



**Vladimir Petrović, Drago Bijelić, Ranko Ljepojević,
Dobrivoje Bjelobrk, Dubravka Pecalj**

**POSTUPAK BAŽDARENJA HORIZONTALNOG, CILINDRIČNOG,
NEPOKRETNOG REZERVOARA METODOM LASERSKOG SKENIRANJA
I PRIKAZ REZULTATA U ODNOSU NA VOLUMETRIJSKU METODU**

**Geo-centar d.o.o.
Banja Luka**

**Republički zavod za standardizaciju i metrologiju
Banja Luka**

MJERNA OPREMA ZA PREGLED REZERVOARA METODOM 3D SKENIRANJA

Mjerni sistem za pregled rezervoara u ovom radu je Trimble CX sistem, vlasništvo Laboratorije za etaloniranje rezervoara "Geo-centar" d.o.o. Banja Luka, a sastoji se od sljedećih komponenti:

- EODR instrument - 3D laserski skener Trimble CX:



- jedinica za napajanje 3D laserskog skenera Trimble CX:



- sferne markice sa magnetičnim dnom za registraciju skenova:



- kalibraciona letva - pruver:



- ostala oprema i pribor (tronožac, visak, indikator eksplozivnih smješa, lampa u ex izvedbi i sl.):



- Softverski paketi za obradu podataka (Trimble Realworks v8.0.1 i 3D Extractor)

Neke karakteristike skenera Trimble CX:

- Skenira 54 000 tačaka u sekundi (3 240 000 u minuti)
- Domet 80 m (do 90% reflektivne površine) ili 50 m (do 18% reflektivne površine)
- Minimalno rastojanje na mjerni objekt: 0.5 m
- Vidno polje: 360° horizontalno i 300° vertikalno
- Minimalni ugaoni korak (hor. i ver.): 0.002°
- Rezolucija: 0.005°
- težina: 11.8 kg

Etaloniranje skenera Trimble CX

Kako bi se obezbijedila sljedivost do međunarodnog sistema jedinica, Trimble CX sistem je etaloniran u laboratoriji za etaloniranje PTB-a (njemački nacionalni institut za metrologiju).

Etaloniranje je urađeno za slijedeće veličine:

- dužina,
- horizontalni ugao,
- vertikalni ugao i
- osa rotacije mjernog ogledala.

Uvjerenje o etaloniranju mjerne opreme se nalazi u vidu PTB Test certifikata (slika 1), u kojem je, na 16 stranica, opisan postupak etaloniranja i prikazani su rezultati etaloniranja za svaku pojedinu veličinu.

Dobijena odstupanja skenera za:

- dužinu je 0.985 mm za skeniranje do 30 m
- horizontalni ugao $\leq 0.004^\circ$
- vertikalni ugao $\leq 0.007^\circ$
- osa rotacije mjernog ogledala $\leq 0.0005^\circ$

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin

PTB



Prüfschein

Test Certificate

Gegenstand:

Object:

3D Lasermesssystem

Hersteller:

Manufacturer:

Trimble Germany GmbH
Delitzscher Straße 118
06116 Halle
DEUSCHLAND

Typ:

Type:

Trimble CX mit Tankmodul

Gerätenummer:

Serial number:

Scanner-Messkopf MK20081

 **GEOCENTAR**
Test Mark N°



Slika 1. Uvjerenje o etaloniranju (PTB Test certifikat)

OPIS POSTUPKA BAŽDARENJA REZERVOARA METODOM 3D SKENIRANJA

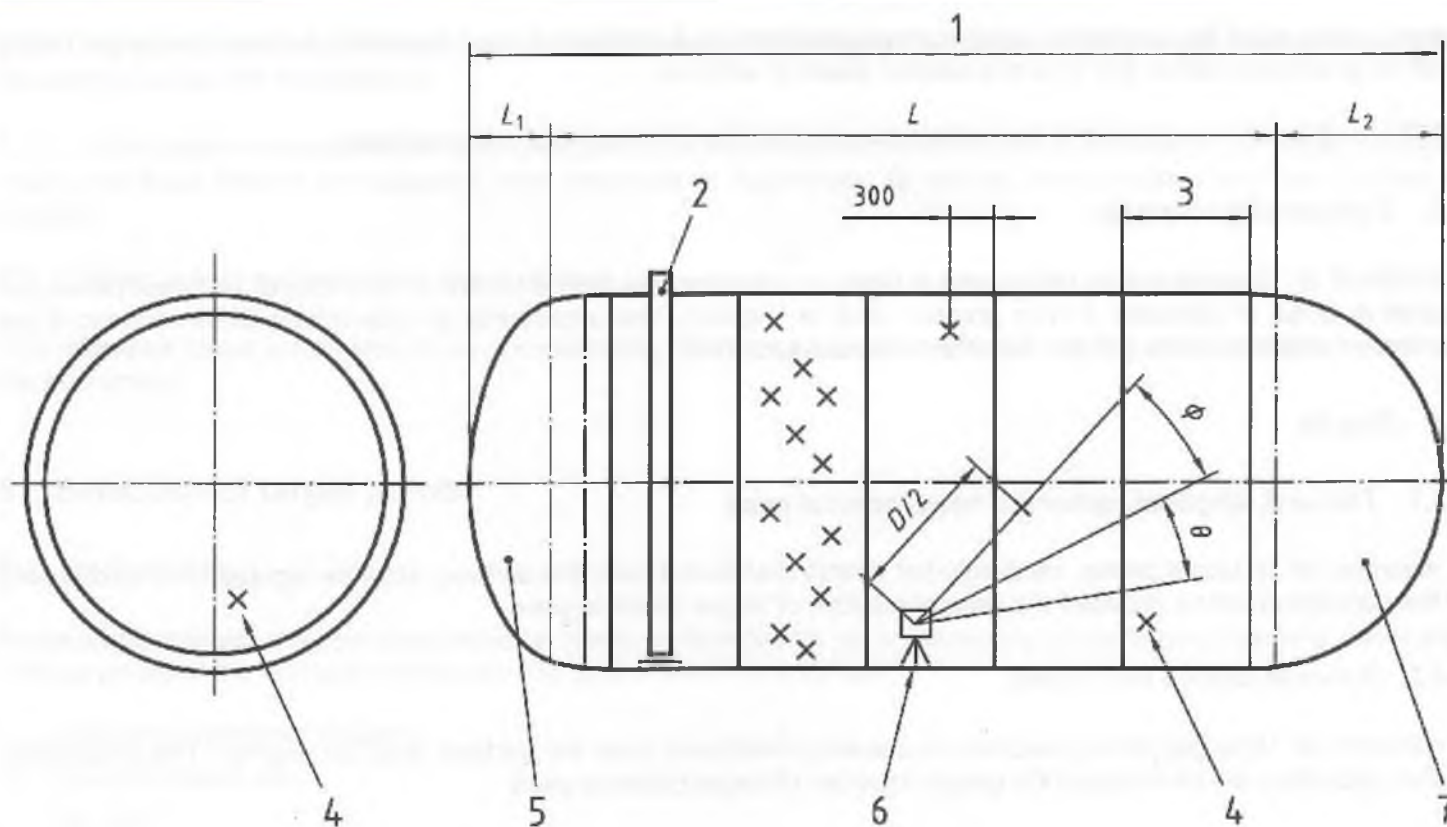
Elektro-optičkim laserskim sistemom Trimble CX moguće je baždariti rezervoare na način koji je mnogo brži, tačniji i jeftiniji od klasične geometrijske metode, a mogu se baždariti i rezervoari koji su deformisani, jer sama deformacija ne utiče na postupak izrade 3D modela rezervoara.

Baždarenje rezervoara je urađeno u Laboratoriji za etaloniranje "Geo-centar" d.o.o. koja je obrazovana laboratorija Republičkog zavoda za standardizaciju i metrologiju Republike Srpske.

Metoda baždarenja horizontalnih, cilindričnih, nepokretnih rezervoara u ovom radu zasnovana je na slijedećim dokumentima:

- PTB Test Certificate - Reference No. PTB-1.5-4058160, Test Mark PTB-15002-12
- BAS ISO 12917-2 Nafta i tečni naftni proizvodi - Kalibracija horizontalnih cilindričnih rezervoara - Dio 2: Mjerenje unutrašnjeg rastojanja elektro-optičkim postupkom (slika 2)

Baždarenje rezervoara ovom metodom izvedeno je na terenu, 3D skeniranjem unutrašnjosti rezervoara (benzinska pumpa "Blažuj" Sarajevo) i u kancelarijama laboratorije za etaloniranje (obrada podataka i izrada tabele zapremine).



