



Universitatea Tehnică
de Construcții București

Școala Doctorală

Bd. Lacul Tei 122-124, Sect. 2, cod poștal 020396, București, România
Tel.: +40-21-242.12.08, int. 221, scoala.doctorala@utcb.ro, <http://sd.utcb.ro>

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII
BUCUREȘTI

TEZĂ DE DOCTORAT

-Rezumat-

CONTRIBUȚII LA UTILIZAREA ECHIPAMENTELOR DE
ACHIZIȚIE A DATELOR SPAȚIALE (3D) ÎN APLICAȚII
DE VERIFICARE ȘI CONTROL A INSTALAȚIILOR ȘI
ECHIPAMENTELOR INDUSTRIALE

Conducator doctorat:
Prof.univ.dr.ing. IOHAN NEUNER

Doctorand:
Drd.ing. ȚĂRANU ANDREI FLORIN

*București
2018*

Cuvânt înainte

Lucrarea “Contribuții la utilizarea echipamentelor de achiziție a datelor spațiale (3D) în aplicații de verificare și control a instalațiilor și echipamentelor industriale” reprezintă rezultatul preocupărilor autorului pentru domeniul utilizării sistemelor de scanare laser ca student al Școlii Doctorale a Universității Tehnice de Construcții București.

Teza a avut ca principal obiectiv investigarea utilizării sistemelor de scanare laser 3D în activități de verificare și control al instalațiilor industriale ca și completare a cercetării autorului în domeniul scanării laser 3D din cadrul lucrării de Disertație.

Activitățile de documentare și cercetare s-au desfășurat în perioada 2014 – 2017, în diverse locații și cu sprijinul a numeroși colaboratori, care s-au dovedit a fi foarte înțelegători și care m-au susținut în marea majoritate a demersurilor întreprinse.

Autorul este profund recunoscător conducătorului de doctorat, domnului Prof. univ. dr. ing. Iohan Neuner cât și domnului Ion Peleanu pentru îndrumarea și încurajarea lor extraordinară din perioada realizării prezentei teze.

Multe mulțumiri prietenilor și colaboratorilor Andreea Jocea, Marian Vică și Alexandru Vișan, pentru indicațiile și sugestiile lor valoroase din timpul studiului.

În cele din urmă, autorul ar dori să mulțumească familiei pentru susținere și înțelegere.

Contribuții la utilizarea echipamentelor de achiziție a datelor spațiale (3D) în aplicații de verificare și control a instalațiilor și echipamentelor industriale

CUPRINS

CUPRINS	5
PREFAȚĂ.....	8
1. NOȚIUNI GENERALE.....	9
1.1. Considerații generale	9
1.2. Justificarea lucrării	9
1.3. Rezervoare de stocare produse petroliere	10
1.3.1. Clasificarea rezervoarelor	10
1.3.2. Elemente constructive ale rezervoare de stocare cilindrice verticale	10
1.3.3. Atmosfera explozivă din jurul rezervoarelor de hidrocarburi.....	10
2. METODE ȘI MIJLOACE DE MĂSURARE	11
2.1. Clasificarea metodelor și mijloacelor de măsurare	11
2.1.1. După mărimea pe care o măsoară:	11
2.1.2. După numărul dimensiunilor măsurate	11
2.2. Mijloace pentru asigurarea siguranței operatorilor.....	11
2.3. Mijloace pentru măsurarea grosimii de material.....	11
2.4. Nivelmentul	12
2.4.1. Nivelmentul geometric	12
2.4.2. Clasificarea nivelmentului geometric.....	12
2.4.3. Clasificarea instrumentelor de nivelment geometric	12
2.5. Stații totale	12
2.5.1. Măsurarea unghiurilor	12
2.5.2. Măsurarea electronică distanțelor.....	12
2.6. Sisteme de scanare laser 3D terestre	13
2.6.1. Componenta sistemelor de scanare laser 3D terestre.....	13
2.6.2. Clasificarea sistemelor de scanare laser 3D terestre	13
2.6.3. Registrația și georeferențierea	14
2.6.4. Erorile de măsurare.....	14
2.6.5. Metode de lucru	14
2.7. Controlul nedistructiv	15
2.7.1. Controlul vizual	15
2.7.2. Testarea cu lichide penetrante	15
2.7.3. Testarea cu particule magnetice.....	15
3. STANDARDE NAȚIONALE ȘI INTERNAȚIONALE PENTRU ACTIVITATEA DE CONTROL ȘI INSPECȚIE A REZERVOARELOR DE STOCARE	16
3.1. Standarde naționale și internaționale pentru proiectare, execuție și inspecție.....	16
3.1.1. Codul de bună practică - Model Code of Safe Practice Part 2: Design, construction and operation of petroleum distribution installations	16
3.1.2. EEMUA 159: Above ground flat bottomed storage tanks - a guide to inspection, maintenance and repair.....	16
3.1.3. Standardul API 650 Welded Tanks for Oil Storage.....	16
3.1.4. Standardul API 653: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction	16
Standardul SR EN 14015: specificații pentru proiectarea și fabricarea rezervoarelor de oțel, sudate, supaterane, cu fund plat, cilindrice, verticale, construite în situ, destinate depozitarii lichidelor la temperatura ambiantă sau superioară	16
3.1.5.	16
3.1.6. Standardul SR E 1993-4-2 Eurocod 3 Proiectarea structurilor de oțel partea 4-2: Rezervoare	16

3.1.7. C 220-85 Instrucțiuni tehnice privind verificările abaterilor de la forma geometrică și a calității cusăturilor sudate ale rezervoarelor din oțel cilindrice verticale pentru depozitarea țițeiului și a produselor petroliere lichide	16
3.2. Normative Metrologice	16
3.3. Standarde naționale și internaționale pentru calibrarea rezervoarelor	16
3.3.1. Standardul ISO 7507-1:2003 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 1: Strapping method	17
3.3.2. ISO 7507-2:2005 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 2: Optical-reference-line method	17
3.3.3. Standardul ISO 7507-3:2006 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 3: Optical-triangulation method	17
3.3.4. Standardul ISO 7507-4:2010 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 4: Internal electro-optical distance-ranging method	17
3.3.5. Standardul ISO 7507-5:2000 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 5: External electro-optical distance-ranging method	17
3.3.6. NML 017-05 "Rezervoare de stocare pentru lichide"	17
4. VERIFICAREA ȘI INSPECȚIA REZERVOARELOR DE STOCARE	18
4.1. Calibrarea rezervoarelor	18
4.2. Metoda volumetrică	18
4.2.1. Echipamente utilizate la calibrare	18
4.3. Metoda geometrică	18
4.3.1. Calibrarea fundului de rezervor	18
4.3.2. Calibrare corp rezervor	19
4.3.3. Corecții	19
4.4. Metoda mixtă	19
5. INSPECȚIA REZERVOARELOR DE STOCARE LICHIDE PETROLIERE	20
5.1. Mecanismul de degradare și modurile de defectare a rezervoarelor	20
5.1.1. Coroziunea	20
5.1.2. Modificarea poziției rezervorului	20
5.1.3. Oboseala materialelor	20
5.2. Evaluarea condiției curente - gradul de corodare	20
5.2.1. Examinarea sudurilor	20
5.2.2. Determinarea grosimii de material	20
5.3. Urmărirea comportării în timp a rezervoarelor	20
5.3.1. Tipuri de modificări de poziție	21
5.3.2. Determinarea tasărilor	21
5.3.3. Evaluarea tasării mantelei	21
5.3.4. Evaluarea modificării formei rezervoarelor	21
6. STUDIU DE CAZ – CALBRAREA ȘI INSPECȚIA REZERVOARELOR	22
6.1. Obiectul de studiu	22
6.2. Echipamente utilizate	23
6.2.1. Nivelă optică	23
6.2.2. Miră topografică	23
6.2.3. Stație totală	23
6.2.4. Scaner laser 3D terestru	23
6.2.5. Aparat de măsurat cu ultrasunete pentru determinarea grosimilor	23
6.2.6. Detector de gaze	23
6.3. Realizarea măsurătorilor	23
6.3.1. Pregătirea rezervorului	23
6.3.2. Control nedistructiv	23

