



TEHNOLOGIJE 3D LASERSKOG SKENIRANJA I IMAGING LASERSKOG SKENIRANJA U PROCESU METROLOŠKE KONTROLE SKLADIŠNIH REZERVOARA

Ankica Milinkovic, *milin.ankica@gmail.com*, Vekom Geo d.o.o.

Sanja Tucikesic, *sanja.tucikesic@aggf.unibl.org*, University of Banja Luka, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy

Kornelija Ristić, *kornelija.ristic@aggf.unibl.org*, University of Banja Luka, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy

Rezime:

U cilju prihvatanja rezervoara sa aspekta zakonske metrologije u procesu platnih transakcija, isti moraju biti izgrađeni i kontrolisani u skladu sa priznatom metrološkom praksom. Osnovni cilj pri konstruisanju i izgradnji rezervoara jeste ostvariti model koji će osigurati očuvanje skladištenog fluida. Najveći uticaj na rezervoare u eksploataciji ostvaruju geometrijski oblik, hidro-statički pritisak i temperatura, te stoga ova tri parametra treba precizno pratiti i kontrolisati. Oslanjajući se na međunarodne standarde i preporuke u vezi sa metodama za kalibraciju merila zapremine kao i kompetencijama i kvalifikacijama akreditovanih metroloških laboratorija za oblast zapremine, u ovom radu će se prikazati analiza dve metode u svrhu metrološke kontrole rezervoara. Daće se praktičan primer ocene usaglašenosti rezervoara na osnovu rezultata dobijenih sistemom Leica MS60 i Leica BLK360.

Ključne riječi: skeniranje, imaging, skladišni rezervoari, metrološka kontrola

3D LASER SCANNING AND IMAGING LASER SCANNING IN STORAGE TANKS METROLOGY CONTROL PROCESS

Abstract:

In order to secure that tanks are confirmed with the requirements of legal metrology, tanks shall be built in accordance with sound engineering practice. The main target during the process of construction and building of tanks is the ability of tanks to protect the storage fluid. Geometrical shape, hydro-static pressure and temperature are the main influencers to the capability of the fluid, so this three parameter must be permanently controlled. In accordance with international standards and methods in the scope of legal metrology and calibrated laboratories, this paper will present an analysis of two methods for tank control. It will be shown example of conformity assessment of the tank you results collected by Leica MS60 and Leica BLK360 scanner stations.

Keywords: scanning, imaging, storage tanks, metrological control

1. UVOD

Predmet ovog rada je uporedna analiza usaglašenosti relevantnih rezultata dobijenih imaging metodom laserskog skeniranja i 3D metodom laserskog skeniranja, horizontalnog cilindričnog merila za smeštaj fluida, odnosno rezervoara.

Pod rezervoarima se podrazumevaju nepokretni sudovi za smeštaj tečnosti. U praksi postoji više preporučenih metoda koje su u zakonskoj metrologiji priznate za potrebe metrološke kontrole, pa su samim tim metode kategorizovane kao volumetrijske i geometrijske. Volumetrijske metode koriste precizne etalonske cisterne kojima premeravaju nivo fluida utočenog u rezervoar, dok se geometrijske oslanjaju na ručne metode opasavanjem rezervoara mernim trakama, metode realizovane merenjem nivoa tečnosti mernom letvom (ili skalom sa nivokaznom cevi), nivokaznim staklom sa mernim lenjirom (ili uređajem sa automatskim nivoom merenja tečnosti), kao i trilangulacione i elektro-optičke metode spoljašnjeg i unutrašnjeg merenja rastojanja.

Rapidan i napredan razvoj tehnologije geometrijskog modelovanja trodimenzionalnih objekata doveo je do revolucionarne primene laserskog skeniranja. Tehnološki razvoj elektro-optičke laserske merne opreme poboljšao je i unapredio pristupe prikupljanja geoprostornih podataka, što je svakako unapredilo i performanse izvođenja merenja koja se mogu koristiti za potrebe ocene usaglašenosti rezervoara. Meri se veliki broj tačaka velike gustine – oblak tačaka (stotine hiljada ili nekoliko miliona tačaka) koji prikazuje realnije stanje rezervoara. Oprema omogućava merenje rastojanja i horizontalnih i vertikalnih uglova ka tačkama sa rezolucijom od 1 mm. Dakle u 3D oblaku izmerenih tačaka mogu se uzeti u razmatranje tačke na objektima koje su međusobno udaljene gotovo po 1 mm, što dosta dobro može modelovati geometriju i deformacije objekata. Ujedno mogu se izdvojiti svi unutrašnji objekti koji utiču na zapreminu kao i prikazati sve karakteristične i značajne deformacije.

