

Primjena terestričkog laserskog skenera u ispitivanju nadzemnih metalnih spremnika nafte prema američkoj normi API 653

Peroš, Josip

Source / Izvornik: **Common Foundations 2018 - uniSTem: 6th Congress of Young Researchers in the Field of Civil Engineering and Related Sciences, 2018, 172 - 178**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.31534/CO/ZT.2018.24>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:575429>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



Primjena terestričkog laserskog skenera u ispitivanju nadzemnih metalnih spremnika nafte prema američkoj normi API 653

Josip Peroš¹

(1) Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Republika Hrvatska, josip.peros@gradst.hr

Sažetak

Terestričko lasersko skeniranje relativno je nova metoda koja nam pruža mogućnost globalne pokrivenosti objekta od interesa mjerenjima naspram klasičnih geodetskih metoda, poput snimanja mjernom stanicom s kojima se određuju diskretne točke na objektu. Takva vrsta snimanja ima sve veću primjenu u industriji nafte, gdje se javlja potreba za određivanjem stvarnog stanja nadzemnih spremnika sukladno specifikacijama u normi API 653. U radu su uspoređeni podaci mjerenja imperfekcija nadzemnog spremnika nafte terestričkim laserskim skenerom s testnim slučajevima koji predstavljaju mjerenja klasičnim geodetskim metodama. Usporedbom podataka između kontrolnog slučaja, koji sadrži veliku gustoću podataka mjerenja, i testnih slučajeva, dobivene su razlike statističkih podataka do iznosa od 44 mm, što je znakovito odstupanje od stvarnog stanja. Usporedba podataka mjerenja pokazala su da se korištenjem klasičnih geodetskih metoda mjerenja, usprkos tome što one zadovoljavaju uvjete propisane normom API 653, ne mogu detaljno prikazati sve imperfekcije spremnika i može doći do smanjenja iznosa pojedinih imperfekcija.

Ključne riječi: nadzemni metalni spremnik, terestrički laserski skener, norma API 653

Application of terrestrial laser scanner in aboveground metal storage tank testing according to API – 653

Abstract

Terrestrial laser scanning is a relatively new method that enables us to obtain a global coverage of objects with measurements opposite to classic surveying methods that measure only discrete points on the object. There is an increase of application of terrestrial laser scanning in the oil industry, where there is a need to determine the state of aboveground storage tanks in accordance with the standard API 653. In this paper comparisons were made between imperfection measurement data with the terrestrial laser scanner and test cases, which represent discrete measurements obtained by using classic surveying methods. Comparison between the control case, which contains a high density of measurements, and test cases shows a discrepancy between the statistics up to 44 mm,

which is a significant difference. Data comparison shows that using classic surveying method, even when they are in accordance with standard API – 653, can result in lacking data that doesn't show the full extent of the imperfections.

Keywords: above ground metal storage tank, terrestrial laser scanner, standard API - 653

1. Uvod

Osnova korištenja prirodnih resursa kao što su tekući ugljikovodika (nafta) su postrojenja koja omogućuju njihovu preradu, skladištenje i transport. U svijetu kao standard izgradnje i ispitivanja nadzemnih metalnih spremnika koriste se američke norme API 650 i API 653. Norma API 650 definira minimalne uvjete za izgradnju i korištenje nadzemnog spremnika, a norma API 653 definira postupak inspekcije postojećih nadzemnih spremnika. Dio inspekcijskog postupka prema normi API 653 temeljen je i na geodetskim mjerenjima slijeganja i deformacija plašta spremnika. Samom normom nije detaljno definiran postupak mjerenja, nego su dane okvirne smjernice što treba mjeriti i koliko gusto trebaju biti raspoređeni podaci mjerenja. Usljed neoptimalnog rasporeda mjerenja, kod velikih imperfekcija spremnika može se dogoditi da iznosi imperfekcije, određeni na temelju mjerenja, budu manji nego što u stvarnosti jesu. Takav slučaj bit će prikazan i u sklopu rada. Terestričko lasersko skeniranje omogućuje pokrivanje cijelog spremnika s podacima veće gustoće od mjerenja po cm². Takvim načinom rada i obrade podataka smanjuju se izgledi da iznos pojedinog pomaka bude umanjen i dobiva se cjelokupna informacija o stanju spremnika.

2. Norme API 650 i API 653

Norme API 650 i API 653 su američke norme kojima se definiraju standardi i propisi za izgradnju i upotrebu nadzemnih metalnih spremnika.

Norma API 650 definira minimalne zahtjeve za materijale, oblik, izgradnju i inspekciju vertikalnih, cilindričnih, nadzemnih, otvorenih i zatvorenih, varenih spremnika različitih dimenzija i kapaciteta unutarnjeg tlaka koji odgovara atmosferskom tlaku. Ako se zadovolje dodatni uvjeti, dopušta se i veći unutarnji tlak od atmosferskoga. Norma se odnosi samo na spremnike čiji su temelji jednoliko poduprti i na nerashladne spremnike, čija maksimalna radna temperatura ne prelazi 93 °C [1].