Slika 2. Prikaz procedure kalibracije (BAS ISO 12917-2)

1 – ukupna dužina (unutrašnja)
 2 – mjerac položaja
 3 – dužina odsječka
 4 – ciljna tačka
 5 – zdjelasto bočno dno
 6 – instrument
 7 – poluloptasto bočno dno

θ - horizontalni ugao
 ϕ - vertikalni ugao
 D – kosa dužina
 L – dužina cilindra
 L_1 – dužina zdjelastog bočnog dna
 L_2 – dužina poluloptastog bočnog dna

Neki od zahtjeva standarda ISO 12917-2:

- najmanje **16 ciljnih tačaka** po cilindričnom dijelu rezervoara promjera manjeg od 3m ili
- najmanje **24 ciljne tačke** ako je promjer rezervoara veći od 3m,
- na bočno dno potrebno je ravnomjerno rasporediti najmanje **50 ciljnih tačaka**,
- **nesigurnost kalibracije se smanjuje sa povećanjem broja ciljnih tačaka**,

Aktivnosti u rezervoaru:

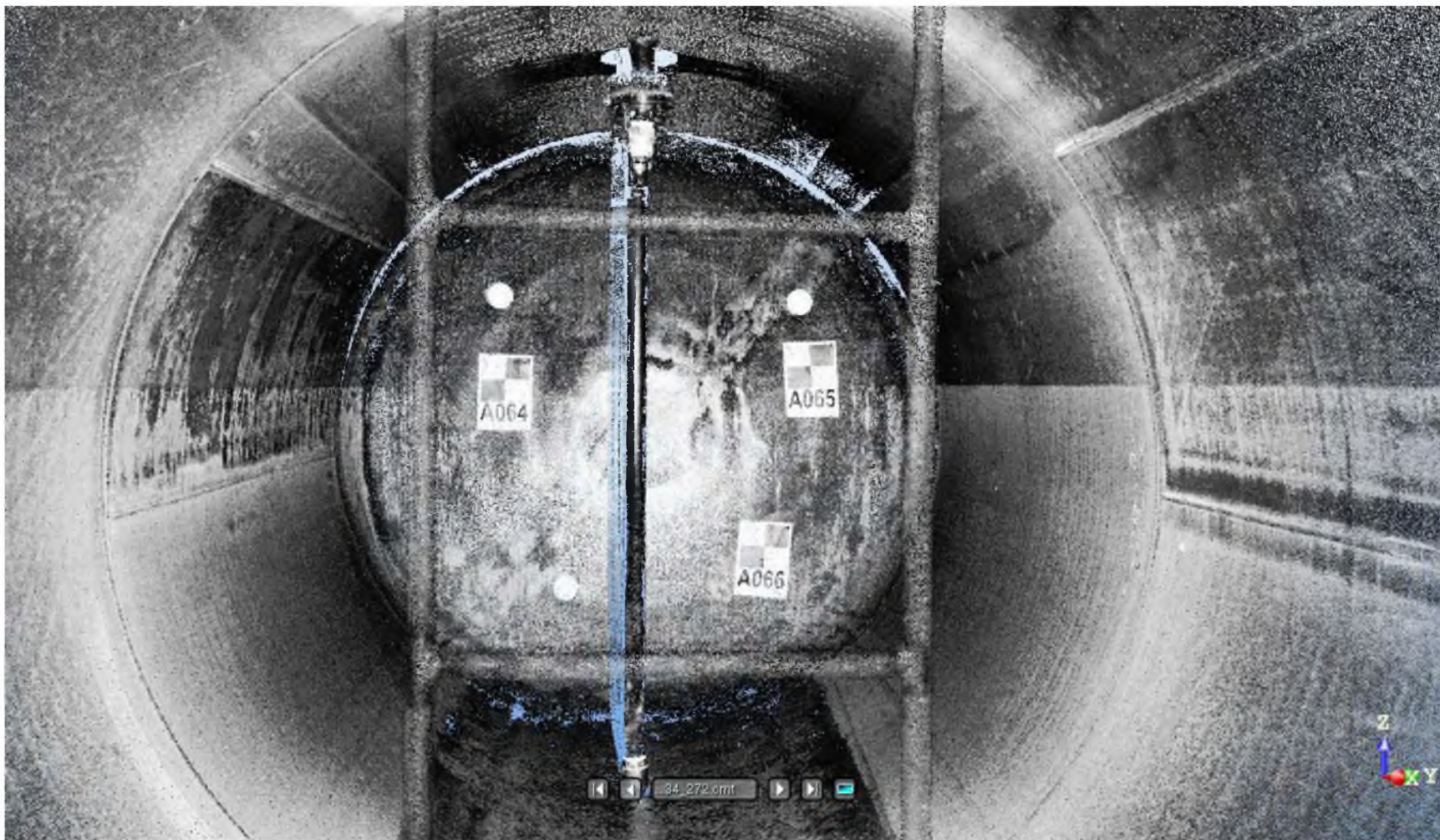
- priprema rezervoara za pregled (detaljno čišćenje i ventiliranje benzinskih para i drugih gasova),
- unošenje 3D skenera u rezervoar i postavljanje na tronožac,
- na bočna dna rezervoara postavljaju se 3-4 sferna markera,
- na mjesto nulte tačke obavezno se postavlja sferni marker,
- prilikom skeniranja vodi se računa da su svi markeri obuhvaćeni (slika 3),
- podešavanje parametara za skeniranje u vidu željene rezolucije 3D tačaka,
- odabir pozicija stajališta u rezervoaru,
- približno horizontisanje instrumenta pomoću kružne libele,
- uključivanje dvoosnog kompenzatora koji izvrši precizno traženje vertikalne ose instrumenta,
- potpuno panoramsko skeniranje sa zahvatom vertikalnog ugla od 300° i punog kruga horizontalnog ugla od 360° .

Za nekoliko minuta skeniranja moguće je izmjeriti više miliona tačaka na plaštu cilindričnog rezervoara koje vjerno predstavljaju njegov geometrijski oblik.

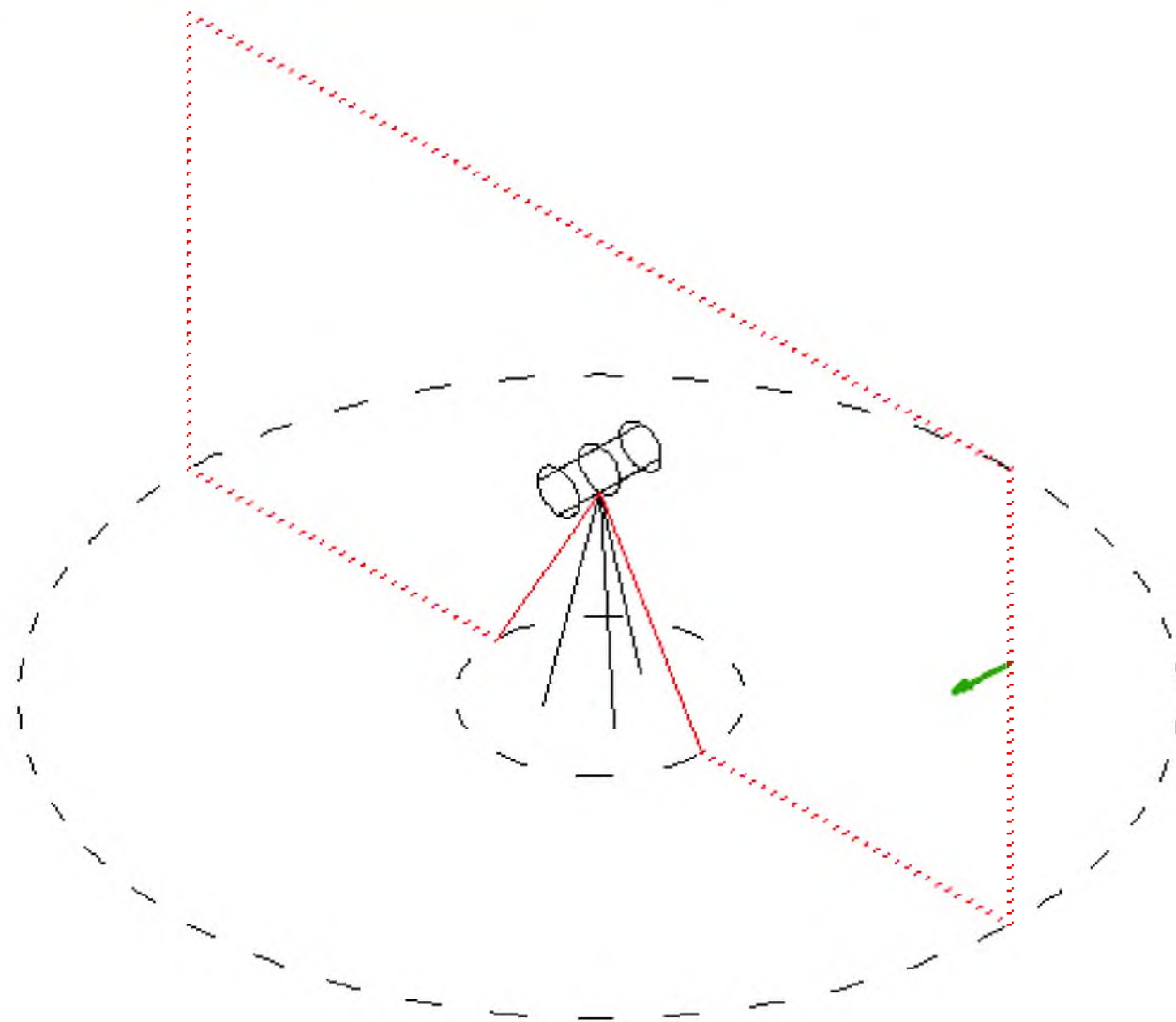
Ciljne tačke na plaštu rezervoara se registruju preko mjerenja horizontalnog ugla, vertikalnog ugla i kose dužine u lokalnom X, Y, Z koordinatnom sistemu 3D skenera (Slika 4a i 4b).