Sama tehnologija laserskog skeniranja dobila je alternativu u vidu imaging skeniranja, prikupljanjem podataka o prostoru koristeći panoramske fotografije nalepljene preko oblaka tačaka visoke rezolucije. Ovakva tehnologija još uvek nije dovoljno testirana u praksi zakonske metrologije i metrološke kontrole rezervoara, te ovaj rad ima za cilj da približi aspekte, sličnosti i razlike u primeni trodimenzionalnog i imaging laserskog skeniranja.

2. METROLOŠKA KONTROLA MERILA NAFTNIH FLUIDA

Fiksni skladišni rezervoari smešteni pod atmosferskim ili povišenim pritiskom sagrađeni su za skladištenje tečnosti i mogu biti korišćeni kao merila zapremine iste. Kada se koriste za takva merenja, moraju kompletno biti usaglašeni sa metrološkim i tehničkim zahtevima koji su zakonski propisani, uključujući i njihovo održavanje, postupak ocenjivanja usaglašenosti, postupak overavanja kao i period overavanja. U cilju potvrđivanja da su skladišni rezervoari kao merila naftnih fluida usaglašeni sa kriterijumima zakonske metrologije, neophodno je potvrditi da su oni u svemu izgrađeni i eksploatisani prema usvojenim pravilima.

U skladu sa preporukama Međunarodne organizacije za zakonsku metrologiju OIML, dokument R71 opisuje dva koraka metrološke kontrole rezervoara kao merila zapremine nafte i naftnih fluida:

- Početna verifikacija (sastoji se od ocene usaglašenosti na licu mesta i kalibracije),
- Naknadna verifikacija ili kalibracija u eksploataciji;

Početa verifikacija se izvodi iz dve faze. Tokom ispitivanja na terenu izgrađenu konstrukciju rezervoara treba ispitati da li odgovara zahtevima proizvodnih crteža. Mora biti usaglašena i dokumentovana sa svim zahtevima. Mora se uzeti u razmatranje: nesigurnost konstrukcije, bilo koja stalna deformacija, krutost konstrukcije, stabilnost, položaj otvora, šaftova, pristupi otvorima za merenje, mogućnost realizacije etaloniranja, status plutajućeg krova ili poklopca, kao i mogućnost postavljanja identifikacione pločice. Rezervoari moraju biti ispitani na pritisak, propustljivost i čišćenje, i rezultati moraju biti dokumentovani pre početka kalibracije.

Kalibracija rezervoara je niz postupaka pomoću kojih se pri odgovarajućim uslovima utvrđuje odnos između nivoa tečnosti i zapremine tečnosti u rezervoaru, i trebalo da bude izvedena u skladu sa priznatim međunarodnim ISO normama ili ISO normama usvojenim od strane relevantnih nacionalnih institucija kao nacionalni dokumenti.

2.1. TEHNIČKI ZAHTEVI REZERVOARA

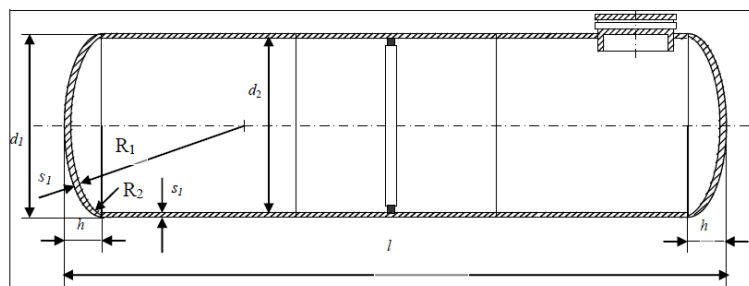
Oblik, materijal, armatura, konstrukcija i postavka rezervoara moraju biti takve da je rezervoar dovoljno rezistentan (otporan) na atmosferske i uticaje skladišne tečnosti, tako pod normalnim uslovima korišćenja ne trpi ozbiljne deformacije koje mogu negativno uticati na zapreminu rezervoara.

Donja referentna tačka, (koja predstavlja početak merenja nivoa tečnosti ili nultu tačku) i gornja referentna tačka (koja predstavlja tačku na mernoj vertikali u odnosu na koju se meri veličina praznog prostora), moraju biti postavljene tako da njihove pozicije ostaju u najvećoj mogućoj meri stabilne, smanjujući uticaj pomeranja prilikom punjenja i pražnjenja rezervoara, usled promena nivoa tečnosti u eksploataciji, kao i pod uticajem spoljašnjih uslova.