Norma API 653 definira standarde koji obuhvaćaju čelične spremnike s određenim udjelom ugljika i manjim udjelom drugih legura, a koji su izgrađeni prema normi API 650. Norma definira minimalne zahtjeve za održavanje strukturalnog integriteta varenih ili zakovicama spojenih, nerashladnim, s atmosferskim unutarnjim tlakom, nadzemnim spremnicima nakon što su pušteni u uporabu. Normom se definira održavanje, inspekcija, popravci, promjene, premještanje i rekonstrukcija takvih spremnika [2].

Bitna stavka u normi API 653 je definiranje rasporeda mjerenja na spremnicima kroz izrazom u poglavlju 12.5.1.2:

$$N = \frac{D}{10[ft]} \quad (1)$$

gdje N predstavlja minimalni broj mjerenja slijeganja po obodu plašta spremnika, gdje taj broj ne smije biti manji od 8. Kod zaokruživanja se uvijek zaokružuje na veći broj i udaljenost po obodu ne smije biti veća od 32 stope (9.75 m), a D je promjer spremnika izražen u stopama. Broj mjerenja po visini spremnika nije striktno definiran normom i potrebno ga je usuglasiti s investitorom prije početka mjerenja.

3. Terestričko lasersko skeniranje

Terestričko lasersko skeniranje je relativno nova tehnologija mjerenja (pojavi se tek krajem devedesetih godina dvadesetog stoljeća) koja se pored već tradicionalnih metoda u geodeziji kao što su tahimetrija, fotogrametrija i GNSS, koristi kao metoda dobivanja koordinata traženih točaka u 3D prostoru [3]. Instrumenti koji odašilju, prema unaprijed zadanom razmaku, niz laserskih impulsa kako bi izmjerili udaljenost te horizontalni i vertikalni kut do pojedine točke prostora, nazivaju se terestrički laserski skeneri. Oni služe za bezodirno prikupljanje podataka u veoma kratkom vremenskom razdoblju te naknadnu obradu podataka za modeliranje i vizualizaciju objekata [4]. Izmjereni objekt je prekriven velikom količinom detaljnih točaka te prepoznatljivi dijelovi objekta, kao što su rubovi kuće i ostali detalji, nisu direktno snimljeni, već su prikupljeni u oblak točaka (eng. *point cloud*). Rezultat laserskog skeniranja je oblak točaka koji predstavlja gusti točkasti prikaz vanjske površine izmjenjenog objekta. Dakle, laserskim skeniranjem dobije se digitalna snimka objekta koja je predstavljena skupom točaka u 3D prostoru. Spajanje oblaka točaka moguće je ako je isti objekt snimljen više puta s različitih stajališnih točaka te se naknadnom obradom, tj. spajanjem identičnih točaka unutar oblaka točaka i modeliranjem, dobivaju već poznati geometrijski oblici. Tako su omogućena različita mjerenja i izračuni elementa objekta [5].

Laserskim skeniranjem postiže se globalna pokrivenost mjerenjima umjesto rijetke mreže diskretnih točaka. Oblaci točaka mogu se jednostavno modelirati u plohe s pravilnim ili nepravilnim rasporedom točaka što omogućuje definiranje lokalnih deformacijskih pojava koji bi bili preskočeni u slučaju korištenja klasičnih geodetskih metoda [6].

4. Metodologija rada

4.1. Prikupljanje podataka

Podaci mjerenja korišteni u radu preuzeti su iz stručnog projekta izmjere postojećeg stanja nadzemnog metalnog spremnika nafte na lokaciji u luci Ploče. Zbog privatnosti, detaljni podaci o samom spremniku i investitoru neće biti navedeni u radu. Za potrebe izmjere i dovođenje podataka mjerenja u apsolutne koordinate postavljena je geodetska mreža od 8 geodetskih stabiliziranih točaka. Postupak mjerenja i korišteni instrumentarij s pripadajućom opremom odabrani su i prilagođeni u svrhu postizanja što bolje preciznosti mjerenja. Precizna geometrija spremnika određena je korištenjem terestričkog laserskog skenera FARO Focus 3D X130. Cjelokupna geometrija spremnika snimljena je s ukupno 9 stajališta (skenova). Za međusobno i relativno orijentiranje skenova korištene su orijentacijske markice i kugle.