Rezultat skeniranja sa svakog stajališta je zaseban oblak tačaka u lokalnom koordinatnom sistemu instrumenta.

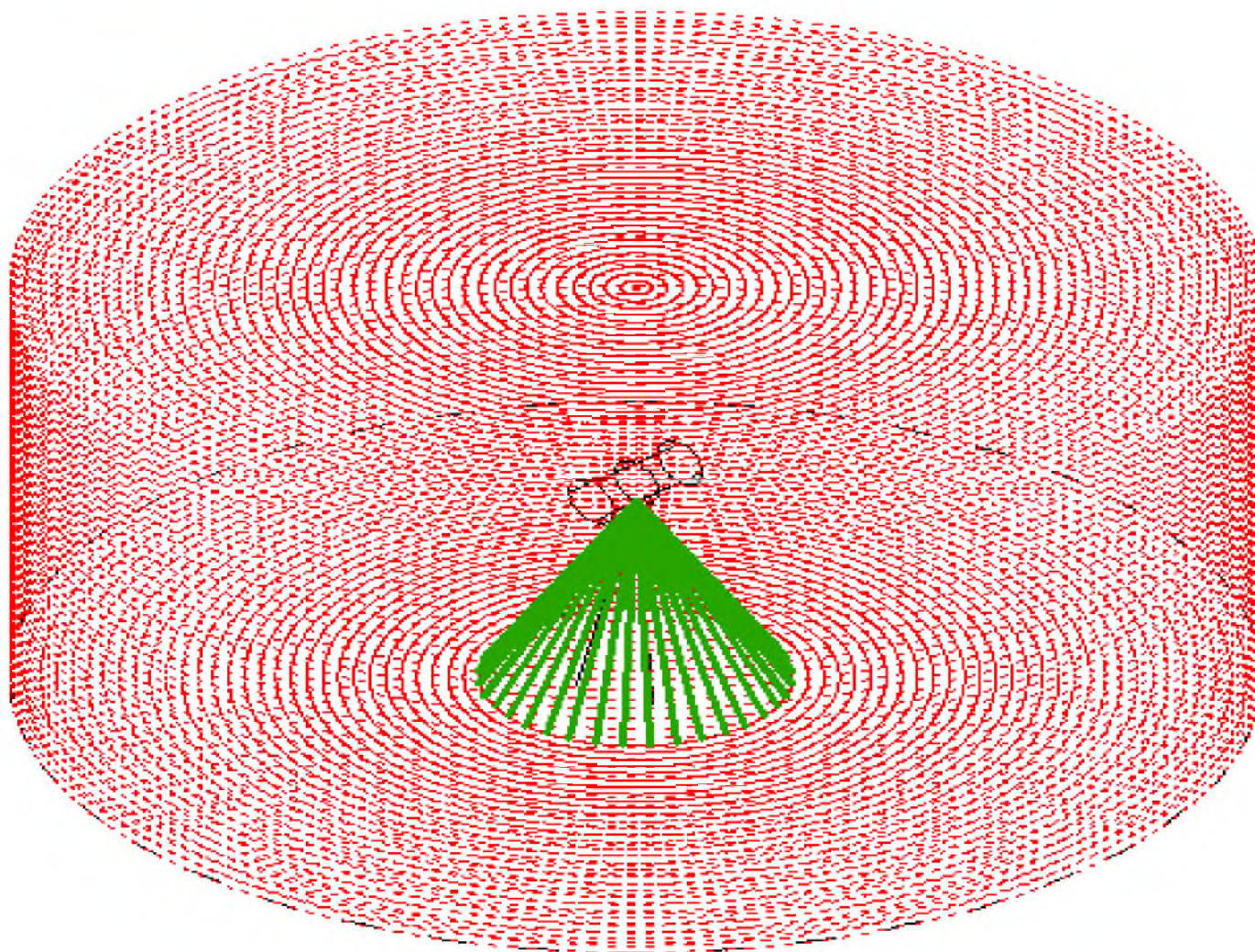
Skeniranje horizontalnih rezervoara se najčešćem radi sa 2 ili 3 stajališta, a za potrebu dalje obrade podataka, koriste se postavljene sferne markice (slika 5).



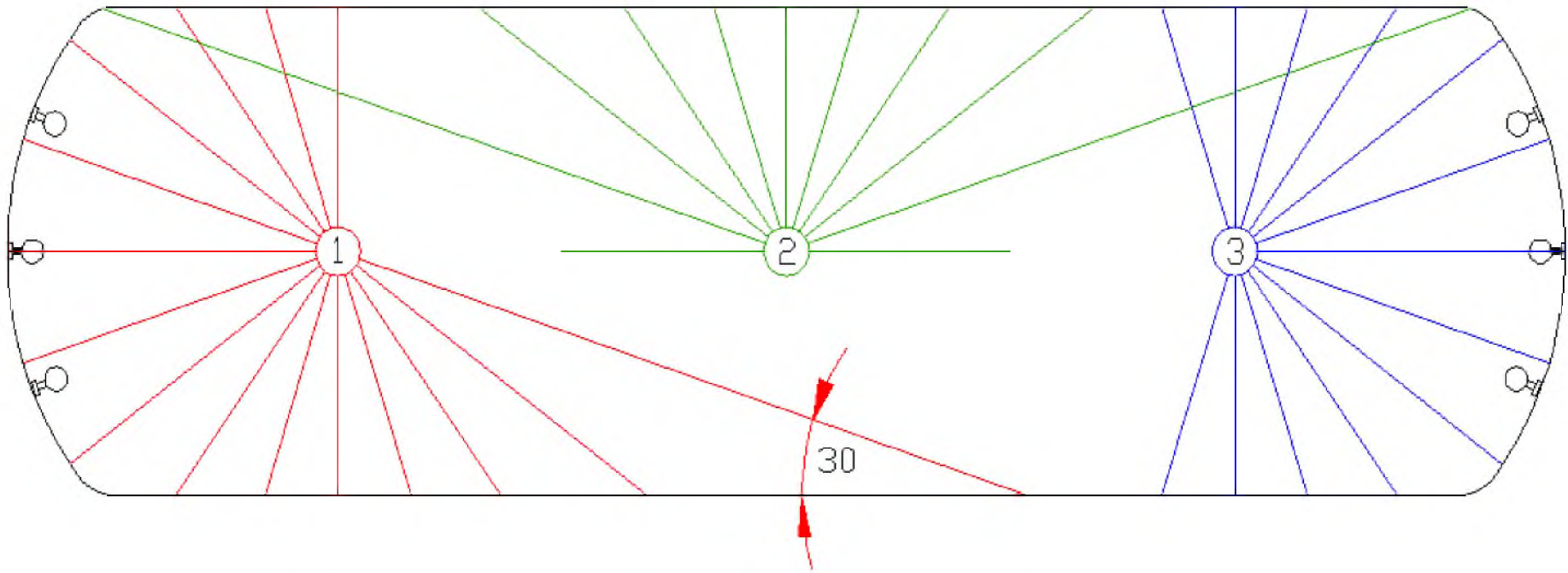
Slika 3. Položaj postavljenih markera



Slika 4a. Skeniranje sa zahvatom vertikalnog ugla od 30° i punog kruga horizontalnog ugla od 360°



Slika 4b. Skeniranje sa zahvatom vertikalnog ugla od 300° i punog kruga horizontalnog ugla od 360°



Slika 5. Prikaz skeniranja sa tri pozicije skenera u rezervoaru

Nakon završetka skeniranja unutrašnjosti rezervoara izvrši se provjera skeniranih podataka i time su terenski radovi završeni, te se prelazi na obradu podataka u prostorijama kalibracione laboratorije.

