

Opravdanost primene laserskog skeniranja pri verifikaciji zapremine rezervoara u odnosu na druge primenjene metode

KORNELIJA T. RISTIĆ, Univerzitet u Banjoj Luci,
Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet,
Banja Luka, Bosna i Hercegovina

ANKICA R. MILINKOVIĆ, Vekom Geo, Beograd

SANJA S. TUCIKEŠIĆ, Univerzitet u Banjoj Luci,
Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet,
Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Stručni rad

UDC: 621.642.3

DOI: 10.5937/tehnika1805635R

U radu je izvršena uporedna analiza usaglašenosti zapremine horizontalnog cilindričnog rezervoara određene elektro-optičkom metodom, kombinovanom volumetrijsko-geometrijskom metodom, manuelnom metodom i metodom laserskog skeniranja. Osnovni cilj je provera opravdanosti primene 3D laserskih skenera u procesu verifikacije zapremine horizontalnih cilindričnih rezervoara.

Ključne riječi: rezervoari, metode verifikacije zapremine rezervoara, 3D laserko skeniranje

1. UVOD

Rezervoari su sudovi koji se koriste kao merila velikih zapremina namenjena skladištenju i merenju zapremine nafte i tečnih naftnih derivata, kao i merila koja se upotrebljavaju za merenja u prometu robe i usluga. U cilju zakonske dozvole njihove primene, moraju biti konstruisani i izgrađeni u skladu sa priznatom inženjerskom praksom, a njihov oblik, konstrukcija, pozicija, uslovi korišćenja i kapacitivnost moraju se periodično kontrolisati tokom eksploatacije.

Neophodno je uspostaviti pouzdano, precizno i kvalitetno metodološko rešenje koje je kompetentno da odgovori na zahteve ispitivanja, deformacione analize i kapacitivnosti rezervoara, štedeći vreme, ne degradirajući pouzdanost rezultata, a ujedno nenarušavajući ekološke uslove životne sredine. U radu je prikazana primena tehnologije terestričkog laserskog skeniranja za potrebe verifikacije zapremine rezervoara, kao i njeno poređenje sa drugim od ranije priznatim metodama verifikacije zapremine rezervoara.

2. METODE VERIFIKACIJE ZAPREMINE REZERVOARA

Osnovna kategorizacija metoda za verifikaciju zapremine rezervoara obuhvata geometrijsku (elektro-optička i manuelna) i volumetrijsku metodu [3] [4]. Geometrijska metoda se koristi u slučajevima kada su rezervoari pravilnog geometrijskog oblika, bez deformacija i kada je moguće izmeriti sve geometrijske i druge veličine rezervoara neophodne za određivanje njegove zapremine. Nasuprot tome, volumetrijska metoda se primenjuje kada je rezervoar nepravilnog geometrijskog oblika, ukoliko postoje deformacije na omotaču, i kada rezervoar nema stalan položaj i stalan nagib ose cilindričnog dela u zavisnosti od visine punjenja. Takođe, u upotrebi je kombinacija volumetrijske i geometrijske metode kao i druge prihvatljive metode [2] [5] [6] [7].

Pojava terestričkih (3D) laserskih skenera, potpuno automatizovanog rešenja za prikupljanje velike količine prostornih podataka, dovela je do novog pravca u analizama objekata. Terestrički laserski skener je instrument koji sadrži sistem za određivanje rastojanja i sistem za skretanje laserskog snopa i merenje vrednosti pravaca. Izvorni rezultati merenja su vrednosti kose dužine, horizontalnih i vertikalnih pravaca (uglova) iz čijih vrednosti se računaju trodimenzionalne koordinate tačaka na objektu skeniranja.

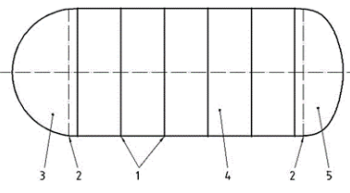
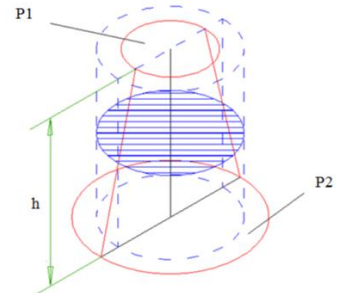
Adresa autora: Kornelija Ristić, Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 77/3, Bosna i Hercegovina

e-mail: kornelija.ristic@aggf.unibl.org

Rad primljen: 28.09.2018.

Rad prihvaćen: 17.10.2018.