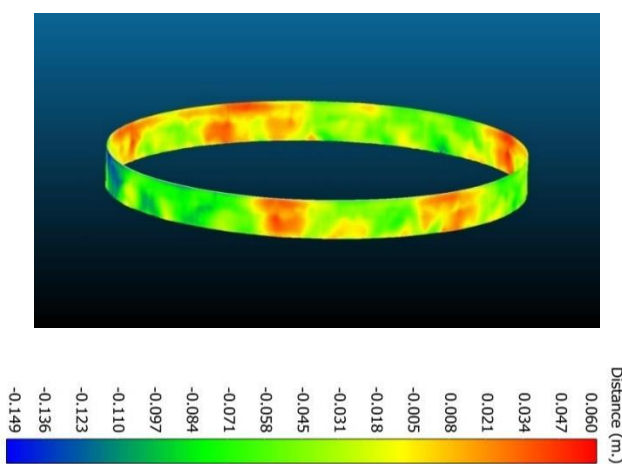
Tablica 1. Osnovne specifikacije skenera FARO Focus 3D X130

Maksimalni doomet	130 m
Brzina snimanja	122.000/244.000/488.000/976.000 točaka/s
Preciznost mjerenja	2 mm
Šum mjerenja	0.15 mm na 25 m

4.2. Obrada podataka

Prvi korak obrade podataka sastojao se od izjednačenja mreže stabiliziranih geodetskih točaka na temelju podataka mjerenja. Mreža je izjednačena u horizontalnom i visinskom smislu korištenjem programskog paketa Columbus 3.8D. Rezultat izjednačenja je relativna, precizna i homogena mreža geodetskih točaka koja služi kao osnova svih daljnjih mjerenja s odstupanjima unutar 2 mm položajno i 1 mm visinski.

Podaci laserskog skenera obrađeni su korištenjem programskog paketa Faro Scene. Stajališta skenera izjednačena su po metodi najmanjih kvadrata u Faro Scene programskom paketu. Rezultat obrade je oblak točaka spremnika s približno 403 milijuna točaka s preciznosti određenih koordinata od ± 2 mm. Prije daljnje upotrebe, oblak točak je pročišćen korištenjem programskog paketa CloudCompare 2.9 [7]. Cilj čišćenja bio je ukloniti sve nepotrebne objekte iz skenova, kao što su ljestve, cijevi, itd. kako bi ostali samo podaci o geometriji plašta spremnika. Konačni proizvod za obradu su dva oblaka točaka, od kojih je jedan vanjski plašt spremnika, a drugi unutrašnji plašt spremnika. Obrada podataka sastoji se od usporedbe referentnih cilindara s odgovarajućim oblacima točaka vanjskog i unutrašnjeg plašta korištenjem algoritma *Surface of Revolution Analysis*. Tako su određeni iznosi imperfekcija plašta spremnika i klasificirani po bojama prema udaljenosti gdje plava boja prikazuje imperfekcije unutar promjera cilindra, dok crvena boja prikazuje odstupanja izvan promjera cilindra (Slika 1).



Slika 1. Klasificirani prikaz imperfekcija unutrašnjeg plašta spremnika i pripadajuća skala boja

Budući da ne postoje prethodni geodetski podaci o izvedenom stanju spremnika za daljnje radove i usporedbe, koristit će se dimenzije idealiziranog spremnika dobivene iz podataka mjerenja (BEST FIT kružnica), jer se smatralo da bolje opisuju stvarno/trenutačno stanje spremnika od dobivenih podataka iz tehničkog opisa. Preciznost određivanja promjera cilindra (odstupanje izmjerenih točaka od idealne kružnice određene BEST FIT funkcijom) iznosi ± 7.6 mm, što je zadovoljavajući podatak s obzirom na to da ulazna preciznost mjerenja iznosi ± 2 mm i sam spremnik, uslijed deformacija, ne odgovara više obliku idealne kružnice. Za sve naredne usporedbe unutar softvera CloudCompare 2.9 definirani su idealni referentni cilindri promjera $D=42.682$ m i $D=42.662$ m, s identičnim središtima i visinom $H=7.340$ m koji će se koristiti za usporedbe podataka vanjskog dijela plašta i unutrašnjeg dijela plašta spremnika

4.3. Usporedba podataka

U sklopu rada bit će uspoređeni statički podaci (minimum, maksimum i aritmetička sredina) imperfekcija unutrašnjeg plašta u pet slučajeva. U prvom kontrolnom slučaju koristit će se podaci svakih 0.25° po obodu i 1 cm po visini. Prvi slučaj će biti korišten kao kontrolni slučaj za usporedbu preostalih. U naredna četiri slučaja koristit će se gustoća podataka koja zadovoljava minimalne uvjete postavljene u normi API 653. Prema izrazu (1), broj segmenata za spremnik treba biti 15, tj. svakih 24° po obodu, dok su visinski podaci preuzeti za svakih 0.5 m. Slučajevi 1 - 4 koriste se kao simulacija mjerenja klasičnim geodetskim metodama, u ovome slučaju preciznom mjernom stanicom. Smjer sjevera definiran je kutnim iznosom 0° . Testni slučajevi imaju svoja ishodišta (0°) pomaknute od smjera sjevera za iznose od 0° , 12° , 16° i 20° u smjeru kazaljke na satu. Izračunati rezultati imperfekcija po pojedinim slučajevima prikazani su u Tablici 2. Njihova međusobna odstupanja prikazana su u Tablici 3.

