

Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka
Odsek za geodeziju i geoinformatiku



SEMINARSKI RAD

Predmet: Integrisani sistemi premera

Tema: Terestrički laserski skeneri

Mentor:
prof. Bulatović dr.Vladimir

Kandidat:
Rusov Marko o196

Novi Sad, jun 2014.

Kratak sadržaj: Terestrički laserski skeneri nude efektivan metod za prikupljanje velikog broja 3D podataka (X,Y,Z koordinata). Za razliku od klasičnih geoteskih metoda prikupljanja prostornih 3D podataka pomoću kojih bi snimanje nekog određenog dela terena trajalo nekoliko dana, koristeći terestričke laserke skenere isti deo terena možemo snimiti za samo nekoliko minuta.

Ovaj rad opisuje terestričke laserke skenere, koji predstavljaju relativno novu tehnologiju snimanja prostornih objekata. Takođe je opisana razlika između pojedinih tipova terestričkih laserskih skenera, koje su im bitne karakteristike i na šta je potrebno obratiti pažnju prilikom odabira instrumenta za određeni projekat. U daljem tekstu biće predstavljen princip rada terestričkih skenera, njihova primena, proces obrade podataka, kao i njihove dobre i loše osobine. Poglavlje 2. govori o laserima, principima merenja dužina pomoću laserskog snopa svetlosti. U poglavlju 3. opisano je lasersko skeniranje i podela na statičko i dinamičko skeniranje. Poglavlje 4 objašnjava princip rada terestričkog skenera kao i podele skenera. Poglavlja 5 i 6 govore o obradi podataka dobijenih laserskim skeniranjem kao i primeni terestričkih laserskih skenera. U obalsti 7 diskutuje se o

metrološkim aspektima, i primerima nekih grešaka koje nastaju prilikom merenja terestričkim laserskim skenerima.

Ključne reči: Terestrički laserski skeneri, oblak tačaka,

1. UVOD

Otkako su se početkom devedesetih godina na tržištu pojavili prvi terestrički laserski 3D skeneri, došlo je do značajnog tehničkog napretka na tom području. Terestričko lasersko skeniranje je brz metod prikupljanja nekoliko miliona 3D tačaka nekog prostornog objekta. Sposobnost terestričkog laserskog skenera da prikuplja veliki broj prostornih podataka visoke rezolucije nekih površina ili objekata je velika prednost u odnosu na tradicionalne geodetske instrumente za snimanje terena (kao što su totalna stanica, GPS), posebno prilikom praćenja deformacija površine.

Princip rada je vrlo sličan današnjim klasičnim geodetskim instrumentima sa laserom koji su u upotrebi već godinama. Laserski zrak poslat iz mernog instrumenta se reflektuje od objekat snimanja i vraća se nazad do mernog instrumenta. Kombinacija izmerene udaljenosti i ugla sa određene stanice daje koordinate tražene tačke u 3D prostoru. Na slici su predstavljeni neki od modela terestričkih laserskih skenera.



silka 1.1 Terestrički laserski skeneri: Trimble GX, Leica Scan Station 1, Leica Scan Station 2, Riegl LMS-Z420i, Faro LS 880HE, Zoller & Frohlich IMAGER 5006, Leica HDS 600

2. LASER

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) - pojačano emitovanje svetlosti stimulisanom emisijom zračenja. Laseri emituju elektromagnetno zračenje u vidljivom (400nm do 700nm) i nevidljivom (100 nm do 400nm i 700nm do 1mm) delu spektra. Laseri stvaraju ili pojačavaju svetlost emitujući uski svetlosni snop. Koriste se u svakodnevnom životu, u uređajima kao što su DVD plejeri, bar kod čitači i sl.

2.1. SIGURNOSNE KLASE

Isto ono svojstvo koje lasersko zračenje čini toliko privlačnim zarazličite tehničke primene, jeste velika količina svetlosnog zračenja skoncentrisana na malom ciljnom području u kratkom vremenskom periodu. Upravo je to ralog zbog ko lasersko zračenje može da prouzrokuje ozbiljne povrede očiju i kože. Kako bi korisnici uređaja temeljenih na laserskom zračenju bili svesni opasnosti koje lasersko zračenje predstavlja za njih i okolinu, proizvođači su dužni da uvrste svoj proizvod u jednu od sigurnosnih grupa. Trenutno postoje dva glavna standarda za lasersku sigurnost i to američki FDA 21 CFR part 1040 sec. 1040.10 i međunarodni 60825-IEC:1993+A1:1997.

CLASS	US: FDA/CDRH	IEC 60825 (AMENDMENT 2)
Class 1	<ul style="list-style-type: none"> No known hazards during to eye or skin <i>during normal operation</i> Note: Service Operation may require access to hazardous embedded lasers 	
Class 1M	N/A	<ul style="list-style-type: none"> No known hazards to eye or skin, unless collecting optics are used
Class 2a	<ul style="list-style-type: none"> Visible lasers not intended for viewing. No known hazards up to maximum exposure time of 1000 seconds 	N/A
Class 2	<ul style="list-style-type: none"> Visible lasers No known hazard with 0.25 seconds (aversion response) 	
Class 2M	N/A	<ul style="list-style-type: none"> No known hazard with 0.25 seconds (aversion response) unless collecting optics are used
Class 3a	<ul style="list-style-type: none"> Similar to Class 2 with the exception that collecting optics cannot be used to directly view the beam Visible only 	N/A
Class 3R	N/A	<ul style="list-style-type: none"> Replaces Class 3a (with different limits) 5 x Class 2 limit for visible 5 x Class 1 limit for some invisible
Class 3B	<ul style="list-style-type: none"> Medium-powered (visible or invisible) Intrabeam and specular eye hazard Generally not a diffuse or scatter hazard Generally not a skin hazard 	
Class 4	<ul style="list-style-type: none"> High powered lasers (visible or invisible) Acute eye and skin hazard intrabeam, specular and scatter conditions Non-beam hazard (fire, toxic fumes, etc.) 	

tabela 1: Klasifikacija lasera

2.2 MERENJE DUŽINE POMOĆU LASERA

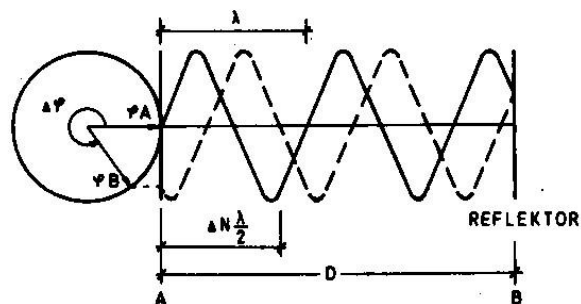
Postoje tri metode određivanja dužina pomoću laserskog zračenja na osnovu kojih laserski skeneri mere dužine. Dve vremenske metode fazna i pulsna metoda i triangulaciona metoda. Fazna i pulsna metoda se temelj na vrlo jednostavnom principu. Ako znamo brzinu svetlosti c i vreme t za koje svetlost pređe dvostruki put između dve tačke, na osnovu formule (1) možemo izračunati i rastojanje između njih D .