Tabela 1. Druge metode za verifikaciju stanja rezervoara

Naziv metode	Kratak opis	
Manuelna geometrijska metoda	 <p>1 - Linije vara 2 - Tangenta 3 - Poluloptasta glava 4 - Cilindrični slojevi 5 - Torisferna glava</p>	<p>Obuhvata pregled rezervoara iznutra, pri čemu se utvrđuju oblici bočnih danaca, postojanje deformacija, definisanje njegovog oblika, površine i predznaka (konkavan ili konveksan deformitet) kao i sprovođenje neophodnih merenja. Izmerene veličine pri snimanju rezervoara ne mogu se direktno koristiti za izradu tabela zapremine.</p> <p>Može se primeniti ukoliko je razlika između bilo koja dva izmerena prečnika cilindričnog dela rezervoara manja od $\pm 0,7\%$ nazivnog prečnika.</p>
Elektro-optička geometrijska metoda	 $V = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot h$	<p>Odnosi se na merenje unutrašnjih rastojanja elektro-optičkim postupkom (<i>electro optical distance ranging</i> - EODR), i može se primeniti samo za rezervoare prečnika preko 2 m. Zasniiva se na merenju stvarnih unutrašnjih rastojanja u rezervoaru elektro-optičkim uređajem, a zatim se pomoću specijalizovanih softverskih paketa vrši izrada 3D modela rezervoara koji se deli na odsečke visine 1 cm kojima se izračunava zapremina, i na osnovu toga se izrađuje tabela zapremine. Zapremina svakog pojedinačnog odsečka rezervoara između dva horizontalna preseka računa se metodom „End Average Area“. Ako je rezervoar pregrađen na više delova, svaki dio se mora posebno meriti.</p> <p>Najveći uticaj na rezultate ima rezolucija merenja i prikupljanja podataka, te koncentracija i sposobnost operatera da sagleda sva karakteristična mesta u rezervoaru.</p>
Volumetrijska metoda	<p>Za primenu volumetrijske metode neophodno je obezbediti radni fluid koji može biti voda iz hidratanske mreže, čista i bez mehurića vazduha, ili fluid čija gustina mora biti veća ili jednaka gustini fluida koji se namerava skladištiti u rezervoaru čija se zapremina određuje. Takođe, neophodno je obezbediti referentne uslove prilikom ocene zapremine što podrazumeva ambijentalno utvrđivanje temperature i određivanje temperature fluida, te njihovo korigovanje i svodenje na referentnih 15°C. Za merenje zapremine ulivenog/izlivenog fluida mora se koristiti radni etalon. Neophodno je obezbediti merila temperature i pritiska u klasi tačnosti propisanoj u okvirima zakonske metrologije. Postupak merenja se mora sprovođiti u kontinuitetu i ne može se prekidati dok se u potpunosti ne završi.</p> <p>Metoda se izvodi samo unutrašnjim merenjem što pod obavezno podrazumeva istakanje rezervoara, čišćenje, provetravanje, degaziranje.</p>	

Metoda laserskog skeniranja podrazumeva korišćenje 3D laserskog skenera ili instrumenta koji omogućava bezkontaktno, automatsko i kontinualno uzorkovanje površi objekta pomoću laserskog zraka. Rezultat merenja je skup 3D koordinata tačaka na objektu, koji se zbog veoma velike prostorne rezolucije naziva oblak tačaka. Dodatne informacije mogu biti vrednost intenziteta povratnog zračenja i kolor vrednost površi od koje se odbio laserski zrak. Terestrički laserski skeneri se mogu primeniti na sve oblike rezervoara, bez obzira na njihovu veličinu i stepen deformisanosti omotača i nagiba ose cilindričnog dela rezervoara.

S obzirom da je proces laserskog skeniranja u velikoj meri automatizovan, uticaj operatera je sveden na minimum. U toku određivanja zapremine rezervoara laserskim skeniranjem zadaci operatera su bili obeležavanje nulte tačke, izbor mesta i pravilno postavljanje skenera u rezervoaru. Za obradu prikupljenih podataka korišćeni su softveri Leica Infinity, Leica Cyclone i 3DReshaper, kao i softver koji po standardu

ISO 7507-1 proračunava tabele zapremine korigovane za uticaje temperature, hidrostatičkog pritiska i nagnutosti ose cilindričnog dela rezervoara.

Izbor odgovarajuće metode uslovljen je nominalnom zapreminom rezervoara, oblikom, pozicijom, uslovima korišćenja [8].