6.3.3. Nivelment geometric	24
6.3.4. Măsurători cu stația totală.....	24
6.3.5. Măsurători laser 3D	24
6.4. Calibrarea rezervorului.....	26
6.4.1. Stoc mort.....	26
6.4.2. Calibrare corp rezervor	28
6.5. Inspecția rezervorului.....	31
6.5.1. Evaluare cilindricitate.....	31
6.5.2. Evaluare circularitate	32
6.5.3. Evaluare verticalitate	33
6.5.4. Evaluarea condiției curente a capacului rezervorului	34
6.5.5. Evaluarea condiției curente a fundului de rezervor	35
6.5.6. Evaluarea tasării perimetrului a mantalei	36
6.5.7. Evaluarea tasării fundului de rezervor	36
6.5.8. Rezultate control NDT	37
6.5.9. Rezoluție	37
7. CONCLUZII GENERALE.....	38
7.1. Considerații finale	38
7.2. Concluzii	38
7.3. Contribuții	39
7.4. Perspective de cercetare	39
BIBLIOGRAFIE	40

PREFAȚĂ

Odată cu realizarea primei sonde petroliere a apărut și nevoia de stocare a țițeiului extras. Pe măsură ce nevoia de hidrocarburi a crescut, capacitatea de a depozita produsele petroliere în condiții de siguranță a devenit un factor de creștere important pentru industria petrolieră. Însăși industria rezervoarelor de stocare își are originea în aceste evenimente care au modelat societatea actuală.

În cazul rezervoarelor de stocare pentru lichide, activitățile de control și verificare a acestora constă în evaluarea condiției curente cât și estimarea duratei de viață remanente pentru exploatarea acestora în condiții de siguranță. Factori precum gradul de inflamabilitate a substanțelor stocate, pericolul deversărilor accidentale și impactul major asupra mediului înconjurător obligă la realizarea activității de inspecție și control.

Pentru domeniile de interes public: sănătatea și siguranța populației, ordinea publică, protecția mediului, protecția drepturilor consumatorilor, perceperea taxelor și impozitelor, tranzacțiile și operațiunile comerciale, asigurarea securității și apărării naționale, alte domenii de interes public, stabilite de Guvernul României, unde măsurătorile sau rezultatele incorecte ale determinărilor pot afecta direct sau indirect viața oamenilor sau interesele persoanelor fizice și/sau juridice este obligatorie efectuarea verificărilor metrologice conform legislației în vigoare [1].

Verificarea metrologică constă în verificarea conformității, examinarea, marcarea și eliberarea unui buletin de verificare metrologică pentru un sistem de măsurare, care să ateste dacă se încadrează în toleranțele de măsurare stabilite legale.

Valoarea de achiziție și comercializare a lichidelor altele decât apa este una ridicată, ceea ce conduce la necesitatea unor determinări foarte exacte, cu erori mici de măsurare. Menținerea unei evidențe a producției precum și a circulației produselor din industria de petrol și gaze, impune de asemenea un nivel de precizie ridicat al măsurărilor. Mai mult de atât, necesitatea permanentă pentru modernizarea liniilor de producție are ca efect creșterea cerințelor de exactitate a determinărilor efectuate. Aceste cerințe au condus la utilizarea echipamentelor de achiziție a datelor spațiale în activitățile de metrologie, inspecție și control al echipamentelor și instalațiilor industriale.

Lucrarea de doctorat este împărțită în 7 capitole, care prezintă situația actuală la nivel național și internațional, precum și cercetările autorului din domeniu.

1. NOȚIUNI GENERALE

1.1. Considerații generale

Domeniul instalațiilor și echipamentelor industriale este unul vast, complex cu multe utilizări în ramurile activităților economice. Din totalitatea echipamentelor care aparțin categoriei de instalații și echipamente industriale, de interes pentru prezenta teză de doctorat îl reprezintă instalațiile din domeniul petrol și gaze, și anume rezervoarele de stocare a produselor petroliere.

În general, din punct de vedere funcțional, rezervoarele îndeplinesc pe lângă funcția de stocare și cea de echipament de măsurare pentru măsurări statice de volum. Din punct de vedere metrologic, rezervoarele sunt considerate mijloace de măsurare, pentru care sunt definite erorile de măsurare funcție de metoda utilizată pentru calibrarea acestora.

Rezervoarele de stocare a produselor petroliere sunt componente importante ale instalațiilor industriale cu impact major asupra activităților cotidiene. În istoria recentă există numeroase incidente în care rezervoarele de stocare au cedat în urma unui cutremur, incendiu, dezastre naturale sau ca urmare a unei utilizări deficitare care a condus la uzarea prematură și la scăderea duratei de viață a acestora.

La nivel european, defectarea rezervoarelor a provocat accidente de muncă grave cu pierderi de vieți omenești și pagube materiale importante, Toulouse în Franța (2001) [4], Puertollano în Spania [5], Buncefield în Regatul Unit (2005) [6].

Principalele cauze de ordine mecanică ale cedării rezervoare sunt coroziunea avansată, ceea ce poate conduce la cedarea mantalei rezervorului sub eforturile de presiune hidrostatică, deplasare fundației ca urmare a infiltrațiilor sau cedarea capacului rezervorului [10].

1.2. Justificarea lucrării

Mărimea și complexitatea instalațiilor industriale, împreună cu natura produselor utilizate, pune în evidență necesitatea efectuării unei analize și a controlului riscurilor implicate. Rezervoarele cilindrice verticale pentru stocare produse petroliere utilizate la nivel internațional în depozitele de tranzit, rafinării, rezervele statului ș.a.m.d. au o mare importanță strategică și trebuie să funcționeze chiar și în caz de calamități naturale, război etc.

În prezent activitățile de inspecție pentru evaluarea condiției curente a rezervoarelor constă în evaluarea sudurilor și grosimea foilor de tablă care alcătuiesc virolele și fundul rezervoarelor, neglijându-se abaterile de la forma geometrică proiectată și evaluarea deformațiilor suferite pe parcursul utilizării.

În cazul rezervoarelor care sunt utilizate în tranzacții fiscale, activitatea de calibrare și determinarea duratei de viață remanente sunt obligatorii și reprezintă un domeniu poate fi îmbunătățit.

Operațiunile desfășurate în terminale de depozitare produse petroliere, rafinării, combinate chimice, constau, în principal, în recepționarea, stocarea și descărcarea produselor petroliere prin legăturile de aprovizionare și/sau distribuție către rampe de încărcare/descărcarea auto, cale ferată, fluviale, maritime.

Utilizarea scanării laser 3D poate evalua toate riscurile asociate cauzelor descrise mai sus prin măsurători exacte a întregului amplasament, printr-o evaluare completă și o simulare în caz de accident.

1.3. Rezervoare de stocare produse petroliere

1.3.1. Clasificarea rezervoarelor

Clasificarea rezervoarelor poate fi realizată în funcție de următoarele criterii:

- 1.3.1.a. După poziția lor față de sol:
- 1.3.1.b. După forma geometrică
- 1.3.1.c. După tipul capacului
- 1.3.1.d. După capacitate de depozitare
- 1.3.1.e. După natura materialelor din care se execută
- 1.3.1.f. După presiunea de depozitare

1.3.2. Elemente constructive ale rezervoare de stocare cilindrice verticale

Rezervoarele cilindrice verticale sunt cele mai utilizate tipuri de rezervoare, aceasta datorându-se costului scăzut de realizare cât și ușurinței de fabricare. Rezervorul este alcătuit din patru părți componente: fundația, fundul, mantaua cilindrică și capacul. În funcție de destinație, acesta poate fi echipat cu diverse echipamente care să satisfacă cerințele activităților pentru care a fost realizat.