Čelične cevi se frekventno upotrebljavaju kao podrška referentnim pločama, pa njihova instalacija treba da bude takva da je donji vrh postavljen bliže dnu, a gornji kraj je usmeren ka vrhu rezervoara. Perforacije moraju biti dizajnirane za slobodan protok tečnosti omogućavajući merenja nivoa i temperature (skladno ISO 4266-1). Oblik rezervoara mora biti takav da bude predupređeno formiranje vazдушnih džepova tokom punjenja i tečnih džepova prilikom pražnjenja rezervoara. Takođe, posebna pažnja se posvećuje utvrđivanju stabilnosti rezervoara.

Ovi navedeni kriterijumi se proveravaju u procesu verifikacije i inspekcije fizičkog izgleda rezervoara, a nakon potvrđivanja da su navedeni uslovi ispunjeni, prelazi se na kalibraciju odnosno određivanje tabele zapremine rezervoara.

Na Slici 1 prikazan je izgled rezervoara sa zahtevanim elementima, saglasno zahtevima standarda SRPS M.Z3.010.



Slika 1. Horizontalni cilindrični rezervoar - konstrukcija

Na slici 1 označene su sledeće veličine koje se prilikom verifikacije rezervoara uzimaju u obzir:

l – ukupna dužina rezervoara,

h – visina bočnog dna

$d1$ – spoljni prečnik cilindričnog dela rezervoara

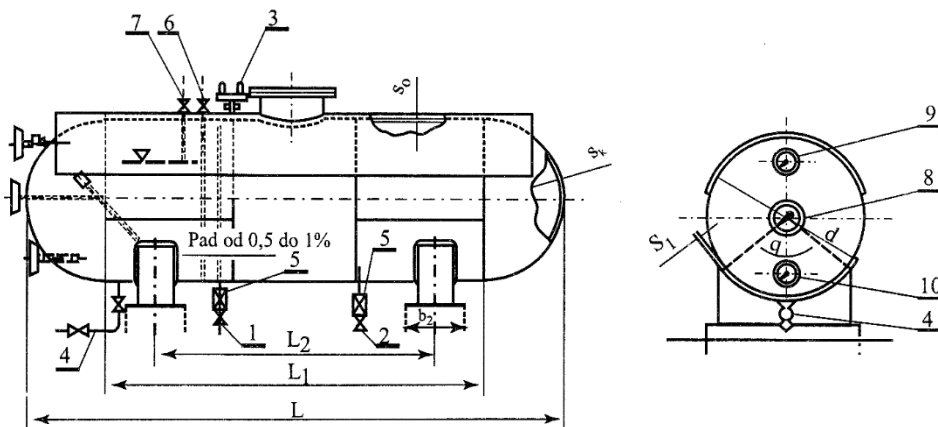
$d2$ – unutrašnji prečnik cilindričnog dela rezervoara

$s1$ – debljina zida

$R1$ – veći poluprečnik bočnog dna

$R2$ – manji poluprečnik bočnog dna.

Pored matematičkih veličina, položeni cilindrični rezervoari, u zavisnosti od namene, obezbeđeni su pripadajućim elementima koji se takođe ne smeju zanemariti prilikom njihove verifikacije. Primer konstrukcije jednog horizontalnog cilindričnog rezervoara sa pripadajućim elementima dat je na Slici 2 ovog rada, a predviđen je standardom SRPS M-Z.2. 600 (1991).



Slika 2. Konstrukcija rezervoara sa pripadajućim elementima

Na slici 2. Izdvojeni su sledeći priključci: 1-ventil za gasnu fazu, 2-ventil za tečnu fazu, 3-ventil sigurnosti odušni, 4-ventil za ispuštanje nečistoće, 5-ventil za ograničenje prekomernog protoka/protiv-lomni ventil, 6-mehanički pokazivač nivoa tečne faze, 7-ventil za kontrolu maksimalnog nivoa punjenja, 8- magnetni pokazivač nivoa tečne faze, 9-manometar sa manometarskom slavinom, 10-termometar.