3. PRIMENJENE METODE VERIFIKACIJE ZAPREMINE HORIZONTALNIH CILINDRIČNIH REZERVOARA I PRIKAZ DOBIJENIH REZULTATA

Za potrebe sprovođenja verifikacije zapremine horizontalnog cilindričnog rezervoara, primenjeno je šest metoda: 1) elektro-optička metoda korišćenjem totalne stanice, 2) manuelna metoda korišćenjem ručnog laserskog daljinomera, 3) manuelna metoda korišćenjem mernih traka, 4) kombinovana volumetrijsko-geometrijska metoda, 5) metoda laserskog skeniranja korišćenjem multifunkcionalnog uređaja sa integrisanim komponentama teodolita, EDM daljinomera i 3D

laserskog skenera i 6) metoda laserskog skeniranja korišćenjem 3D laserskog skenera.

Krajnji rezultat primenjenih metoda jeste tabela zapremina, numerička tabela iz koje se očitava zapremina za dužinsku jedinicu (cm) visine punjenja. Tabela zapremina pokazuje zavisnost između zapremine tečnosti u rezervoaru i visine nivoa tečnosti. Izrađuje se u odnosu na donju referentnu tačku, u koracima od po 1 cm od donje referentne tačke rezervoara do maksimalne visine punjenja rezervoara. Donja referentna tačka predstavlja početak merenja nivoa tečnosti ili nultu tačku. Nalazi se u preseku merne vertikale i gornje površine merne ploče ili dna rezervoara ako nije predviđena merna ravan/ploča.



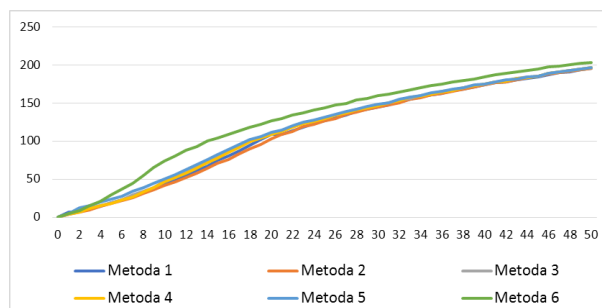
Slika 1 - Horizontalni cilindrični rezervoari

U tabeli 2 prikazane su dobijene vrednosti zapremina rezervoara na maksimalnoj zajedničkoj visini punjenja, kao i merne nesigurnosti za svaku primenjenu metodu izuzev mernih nesigurnosti elektro-optičke i manuelne metode korišćenjem ručnog laserskog daljinomera. Najviša zajednička visina punjenja za dati rezervoar iznosi 239 cm.

Tabela 2. Zapremina rezervoara na maksimalnoj zajedničkoj visini punjenja

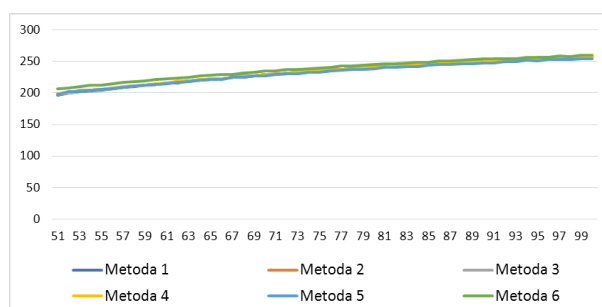
Primenjena metoda	Očitana zapremina na h_{\max} [l]	Merna nesigurnost
1. Elektro-optička metoda korišćenjem totalne stanice Leica TCR1201	49 724	/
2. Manuelna metoda korišćenjem ručnog laserskog daljinomera Leica Disto D810 touch	50 536	/
3. Manuelna metoda korišćenjem merne trake	49 874	0,13 %
4. Kombinovana volumetrijsko-geometrijska metoda	50 080	0,22 %
5. Lasersko skeniranje korišćenjem multistanice Leica Nova MS60 MultiStation	49 954	0,20 %
6. Lasersko skeniranje korišćenjem 3D laserskog skenera Leica ScanStation P40	49 988	0,20 %

Posmatrajući grafike koji se odnose na uzorak visine od 0 cm do 50 cm (slika 2), može se uočiti da gotovo sve metode osim manuelne metode korišćenjem ručnog laserskog daljinomera imaju sličan trend kretanja.