$$D = c * t/2 \quad (1)$$

2.2.1. METODA MERENJA DUŽINA POMOĆU FAZNE RAZLIKE

Dok moderna tehnologija nije omogućila direktno merenje veoma malih vremenskih intervala, koji su potrebni za merenje dužine impulsnom metodom, u geodezije se uglavnom koristio fazni princip merenja dužina. Pri faznom načinu merenja odabrana je posredna metoda merenja vremenskog intervala, na osnovu merenja fazne razlike emitovanog i primljenog signala (Benčić 1990.). Elektronski uređaj šalje modulisani talas nosilac ka reflektoru od kog se odbija. Reflektovani talas je, kao što je na slici 2. vidljivo, pomeren je u odnosu na poslat signal. Iz celog boja talasnih dužina i fazne razlike možemo izračunati dužinu

slika 2 : Metoda merenja dužine faznom razlikom



Terestrički laserski skeneri

2.2.2. IMPULSNA METODA MERENJA

Kod impulsne metode merenja dužina, predajnik šalje u vrlo kratkom vremenskom intervalu elektromagnetni impuls prema cilju pa se direktno meri vreme potrebno za njegov povratak. U literaturi na pisanoj na engleskom jeziku često se za ovu metodu sreće i skraćenica TOF (Time of Flight). Iako je teoretski dovoljno koristiti jedan, najčešće se šalje više impulsa, kako bi se otklonila mogućnost grube greške i povećala tačnost merenja.

Impulsni način merenja dužina ima pred faznim nekoliko prednosti:

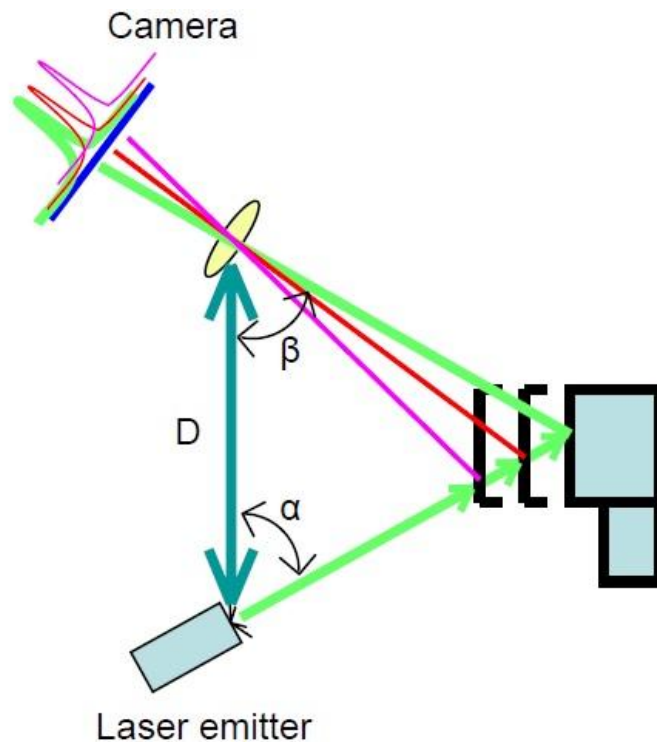
- kraće trajanje merenja
- jednoznačnost dobijene dužine
- potrebna manja izlazna snaga odašiljača u odnosu

na fazni

• mogućnost merenja bez posebnog reflektora na cilju.

2.2.3. TRIANGULACIONA METODA MERENJA

Trouglovi su osnova mnogih mernih tehnika. Korišćeni su kao osnove geodetskog merenja u antičkoj Grčkoj, i danas se principi merenja pomoću trouglova koriste i u najsavremenijim tehnikama premera. Triangulacioni laserski skener isijava laserski snop na predmet i koristi kameru kako bi našao lokaciju laserske projekcije na objekat. Laserski predajnik i kamera su podešeni pod određenim konstantnim uglom, i stvaraju trougao sa laserskom projekcijom na objektu. Zbog ovakve konfiguracije projekcija se menja u vidnom polju kamere u zavisnosti od udaljenosti kamere. Na slici 3. predstavljen je pricip rada triangulacionog laserskog skenera.

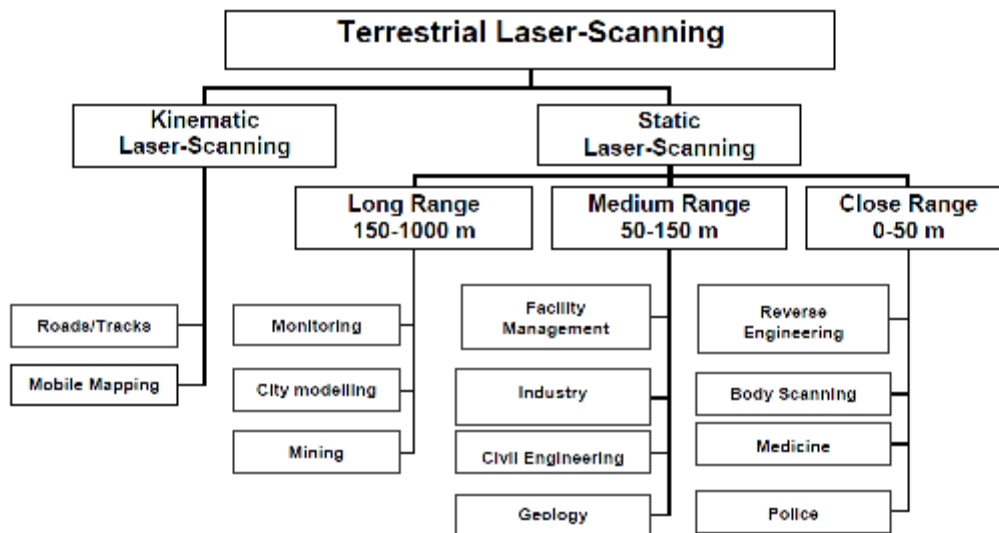


slika 3 : Pricip rada triangulacionog laserskog skenera

3. LASERSKO SKENIRANJE

Lasersko skeniranje predstavlja metod snimanja, tj. prikupljanja prostornih podataka nekog objekta u prostoru pomoću lasera. Skeniranje se odvija već poznatom metodom merenja udaljenosti i ugla do određene tačke u području snimanja. Rezultat ovakvog načina snimanja je skup trodimenzionalnih X,Y,Z koordinata tačaka koji se naziva oblak tačaka. Prostorna udaljenost između susjednih snimljenih tačaka unutar oblaka tačaka zavisi od udaljenosti od objekta snimanja i tehničke specifikacije samog instrumenta. Većina današnjih laserskih skenera može snimiti vrlo guste oblake tačaka, pa je tako moguće dobiti tačke na snimljenom objektu međusobno udaljene tek jedan milimetar. Oblak tačaka uz svoje prostorne, relativne ili apsolutne, koordinate može da sadrži i intenzitet RGB (Red