2.2. METROLOŠKI ZAHTEVI REZERVOARA

Metrološke aktivnosti u kontroli rezervoara podrazumevaju izvođenje neophodnih koraka u cilju određivanja tačne zapremine fluida. Tabela zapremine se iskazuje u formi tabele ili matematičke funkcije (V_h) koja predstavlja odnos između visine nivoa tečnosti (h) kao nezavisno promenljive i zapremine tečnosti u rezervoaru (V) kao zavisno promenljive. Donja granica tačnosti zapremine predstavlja zapremina ispod koje je prekoračena najveća dozvoljena greška, uzimajući u obzir oblik rezervoara i metodu etaloniranja rezervoara, u opsegu merenja koji obuhvata vrednosti merenja zapremine rezervoara od nule (visina 0) do nazivne zapremine rezervoara odnosno najviše visine punjenja.

Proširena merna nesigurnost rezultata merenja zapremine očitane na tabeli zapremine rezervoara ne sme biti veća: $\pm 0,2$ % zapremine, za vertikalne cilindrične rezervoare, odnosno $\pm 0,3$ % zapremine, za horizontalne ili nagnute cilindrične rezervoare, saglasno preporuci OIML R71. Proširena merna nesigurnost, rezultata merenja zapremine odnosi se na zapremine prikazane u tabeli zapremine u opsegu od donje granice tačnosti zapremine do nazivne zapremine, a određuje se u skladu sa dokumentom “Uputstvo za izražavanje merne nesigurnosti” (JCGM 100:2008) i data je kao standardna merna nesigurnost, pomnožena faktorom prekrivanja/obuhvata $k = 2$, koji za normalnu raspodelu odgovara verovatnoći prekrivanja/obuhvata približno 95 %.

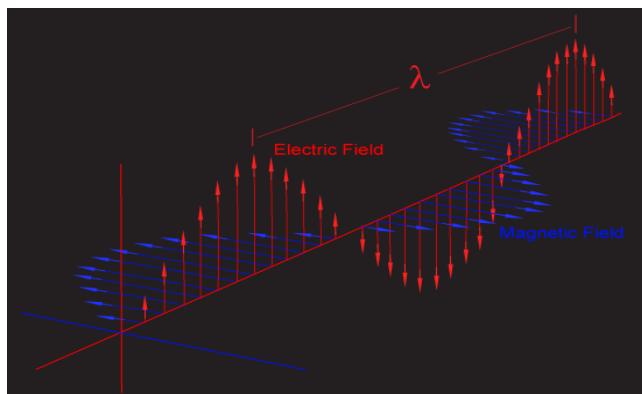
Uzimajući u obzir tehničke i metrološke zahteve koji se odnose na zakonsku kontrolu rezervoara, u nastavku rada predstavice se mogućnosti novih tehnologija za prikupljanje podataka u procesu njihove metrološke kontrole.

2.3. 3D LASERSKO SKENIRANJE I IMAGING LASERSKO SKENIRANJE

Terestrički laserski skener (TLS) predstavlja instrument koji kao rezultat skeniranja daje skup 3D tačaka, koji se naziva oblak tačaka. Za svaku tačku vezuje se podatak u vidu tri prostorne koordinate i dodatna informacija o intenzitetu povratnog zračenja koja predstavlja četvrtu dimenziju podatka.

TLS je visokotehnoški uređaj koji u sebi sadrži veliki broj komponenti, a najvažniji su sistem za određivanje rastojanja i reflektivnosti površi i sistem za skretanje laserskog snopa i merenje pravaca.

Osnovni parametar koji utiče na tačnost i domet skeniranja je metod određivanja rastojanja zasnovano na elektromagnetnom zračenju. Elektromagnetno zračenje se može shvatiti kao energija koja se širi kroz prostor ili materiju u obliku brzih izmena električnog i magnetnog polja koji obrazuju jedan elektromagnetni (EM) talas, što je prikazano na slici 3. EM energija je sadržana u harmonijskim izmenama električnog i magnetnog polja talasa koje se javljaju u jednakim vremenskim intervalima. Signali pomoću kojih se određuje rastojanje, koji mogu biti u vidu impulsa ili harmonika, utisnuti su u EM talase modulacijom njihovog intenziteta. Rastojanje se određuje na osnovu određenog vremenskog intervala od emitovanja do detekcije uzimajući u obzir osnovne karakteristike emitovanog impulsa što može biti širina, vreme rasta, vreme opadanja i amplitude. Vrednost horizontalnog i vertikalnog pravca meri se elektro-optički pomoću enkodera.