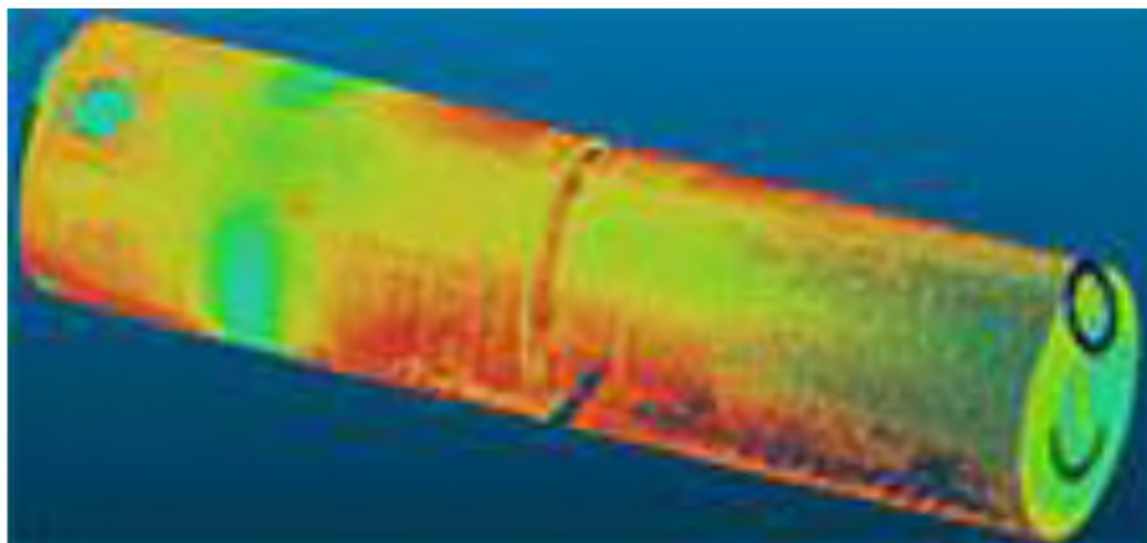
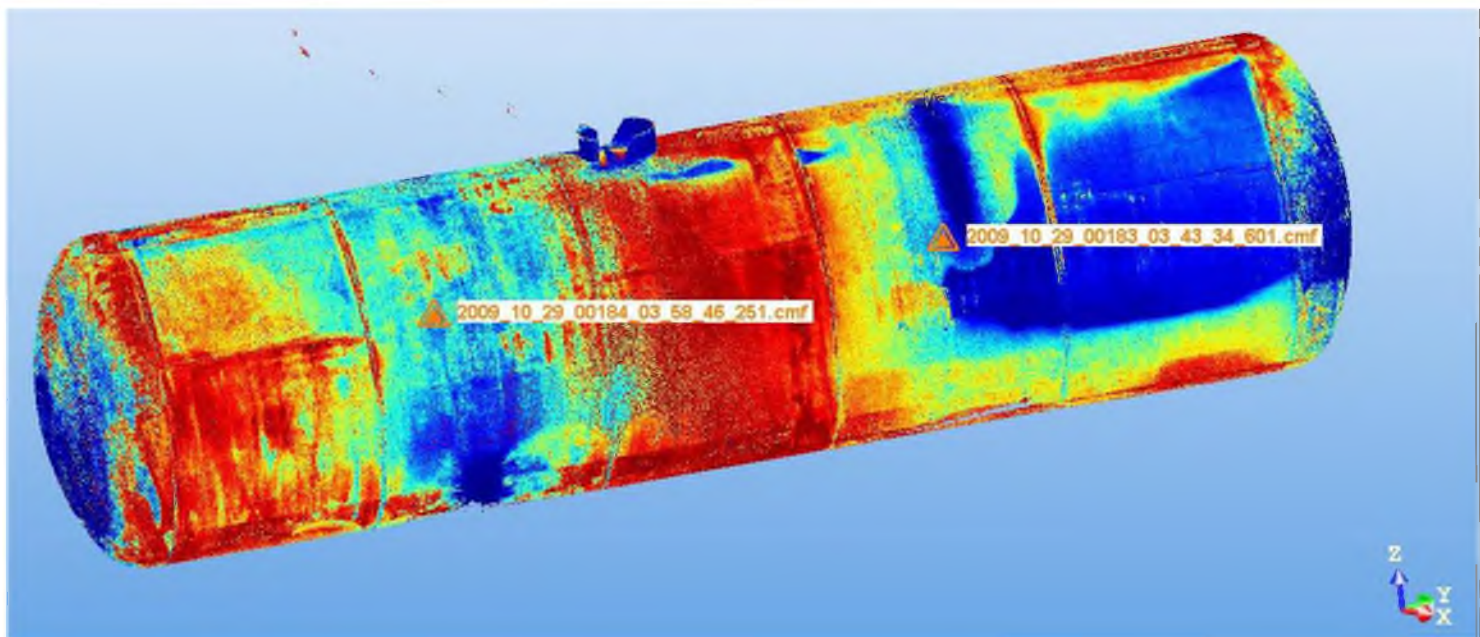
OBRADA OBLAKA SKENIRANIH TAČAKA

Obrada podataka u laboratoriji se vrši u nekoliko koraka, specijalizovanim softverskim paketima Trimble Realworks i 3D Extraktor (takođe sertifikovanim od strane PTB-a):

- spajanje (registracija) više skenova u jedan zajednički (slika 6) čime se dobija jedinstveni oblak tačaka (slika 7).
- čišćenje nepotrebnih i manje pouzdanih 3D tačaka
- optimizacija tačaka
- izrada 3D modela
- isjecanje 3D modela horizontalnim ravnima
- izrada tabele sa površinama odsječaka
- izrada tabele zapremine

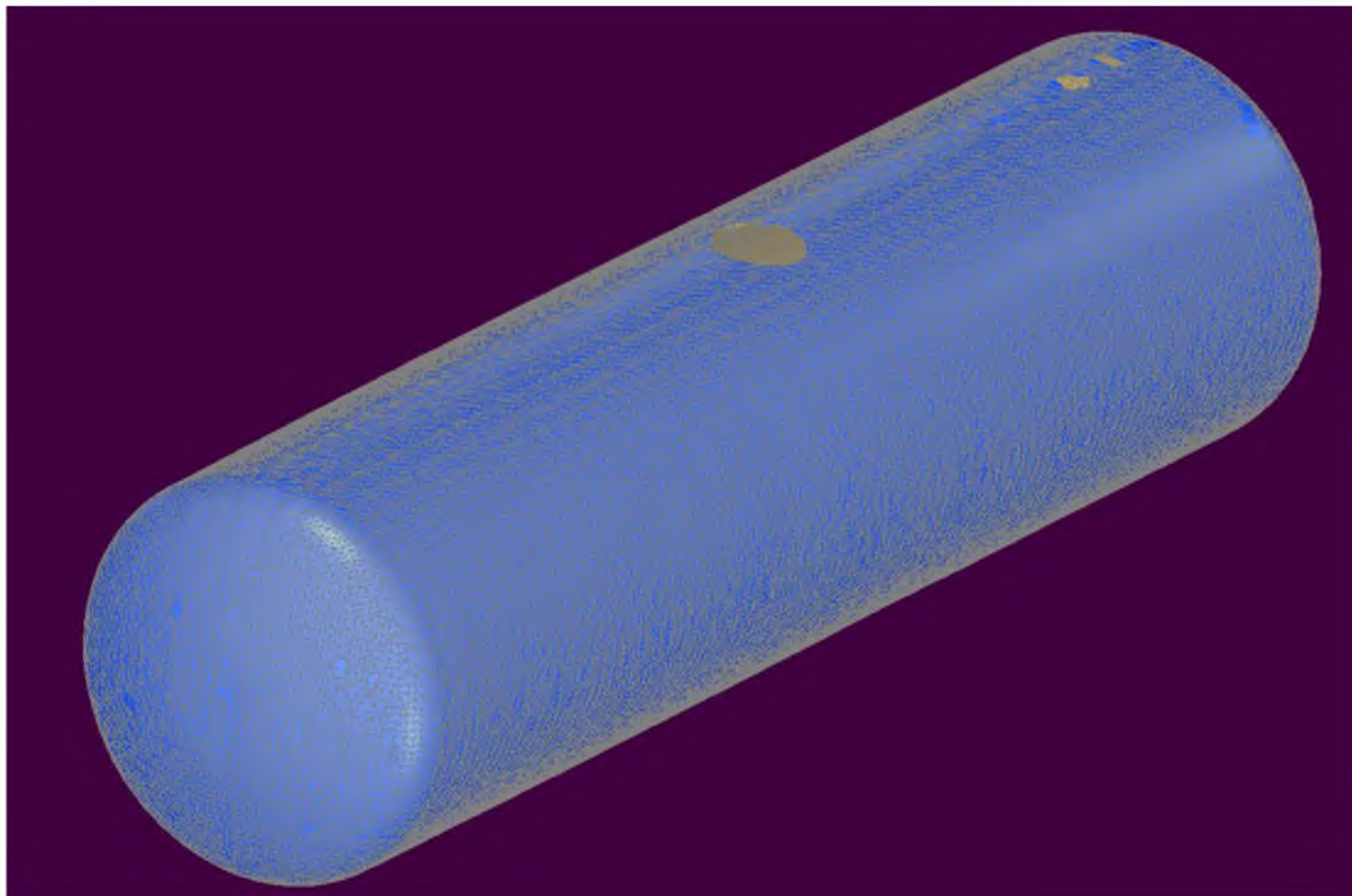
Name	Scan Per Station	Corresponding Target	Scan Per Target	Residual Error	Delta X	Delta Y	Delta Z	Fitting Er...	Distance to Scanner
9 20_	7			0.48 mm					
9 001		008	3	0.34 mm	0.19 mm	-0.10 mm	-0.26 mm	0.94 mm	5699.26 mm
9 002		009	3	0.11 mm	0.08 mm	-0.08 mm	0.02 mm	0.85 mm	5725.70 mm
9 003		010	3	0.30 mm	0.28 mm	-0.05 mm	-0.10 mm	0.91 mm	5799.69 mm
9 004		011	2	0.68 mm	-0.47 mm	0.12 mm	-0.45 mm	0.78 mm	2587.28 mm
9 005		012	2	0.91 mm	-0.73 mm	0.52 mm	0.10 mm	0.86 mm	2562.48 mm
9 006		013	3	0.31 mm	-0.20 mm	0.18 mm	0.16 mm	0.82 mm	2689.29 mm
9 007		014	3	0.74 mm	0.45 mm	-0.39 mm	0.44 mm	0.81 mm	2166.69 mm
9 20_	7			0.75 mm					
9 001		008	3	0.85 mm	-0.82 mm	0.24 mm	-0.02 mm	0.64 mm	3114.25 mm
9 002		009	3	0.75 mm	-0.56 mm	0.40 mm	-0.29 mm	0.74 mm	3117.99 mm
9 003		010	3	0.71 mm	-0.59 mm	0.35 mm	0.19 mm	0.68 mm	3217.68 mm
9 004		011	2	0.68 mm	0.47 mm	-0.12 mm	0.48 mm	0.76 mm	5165.27 mm
9 005		012	2	0.91 mm	0.73 mm	-0.52 mm	-0.10 mm	0.67 mm	5151.76 mm
9 006		013	3	1.22 mm	1.09 mm	-0.53 mm	-0.19 mm	0.82 mm	5229.51 mm
9 007		014	3	0.11 mm	0.08 mm	-0.02 mm	0.06 mm	0.73 mm	1507.12 mm
9 20_	6			0.71 mm					
9 001		008	3	0.70 mm	0.62 mm	-0.14 mm	0.28 mm	0.75 mm	1489.87 mm
9 002		009	3	0.64 mm	0.48 mm	-0.32 mm	0.27 mm	0.87 mm	1516.58 mm
9 003		010	3	0.45 mm	0.31 mm	-0.30 mm	-0.09 mm	0.96 mm	1667.05 mm
9 004		--	--	--	--	--	--	0.93 mm	6846.55 mm
9 006		013	3	0.96 mm	-0.89 mm	0.36 mm	0.04 mm	0.91 mm	6896.35 mm
9 007		014	3	0.84 mm	-0.53 mm	0.41 mm	-0.50 mm	0.73 mm	2922.94 mm