Tablica 2. Iznosi imperfekcija po slučajevima

	SVI PODACI	SLUČAJ 1 Ishodište 0°	SLUČAJ 2 Ishodište 12°	SLUČAJ 3 Ishodište 16°	SLUČAJ 4 Ishodište 20°
Iznos najveće pozitivne imperfekcije (ispupčenja)	0.052 m	0.041 m	0.035 m	0.031 m	0.034 m
Iznos najveće negativne imperfekcije (udubljenja)	-0.159 m	-0.142 m	-0.140 m	-0.115 m	-0.135 m
Aritmetička sredina iznosa imperfekcija	-0.037 m	-0.039 m	-0.037 m	-0.039 m	-0.035 m

Tablica 3. Odstupanja određenih imperfekcija između slučajeva

Standardno odstupanje iznosa najvećih pozitivnih imperfekcija	0.008 m
Standardno odstupanje iznosa najvećih negativnih imperfekcija	0.016 m
Najveće odstupanje iznosa najvećih pozitivnih imperfekcija	0.021 m
Najveće odstupanje iznosa najvećih negativnih imperfekcija	0.044 m

Na temelju podataka obrade podataka u Tablici 3 razvidno je da u slučajevima kada se objekt pokriva s minimalnim brojem mjerenja, broj koji zadovoljava normu API 653, može doći do znakovitog umanjenja iznosa pozitivnih i negativnih iznosa imperfekcija. Testni podaci u slučajevima 1 - 4 razlikuju se od kontrolnog slučaja, koji sadrži podatke svih mjerenja, do iznosa od 21 mm za pozitivne imperfekcije i 44 mm za negativne imperfekcije. Aritmetičke sredine podataka ne pokazuju značajne razlike i nisu dalje uzete u razmatranje.

5. Zaključak

Terestričko lasersko skeniranje ima sve veću primjenu u geodetskim poslovima, što uključuje i inženjersku geodeziju koja se primjenjuje u industrijskim postrojenjima. Jedna od glavnih karakteristika te metode je globalna pokrivenost objekta mjerenjima. Takvim načinom rada uvelike se nadmašuju zahtjevi za ispitivanje stanja spremnika definirani američkom normom API 653. Testni podaci pokazali su da minimalna gustoća podataka mjerenja prema normi nije dovoljna da pruži detaljan uvid u postojeće stanje spremnika. Također u slučaju nepovoljnog rasporeda podataka mjerenja, može doći do prikrivanja iznosa imperfekcija. Testni su slučajevi pokazali odstupanja od kontrolnog mjerenja do iznosa od 21 mm za pozitivne imperfekcije i 44 mm za negativne imperfekcije. Korištenjem terestričkih laserskih skenera i njihovih podataka mjerenja naspram korištenja klasičnih geodetskih metoda (mjerna stanica), pruža se mogućnost uvida u cjelokupno stanje spremnika i stvarne iznose imperfekcija na temelju kojih se mogu raditi projekti sanacije i rekonstrukcije. Samo vrijeme mjerenja različitih metoda i preciznosti podjednaki su i ovisе o samom korištenom instrumentariju.

Literatura

- [1] “{API} 650: Tank Design,” in A Quick Guide to {API} 653 Certified Storage Tank Inspector Syllabus, Elsevier, 2011, pp. 128–139.
doi: 10.1533/9780857095275.128.
- [2] “An Introduction to {API} 653: 2009 and its Related Codes,” in A Quick Guide to {API} 653 Certified Storage Tank Inspector Syllabus, Elsevier, 2011, pp. 11–24. doi: 10.1533/9780857095275.11.

- [3] Mechelke, K., Kersten, T.P., Lindstaedt, M.: Comparative investigations into the accuracy behaviour of the new generation of terrestrial laser scanning systems, *Proc. Opt.*, vol. 3, pp. 19–327, 2007.
- [4] Matijević, H.: *Terestrički laserski skeneri*, 2002.
- [5] Basa, L., Juraj, I.: Oblak točaka i AutoCAD Civil 3D 2011, *Ekscentar*, no. 14, pp. 34–39, 2011.
- [6] Gordon, S., Lichti, D., Stewart, M.: Application of a high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements, *Proceedings of 10th International FIG Symposium on Deformation Measurements*, 2001, pp. 23–32.
- [7] Girardeau-Montaut, D.: *Cloudcompare-open source project*, OpenSource Proj., 2011.