Slika 3. Elektromagnetni talas

Najčešće u praksi se primenjuju panoramski skeneri, okarakterisani vertikalnim otklonom laserskog zraka pomoću ravnog rotirajućeg ogledala, odnosno horizontalnim otklonom pomoću servo motora. Njihova prednost leži u tome što obuhvataju gotovo celo vidno polje 360 stepeni obuhvata, izuzev oblast oko nogara postolja. Rešenja proizvođača Leica Geosystems Ag dostižu brzinu od hiljadu do million tačaka u sekundi, što je prikazano na Slici 4 ovog rada.



Slika 4. Laserski skeneri 3D, Leica P20 i Leica MS60 1" R2000

Zahvaljujući opsegu merenja rastojanja od 1.5 m do 2 000 m od instrumenta, prikazana oprema se može koristiti u rezervoarima čiji je prečnik 3 m, ukoliko je omogućeno pozicioniranje opreme u centru rezervoara. Meri se oblak odnosno gust set mernih tačaka koje mogu modelirati rezervoar sa više miliona tačaka u opsegu od panoramskih 360 stepeni. Oprema može da vrši automatska merenja kao i analogna, po odabranim tačkama. Za uvezivanje setova dobijenih automatskim merenjem, dovoljno je izvršiti analogno merenje na minimum 4 signalisane tačke koje su vidljive iz svih pozicija merne opreme. Povećanje broja merenja povećava tačnost modelovnog objekta, čime se u konkretnom primeru objekat (rezervoar) kome treba sračunati zapreminu modeluje kroz više miliona tačaka, u odnosu na standardom zahtevanih više desetina.

Za potrebe ovog rada primenjen je laserski skener integrisan u sistem multi stanice Leica Nova MS60 1 R2000.

Pored 3D laserskih skeniranja, u praksi se javljaju rešenja imaging laserskih skeniranja. Jedan od vodećih rešenja predstavlja BLK360 uređaj, koji istovremeno skenira 3D oblak tačaka, preko kojih "navlači" panoramske slike, fotografije, kao i termalnu analizu skeniranog područja. Samim tim daje takozvane "Two-in-one 360°" podatke koje čine fotografsku dokumentaciju i podatke laserskog skeniranja. Opseg merenja ovog skenera je 60 metara, u kome obezbeđuje takozvane full-color panoramske fotografije prekrivene oblakom tačaka visoke tačnosti. Rešenje koje je korišćeno za potrebe ovog rada prikazano je na slici 5.



Slika 5. Leica BLK360 Imaging laser scanner

3. KALIBRACIJA HORIZONTALNOG POLOŽENOG REZERVOARA

Međunarodna organizacija za standardizaciju ISO, u sklopu tehničkog komiteta ISO/TC 28, Petroleum products and lubricants, Subcommittee SC 2, Measurement of petroleum and related products propisuje standardne metode za etaloniranje horizontalnih cilindričnih rezervoara. Etaloniranje horizontalnih rezervoara propisano je u dva dela, gde se u drugom delu definiše unutrašnja elektro-optička metoda merenja rastojanja za potrebe etaloniranja rezervoara. Pravilnik o metrološkim uslovima za položene cilindrične rezervoare –Pravilnik, propisuje metrološke uslove koje moraju da ispunjavaju položeni cilindrični rezervoari koji se tretiraju kao merila tečnosti odnosno kao sudovi za skladištenje tečnosti kojima se može odrediti zapremina. U skladu sa Pravilnikom:

Odstupanja u vrednostima datih u tabeli zapremine pri očitavanju visine nivoa tečnosti mogu iznositi: za zapremine jednake ukupnoj zapremini rezervoara $\pm 0.5 \%$ od ukupne zapremine.

Za potrebe ovog rada, rađeno je skeniranje horizontalnog rezervoara, na uzorku zapremine 49 000 litara.

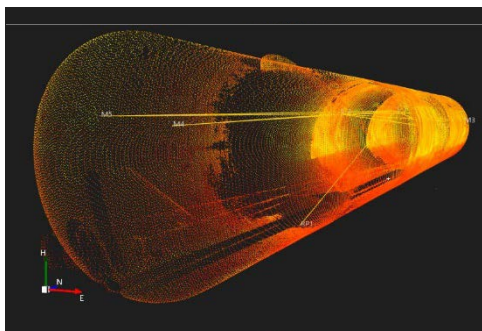
- Primenom MS60 1 R2000, dobijena je ukupna zapremina 49 269 litara, na visini punjenja 6,4 m.
- Primenom BLK360, dobijena je ukupna zapremina 48 922 litra, na visini punjenja 6,4 m.

Poredeći dve zapremine na istoj visini punjenja, može se doći do relativne greške koja iznosi, u prvom slučaju 0,5%, a u drugom slučaju 0.2%.