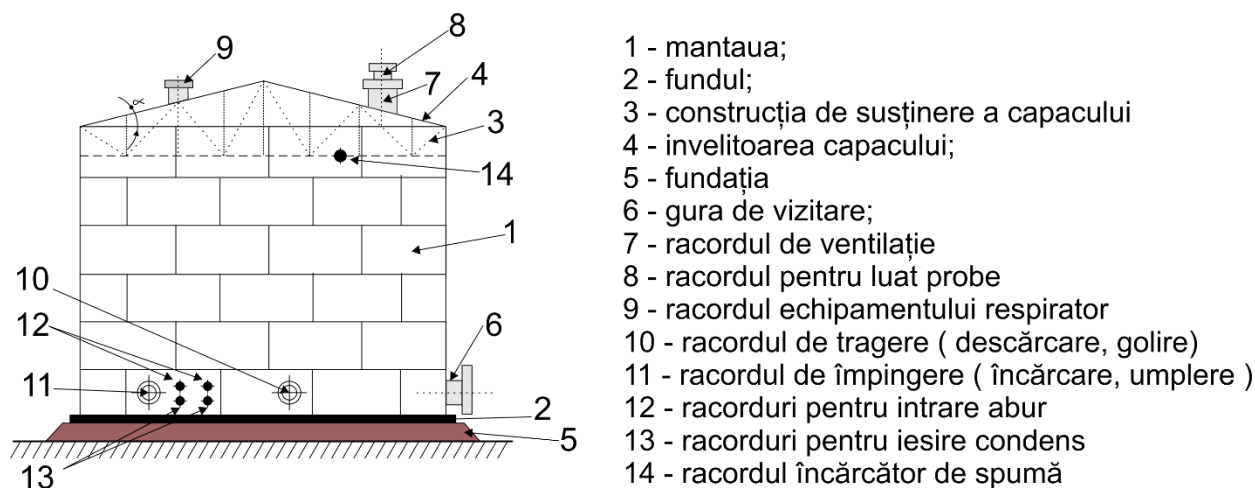


Figura 1.1 Elemente componente ale unui rezervor de stocare lichide petroliere

1.3.3. Atmosfera explozivă din jurul rezervoarelor de hidrocarburi

Mecanismul producerii exploziilor de gaze, vapori sau cețuri inflamabile/aer poate fi simbolizat prin triunghiul exploziei din care se observă că explozia poate surveni ori de câte ori sunt îndeplinite simultan trei condiții [16]:

- prezența carburantului (gaze, vapori, prafuri /pulberi, cețuri combustibile);
- prezența comburantului (oxigen, substanțe oxidante);
- sursa de inițiere eficientă pentru asigurarea activării moleculelor în vederea inițierii și propagării reacției de ardere rapidă [16].

2. METODE ȘI MIJLOACE DE MĂSURARE

Măsurarea este un act de comparare și reprezintă procesul de obținere pe cale experimentală a uneia sau a mai multor valori ale unei mărimi. Aceasta este cel utilizat mijloc de evaluare, de aceea cele mai multe cercetări științifice sunt însoțite de diferite tipuri de măsurări.

2.1. Clasificarea metodelor și mijloacelor de măsurare

În cazul măsurătorilor terestre, un obiect este generalizat de cele mai multe ori prin puncte, operațiune cunoscută sub denumirea de discretizare în spațiul geometric. Pentru aceste puncte se determină poziția reciprocă în spațiu, definită de o distanță spațială și de orientarea acesteia față de o direcție de referință [24].

2.1.1. După mărimea pe care o măsoară:

Principalele mijloace de măsurare utilizate în măsurătorile topografice inginerești pot fi clasificate astfel [23]:

- 2.1.1.a. Mijloace pentru măsurarea distanțelor
- 2.1.1.b. Mijloace pentru măsurarea unghiurilor
- 2.1.1.c. Mijloace pentru măsurarea diferențelor de nivel
- 2.1.1.d. Mijloace pentru măsurarea de aliniamente
- 2.1.1.e. Mijloace pentru transmiterea verticalei

2.1.2. După numărul dimensiunilor măsurate

Funcție de numărul dimensiunilor determinate, instrumentele de măsurare se pot clasifica astfel [24]:

- 2.1.2.a. O dimensiune -1D
- 2.1.2.b. Două dimensiuni – 2D
- 2.1.2.c. Trei dimensiuni – 3D

2.2. Mijloace pentru asigurarea siguranței operatorilor

Activitatea de control și inspecție a rezervoarelor de stocare produse petroliere se desfășoară în zone cu factori de risc care pot conduce la accidente sau îmbolnăviri profesionale.

Pornind de la această realitate indezirabilă a procesului de muncă s-a dezvoltat noțiunea de protecție a muncii, care se definește ca un *ansamblu de activități instituționalizate având ca scop asigurarea celor mai bune condiții în desfășurarea procesului de muncă, apărarea vieții, integrității corporale și sănătății salariaților și a altor persoane participante la procesul de muncă* [28].

2.3. Mijloace pentru măsurarea grosimii de material

Pentru determinarea grosimii materialului și identificarea defectelor, este utilizată măsurarea cu ultrasunete. Aceasta constă în transmiterea unui sunet de înaltă frecvență din partea care este inspectată și dacă sunetul atinge un material cu o impedanță acustică diferită (densitatea și viteza acustică), o parte din sunet se va reflecta înapoi către unitatea de trimitere și poate fi prezentată pe un mijloc de afișare.

2.4. Nivelmentul

Nivelmentul este procesul de determinare a diferenței de altitudine dintre două sau trei mai multe puncte de pe suprafața pământului.

Determinările de cotă oferă o imagine completă a obiectului măsurat, descrisă de punctele spațiale caracterizate prin coordonatele X, Y, H. Altitudinile punctelor, H, se determină față de suprafața de nivel zero sau față de o suprafață de referință aleasă arbitrar (altitudini convenționale) [26].

2.4.1. Nivelmentul geometric

Metoda nivelmentului este una din cele mai exacte metoda de măsurare a diferențelor de nivel, cu erori de ± 0.03 până la ± 0.05 mm [29]. Măsurătorile de nivelment geometric constă în determinarea diferențelor de nivel a poziției punctelor utilizând viza orizontală a instrumentelor de măsurare. *Diferență de nivel* este definită ca: *distanța măsurată pe verticală dintre două puncte prin care trec două suprafețe de nivel* [26].

2.4.2. Clasificarea nivelmentului geometric

Funcție de poziția nivelei fata de punctele măsurate, nivelmentul geometric se clasifică astfel:

2.4.2.a. Nivelmentul geometric de mijloc

2.4.2.b. Nivelmentul geometric de capăt

2.4.2.c. Nivelmentul geometric compus

2.4.3. Clasificarea instrumentelor de nivelment geometric

Instrumentele de nivelment geometric pot fi clasificate în:

2.4.3.a. Instrumente de nivelment simple

2.4.3.b. Instrumente de nivelment geometric cu lunetă

2.5. Stații totale

Stațiile totale sunt instrumente opto-electronice complexe, destinate măsurării direcțiilor orizontale, unghiurilor verticale și distanțelor înclinate, măsurători pe care le înregistrează, memorează și procesează [30].

Denumirea provine de la integrarea într-un singur instrument a componentelor unui teodolit, a modului de masurare a distantelor EDM și a unui calculator ce permite stocarea, prelucrarea și afișarea elementelor culese în teren [31].

2.5.1. Măsurarea unghiurilor

Măsurarea electronică a direcțiilor poate fi realizat cu limbul fix – metoda staționară, cu limbul în rotație - metoda dinamică.

2.5.2. Măsurarea electronică distanțelor

Măsurarea electronică a distanțelor, este posibilă prin emiterea unei unde electromagnetice de la un emițător spre un reflector, care după reflecție ajunge la un receptor și ulterior este prelucrată. Cele mai folosite unde electromagnetice pentru măsurarea electronica a distanțelor au lungimea de unda cuprinsă între $0,5 \mu\text{m}$ - $1,0 \mu\text{m}$ [31].