Slika 6. Izveštaj izravnjanja koordinata skeniranih markica



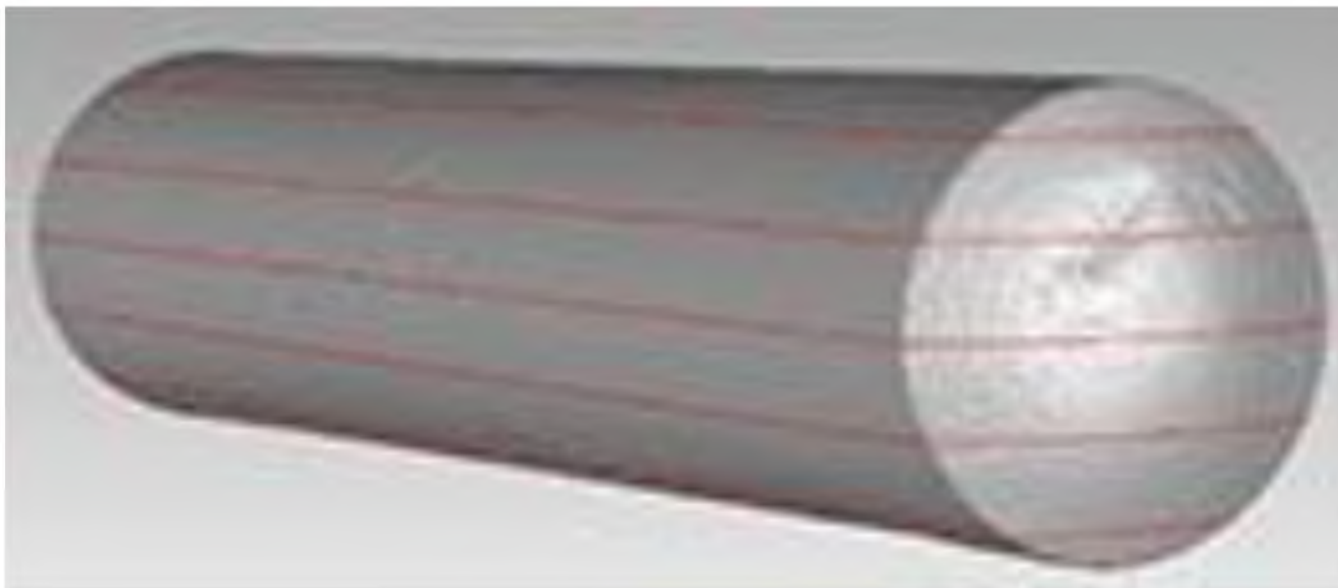
Slika 7. Jedinstveni oblak tačaka

U jedinstvenom registrovanom oblaku tačaka vrši se optimizacija broja tačaka, nakon čega se vrši izrada 3D modela horizontalnog rezervoara (slika 8), koji vjerno predstavlja geometriju unutrašnjosti rezervoara.