Green Blue) model boje reflektirane površine. Lasersko skeniranje se može podeliti u dve grupe: statičko lasersko skeniranje i dinamičko lasersko skeniranje. Kada je laserski skener fiksiran, odnosno kada miruje prilikom snimanja neke površine, onda se takav način laserskog skeniranja naziva statičko lasersko skeniranje. Kada je laserski skener vezen za neku mobilnu platformu, onda se takvo lasersko skeniranje naziva dinamičkim laserskim skeniranjem. Ovakvi sistemi zahtevaju korišćenje i sistema za pozicioniranje (GPS), kako bi se odredio položaj laserskog skenera u prostoru prilikom snimanja. Primeri dinamičkog laserskog skeniranja, su skeniranje iz vazduha, aviona (airborne laser scanning) ili skeniranje sa površine zemlje, sa vozila u pokretu (unmanned aerial vehicle - UAV).



Slika 4: Podela i primena terestričkog laserskog skeniranja

4. TERESTRIČKI LASERSKI SKENERI

4.1. OSNOVNI PRINCIP RADA TERESTRIČKIH LASERSKIH SKENERA

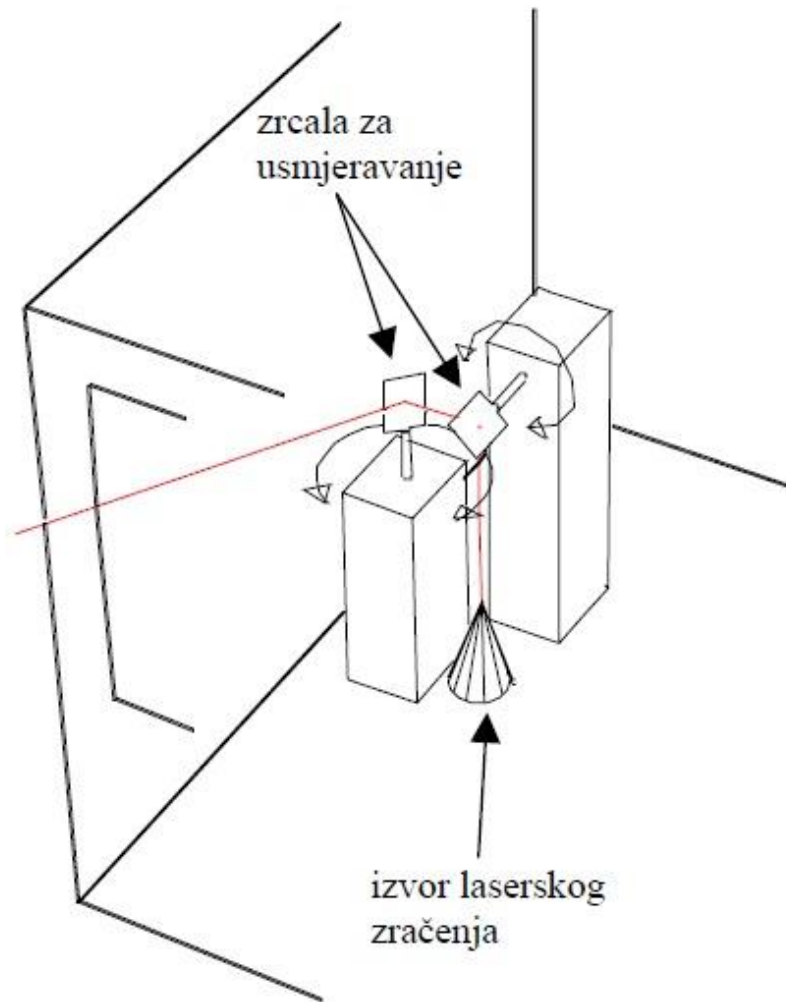
Princip rada laserskih skenera temelji se na merenju polarnih koordinata, odnosno horizontalnog i vertikalnog ugla te udaljenosti do određene tačke u prostoru. Instrument šalje laserske impulse, i registruje proteklo vreme od emitovanja impulsa (zraka) do njegovog povratka do prijemnika, izmerenu dužinu i potom računa prostorne koordinate tačke. Kako bi se postigla veća tačnost, merenja udaljenosti do svake tačke u oblaku tačaka moguće je merenje ponoviti više puta.

Veoma važan vid konstrukcije laserskog skenera je u usmeravanju laserskog zraka.

Kako bi se moglo postići skeniranje, odnosno snimanje željenog objekta merenjem velikog broja tačaka, njihovih 3D koordinata, potrebno je uz merenje dužine sa zadovoljavajućom tačnošću odrediti i horizontalni i vertikalni ugaon prema objektu snimanja. Laserski skeneri ne rade kao

klasični geodetski instrumenti, na principu direktnog merenja uglova prema pojedinoj tački. Ovo nije potrebno jer su razmaci u pojedinoj ravni (H/V) stalni i unapred poznati. Dakle vrednost ugaonog razmaka u odnosu na neki položaj dobija se za svaku merenu tačku zbirom prethodno izvedenih, konstantnih razmaka.

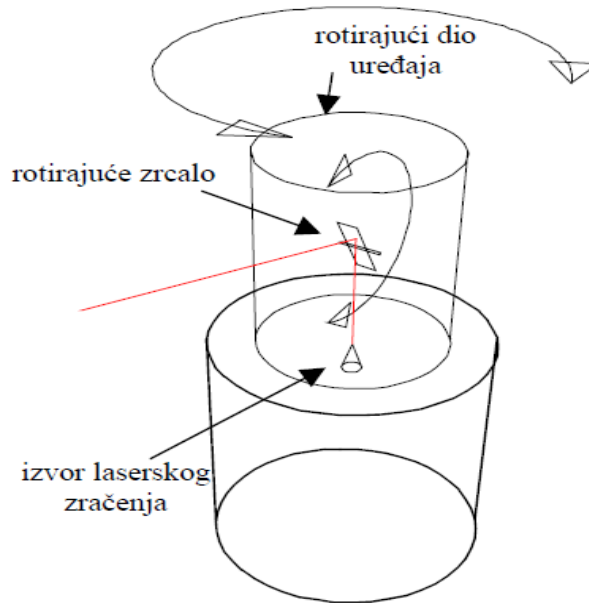
Laserski zrak se usmerava u prostoru okretanjem oko dve ose. Okretanje oko jedne od njih odvija se puno većom brzinom pa okretanje oko druge ose nastupa kada prva završi zadati ciklus. Postoje dve glavne vrste ovih okretanja. Prva od njih temelji se na usmeravanju zraka pomoću dva ogledala koja se mogu okretati. Prvo ogledalo usmerava zrak u vertikalnoj ravnini i okreće se manjom brzinom, dok drugo ogledalo prelazi čitav zadati pojas koji treba izmeriti i određuje položaj zraka u trenutnoj horizontalnoj ravni. Pomeraj jednog i drugog ogledala moguće je unapred odrediti, a ograničen je rezolucijom odnosno najmanjim pomerajem motora koji ih okreću.