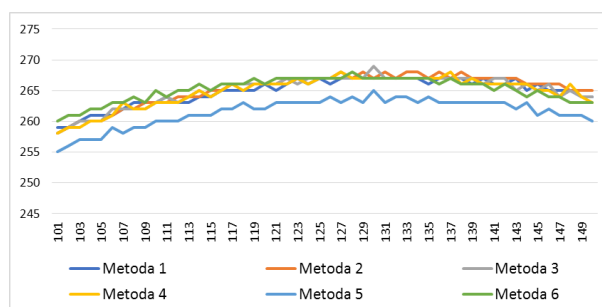


Slika 2 - Promena vrednosti zapremine na svakih 1 cm visine punjenja rezervoara, za interval 0-0,5 m

Posmatrajući grafike koji se odnose na uzorak visine od 50 cm do 100 cm (slika 3), može se uočiti da je kretanje zapremine rezervoara za svaku primenjenu metodu međusobno blisko. Posmatrajući grafike na visini od 100 cm do 150 cm (slika 4), u predelu polovine visine punjenja, uočava se da zapremina dobijena elektro-optičkom metodom ima sistematski pomerenje kretanje krive u odnosu na rezultate ostalih metoda.



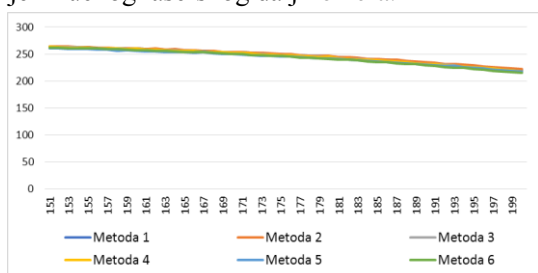
Slika 3 - Promena vrednosti zapremine na svakih 1 cm visine punjenja rezervoara, za interval 0,5-1,0 m



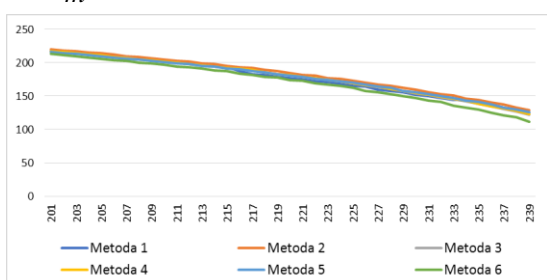
Slika 4 - Promena vrednosti zapremine na svakih 1 cm visine punjenja rezervoara, za interval 1,0-1,5 m

Posmatrajući grafike koji se odnose na zapreminu očitane na visinama od 150 cm do 200 cm (slika 5) i na visinama od 200 cm do 239 cm (slika 6), krive

zapremina su ponovo značajno saglasne. Kod grafika, na slici 6 možemo uočiti postepeno odstupanje krive koja reprezentuje manuelnu metodu merenja korišćenjem ručnog laserskog daljinomera.



Slika 5 - Promena vrednosti zapremine na svakih 1 cm visine punjenja rezervoara, za interval 1,5-2,0 m



Slika 6 - Promena vrednosti zapremine na svakih 1 cm visine punjenja rezervoara, za interval 2,0-2,39 m

4. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Obzirom da za rezervoare ne postoji etalonska (tačna, istinita) vrednost zapremine sa kojom bi se poredile merene vrednosti, ne primenjuju se metode metrološkog poređenja rezultata verifikacije zapremine rezervoara. U cilju analiziranja usaglašenosti dobijenih rezultata primenjeni su statistički proračuni o performansama koji se oslanjaju na preporuke iz dokumentovanih procedura opisanih u standardu ISO/IEC 17043:2010 (Ocenjivanje usaglašenosti – Opšti zahtevi za ispitivanje osposobljenosti).

Rezultati pojedinačnih merenja upoređeni su sa određenom dodeljenom vrednošću¹, uzimajući u obzir mernu nesigurnost koja se pridružuje rezultatima u zavisnosti od primenjene metode. Postoje različite procedure za utvrđivanje dodeljene vrednosti. Kod odabira dodeljene vrednosti, cilj je odabrati rezultat dobijen najpouzdanijom metodom koji će za potrebe poređenja zapremine rezervoara biti proglašen za referentnu vrednost.

¹"Dodeljena vrednost" saglasno međunarodnom dokumentu ISO 17043 na kome se zasniva ocena usaglašenosti i ispitivanje osposobljenosti merila kao što su rezervoari, podrazumeva vrednost koja se pripisuje određenom svojstvu predmeta koji podleže ispitivanju osposobljenosti.

Statistički parametri za prikaz kvantitativnih rezultata u skladu sa standardom ISO IEC 17043:2010:

- razlika D

$$D = x - X \quad (1)$$

- procentna razlika $D\%$

$$D\% = \frac{x - X}{X} \cdot 100 \quad (1)$$

gde su: x - rezultat verifikacije zapremine rezervoara; X - referentna vrednost zapremine.