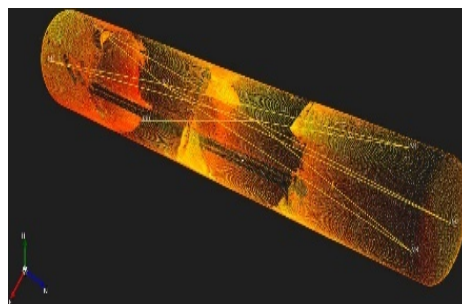
Ukoliko se uzmu uslovi pri radu u razmatranje, može se reći da je primena BLK360 daleko komfornija, budući da je skener izuzetno lagan i lak za korišćenje. Dovoljno je pritiskom na jedno dugme, u roku od 3 - 5 minuta dobiti skeniran prostor. Međutim da bi se obezbedila kompenzacija i horizontalnost skenera, neophodno je koristiti ga u kombinaciji sa totalnom stancem. Sa druge strane MS60 sampo sebi ima dimenzije standardnih geodetskih instrumenata, u odnosu na BLK360 ne zahteva upotrebu dodatne opreme.

Ono što se kod BLK360 pokazalo kao aktivnost koja nije neophodna u rezervoarima koji su podzemni i mračni, jeste uzimanje fotografskih informacija. Rezervoari su mračni, tamni i fotografije ne nose više informacija od onoga što oblak tačaka veoma kvalitetno može da pruži, u uslovima rezervoara.

Dobijeni oblak tačaka konkretnog rezervoara, prikazan je na slikama 6, 7 i 8.



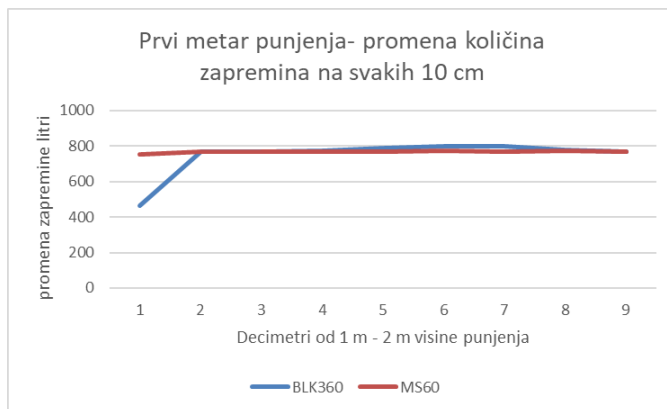
Slika 7. Oblak tačaka rezervoara



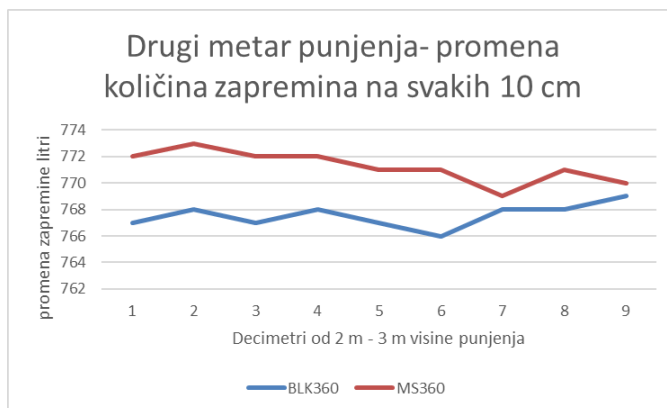
Slika 6. Geometrijski oblik rezervoara

Slika 9. Poprečni presek rezervoara

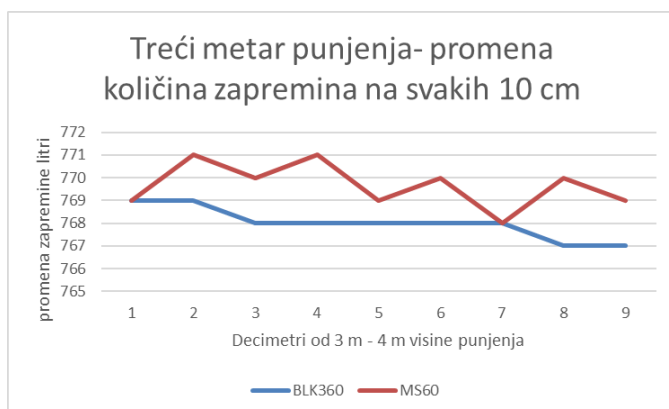
Poređenje zapremine dobijene opisanim metodama, po principu 1:1 u ovom slučaju nije moguće, budući da su dva hardvera postavljena na dva različita merna mesta. Ono što je korisno i moguće porediti, jeste kako se iz metra u metar menja količina zapremine, na svakih 10 cm.