slika 5 : Usmeravanje laserskog zraka pomoću ogledala (Cyrax 2005)

Nedostatak ovakvog rešenja je ograničeno područje koje se može snimiti sa jedne stanice. Instrumenti temeljeni na ovakvom principu nisu pogodni za merenje unutrašnjosti građevina. Druga grupa sličnih skanera temelji se na okretanju jednog ogledala

dok je pomeraj u horizontalnom smislu izveden okretanjem dela uređaja (slika 6). Zbog mogućnosti merenja većeg područja sa jedne stanice ovakvi instrumenti su pogodni za upotrebu u unutrašnjosti građevina.



Slika 6 : Usmeravanje zraka jednim ogledalom (Riegl LMS-Z210)

4.2. PODELA LASERSKIH TERESTRIČKIH SKENERA PREMA NAČINU SNIMANJA

U današnje vreme je moguće razlikovati tri vrste terestričkih skenera prema načinu snimanja, međutim još ne postoji standard za usmjeravanje laserskih zraka, tako da svaki proizvođač ima svoj sastav za posebne aplikacije. Tri uobičajene vrste skenera prema načinu snimanja su:

Skeneri-kamere: ograničeno polje snimanja - FOV (Field Of View) npr. $40^\circ \times 40^\circ$. Može se uporediti sa fotogrametrijskim kamerama, što znači da skeniraju sve što se nalazi u trenutnom polju snimanja, npr. CYRA 2500 (Leica) ili ILIRIS 3D (OPTECH). Snimanje se izvodi pomoću dva sinhronizovana ogledala (horizontalno i vertikalno) koja usmeravaju laserski zrak. Ovaj način snimanja može biti vrlo nepraktičan zbog uskog područja snimanja, ali često ovaj tip skenera ima vrlo veliki domet (i više od 1000 m), što nadoknađuje navedeni nedostatak.

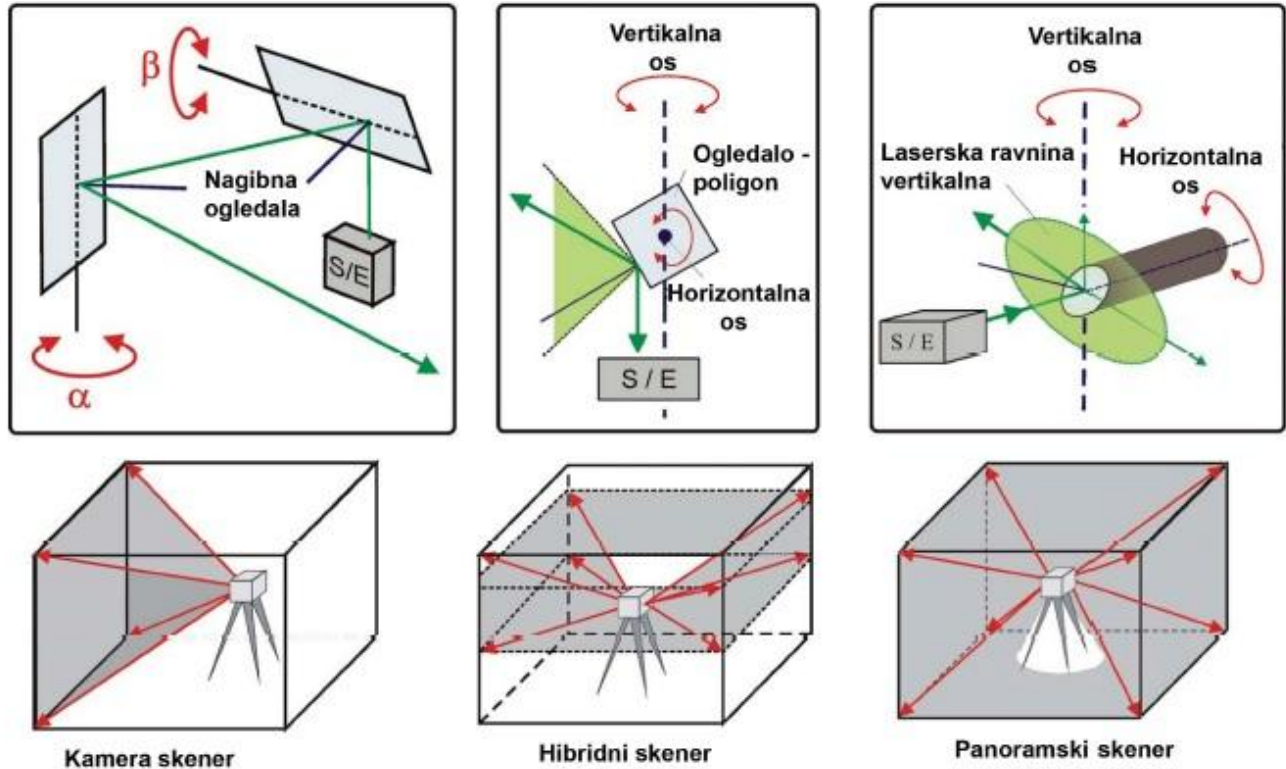
Panoramski skeneri: FOV je limitiran samo bazom instrumenta, što znači da skenira sve oko sebe, osim područja ispod postolja na kom se nalazi u trenutku skeniranja, npr. IMAGER 5003 (Zoller + Frohlich) ili HDS4500 (LEICA). Snimanje se izvodi rotacijom jednog ogledala koje usmerava laserski zrak pod vertikalnim uglom od otprilike 310° i rotacijom celog postolja instrumenta za

360° oko vertikalne ose. Na taj se način dobija snimak od $310^\circ \times 360^\circ$. Prednost ovog tipa skenera je u njihovoj brzini prikupljanja podataka i širini područja skeniranja. Nedostatak je kratak domet i upotreba im je u većini slučajeva ograničena na enterijere objekata.

Hibridni skeneri: FOV u horizontalnoj osi je 360° , dok je po vertikalnoj osi limitiran na otprilike 60° . Ovaj tip skenera sadrži rotacionu prizmu ili ogledalo, koje rotira oko horizontalne ose. Skenira sve pod vertikalnim uglom od 60° u trenutnom smeru gledanja. Čitav instrument (ili njegov deo) rotira oko vertikalne ose za 360° , npr. GX (TRIMBLE) ili LMS Z 360 (RIEGEL). Na taj način dobija snimak od $60^\circ \times 360^\circ$. Ovaj tip instrumenta se zbog svoje svestranosti najčešće koristi u praksi.