2.5.2.a. Principiul impulsului - Timp de zbor (Time of flight)

Metoda se bazează pe proprietatea fundamentală a luminii, și anume că are o viteză de propagare finită și constantă într-un mediu ideal (vid) și presupune determinarea distanței indirect prin contorizarea timpului parcurs de lumină pe drumul dus-întors [32].

2.5.2.b. Diferență de fază

Principiul metodei constă în transmiterea unei unde de lumină, care în prealabil a fost modulată în amplitudine, către zona de interes. Reflectanțele ei sunt colectate iar o unitate de calcul măsoară diferențele de fază dintre formele de fază trimise și primite.

2.6. Sisteme de scanare laser 3D terestre

Scanarea laser este o tehnologie care utilizează lumina pentru a determina poziția 3D a punctelor măsurate în spațiu. Este cea mai precisă metodă de determinare a modelelor 3D în teren și constă în devierea unei raze laser, prin intermediul unei oglinzi (prin baleiere sau rotație), reflectarea razei laser de pe suprafața obiectului măsurat și receptarea razei laser reflectate [33].

Sistemele de scanare laser 3D terestre permit măsurarea poziției tridimensionale a obiectelor cu viteză foarte mare, cu o rezoluție spațială ridicată și cu o precizie a pozițiilor 3D a punctelor obiect de doar câțiva milimetri. Spațiul obiect este baleat de raza laser pe coloane sau linii, punctele astfel măsurate formând în întregimea lor un așa numit *nor de puncte*. *Norul de puncte - este o colecție de puncte, definite ca poziție prin coordonatele 3D într-un sistem de referință comun, care furnizează observatorului informații referitoare la forma, poziția și distribuția spațială a unui obiect sau grup de obiecte* [35]. Acesta poate conține caracteristici suplimentare, cum ar fi intensitatea luminoasă și atributul de culoare RGB.

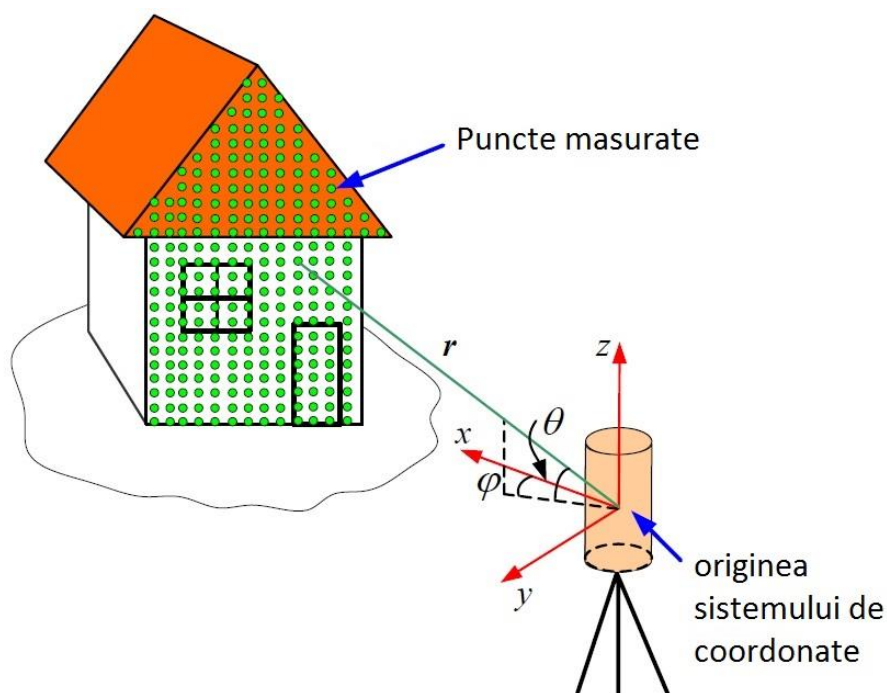


Figura 2.1 Principiul scanării laser terestre [36]

2.6.1. Componenta sistemelor de scanare laser 3D terestre

Majoritatea sistemelor de scanare laser 3D terestre sunt compuse din: unitate de scanare, unitate de control, sursă de alimentare cu energie electrică, accesorii [33].

2.6.2. Clasificarea sistemelor de scanare laser 3D terestre

Sistemele de scanare laser 3D terestre sunt fabricate pentru a acoperi cât mai bine nevoile de efectuare a măsurătorilor. Acestea pot fi potrivite pentru utilizarea în interior, domeniu de măsurare de până la 100 m, sau pentru utilizarea în exterior domeniu mare de măsurare de până la 6000 m [41]. O clasificare a sistemelor de scanare laser 3D terestre poate fi efectuată după mai multe criterii:

2.6.2.a. După principiul de măsurare al distanțelor

2.6.2.b. După domeniu de măsurare al distanțelor

2.6.2.c. După specificațiile tehnice:

2.6.2.d. După unghiul de câmp

2.6.3. Registrația și georeferențierea

Măsurătorile utilizând un sistem de scanare laser 3D terestru se realizează din mai multe stații de scanare, numărul acestora variind în funcție de mărimea și forma obiectului măsurat.

2.6.3.a. Registrația

Este procesul prin care norii de puncte obținuți din stațiile de scanare adiacente sunt interconectați într-un singur sistem de coordonate, norul de puncte rezultat având denumirea de *cluster* [33].

2.6.3.b. Georeferențierea

Este procesul prin care datele obținute în urma registrației sunt transformate într-un sistem de coordonate de referință [33].

2.6.4. Erorile de măsurare

Erorile de măsurare în scanarea laser terestră pot fi împărțite în următoarele categorii:

2.6.4.a. Erori instrumentale

Aceste erori sunt provocate de calitatea de realizare a părților componente ale sistemului de măsurare. Toleranțele pentru fabricare, montaj și reglare a părților componente sunt direct responsabile de erorile sistematice ale sistemului de măsurare, care pot fi limitate prin utilizarea unor metode care să combată erorile instrumentale.

- *Divergența razei laser*
- *Eroarea de colimație*
- *Eroarea de înclinare a axei orizontale*

2.6.4.b. Erori cauzate de tipul obiectului

Pentru că sistemele de scanare laser 3D utilizează lumina reflectată de către suprafața măsurată, factorii care o influențează au un impact puternic asupra rezultatelor determinărilor.

Reflexia luminii este influențată de lungimea de undă a laserului, culoarea, temperatura, forma și rugozitatea suprafeței și unghiul de incidență [32]. Utilizarea sistemelor de scanare laser 3D terestre pentru măsurarea suprafețelor strălucitoare sau întunecate este problematică întrucât semnalul reflectat poate fi afectat de zgomot [48].

- *Erori cauzate de mediul ambiant*
- *Erori metodologice*

2.6.5. Metode de lucru

Măsurătorile în care sunt utilizate sisteme de scanare laser 3D terestre implică parcurgerea mai multor etape de lucru. Acestea diferă în funcție de natură, forma și dimensiunile obiectului scanat, de condiții atmosferice și de riscurile generale ale fiecărei locații.

În cazul utilizării sistemelor de scanare laser 3D terestre pentru controlul și inspecția rezervoarelor de stocare pentru lichide este recomandat să se parcurgă cel puțin următoarele etape:

2.6.5.a. Planificarea măsurătorilor

În cadrul acestei etape se inspectează locația pentru:

- Determinarea scopului și obiectivului activității,
- Alegerea tehnicilor și echipamentelor de măsurare optime pentru lucrarea în cauză
- Stabilirea pozițiilor optime pentru stațiile de scanare și țintele utilizate pentru registrație și georeferențiere.

2.6.5.b. Poziționarea țintelor

Pentru măsurătorile realizate din mai multe stații de scanare, este necesar a se poziționa ținte utilizate în cadrul procesului de registrație. În cazul rezervoarelor este recomandat a se utiliza ținte sferice, iar poziția acestora trebuie aleasă astfel încât să nu obstrucționeze zonele de interes.