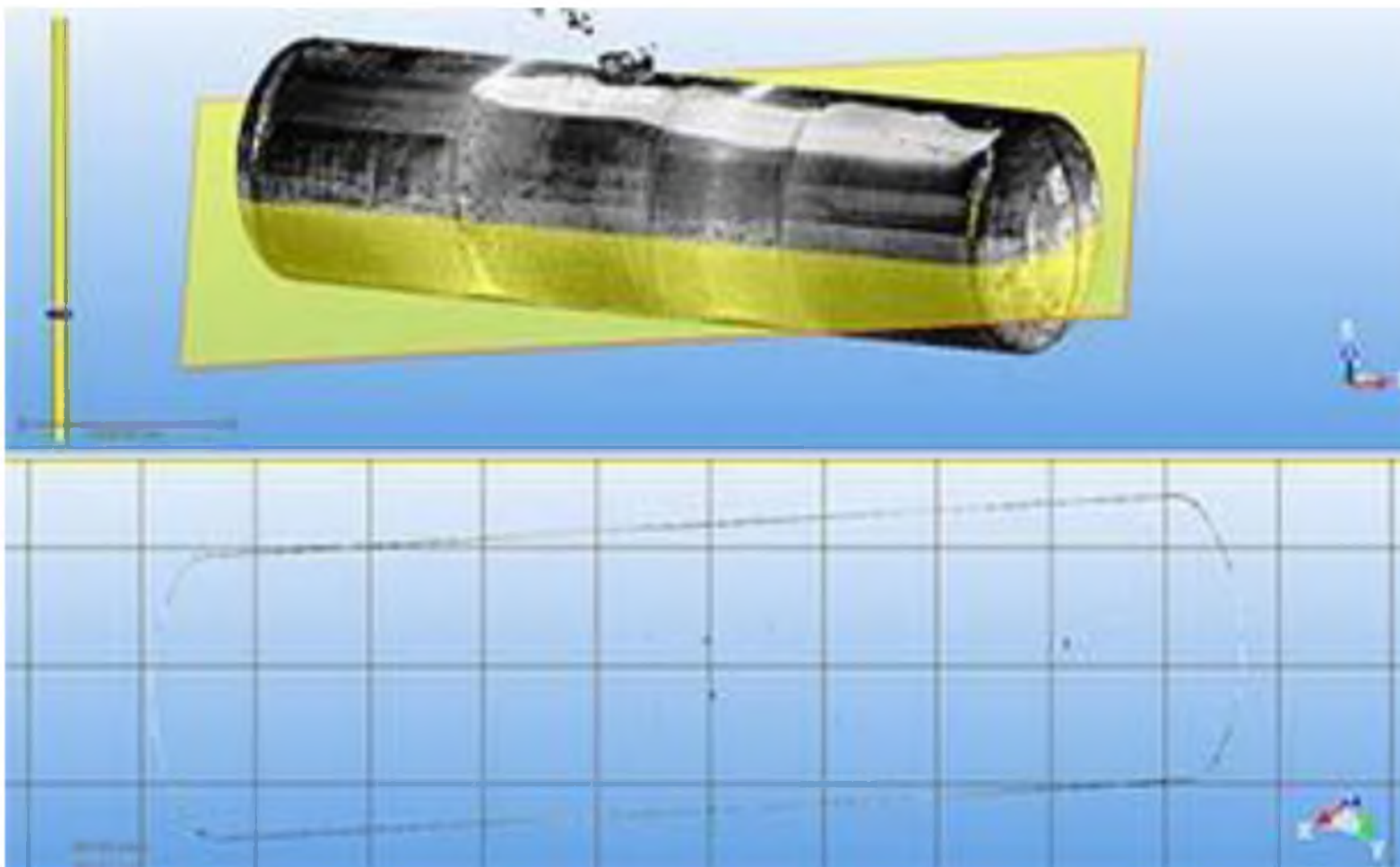
Slika 8. 3D model rezervoara

Nakon izrade 3D modela rezervoara vrši se njegovo isjecanje horizontalnim ravnima na rastojanju od 1 cm (slika 9). Ravan nultog horizontalnog presjeka modela rezervoara prolazi tačno kroz visinu nulte tačke sonde za mjerenje nivoa tečnosti u rezervoaru, i odvaja mrtvu od korisne zapremine rezervoara.



Slika 9. Isjecanje horizontalnim ravnima

Rezultat presjeka horizontalne ravni sa 3D modelom rezervoara (slika 10) su zatvorene polilinije koje imaju svoju površinu.

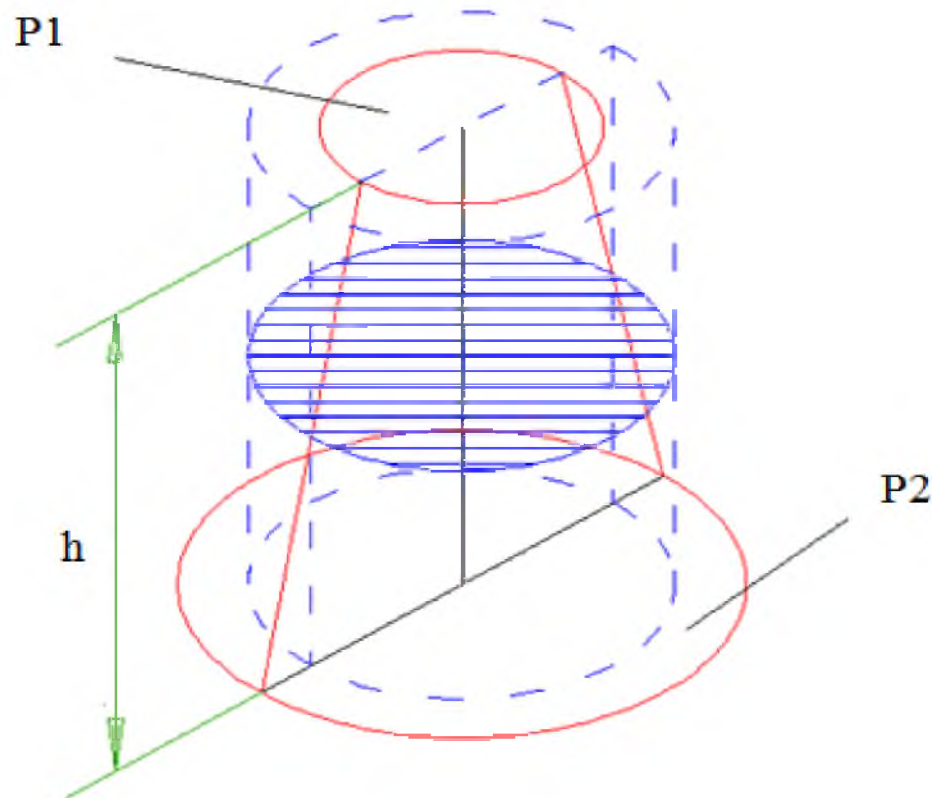


Slika 10. Presjek horizontalne ravni sa 3D modelom rezervoara

Zapremina svake pojedinačne kriške rezervoara između dva horizontalna presjeka računa se metodom “srednje površine” (Slika 11).

Zbir svih pojedinačnih zapremina čine ukupnu zapreminu rezervoara.

Rezultati računanja zapremina se automatskim putem eksportuju i nastaje tablica zapremine predmetnog rezervoara (slika 12).



$$V = (P1 + P2)/2 * h$$

Slika 11. Metoda računanja zapremine odsječka

cm

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	3	10	22	39	63	95	133	176	224
10	275	330	389	451	515	583	653	725	800	877
20	957	1038	1122	1208	1295	1385	1476	1569	1664	1760
30	1858	1957	2058	2161	2265	2370	2477	2584	2694	2804
40	2916	3029	3143	3258	3374	3492	3610	3730	3850	3972
50	4094	4218	4342	4467	4593	4720	4848	4977	5106	5236
60	5367	5499	5631	5765	5898	6033	6168	6304	6441	6578
70	6715	6854	6993	7132	7272	7413	7554	7695	7837	7980
80	8123	8267	8411	8555	8700	8846	8991	9138	9284	9431
90	9579	9726	9874	10023	10172	10321	10470	10620	10770	10920
100	11071	11222	11373	11524	11676	11827	11980	12132	12284	12437
110	12590	12743	12896	13049	13203	13356	13510	13664	13818	13972
120	14126	14280	14434	14588	14742	14896	15050	15204	15358	15512
130	15666	15820	15974	16128	16282	16435	16589	16742	16895	17049
140	17201	17354	17507	17659	17811	17963	18115	18266	18418	18569
150	18719	18870	19020	19170	19320	19469	19618	19767	19915	20063
160	20210	20357	20504	20651	20796	20942	21087	21232	21376	21520
170	21663	21805	21948	22089	22231	22371	22511	22651	22790	22928
180	23066	23203	23339	23475	23610	23744	23878	24011	24143	24275
190	24406	24536	24665	24794	24921	25048	25174	25299	25424	25547
200	25670	25791	25912	26031	26150	26268	26384	26500	26615	26728
210	26840	26951	27062	27170	27278	27385	27490	27594	27696	27798
220	27897	27996	28093	28188	28282	28375	28466	28555	28643	28728
230	28812	28895	28975	29053	29130	29204	29276	29345	29413	29477
240	29540									

Slika 12. Primjer tabele zapremine rezervoara - skeniranje

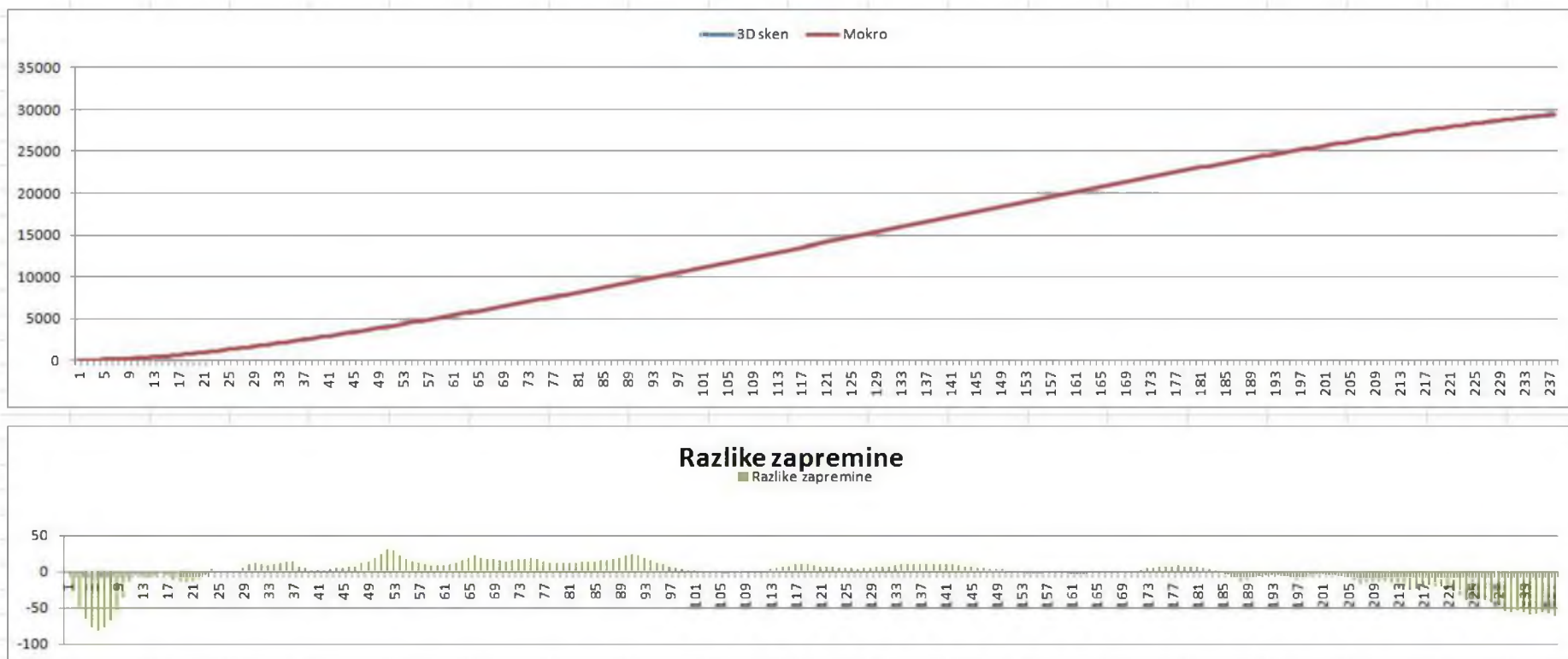
Na slici 13. data je tabela zapremine za isti rezervoar dobijena volumetrijskom metodom od strane akreditovane laboratorije "DELTA PETROL" Kakanj.

cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	30	58	87	116	145	173	202	231	259
10	288	334	396	459	522	585	658	736	814	892
20	970	1048	1127	1205	1296	1386	1477	1568	1659	1750
30	1845	1947	2049	2151	2253	2355	2463	2576	2689	2802
40	2914	3027	3140	3253	3368	3485	3602	3718	3835	3952
50	4069	4186	4313	4444	4575	4705	4836	4966	5097	5227
60	5358	5488	5619	5749	5879	6010	6148	6286	6424	6562
70	6700	6838	6976	7114	7253	7396	7539	7682	7825	7968
80	8111	8254	8397	8541	8686	8830	8975	9120	9265	9409
90	9554	9703	9855	10007	10159	10311	10462	10614	10766	10918
100	11070	11222	11374	11526	11678	11830	11982	12134	12286	12437
110	12589	12741	12893	13044	13196	13348	13499	13654	13808	13963
120	14118	14273	14427	14582	14737	14891	15046	15199	15352	15505
130	15659	15812	15965	16118	16271	16425	16578	16731	16884	17038
140	17191	17344	17498	17651	17804	17957	18110	18262	18414	18566
150	18718	18870	19022	19174	19323	19472	19620	19768	19917	20065
160	20213	20361	20508	20652	20797	20942	21086	21231	21376	21521
170	21664	21804	21943	22083	22223	22363	22503	22642	22782	22921
180	23059	23197	23335	23473	23611	23749	23887	24025	24154	24283
190	24412	24541	24670	24799	24928	25057	25186	25309	25431	25552
200	25673	25795	25916	26037	26158	26280	26401	26515	26628	26741
210	26853	26966	27078	27191	27304	27408	27511	27613	27716	27818
220	27921	28023	28126	28228	28320	28413	28505	28597	28690	28782
230	28869	28950	29032	29113	29188	29261	29334	29407		

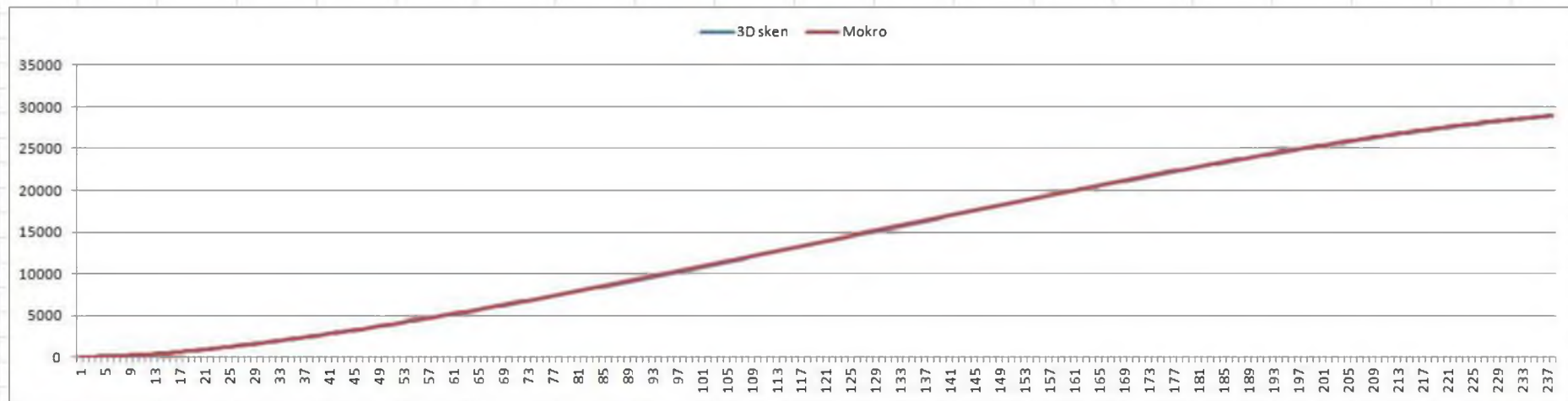
Slika 13. Primjer tabele zapremine rezervoara – volumetrijska metoda

POREĐENJE REZULTATA U ODNOSU NA VOLUMETRIJSKU METODU

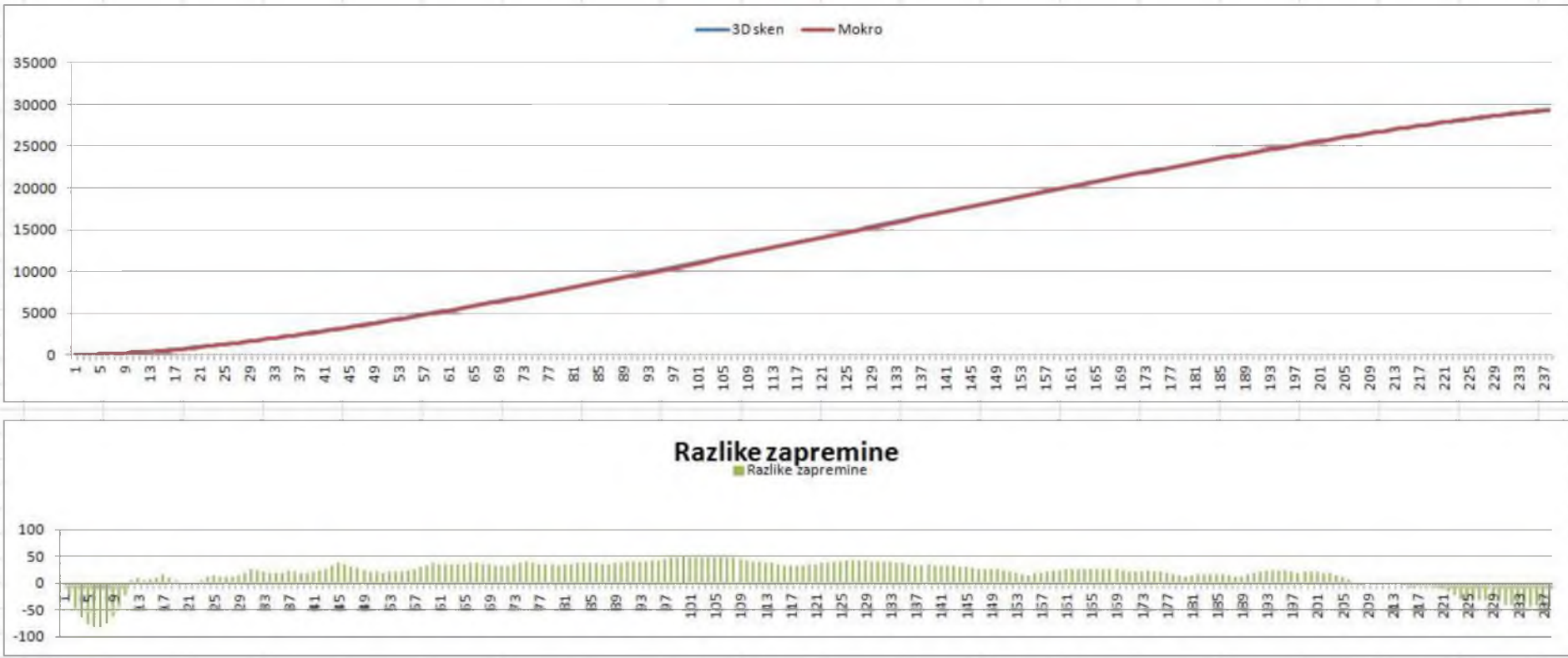
U ovom radu je izvršeno baždarenje 4 rezervoara nominalne zapremine od po 30000 litara (R1, R2, R3 i R4), uporedo laserskim skeniranjem i volumetrijskom metodom a zatim je izvršeno poređenje rezultata koji su prikazani u obliku grafičkog dijagrama po pojedinim rezervoarima (slike 14 - 17).