Jedinstvenu kategorizaciju terestričkih laserskih skenera je vrlo teško napraviti jer se primenjena tehnologija bitno razlikuje od modela do modela. Vrlo je važno naglasiti da ne postoji univerzalni skener za sve primene. S obzirom na njihove tehničke specifikacije po kojima se odlikuju, neki skeneri su bolji za enterijere i detalje, dok su drugi bolji za eksterijere i velike objekte.

Terestrički laserski skeneri



slika 7 : Podela terestričkih skenera prema načinu snimanja

4.3. PODELA SKENERA PREMA NAČINU MERENJA UDALJENOSTI

Terestričke laserske skenerne moguće je kategorisati i po načinu merenja udaljenosti. Tehnologija merenja dužina utiče na domet i tačnost skeniranja. Danas se koriste tri različite tehnologije merenja dužina laserskim skenerima - pulsna, fazna i triangulaciona metoda. Navedene metode obično se koriste samostalno, ali moguće ih je kombinovati.

Terestrički laserski skeneri kategorisani prema načinu merenja udaljenosti su:

Pulsni (eng. TOF - Time Of Flight) - radi na principu merenja vremena između poslanog i primljenog signala. Domet ovog načina merenja udaljenosti može biti preko 1 km. Prednost ostvarena merenjem velike udaljenosti, nažalost podrazumeva i smanjenu tačnost.



slika 8 : Pulsni (Time of Flight) terestrički skeneri

Terestrički laserski skeneri

Fazni (eng. phase) - radi na principu merenja fazne razlike između poslatog i primljenog signala. Nedostatak je ograni-

čenost dometa na od oko 100 m, ali tačnost ovog načina merenja udaljenosti je u granicama od nekoliko milimetara.



slika 9 : Fazni terestrički skeneri

Triangulacioni (eng. triangulation) - radi na principu optičke triangulacije. Laserski zrak se projektuje na objekat i registruje se na senzoru koji je smešten na poznatoj udaljenosti od izvora emitovanja zraka. Ovaj način merenja udaljenosti nema veliku korist u geodeziji jer je domet ograničen na nekoliko metara, ali je zato tačnost merenja dobijenih ovom metodom u granicama mikrometra. Od navedenih načina merenja, pulsno merenje udaljenosti ima najširu primenu. Dobijena udaljenost se kombinuje sa izmerenim prostornim uglovima (horizontalni i vertikalni) za dobijanje trodimenzionalnih koordinata.

4.4 PODELA TERESTRIČKIH LASERSKIH SKENERA PREMA NAČINU PRIKUPLJANJA PODATAKA - OBLAKA TAČAKA

Skeneri se takođe mogu podeliti po načinu prikupljanja podataka, tj. oblaka tačaka. Naime, postoje dva tipa oblaka tačaka: **apsolutni** (georeferencirani) i **relativni** (lokalni) oblak tačaka. Većina skenera nije prvobitno pravljen za geodetske potrebe, pa direktno georeferenciranje nije ni bilo potrebno.

U današnje se vrijeme pojavila potreba za direktnim georeferenciranjem podataka na terenu, pa određeni skeneri novije generacije imaju tu mogućnost (Trimble GX, Leica ScanStation). Bitna novost kod ovih skenera je što imaju ugrađene horizontalne i vertikalne kompenzatore, kao i klasični geodetski instrumenti. Ovakvo tehničko rešenje ima određene prednosti, ali i nedostatke u poređenju sa skenerima bez kompenzatora. Prednost ovakvih skenera je u tome što omogućavaju merenja na sličan način kao i klasični geodetski instrumenti - razvijanje poligonskog vlaka, iskolčenje tačaka, merenje samo jedne karakteristične tačke i sl. Tako prikupljeni podaci (oblak tačaka) mogu se georeferencirati već na terenu i nije potrebno uklapanje snimljenih oblaka tačaka naknadnom obradom. To ne znači da skeneri koji nemaju direktno georeferenciranje ne mogu imati georeferencirani oblak tačaka, već samo se taj postupak, bez većih poteškoća, radi naknado u obradi. Budući skeneri, koji imaju ugrađen kompenzator i mere na klasični geodetski način, moraju da ispune zahtev da vertikalna osa bude vertikalna u prostoru. Time je, međutim, onemogućeno naginjanje i usmeravanje skenera u različitim smerovima. Takođe, upravo su zbog prisustva kompenzatora puno osetljiviji na podrhtavanja u okolini.

Terestrički laserski skeneri

4.5. DODATNE MOGUĆNOSTI

Većina terestričkih laserskih skenera koji se mogu koristiti u geodetske svrhe, opremljena je uz standardne mogućnosti i nekim dodacima. Jedan od veoma važnih je svakako ugrađena (CCD) kamera za vizualni izbor objekta merenja. Ovakav dodatak uveliko će olakšati izbor područja

merenja, kao i upravljanje uređajem. Podaci prikupljeni laserskim skenerima mogu se koristiti i za vizualizaciju. Veoma važna informacija o objektu koji želimo da prikazemo je boja svake merene tačke, pa neki uređaji i nju registruju upotrebom ugrađene CCD kamere .



Slika 6. Fotografija i pseudokolorni prikaz Državne Opere u Beču (<http://www.riegl.com/>)

4.6. PRIKAZ TERESTRIČKIH LASERSKIH SKENERA NA TRŽIŠTU

Pre eventualne nabavke svakog instrumenta potrebno je, uskladiti izbor instrumenta prema nameni za koju ćemo koristiti instrument. Među tehničke mogućnosti instrumenta

spadaju tačnost merenih podataka, vremenski uslovi na kojima se vrši merenje, rad na otvorenom ili zatvorenom terenu, vrste objekta koje će biti merene i sl. U tabeli 2. dat je prikaz tehničkih specifikacija nekih od terestričkih laserskih skenera dostupnih na tržištu.