2.6.5.c. Efectuarea măsurătorilor

Măsurătorile se efectuează după respectarea unui timp de aclimatizare al echipamentului, conform specificațiilor producătorului.

2.7. Controlul nedistructiv

Controlul nedistructiv *Nondestructive testing* (NDT) este procesul de inspectare, testare sau evaluare a materialelor, componentelor sau ansamblurilor cu scopul de a identifica posibilele defecte fără a distruge utilitatea piesei sau a sistemului [51].

În cazul inspecției rezervoarelor, cele mai utilizate metode NDT sunt: controlul vizual, măsurarea cu ultrasunete, testarea cu lichide penetrante și testarea cu particule magnetice.

2.7.1. Controlul vizual

Testarea vizuală este cea mai frecventă utilizată metodă de testare. Deoarece majoritatea metodelor de testare necesită ca operatorul să privească suprafața piesei inspectate, inspecția vizuală este inerentă în majoritatea celorlalte metode de testare [51].

2.7.2. Testarea cu lichide penetrante

Principiul de bază al testelor de penetrare cu lichid este acela că, atunci când lichidul (penetrativ) cu o vâscozitate mare, este aplicat pe suprafața unei părți, acesta va pătrunde în fisuri și goluri deschise la suprafață [51].

2.7.3. Testarea cu particule magnetice

Testarea particulelor magnetice folosește câmpuri magnetice și particule magnetice mici pentru a localiza defectele de suprafață ale materialelor feromagnetice [51]. Câmpul magnetic poate fi aplicat cu un magnet permanent sau cu un electromagnet [52].

3. STANDARDE NAȚIONALE ȘI INTERNAȚIONALE PENTRU ACTIVITATEA DE CONTROL ȘI INSPECȚIE A REZERVOARELOR DE STOCARE

La nivel internațional, există numeroase standarde, norme și recomandări de lucru care privesc aspecte legate de ingineria mecanică în toate etapele duratei de viață a rezervorului, proiectarea și construcția, modificarea utilizării, funcționarea, inspecția, testarea, întreținerea, reparația, dezafectarea, demolarea și pentru activitățile de calibrare.

3.1. Standarde naționale și internaționale pentru proiectare, execuție și inspecție

3.1.1. Codul de bună practică - Model Code of Safe Practice Part 2: Design, construction and operation of petroleum distribution installations

3.1.2. EEMUA 159: Above ground flat bottomed storage tanks - a guide to inspection, maintenance and repair

3.1.3. Standardul API 650 Welded Tanks for Oil Storage

3.1.4. Standardul API 653: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction

3.1.5. Standardul SR EN 14015: specificații pentru proiectarea și fabricarea rezervoarelor de oțel, sudate, supraterane, cu fund plat, cilindrice, verticale, construite în situ, destinate depozitarii lichidelor la temperatura ambiantă sau superioară

3.1.6. Standardul SR E 1993-4-2 Eurocod 3 Proiectarea structurilor de oțel partea 4-2: Rezervoare

3.1.7. C 220-85 Instrucțiuni tehnice privind verificările abaterilor de la forma geometrică și a calității cusăturilor sudate ale rezervoarelor din oțel cilindrice verticale pentru depozitarea țițeiului și a produselor petroliere lichide

3.2. Normative Metrologice

La nivel național, Ordonanța de Guvern nr. 20 din 21/08/1992 privind activitatea de metrologie, cu modificările și completările ulterioare, definește mijloacele de măsurare supuse controlului metrologic legal ca totalitatea mijloacelor de măsurare și măsuri care sunt utilizate în domenii de interes public privind sănătatea și siguranța populației, ordinea publică, protecția mediului, protecția consumatorilor, perceperea taxelor și impozitelor și corectitudinea tranzacțiilor comerciale, care afectează direct sau indirect viața cetățenilor [61].

Pentru reglementarea activităților de calibrare a rezervoarelor de stocare produse petroliere, BRML a emis norma de metrologie legală NML 017-05 "Rezervoare de stocare pentru lichide" publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 664bis din 26/07/2005. Aceasta definește domeniul de aplicare pentru rezervoarele de stocare pentru lichide care pot fi utilizate la încheierea unor tranzacții comerciale și la determinări oficiale de stocuri din gestiune și stabilește ca incertitudinea extinsă a valorilor volumelor înscrise în tabela de calibrare, 0.2% din volumul indicat, pentru rezervoarele cilindrice verticale calibrate printr-o metodă geometrică sau mixtă [65].

3.3. Standarde naționale și internaționale pentru calibrarea rezervoarelor

La nivel internațional, organizația internațională pentru standardizare a elaborat o suită de standarde ISO 7505 Petroleum and liquid petroleum products - Calibration of vertical cylindrical

tanks, alcătuită din 5 standarde individuale pentru calibrarea rezervoarelor de stocare produse petroliere cilindrice, verticale printr-o metodă geometrică.

3.3.1. Standardul ISO 7507-1:2003 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks - Part 1: Strapping method

3.3.2. ISO 7507-2:2005 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 2: Optical-reference-line method

3.3.3. Standardul ISO 7507-3:2006 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 3: Optical-triangulation method

3.3.4. Standardul ISO 7507-4:2010 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 4: Internal electro-optical distance-ranging method

3.3.5. Standardul ISO 7507-5:2000 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 5: External electro-optical distance-ranging method

3.3.6. NML 017-05 "Rezervoare de stocare pentru lichide"

Norma de metrologie legală, NML 017-05, descrie cerințele metrologice și tehnice pe care un rezervor trebuie să le îndeplinească pentru fi acceptate la verificare metrologică, conținutul certificatului de calibrare, cât și valorile incertitudinii de măsurare pentru metodele de calibrare.

Pentru rezervoarele cilindrice, verticale, incertitudinea extinsă a volumelor din tabela de calibrare trebuie să fie mai mică de 0.2% din volumul indicat, utilizându-se o metodă geometrică sau mixtă, și 0.3% din volumul indicat, pentru rezervoare cilindrice verticale, calibrate prin metoda volumetrică [65].

4. VERIFICAREA ȘI INSPECȚIA REZERVOARELOR DE STOCARE

4.1. Calibrarea rezervoarelor

Rezervoarele fixe utilizate pentru stocarea produselor petroliere pot îndeplini, pe lângă rolul de depozitare, și pe cel de mijloace de măsurare în măsurătorile statice de volum [69]. Spre deosebire de conceptul obișnuit al noțiunii de calibrare și anume acela de ajustare a unui mijloc de măsurare cu scopul de a se micșora eroarea de măsurare, în cazul rezervoarelor, calibrarea presupune stabilirea unei corespondențe între nivelul de lichid și volumul stocat de către rezervor.

În cadrul standardului NML 017-05, calibrarea este definită ca fiind: *”ansamblu de operații efectuate pentru determinarea capacității unui rezervor până la unul sau mai multe nivele de umplere, în urma căreia se emite o tabelă de calibrare”* [65]; iar tabela de calibrare reprezintă *”tabela de valori care permite stabilirea corespondenței dintre valorile înălțimii lichidului din rezervor sau distanței golului (variabilă independentă) și valorile corespunzătoare ale volumului de lichid conținut (variabilă dependentă)”* [65].

Metodele de calibrare ale rezervoarelor, care sunt utilizate ca mijloace de măsurare în regim static, sunt:

- volumetrică
- mixtă
- geometrică

4.2. Metoda volumetrică

Metoda volumetrică constă în determinarea capacității mijloacelor de măsurare, prin compararea directă cu capacitatea unor mijloace etalon de măsurare și folosind un anumit lichid [69].