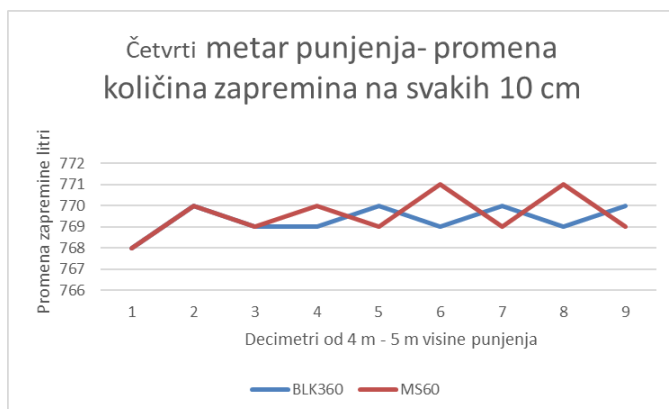
Slika 8 Promena zapremine u prvom metru



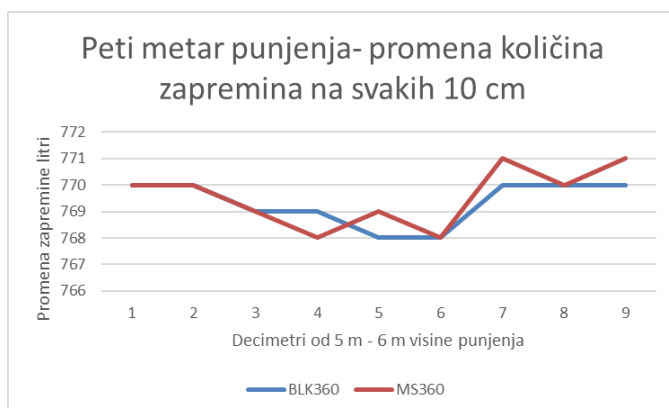
Slika 9. Promena zapremine u drugom metru



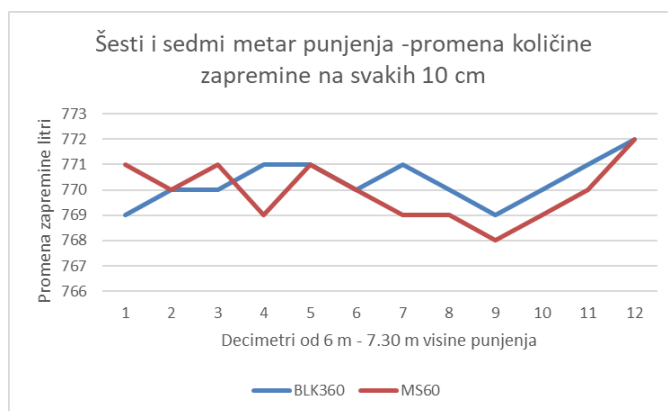
Slika 10. Promena zapremine u trećem metru



Slika 11. Promena zapremine u četvrtom metru



Slika 12. Promena zapremine u petom metru



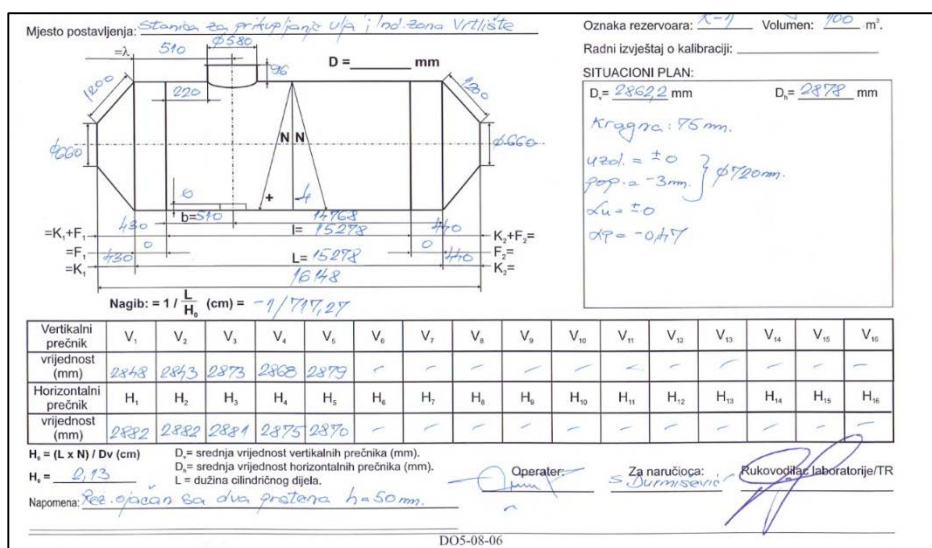
Slika 13. Promena zapremine u šestom i u sedmom metru