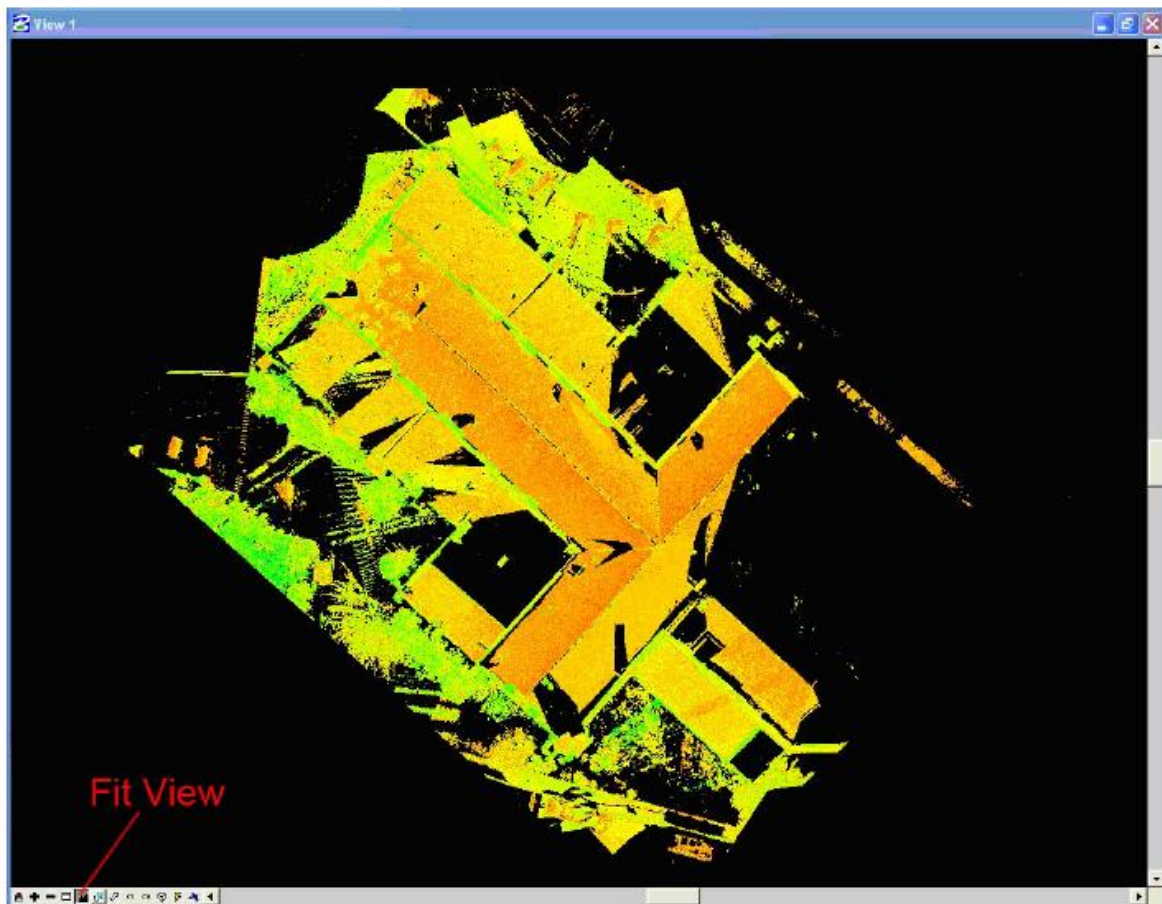
Scanner/Criterion	Trimble GX	Leica Scanstation 2	Faro LS 880 HE	Z+F Images 5006
Scan Method	Time-of-Flight		Phase difference	
Field of view [°]	360 x 60	360 x 270	360 x 320	360 x 310
Scan distance [m]	200	300	< 76	< 79
Scanning speed	≤5000 pts/s	≤50000 pts/s	120 kHz	≤500000 pts/s
Vertic. Ang. Resolution [°]	0,0017	0,0034	0,009	0,018
Horizont. Ang. Resolution [°]	0,0017	0,0034	0,00076	0,018
3D scan precision	12mm/100m	6mm/50m	n.a.	n.a.
Camera	integrated	integrated	add-on option	add-on option
Inclination sensor	compensator	compensator	yes	yes

tabela 2 : Tehničke specifikacije terestričkih laserskih skenera

5. PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA

Kod većine terestričkih laserskih skenera prikupljanje podataka vrši se uz pomoć softverske aplikacije, isporučene zajedno sa skenerom prilikom kupovine laserskog skenera. Aplikacija je instalirana na računar i putem mrežnog kabela ili bežične veze se spaja sa skenerom. Svaka aplikacija za prikupljanje podataka je drugačija, ali rezultat je na kraju isti: **oblak tačaka**. Većina skenera prikuplja lokalne oblake tačaka koji se naknadnom obradom moraju spojiti, iako je potrebno, georeferencirati. Spajanje oblaka tačaka se najčešće vrši pomoću spajanja identičnih tačaka unutar oblaka tačaka. Postoje i algoritmi koji mogu automatski prepoznati geometrijske oblike unutar oblaka tačaka. Međutim, zbog složenosti nisu uvijek primjenjivi, pa se ovaj način retko koristi u praksi. Kod skenera koji imaju mogućnost georeferenciranja nema potrebe za ovim korakom, jer oblaci tačaka dobijeni na ovaj način su već na terenu postavljeni u stvarni prostor. Sam postupak spajanja oblaka tačaka i georeferenciranja nije kompleksan i često se već poluautomatski izvodi na terenu.

Mora se naglasiti da je hardver skenera drastično napredovao posljednjih godina i svake godine dolaze skeneri koji u sve kraćem vremenu prikupljaju sve više sve tačnijih podataka. Problem nastaje u obradi podataka, tj. u aplikacijama u kojima se obrađuju oblaci tačaka. Često se događa slučaj da nije bitno koji ste skener koristili pri prikupljanju podataka, već problem nastaje kada ti podaci treba da se obrade. Aplikacije za obradu podataka su još uvek u početku razvoja, barem što se tiče geodetske struke. Ukratko rečeno, tehnički razvoj skenera puno brže napreduje nego algoritmi za obradu podatka. Tako, na primer modelovanje mosta ili nekog industrijskog objekta može zahtevati kompleksniju obradu podataka, bez obzira na to kako su snimljeni podaci na terenu. Većinom se obrada sastoji od manualnog modelovanja objekata u prostoru iz snimljenog oblaka tačaka. Postoje algoritmi koji ubrzavaju neke procese, ali isti još uvijek nisu na zavidnom nivou.