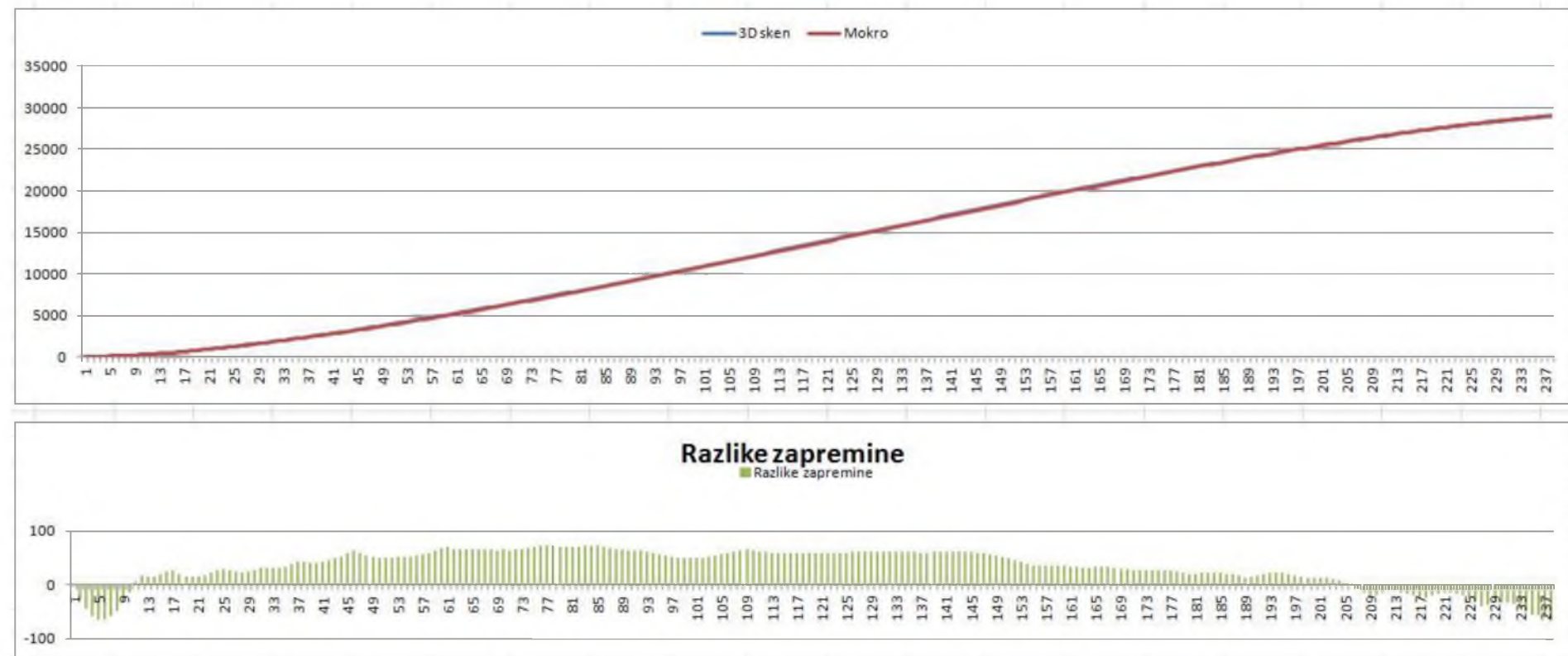
Slika 14. Dijagram poređenja rezultata – R1




Slika 15. Dijagram poređenja rezultata – R2



Slika 16. Dijagram poređenja rezultata – R3



Slika 17. Dijagram poređenja rezultata – R4



Na grafičkim dijagramima prikazane su krive zapremine tečnosti u zavisnosti od visine nivoa tečnosti u rezervoarima dobijene iz obe metode. Vidljivo je da se krive zapremine dobijene iz dvije metode baždarenja jako dobro poklapaju.

Za izradu dijagrama korišćeno je ukupno 237 nivoa (segmenata) visine od po 1 cm, za svaki od četiri baždarena rezervoara. U donjem dijelu dijagrama je grafički prikazana razlika zapremine u litrama za svaki pojedini nivo tečnosti.

Na svim rezervoarima su dobijene veće razlike na prvih deset presjeka, koji su bliski nultoj ravni i koji se u stvarnosti nalaze na dnu rezervoara.

Pretpostavljamo da do toga dolazi zbog postupka ravnomjerne interpolacije zapremine između prvog mjerenog nivoa tečnosti i nulte ravni kod baždarenja volumetrijskom metodom (Slika 18).

Za numeričku analizu rezultata baždarenja iz dvije metode u ovom radu poredili smo rezultate zapremine tečnosti na 2 nivoa tečnosti, tj. na dva horizontalna presjeka, a na udaljenostima od nulte ravni 150 cm i 200 cm.

Apsolutne razlike zapremine u litrama su date u tabeli ispod (slika 19). Razlika se kreće u vrijednostima od minimalnih 1 litre do maksimalnih 49 litara.

Red. Br.	nivo tečnosti (mm)	količina tečnosti (litara) - volumetrijska metoda				količina tečnosti (litara) - metoda laserskog skeniranja				Razlika zapremine (litara) dobijenih različitim metodama baždarenja (LAB - REF)			
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	1500	18718	18534	18641	18573	18719	18527	18664	18622	1	-7	23	49
2	2000	25673	25440	25574	25482	25670	25419	25595	25496	-3	-21	21	14

Slika 19. Tabela razlika zapremina (u litrama) iz dvije metode baždarenja

Ako se razlike zapremina izraze u relativnom odnosu u odnosu na ukupnu zapreminu na datom presjeku, dobiju se rezultati prikazani u tabeli ispod (slika 20).

Red. Br.	nivo tečnosti (mm)	količina tečnosti (litara) - volumetrijska metoda				količina tečnosti (litara) - metoda laserskog skeniranja				Razlika zapremine (%) dobijenih različitim metodama baždarenja (LAB - REF)			
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	1500	18718	18534	18641	18573	18719	18527	18664	18622	0.005	-0.038	0.123	0.263
2	2000	25673	25440	25574	25482	25670	25419	25595	25496	-0.012	-0.083	0.082	0.055

Slika 20. Tabela razlika zapremina (u %) iz dvije metode baždarenja

ZAKLJUČAK

Baždarenje horizontalnih cilindričnih rezervoara laserskim 3D skenerom zadovoljava zahtjeve međunarodnog standarda ISO 12917-2, i pokazalo se veoma efikasno u odnosu na dosadašnju geometrijsku metodu, a zbog ostvarenog visokog nivoa tačnosti, kratkog vremena rada u samom rezervoaru i ekoloških prednosti ova metoda se nametnula kao vrlo konkurentna volumetrijskoj metodi.

Ova metoda, u odnosu na klasičnu geometrijsku i volumetrijsku metodu ima sledeće prednosti:

- visoka tačnost rezultata (u granicama propisane tačnosti prema zahtjevima zakonske metrologije)
- velika brzina baždarenja tj. kratak zastoj u radu rezervoara (skeniranje unutrašnjosti rezervoara traje oko 30 minuta)
- manja cijena (znatno su niži troškovi baždarenja u odnosu na druge metode)
- ekološki čista metoda

LITERATURA

1. OIML R71:2008 Fixed storage tank-General requirements,
2. PTB Test Certificate-Reference No. PTB-1.5-4058160, Test Mark PTB-15002-12,
3. ISO 12917-2 (Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of horizontal cylindrical tanks – Part 2: Internal electro-optical distance-ranging method),
4. Metrološko uputstvo za baždarenje položenih cilindričnih rezervoara MUP.RS03MS0207-01,
5. Pravilnik o uslovima za obrazovanje laboratorija za baždarenje položenih cilindričnih rezervoara PUL.RS03MS0207-1,
6. U 5.4-2 Uputstvo za proračun mjerne nesigurnosti Laboratorije za etaloniranje Geo centar d.o.o.,
7. U 5.4.3 Uputstvo za etaloniranje horizontalnih cilindričnih rezervoara elektro-optičkom metodom Laboratorije Geo-centar d.o.o.,
8. P 5.9 Osiguranje kvaliteta rezultata etaloniranja Laboratorije za etaloniranje Geo-centar d.o.o.,
9. Uputstvo za rukovanje skenerom.

HVALA NA PAŽNJI !

Vladimir Petrović

Geo-centar d.o.o. Banja Luka

office@geo-centar.com, www.geo-centar.com

Drago Bijelić, Ranko Ljepojević, Dobrivoje Bjelobrk, Dubravka Pecalj

Republički zavod za standardizaciju i metrologiju Banja Luka

rzsm@blic.net, www.rzsm.org