Pored određivanja tabele zapremine, merenje geometrijskih veličina rezervoara obuhvatilo je merenja u cilju određivanja:

- 1) unutrašnjih prečnika cilindričnog dela rezervoara;
- 2) dužine cilindričnog dela rezervoara;
- 3) dubine bočnog dna;
- 4) debljine zida rezervoara;
- 5) poluprečnika bočnog dna, ukoliko je to izvodljivo;
- 6) ukupne visine punjenja rezervoara (dužina merene vertikale);
- 7) nagiba horizontalne ose rezervoara.

Situacioni plan rezervora sa podacima prikupljenim na terenu prikazan je na Slici 14 u ovom radu. Unutrašnji prečnici cilindričnog dela rezervoara sa obe laserske metode izdvojeni su iz oblaka prikupljenih tačaka, od čega su izdvojeni oni u svakom prstenu, odnosno pojasu cilindričnog dela (između šavova zavarenih limova). U svakom prstenu izdvojena su po četiri merenja prečnika, horizontalni i vertikalni prečnici odnosno na 20% i 80% širine svakog prstena rezervoara. Sračunata je srednja vrednost prečnika dobijena na osnovu četiri merenja, za svaki prsten. Pokazalo se da su obe metode dale zadovoljavajuća merenja, budući da se srednje vrednosti dva uzastopna iz dva različita seta nalaze u granicama $\pm 0,05\%$ od izmerenog prečnika ili ± 1 mm.

Dužina cilindričnog dela horizontalnog rezervoara, odnosno rastojanje između simetrala krajnjih zavarenih šavova kojima su bočna dna zavarena za omotač rezervoara, izdvojena je iz oblaka merenih tačaka, prateći 4 referentne tačke koje su označene duž rezervoara. Merenja dobijena sa dve različite tehnologije se nalaze u granicama 0,03% izmerene dužine ili ± 3 mm.



Slika 14. Primer praćenja geometrije i situacionog plana na terenu

Ostali navedeni geometrijski parametri su određivani termovizijskim sensorima i ultrazvučnim meračima debljine plašta, I nisu predmet testiranja merne opreme koja je u opisu ovog rada.

4. ZAKLJUČAK

Na rezervoaru čija je približna zapremina 49000 litara, ukupna zapremina na merljivoj visini punjenja rezervoara dobijena primenom laserske opreme MS60 usaglašena je sa ukupnom zapreminom dobijenom imaging laserskom opremom BLK360, što u odnosu na projektovanu zapreminu iznosi 0,5% u prvom i 0.2% u drugom slučaju.

Zapremine određene opisanim metodama imaju isti pravac prostiranja i sinhronizovanu vrednost količina zapremine po desetocentimetarskim uzorcima duž visine, što je prikazano na slikama od broja 8 do broja 13, ovog rada . Količine zapremine po centimetarskim uzorcima opisuju oblik rezervoara koji ima dva danceta konična, čime su na sredini rezervoara količine zapremine najveće, a pri dnu i pri vrhu su manje što ukazuje na sužavanje rezervoara u tim delovima.

U tabeli zapremine rezervoara uočeno je odstupanje početnih količina zapremine kod obe metode, što je uslovljeno različito odabranim mernim mestima,

Obe metode su se pokazale kaokomforne za rad, s tim da metoda Imaging lasserskog skeniranja iziskuje kombinovanu upotrebu totalne stanice i BLK360 skenera, pre samog merenja i početka skeniranja.

Obe metode su dale vizuelni pregled merljivog oblaka tačaka rezervoara kao i 3D modela iz kojeg je sračunata zapremina, što predstavlja izuzetno zahvalan pristup ocenjivanja metrološke kontrole rezervoara u budućnosti.

LITERATURA

- [1] OIML R71 Preporuke Fiksni skladišni rezervoari, Opšti zahtevi, izdanje 2008
- [2] Pravilnik o metrološkim uslovima za položene cilindrične rezervoare („Službeni list SFRJ”, broj 26/81