6. PRIMENA TERESTRIČKIH LASERSKIH SKENERA

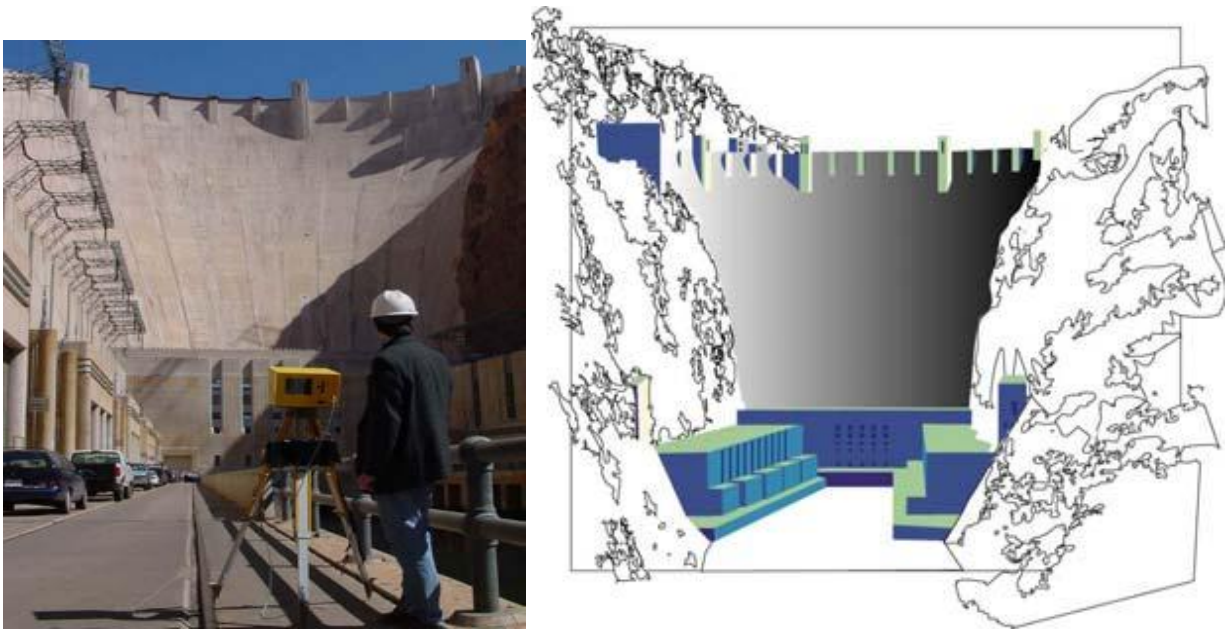
Primena velike količine preciznih podataka koje prikupljamo terestričkim laserskim skenerima već je i sada veoma široka, a stalno povećavanje procesne snage modernih računara praktično otvara i nove mogućnosti. Mnoštvo zadovoljavajuće tačnih 3D prostornih podataka prikupljenih, u slobodno možemo reći jednom trenutku postojanja nekog objekta (građevine) predstavljaju pandan fotografiji.

Obradom obalaka tačaka moguće konstruisati 3D modele objekta u zavisnosti od potrebe, a izvorni podaci merenja ostaju kao bogat i brzo dostupan izvor informacija o promatranom objektu.

Primena laserskih skenera je veoma široka. Terestrički laserski skeneri mogu da vrše merenja koja vrše i klasični geodetski instrumenti (totalne stanice) kao što su merenje dužina, snimanje i obeležavanje objekata, kao i praćenje deformacija objekta, snimanje industrijskih postrojenja i sl.

6.1. PRAĆENJE DEFORMACIJA OBJEKATA

Lasersko skeniranje možemo smatrati naprednijim u odnosu na klasične geodetske metode premera (totalna stanica, GPS) koje mogu pratiti deformaciju na samo određenom broju tačaka, laserski skener može meriti, odnosno pratiti deformaciju citave površine (Lichti i dr. 2000). Laserski skeneri više nego pogodni za praćenje deformacija na kapitalnim građevinskim objektima poput brana (slika 8), mostova i sl.



slika 8: snimanje brane pomoću terestričkog laserskog skenera

7. METROLOŠKI ASPEKTI - ANALIZA GREŠAKA PRI MERENJU TERESTRIČKIM LASERSKIM SKENERIMA

Proizvođači laserskih skenera objavljuju tačnosti svojih instrumenata kao ilustraciju prednosti njihovog proizvoda. Međutim, iskustvo koje pokazuje da te podatke o tačnosti instrumenta ne treba uzeti uvek „zdravo za gotovo“, da tačnost instrumenata koji se proizvode u određenim serijama varira od instrumenta do instrumenta, i zavisi od individualne kalibracije svakog instrumenta. Deo univerziteta primenjenih nauka u Manjcu i Instituta za geodeziju i fotogrametriju Carih su napisali nekoliko naučnih radova na temu testiranja tačnosti laserskih skenera. Kako bi sistemski opisali izvore grešaka laserskog skeniranja, podelili su ih u četiri kategorije: greške instrumenta, greške vezane za objekat skeniranja, greške vezane za okolinu i metodološke greške. U ovom radu biće navedene neke od grešaka nastalih usled nesavršenosti instrumenta.

7.1. GREŠKE INSTRUMENTA

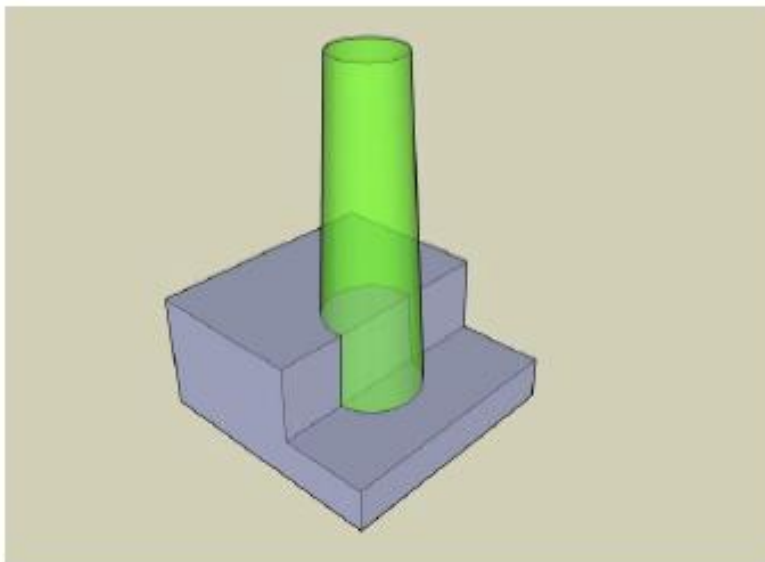
Greške instrumenta mogu biti i sistematske i nasumične i zavise i od dizajna skenera.

7.1.1. PROSTIRANJE LASERSKOG SNOPA

Divergencija (neslaganje) svetlosnog snopa je širenje laserskog zraka srazmerno sa udaljenosti njegovog putovanja. Divergencija ima jak uticaj na rezoluciju oblaka tačaka, kao i na pozicione nesigurnosti merenih tačaka.