4.1. Utvrđivanje referentne vrednosti

Definisali smo tri slučaja izbora referentne vrednosti:

1) Zapremina rezervoara od donje referentne ploče² do maksimalne zajedničke visine punjenja dobijena kombinovanom volumetrijsko-geometrijskom metodom je usvojena kao referentna vrednost.

2) Zapremina rezervoara od donje referentne ploče do maksimalne zajedničke visine punjenja dobijena metodom laserskog skeniranja korišćenjem 3D laserskog skenera je usvojena kao referentna vrednost.

3) Srednja vrednost zapremine od donje referentne ploče do maksimalne zajedničke visine punjenja dobijenih primenom svih opisanih metoda merenja je usvojena kao referentna vrednost.

U tabeli 3 prikazane su vrednosti razlike D i procentne razlike $D\%$ za ukupnu zapreminu rezervoara za svaku primenjenu metodu merenja.

Tabela 3. Vrednosti razlike D i procentne razlike $D\%$ za ukupnu zapreminu rezervoara

	I slučaj izbora referentne vred.	II slučaj izbora referentne vred.	III slučaj izbora referentne vred.
Metoda 1	$D = 456$	$D = 548$	$D = 510$
	$D\% = 0,91\%$	$D\% = -1,10\%$	$D\% = 1,02\%$
Metoda 2	$D = -356$	$D = -264$	$D = -302$
	$D\% = -0,71\%$	$D\% = -0,53\%$	$D\% = -0,60\%$
Metoda 3	/	$D = 92$	$D = 54$
	/	$D\% = 0,18\%$	$D\% = 0,11\%$
Metoda 4	$D = -206$	$D = -114$	$D = -152$
	$D\% = -0,41\%$	$D\% = -0,23\%$	$D\% = -0,30\%$
Metoda 5	$D = -126$	$D = -34$	$D = -72$
	$D\% = -0,25\%$	$D\% = -0,07\%$	$D\% = -0,14\%$
Metoda 6	$D = -92$	/	$D = -38$
	$D\% = -0,18\%$	/	$D\% = -0,08\%$

²Donja referentna ploča je merna horizontalna ploča, na mernoj vertikali, na kojoj se nalazi merna donja referentna tačka.

U sva tri slučaja izbora referentne vrednosti manualna metoda korišćenjem mernih traka, metoda laserskog skeniranja korišćenjem multistanice Leica MS60 i metoda laserskog skeniranja korišćenjem skenera Leica P40 su ostvarile procentnu razliku $D\%$ manju od propisanih $\pm 0,5\%$ [1]. Rezultati verifikacije zapremine rezervoara primenom manualne metode korišćenjem ručnog laserskog daljinomera i elektro-optičke metode, imaju procentnu razliku veću od propisanih $\pm 0,5\%$.

4.2. Analiza usaglašenosti rezultata verifikacije zapremine rezervoara

Sprovedena su tri slučaja analiza usaglašenosti rezultata primenjenih metoda, za celokupnu zapreminu rezervoara po celom opsegu visine, od donje referentne ploče do maksimalne zajedničke visine punjenja.

Oslanjajući se na statističke proračune propisane u ISO/IEC 17043 standardu, određene su vrednosti parametra z za svaki centimetar visine punjenja rezervoara:

$$z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}} \quad (2)$$

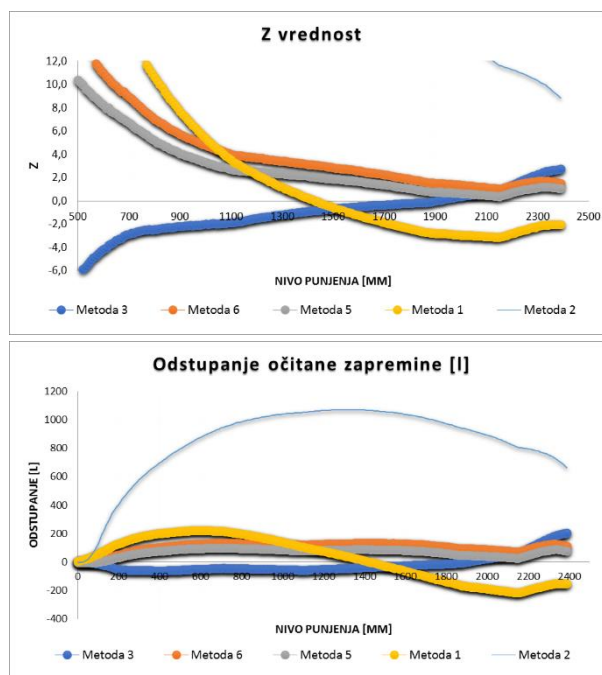
gde su: x - rezultat merenja zapremine rezervoara na svakom centimetru visine punjenja rezervoara; X - referentna vrednost zapremine za svaki centimetar visine punjenja rezervoara; $\hat{\sigma}$ - standardna nesigurnost očitane zapremine. U konkretnom slučaju poređenja $\hat{\sigma}$ se posmatra kao rezultat dobijen primenom metode merenja, tj. uobičajena ili robusna standardna devijacija koja se dobija na osnovu rezultata merenja.

