sodi v skupino kameraskenerjev, in programski paket Cyclone. Tehnični podatki so naslednji:

- natančnost določitve položaja posameznih točk:
 - položaj: ± 6 mm na razdalji 1,5–50 m,
 - razdalja: ± 4 mm,
 - kot: ± 60 μ rad,
- natančnost modeliranja površine: ± 2 mm,
- velikost laserske pike: ≤ 6 mm na razdalji do 50 m,
- doseg (optimalni): 100 m,
- hitrost skeniranja: 1000 točk/s,
- ločljivost: 0,25 mm med posameznimi točkami na razdalji 50 m,
- vidno polje: $40^\circ \times 40^\circ$.



Slika 11: Podvoz: fotografija (levo zgoraj), oblak točk (desno zgoraj), mrežni model (levo spodaj), CAD model (desno spodaj) (vir: Kolenc, 2004 in Geoservis, d.o.o.).

Področja za uporabo terestričnih 3D laserskih skenerjev so številna. Trenutno se 3D laserski skenerji največ uporabljajo v kulturni dediščini (slike 7, 8, 10). Uporabljajo se še v arheologiji, pri meritvah deformacij objektov (npr. obnašanje konstrukcije objekta pod obremenitvijo), pri meritvah premikov terena (npr. vulkani, zemeljski plazovi), v rudarstvu (npr. izračun volumna izkopanega materiala), v gradbeništvu (slika 11), strojništvu in reverznem (povratnem) inženirstvu. Skenirajo se zgradbe in njihovi posamezni deli, fasade, kipi, deponije materiala itd. Iz oblakov točk se izdelujejo dvorazsežni načrti in prostorski modeli objektov. Na področju klasičnih geodetskih izdelkov lahko z obdelavo prostorskih oblakov točk:

- izdelamo geodetske posnetke terena,
- izdelamo posnetke obstoječih elementov v industrijskih objektih,
- izračunamo volumne in površine,
- izdelamo poljubne prereze objektov,
- nadzorujemo geometrične pravilnosti elementov in konstrukcij itd.

Več slikovnega gradiva in ostalih informacij o primerih uporabe terestričnih 3D laserskih skenerjev v Sloveniji je na voljo na spletni strani www.geoservis.si.

4 ZAKLJUČEK

3D laserski skenerji so poenostavili celovito zajemanje podatkov o objektih, saj omogočajo preprosto in hitro zajemanje velike količine prostorskih koordinat točk skeniranih objektov ter njihovo predstavitev v obliki ravninskih ali prostorskih modelov. V prostorskem oblaku točk lahko merimo razdalje, računamo površine in volumne, izdelamo poljubne prereze itd. Osnovna elementa 3D laserskih skenerjev sta 3D laserski skener in programska oprema za obdelavo skeniranih podatkov (oblakov točk). Merjenje razdalj od skenerja do objekta se izvaja na osnovi dveh metod, ki ju poznamo pri elektronskih tahimetrih in določata doseg 3D laserskega skenerja. Natančnost določitve prostorskega položaja točk je odvisna od natančnosti izmerjene razdalje in natančnost določitve kotnega zasuka zrcal.

Sam postopek 3D laserskega skeniranja je hiter in preprost, medtem ko nadaljnja obdelava skeniranih podatkov zahteva veliko potrpežljivosti, časa in kakovostno programsko opremo. Velja poudariti, da moramo imeti pri izbiri modela 3D laserskega skenerja pred očmi vedno želeni končni rezultat, saj bomo le tako lahko izbrali najprimernejšo natančnost, izvedbo, hitrost, ločljivost in druge karakteristike našega 3D laserskega skenerja.

Literatura in viri:

Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A. (2001). The Potential of Non-Contact Close Range Laser Scanners for Cultural Heritage Recording. Pridobljeno 11. 2. 2003 s spletne strani: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/potsdam/2001-11-wb01.pdf>.

Gordon, S., Lichti, D., Stewart, M. (2001). Application of High-Resolution, Ground-Based Laser Scanner for Deformation Measurements. Pridobljeno 11. 2. 2003 s spletne strani: http://ricon.gps.caltech.edu/FIG10sym/pdf/Session%20I_Paper%204.pdf.

Kern, F. (2002). *Precise Determination of Volume with Terrestrial 3D-Laserscanner*. Pridobljeno 11. 2. 2003 s spletne strani: <http://www-public.tu-bs.de:8080/~fkern/paper/berlin-eng.pdf>.

Kolenc, R. (2004). *Terestrično 3D lasersko skeniranje*. Diplomski naloga. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Lichti, D., Harvey, B. (2002). *The effects of Reflecting Surface Material Properties on Time-of-Flight Laser scanner Measurements*. Pridobljeno 11. 2. 2003 s spletne strani: <http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/180.pdf>.

Mozetič, B. (2003). *Avtomatizacija in avtomatska obselava v geodeziji: 3D lasersko skeniranje*. Študij ob nalogi. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Pfeifer, N., Gottensteiner, G. (2001). *The Riegel Laser Scanner for the Survey of the Interiors of Schönbrunn Palace*. Pridobljeno 11. 2. 2003 s spletne strani: http://www.ipf.tuwien.ac.at/publication/np_vienna_terrestrial_2001.pdf.

Santala, J., Joala, V. (2003). *On the Calibration of a Ground-based Laser Scanner*. Pridobljeno 11. 12. 2003 s spletne strani: http://www.fig.net/pub/fig_2003/TS_12/TS12_4_Santala_Joala.pdf

Tucker, C. (2002). *Testing and Verification of the Accuracy of 3D Laser scanning Data*. Pridobljeno 11. 2. 2003 s spletne strani: <http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/537.pdf>.

www.3dlasermapping.com

www.callidus.de

www.cyra.com

www.geoservis.si

www.i3mainz.fh-mainz.de

www.j-techdesign.com/laser.shtml

www.mensi.com

www.optech.on.ca

www.riegl.com

www.rieglusa.com

www.leica-geosystems.com

Blaž Mozetič, univ. dipl. inž. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije

Zemljemerska 12, SI-1000 Ljubljana

E-pošta: Blaz.Mozetic@gov.si

Prispelo v objavo: 20. julij 2004