7.1.2. PROBLEM ZAJEDNIČKIH IVICA

Jedna od posledica razilaženja laserskog snopa je skeniranje objekata sa zajedničkim ivicama. Kada laserski zrak pogodi ivicu objekta, deli se na dva dela. Jedan deo snopa odražava se na prvom delu skoka ivice, dok drugi deo putuje dalje ka drugoj površini. Rezultat toga je da snop koji je poslat od strane prijemnika se vraća sa dve različite lokacije u prostoru. Koordinate te tačke biće izračunate na osnovu prosečne vrednosti uglova pod kojim se oba snopa vraćaju do instrumenta, što naravno neće biti tačne koordinate tačke.



slika 9 : Objekat sa zajedničkim ivicama

7.1.3 UGAONA NEIZVESNOST

Većina laserskih skenera koriste rotirajuća ogledala za usmeravanje laserskog snopa. Mala ugaona razlika može da izazove znatnu grešku kada se rastojanje od skenera povećava. Ugaona tačnost zavisi od bilo koje greške u pozicioniranju ogledala i tačnosti merenja ugaonog uređaja. Pošto pozicije pojedinačnih tačaka teško mogu biti verifikovane, poznato je nekoliko istraživanja ovog problema. Mogu da se detektuju greške merenjem kratkih horizontalnih i vertikalnih rastojanja između predmeta (npr. sfere) koji se nalaze na istoj udaljenosti od skenera i upoređujući ih sa onim merenjima koja su izvedena preciznijim metodama (Boehler)

8. ZAKLJUČAK

Laserski skeneri, i velika količina brzo dostupnih i zadovoljavajuće tačnih podataka o prostoru i objektima u njemu, kao proizvod njihovog rada otvaraju nove mogućnosti premera. Prikupljanje velike količine prostornih podataka moguće je već dugo vremena obavljati fotogrametrijskim i drugim geodetskim metodama. Pre pojave laserskih skenera ti postupci su ipak zahtevali za nekoliko redova veličine dugotrajniji postupak od premera, preko obrade podataka do informacije kao krajnjeg rezultata. Iako su trenutno za naše uslove skupi, proširivanjem ponude na tržištu kroz uključivanje sve većeg broja proizvođača, očekivan je pad cene, što će ih učiniti pristupačnijim i širem krugu korisnika.

S obzirom na raznovrsnu ponudu terestričkih skenera na tržištu, ne može se reći da postoji jedan univerzalni uređaj koji je najbolji za sve primene. Postoje samo instrumenti koji su iz ovog ili onog razloga bolji za pojedinu primenu. Primer: potrebno je snimiti neku veliku površinu na litici brda u svrhu izrade studije klizanja tla ili sl. Mogao bi se koristiti bilo koji skener koji može doseći liticu, ali postavlja se pitanje utrošenog vremena i truda, na npr. skeniranje skenerom dometa 70 m i skenerom dometa 1km. U ovom slučaju, neka visoka tačnost ispod centimetra nam nije potrebna, pa će nas zadovoljiti neki dalekodometni skener kojim ćemo puno brže i kvalitetnije obaviti posao (cost-benefit). Međutim, snimanje kipa u svrhu njegove restauracije ili arhiviranja, gdje se zahteva milimetarska

tačnost, neki skener s tačnošću od nekoliko centimetara neće zadovoljiti postavljene kriterijume.

Osim kriterijuma tačnosti, potrebno je obratiti pažnju i na brzinu skeniranja. Možda se čini da je brzina od 2000 toačaka u sekundi puno, ali da bi se dobio kvalitetan i tačan model iz oblaka tačaka često je potrebno prikupiti nekoliko miliona tačaka. Panoramski skeneri su najbrži zbog svojih tehničkih karakteristika, dok su hibridni sporiji, a korišćenjem hibridnih skenera s kompenzatorom brzina skeniranja drastično opada.

Kao što je ranije u tekstu spomenuto, jedan od rezultata skeniranja je i RGB model boja snimljene tačke. Boja je dobijena kamerom, bilo unutrašnjom (ugrađenom) ili spoljašnjom (eksternom). Ako projektni zadatak zahteva kvalitetan ortofoto ili kvalitetno obojen oblak tačaka u svrhu vizualizacije ili prezentacije, potrebno je koristiti skener sa opcijom spoljašnje kamere. Razlika u kvalitetu između unutrašnjih i spoljašnjih kamera je velika i ne sme se nikako zanemariti. Kvalitet boje kod spoljašnjih kamera je izuzetna jer se često koristi profesionalna DSLR (Digital Single-Lens Reflex) tehnologija. Neki tipovi skenera nemaju mogućnost ugradnje spoljne kamere, pa se bojenje tačaka može izvesti posebnim algoritmima unutar različitih aplikacija, što naravno iziskuje dodatni rad na terenu, a posebno kasnije u kancelariji, a često ne daje tako kvalitetan rezultat.

Robusnost i radna temperatura su takođe bitni prilikom izbora skenera. Terestrički skeneri su u većini slučajeva vrlo osetljivi na okolinu. Jedna od bitnijih stvari o kojoj treba voditi računa pri odabiru skenera je okolina u kojoj će se izvoditi radovi. Rad u tunelima na + 10°C ne bi trebao predstavljati problem pri radu skenera, ali rad pri + 40°C na gradskom asfaltu mogao bi predstavljati problem prilikom snimanja.

Kupovina skenera u samo jednu svrhu je preskupa i neisplativa investicija, pa tako na tržištu postoje skeneri koji će dobro odraditi većinu poslova, ali nisu najbolji izbor za svaki od njih. U današnje vreme je na tržištu prisutan veći broj terestričkih skenera, pa odluka pri kupovini nije laka, ako uzmemo u obzir u obzir njegovu cenu (rang 100.000 € i više). Uvek je potrebno uzeti u obzir zadatke koji će se izvoditi i prema tome odabrati tip skenera.

9. LITERATURA

- Stuart Gordon, Derek Lichti and Mike Stewart “Application of High -Resolution, Ground Based Laser Scanner fo Deformation Measurements”
- Thorsten Schulz, Hilmar Ignensand “Terrestrial Laser Scanning – Investigations and Applications for High Precision Scanning”
- Hilmar Ingensand “Metrological Aspects in Terrestrial Laser Scanning Technology”
- Thomas P. Kersten, Klaus Mechelke, Maren Lindstaedt, Harald Sternberg “Methods or Geometric Acuuracy Investigations of Terrestrial Laser Scanning Systems”
- Mario Miler, Armin Đapo, Branko Kordić, Ivan Medved “Terestrički laserski skeneri”
- Reha Metin Alkan, Gokcen Kasirdag “Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements”
- L. Bornaz , F. Rinaudo “Terrestrial Laser Scanner Data Processing”
- Mario Santana Quintero, Bjorn Van Genechten, Marc De Bruyne, Ronald Poelman, Martin Hankar, GlobeZenit, Simon Barnes, Huseyin Caner, Plowman Craven, Luminita Budei,i ,Erwin Heine, Hansjörg, José Luis Lerma García, Josep Miquel Biosca Taronger “Ground Based Laser Scanners”
- D.D. Lichti, S.J. Gordon, M.P.Stewart “Geometrical Building Inspection by Terrestrial Laser Scanning”
- Rudolf Staiger “ Terrestrial Laser Scanning, Technology, Systems and Applications”
- Fröhlich, C.; Mettenleiter, M. “Terrestrial Laser Scanning - New Perspectives in 3D Surveing”