Prema propisima međunarodnog dokumenta OIML R71, maksimalna dozvoljena proširena standardna nesigurnost (sa faktorom obuhvata $k=2$) za horizontalne cilindrične rezervoare iznosi 0,3% referentne (dodeljene) vrednosti. Prema tome, standardnu nesigurnost očitane zapremine računamo na sledeći način:

$$\hat{\sigma} = \frac{0,3\% \cdot X}{k = 2} \quad (3)$$

Ako su vrednosti parametra z u intervalu od -2 do $+2$, to ukazuje na „zadovoljavajuće“ performanse [9]. U suprotnom, vrednosti izvan pomenutog intervala ukazuju na „sumnjive“ ($2 < |z| < 3$) i „nezadovoljavajuće“ performanse ($|z| \geq 3$) [9].

1) Posmatrani su uzorci iz tabela zapremina tako što se očitavala zapremina na svakih 1 cm po visini punjenja. Rezultati merenja zapremine rezervoara na svakih centimetar visine punjenja kombinovanom volumetrijsko-geometrijskom metodom su usvojeni kao referentna vrednost za svaki centimetar punjenja.

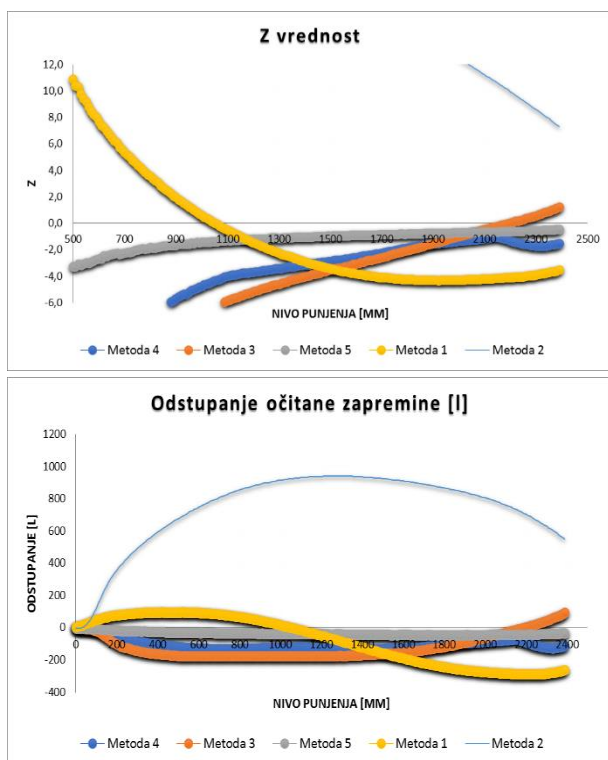


Slika 7 – Analiza usaglašenosti rezultata verifikacije zapremine rezervoara u zavisnosti od parametara D i z

U odnosu na rezultate kombinovane volumetrijsko-geometrijske metode, zaključujemo da za rezultate gotovo svih metoda u prvom metru visine punjenja z vrednost prelazi vrednost ± 2 (prvi grafik na slici 7). Budući da metode laserskog skeniranja imaju kvantitativno slaganje zapremine po centimetarskim uzorcima usaglašeno sa kombinovanom volumetrijsko-geometrijskom metodom, uzrok može biti nejedinstveno određivanje početnog mernog mesta između metoda. Razlike rezultata ovih metoda u odnosu na dodeljenu vrednost (drugi grafik na slici 7) imaju gotovo konstantnu vrednost u opsegu od 0 litara do 120 litara.