4.2.1. Echipamente utilizate la calibrare

4.2.1.a. Măsurile etalon secundar de volum

4.2.1.b. Instalație etalon cu contor de volum pentru lichide:

4.3. Metoda geometrică

Metoda geometrică constă în utilizarea diferitelor echipamente de măsurare necesare pentru determinarea dimensiunilor rezervorului, cu ajutorul cărora să se poată întocmi tabela de calibrare. Indiferent de procedeul ales pentru realizarea calibrării, în cazul rezervoarelor cilindrice, verticale, metoda geometrică împarte activitatea de calibrare în două etape: calibrarea fundului de rezervor și calibrarea părții cilindrice.

4.3.1. Calibrarea fundului de rezervor

Determinarea stocului mort printr-o metodă geometrică presupune realizarea unui model 3D al fundului de rezervor. Acesta se poate realiza prin împărțirea suprafeței fundului de rezervor într-un număr finit de suprafețe egale, a căror determinare să poată fi repetabilă și reproductibilă.

4.3.1.a. Metoda celor 96 de suprafețe egale

4.3.1.b. Suprafața fundului de rezervor se împarte în 96 de suprafețe având arii egale, realizându-se

o rețea alcătuită din 12 raze uniform distribuite.

4.3.1.b. Metoda pătratelor

Utilizând echipamente de scanare laser 3D terestru se poate obține o densitate de până la 1 punct/cm², densitatea care descrie mult mai fidel forma fundului de rezervor.

Metoda constă în împărțirea suprafeței fundului de rezervor în pătrate a căror latură poate varia în funcție de densitatea de scanare și forma fundului de rezervor. Se determină valoarea medie a cotei pentru punctele care aparțin fiecărui pătrat și cu această informație se poate determina volumul paralelipipedului creat de baza pătratului și înălțimea până la punctul de referință inferior [73].

4.3.2. Calibrare corp rezervor

Calibrarea părții cilindrice se reduce la necesitatea de a determina circumferința, raza sau suprafața medie a secțiunii orizontale pentru fiecare virolă.

4.3.2.a. Metoda razei medii a virolei

Metoda constă în determinarea razei medii a virolei utilizând un număr de puncte țintă pe set (secțiune orizontală) pentru fiecare virolă, care variază în funcție de circumferința rezervorului.

4.3.2.b. Metoda suprafețelor secțiunilor orizontale

În cazul în care, suprafața mantalei rezervorului este descrisă printr-o rețea de puncte a cărei densitate este ridicată, acestea pot fi utilizate pentru calculul suprafețelor secțiunilor orizontale. Secțiunile orizontale se aleg la aproximativ $\frac{1}{4}$ din înălțimea virolei, deasupra sudurii inferioare, respectiv la aproximativ $\frac{1}{4}$ din înălțimea virolei sub sudura superioară.

4.3.3. Corecții

4.3.3.a. Corecția pentru temperatură

Pentru calculul volumului rezervorului la o anumită temperatură, volumul brut determinat inițial trebuie corectat pentru diferența de temperatură dintre momentul efectuării măsurărilor și cea de referință.

4.3.3.b. Corecția pentru presiune hidrostatică

4.3.3.c. Spații moarte- corecția pentru corpurile interioare și exterioare

4.3.3.d. Corecții capac flotant

4.3.3.e. Corecția pentru înclinare

4.4. Metoda mixtă

Metoda mixtă constă în utilizarea unuia din procedeele specifice metodei volumetrice pentru determinarea stocului mort și metoda geometrică pentru restul rezervorului [71]. Din rațiuni economice și ecologice este de recomandat evitarea utilizării metodei mixte și se preferă determinarea stocului mort printr-o metodă geometrică.

5. INSPECȚIA REZERVOARELOR DE STOCARE LICHIDE PETROLIERE

Inspecția rezervoarelor cuprinde totalitatea activităților desfășurate la intervale regulate de timp pentru evaluarea condiției curente a rezervoarelor și are rolul de a minimiza numărul defecțiunilor survenit în exploatarea rezervorului, cât și în creștea duratei de viață și operare în condiții de siguranță a acestuia.

5.1. Mecanismul de degradare și modurile de defectare a rezervoarelor

5.1.1. Coroziunea

Mecanismele de degradare pot apărea de-a lungul unei perioade îndelungate sau pot fi subite. Coroziunea este printre primele mecanisme de degradare care afectează rezervoarele de stocare produse petroliere. Localizarea și cuantificarea acestora este o etapă importantă în activitatea de inspecție și prevenire a accidentelor. Tipurile de coroziune diferă în funcție de natura și forma materialelor și poate fi: uniformă, în puncte, galvanică, sub tensiune, prin eroziune sau microbiologică [81].

5.1.2. Modificarea poziției rezervorului

Schimbarea poziției relative a rezervorului poate conduce la tasarea neuniformă a rezervorului, blocarea capacului sau a membranei flotante ca urmare a deformării formei mantalei cilindrice sau a înclinării excesive.

5.1.3. Oboseala materialelor

Oboseala materialelor poate produce efecte cu urmări catastrofice. Aceasta se manifestă prin apariția unui defect al materialului piesei, ca urmare a acțiunii sarcinilor pe o anumită durată de timp sau după un anumit număr de cicluri de solicitări [82].

5.2. Evaluarea condiției curente - gradul de corodare

Procesul de evaluare a condiției curente se împarte în două activități:

5.2.1. Examinarea sudurilor

Examinarea sudurilor se realizează prin metode de testare nedistructive NDT.

5.2.2. Determinarea grosimii de material

Măsurarea grosimii tablei cu ultrasunete este cea mai utilizată metodă pentru verificarea stării curente a rezervorului în ceea ce privește stadiul coroziunii. Aceasta trebuie să fie reprezentativă din punct de vedere statistic pentru întreaga suprafață a rezervorului, fund, manta, capac, racorduri.

5.3. Urmărirea comportării în timp a rezervoarelor

Urmărirea comportării în timp a rezervoarelor din punct de vedere al formei și poziției spațiale în raport cu mediul înconjurător reprezintă o activitate de monitorizare, al cărei scop este de prevenire a degradării și identificare încă din faza incipientă a defectelor. Etapele de măsurare și observare utilizate pentru a studia evoluției performanțelor și calităților rezervoarelor cercetate, trebuie să fie sistematice, să se desfășoare după un program care să cuprindă ce, cum și când se observă sau se măsoară. Pentru rezultate corecte este necesar să se aleagă acele fenomene, mărimi și parametri care pot caracteriza cel mai bine performanțele și calitățile care urmează a fi evaluate.

5.3.1. Tipuri de modificări de poziție

Modificarea poziției poate fi împărțită în următoarele categorii: deplasare și deformare.

5.3.2. Determinarea tasărilor

Măsurătorile pentru determinarea tasării rezervoarelor trebuie să fie efectuate de către personal cu experiență în tipurile de proceduri de măsurare care se utilizează, folosind echipamente capabile să acopere cu suficientă precizie modificările apărute. Principalele tipuri de deplasări și deformări ale rezervoarelor constau în tasări ale mantalei și fundului rezervorului.