Zapremina dobijena elektro-optičkom metodom u prvih 150 cm visine prikazuje veće vrednosti zapremine u odnosu na dodeljenu vrednost, dok od 150 cm do kraja prikazuje manje vrednosti zapremine u odnosu na dodeljenu vrednost. Iz navedenog zaključujemo da primenjena totalna stanica u početku rezervoar posmatra sa većim prečnikom u odnosu na referentnan, a u drugom delu kao da se prečnik smanjuje a rezervoar sužava. Manualna metoda korišćenjem ručnog laserskog daljinomera prikazuje jednu individualnu nezavisnost u odnosu na ostale metode, na oba grafika na slici 7.

2) Posmatrani su uzorci iz tabela zapremina tako što se očitavala zapremina na svakih 1 cm po visini punjenja. Rezultati merenja zapremine rezervoara na svakih centimetar visine punjenja metodom laserskog skeniranja 3D laserskim skenerom su usvojeni kao referentna vrednost za svaki centimetar punjenja.



Slika 8 - Analiza usaglašenosti rezultata verifikacije zapremine rezervoara u zavisnosti od parametara D i z

U odnosu na rezultate metode laserskog skeniranja korišćenjem 3D laserskog skenera, rezultati preostalih metoda pokazuju vrednost parametara z u opsegu ± 2 tek posle više od prvog metra visine punjenja (slika 8).

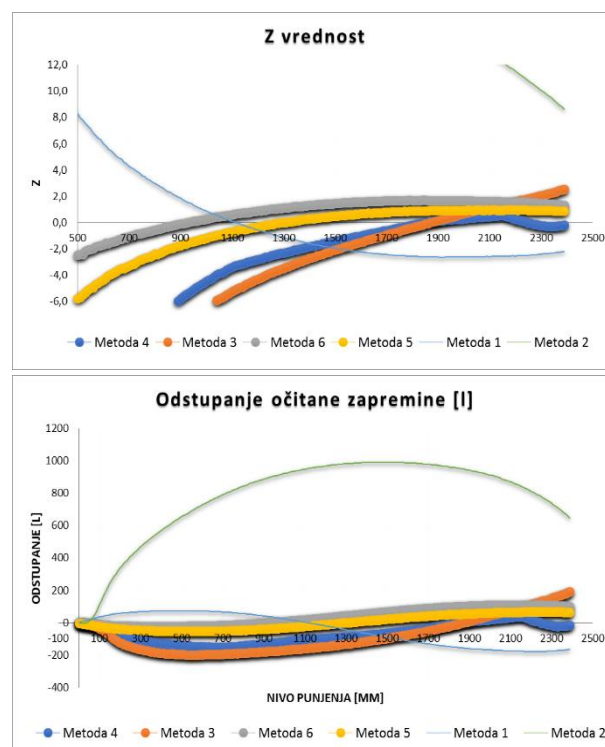
Budući da razlike u odnosu na referentnu vrednost ne prelaze više od 200 l, može se razmatrati zaključak da je z vrednost u prvom metru visine punjenja rezervoara uslovljena početnim mernim mestom. Manualna metoda korišćenjem ručnog laserskog daljinomera i elektro-optička metoda se ponašaju isto kao i u prethodnom slučaju izbora referentne vrednosti.

3) Posmatrani su uzorci iz tabela zapremina tako što se očitavala zapremina na svakih 1 cm po visini punjenja. Srednja vrednost rezultata merenja zapremine rezervoara na svakih centimetar visine punjenja svih primenjenih metoda, izuzev rezultata manualne metode korišćenjem ručnog laserskog daljinomera, su usvojeni kao referentna vrednost za svaki centimetar punjenja.

Budući da za rezultate manualne metode izvedene korišćenjem ručnog laserskog daljinomera nemamo podatak o mernoj nesigurnosti, a i u prethodnim analizama (poglavlje 4.1) rezultati ove metode su imali gruba odstupanja u odnosu na rezultate ostalih metoda, njenim uključivanjem u proračun centralizovana osrednjena vrednost bila bi pomerena.

U trećem slučaju, najbolju usklađenost sa referentnom vrednosti zapremine imaju rezultati metode

laserskog skeniranja korišćenjem 3D laserskog skenera, zatim rezultati metoda navedenih sledećim redosledom: lasersko skeniranje multistanicom, kombinovana volumetrijsko-geometrijska metoda, manualna metoda korišćenjem mernih traka, elektro-optička metoda i manualna metoda korišćenjem ručnog laserskog daljinomera (slika 9). Najveće odstupanje od referentne vrednosti imaju rezultati manualne metode korišćenjem ručnog laserskog daljinomera.