5.3.3. Evaluarea tasării mantalei

5.3.3.a. Tipuri de tasări

Tasările rezervoarelor sunt rezultatul unei combinații din următoarele componente ale tasărilor:

- *Tasarea uniformă*
- *Înclinarea rigidă a rezervorului*
- *Tasarea neuniformă*
- *Tasarea perimetrală*

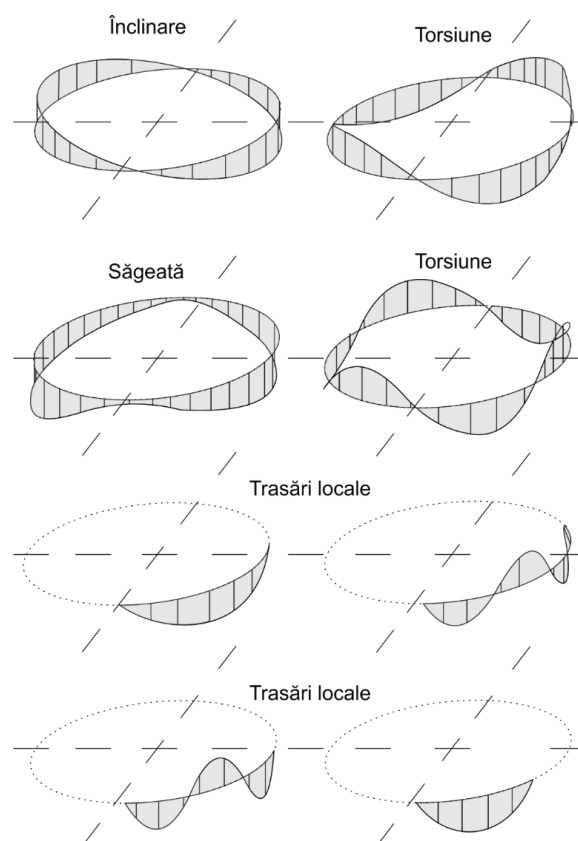


Figura 5.1 Tipuri de tasări ale rezervoarelor [54]

5.3.4. Evaluarea modificării formei rezervoarelor

Din cauza tasărilor inegale, efectele vântului, accidente etc., formă cilindrică a mantalei și a fundului de rezervor poate suferi modificări de geometrie. Acestea pot fi evaluate prin determinarea abaterii de la circularitate, cilindricitate, verticalitate, înclinare și forma în cazul fundului rezervorului.

6. STUDIU DE CAZ – CALIBRAREA ȘI INSPECȚIA REZERVOARELOR

Având în vedere dublul rol pe care un rezervor îl îndeplinește, acela de stocare produse petroliere cât și cel de sistem de măsurare static, studiul de caz din prezenta lucrare, investigarea utilizării echipamentelor de achiziție a datelor spațiale (3D) în aplicații de verificare și control a instalațiilor și echipamentelor industriale, poate fi împărțit în două părți: activitatea de calibrare a rezervoarelor și activitatea de investigare a condițiilor curente ale rezervoarelor.

6.1. Obiectul de studiu

Obiectul de studiu pentru care au fost efectuate măsurători, cu scopul de întocmire a tabelelor de calibrare prin diferite metode cât și pentru realizarea unui raport de inspecție a condiției curente, îl reprezintă un rezervor de stocare a produselor petroliere, ale cărui caracteristici se găsesc în tabelul de mai jos:

Tabel 1.1 Rezervorul R04

Tip:	Cilindric vertical suprateran
Volum Nominal:	1000 m ³
Diametru:	12.3 m
Înălțime:	8.6 m
Tip capac:	Fix
An fabricație:	1990
Produs stocat:	Benzină
Grosime tablă:	5 mm
Nr. virole:	6

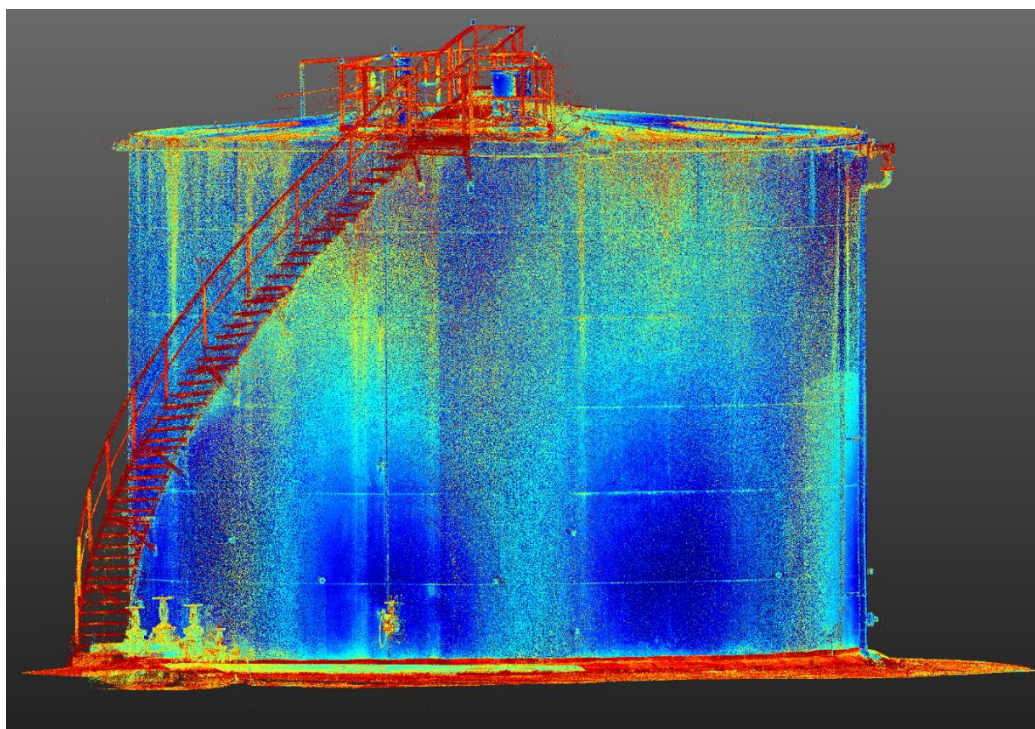


Figura 6.1 Nor de puncte exterior rezervor R04

6.2. Echipamente utilizate

Măsurătorilor au fost realizate utilizând diferite tipuri de echipamente, ale căror caracteristici se pot regăsi în paragrafele de mai jos. Pentru completarea măsurătorilor realizate utilizând echipamentele geodezice, au fost folosite aparate de măsură cu ultrasunete pentru determinarea grosimii materialului.

6.2.1. Nivelă optică

6.2.2. Miră topografică

6.2.3. Stație totală

6.2.4. Scaner laser 3D terestru

6.2.5. Aparat de măsurat cu ultrasunete pentru determinarea grosimilor

6.2.6. Detector de gaze

6.3. Realizarea măsurătorilor

Măsurătorile au fost realizate în 5 etape: pregătirea rezervorului, control nedistructiv (determinare grosime tablă elemente componente rezervor și verificarea condiției curente a sudurilor), nivelment geometric, efectuarea de măsurători 3D utilizând stația totală, efectuarea de măsurători utilizând echipamente de scanare laser 3D terestră.

6.3.1. Pregătirea rezervorului

Pentru desfășurarea activităților în condiții de siguranță normele de PSI, SSM și metrologie prevăd ca rezervoarele să fie goale, curățate și degazate. Rezervorul R04 a fost curățat și degazat cu 8 luni înainte de efectuarea măsurătorilor. Accesul în interiorul rezervorului s-a făcut în urma unei analize a concentrației gazelor din atmosfera conținută în rezervor, pentru vapori explozibili (EX), precum și oxigen (O_2), monoxid de carbon (CO) și hidrogen sulfurat (H_2S), utilizând un detector de gaze portabile Dräger X-am 2500.

6.3.2. Control nedistructiv

Pentru verificarea condiției curente a rezervorului, controlul nedistructiv a fost realizat în trei etape: controlul vizual, examinare nedistructivă cu lichide penetrante și determinarea grosimii tablelor utilizând ultrasunete.

6.3.2.a. Control vizual

Orice tip de investigare nedistructivă trebuie să fie precedată de o examinare vizuală a suprafeței [90]. Procedul este simplu, dar indispensabil, examinarea vizuală presupune respectarea condițiilor de claritate satisfăcătoare a suprafețelor materialelor, echipamentelor și sudurilor luând în considerare caracteristicile și proprietățile acestora [90] [91].

6.3.2.b. Examinare nedistructivă cu lichide penetrante

Metoda a fost utilizată pentru verificarea sudurilor racordurilor de manta și sudurii de colț dintre mantaua și fundul rezervorului. În urma determinărilor efectuate s-a constatat că sudurile nu prezintă pori, fisuri sau defecte.

6.3.2.c. Determinarea grosimii tablelor utilizând ultrasunete

Pentru fiecare foaie de tablă din mantaua și fundul rezervorului au fost determinate 5 grosimi, câte 1 punct în fiecare colț și unul în centrul tablei.