Slika 9 - Analiza usaglašenosti rezultata verifikacije zapremine rezervoara u zavisnosti od parametara D i z

5. ZAKLJUČAK

Rezultati manualne metode korišćenjem ručnog laserskog daljinomera značajno odstupaju u odnosu na rezultate ostalih metoda. Metoda laserskog skeniranja korišćenjem multistanice i metoda laserskog skeniranja korišćenjem 3D laserskog skenera daju u visokoj meri sinhronizovane rezultate.

U gotovo svim analizama se pokazalo da sve metode u prvom metru visine punjenja imaju određene statističke nesaglasnosti, a nakon toga idući ka maksimalnoj visini punjenja rezervoara zapremina i mere vrednosti se dobro uklapaju. Kao zaključak koji bi objasnio zašto dolazi do statističke nesaglasnosti na početnim vrednostima visine punjenja je sledeći:

- Vrednosti početne zapremine (0 litara, 4 litara, 5 litara, 10 litara) su veoma male da bi se mogle uzeti objektivno u dalju obradu, pa se kod njih javlja u fizičkom smislu nerealno odstupanje.

- Elektro-optička metoda, metoda laserskog skeniranja korišćenjem multistanice i 3D laserskog skenera i manuelna metoda korišćenjem ručnog laserskog daljinomera su izvedene dve nedelje ranije u odnosu na kombinovanu volumetrijsko-geometrijsku i manuelnu metodu korišćenjem mernih traka, pa se može uzeti u razmatranje da li su uslovi pri radu bili bliski, da li je slučajno moglo doći do pomeranja nekog uzorka ili bilo koje lokalne fizičke promene na terenu koja bi malim pomerajem dovela do statističkih odstupanja u prvom metru visine punjenja rezervoara.
- Prilikom obrade podataka ispostavilo se da nisu adekvatno određene početne pozicije mernih stanica kod elektro-optičke metode, kao i da merenja pojedinačnih tačaka merilima ove metode nisu ispratila standardnu metodu po kojoj bi trebalo da se opaža dupli pojas tačaka, ispred i iza varova na rezervoaru.

Metoda laserskog skeniranja rezervoara 3D laserskim skenerom pokazala se kao opravdana u primeni verifikacije zapremine horizontalnih cilindričnih rezervoara, po aspektima brzine prikupljanja podataka (vremenska opravdanost), neugrožavanja ekološke sredine i dobijanja krajnjeg rezultata koji je uporediv sa rezultatima ranije priznatih metoda verifikacije zapremine rezervoara. Prednost laserskog skeniranja 3D laserskim skenerom je velika preciznost i pouzdanost skeniranja, kratko zadržavanje u rezervoaru i ekološki čist postupak merenja. Rezultat skeniranja je više desetina miliona tačaka.

6. ZAHVALNOST

Autori ovog rada se zahvaljuju kompaniji Vekom Geo d.o.o. čijom organizacijom je podržano prikupljanje

neophodnih podataka u cilju izvođenja u radu prikazanih i daljih analiza.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o metrološkim uslovima za položene cilindrične rezervoare *Sl. list SFRJ*, br. 26/81.
- [2] Calibration of spherical storage tanks, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- [3] SRPS ISO 4267-2: Нафта и течни нафтни производи – Израчунавање количине уља – Део 2: Динамичко мерење.
- [4] SRPS ISO 5024: Нафтне течности и течни нафтни гасови – Мерење – Стандардни референтни услови.
- [5] SRPS ISO 4512: Нафта и течни нафтни производи – Опрема за мерење нивоа течности у резервоарима за складиштење – Ручне методе.
- [6] SRPS ISO 12917-1: Нафта и течни нафтни производи - Калибрација хоризонталних цилиндричних резервоара Део 1 - Ручне методе.
- [7] SRPS ISO 12917-2: Нафта и течни нафтни производи - Калибрација хоризонталних цилиндричних резервоара - Део 2 - Унутрашња електро - оптичка метода мерења растојања.
- [8] R71 international recommendation Fixed storage tanks. General requirements. E2008
- [9] SRPS ISO/IEC 17043: Оцењивање усаглашености – Општи захтеви за испитивање оспособљености.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE BUDGET FOR UNCERTAINTY MEASUREMENT IN THE CALIBRATION OF TANKS BY THE LASER SCANNING METHOD

A comparative analysis of the harmonic volume horizontal cylinder reservoir determined by electro-optical method, combined volume-geometric method, manual method and 3D laser scanning method was performed. The main goal is to verify the validity of the use of 3D laser scanners in the process of verification of the volume of horizontal cylinder reservoirs.

Key words: *reservoirs, methods for verifying volume of the reservoir, 3D laser scanning*