Pentru capac s-a măsurat câte un punct pe fiecare petală, rezultând un număr de 61 de măsurători ale grosimii de material, a căror valoare medie a fost de 5.74 mm.

6.3.3. Nivelment geometric

Metoda nivelmentului geometric a fost utilizată pentru determinarea stocului mort al rezervorului. Suprafața fundului de rezervor a fost împărțită în 12 raze egale, cu o lungime de coardă între ele de 91 cm, apoi s-au marcat 8 cercuri concentrice cu centrul în mijlocul rezervorului, rezultând 96 de suprafețe egale, $A = 1.238\text{m}^2$.

Utilizând ca punct de referință, placă de referință interioară, s-au determinat cote pentru 108 puncte.

6.3.4. Măsurători cu stația totală

Stația totală a fost utilizată pentru determinarea coordonatelor punctelor necesare pentru calibrarea părții cilindrice a rezervorului. Pe suprafața mantalei au fost marcate 12 secțiuni verticale în continuarea celor utilizate pentru determinarea cotelor fundului de rezervor.

6.3.5. Măsurători laser 3D

Achiziția datelor 3D a fost realizată utilizând scannerul laser Trimble CX, în două etape, din interiorul și din exteriorul rezervorului.

6.3.5.a. Masuratorile din interiorul rezervorului

Au fost realizate într-un interval de 90 de minute, timp în care variațiile de temperatură au fost de 3°C , de la 17°C la 20°C , presiunea atmosferică s-a încadrat în intervalul 1004.3 - 1001.2 hPa, iar umiditatea relativă a variat în intervalul 48 - 53 rH%. S-au utilizat 7 stații de scanare, distribuite în jurul stâlpului central al rezervorului.

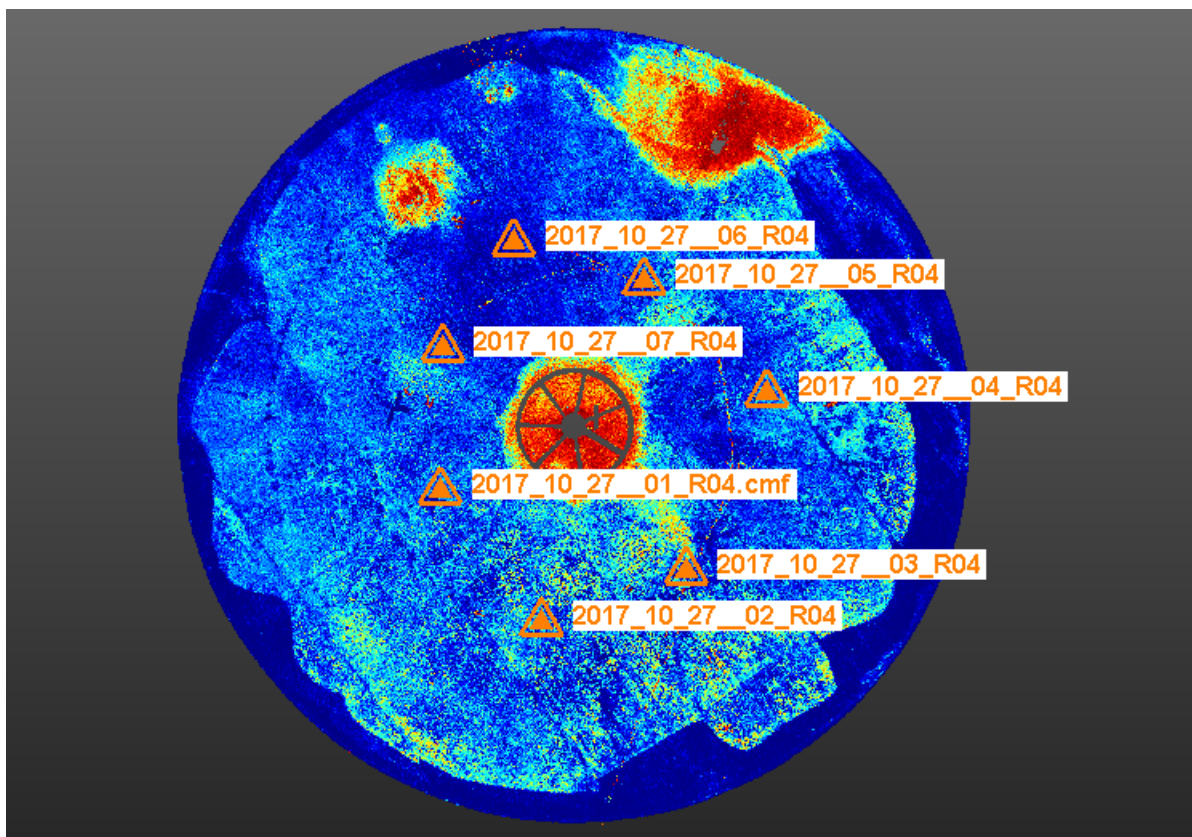


Figura 6.2 Poziția stațiilor de scanare interior

Prelucrarea măsurătorilor a fost realizată utilizând programul Trimble Real Works, Versiunea 10. Registrația fost realizată utilizându-se ținte sferice cu diametrul de 100 mm amplasate pe stâlpul central și inelul de susținere al acestuia.

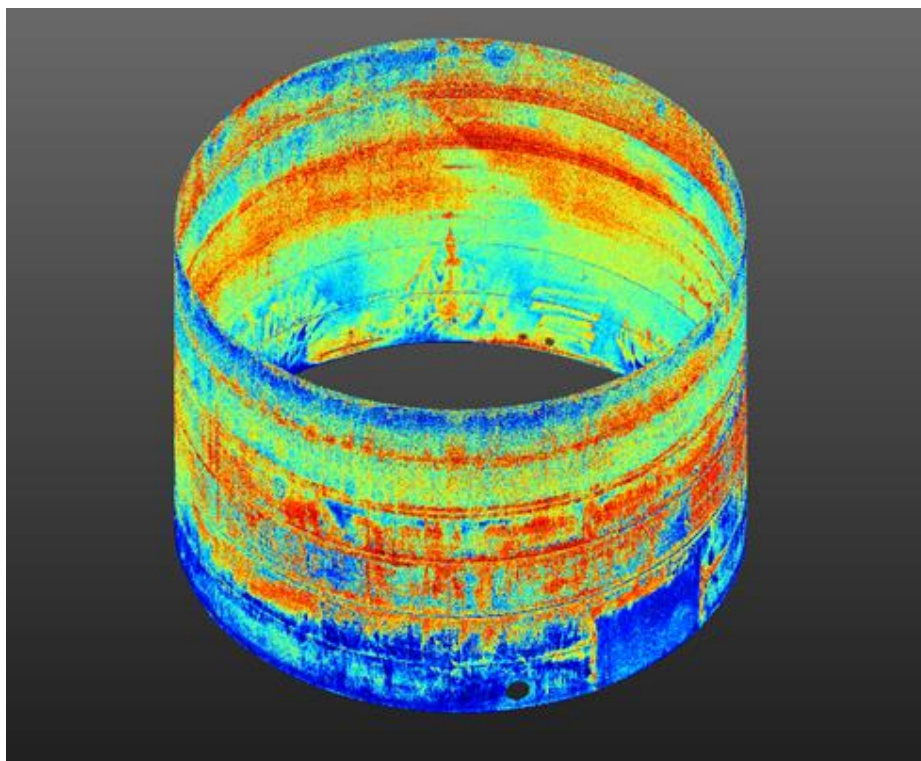


Figura 6.3 Nor de puncte interior - mantua rezervorului

6.3.5.b. Masuratorile din exteriorul rezervorului

Pentru a măsura suprafața exterioară a capacului rezervorului R04 s-au efectuat măsurători din 3 stații de scanare, 2 poziționate pe capacul rezervorului R04 și a treia pe capacul rezervorului din proximitatea lui R04.

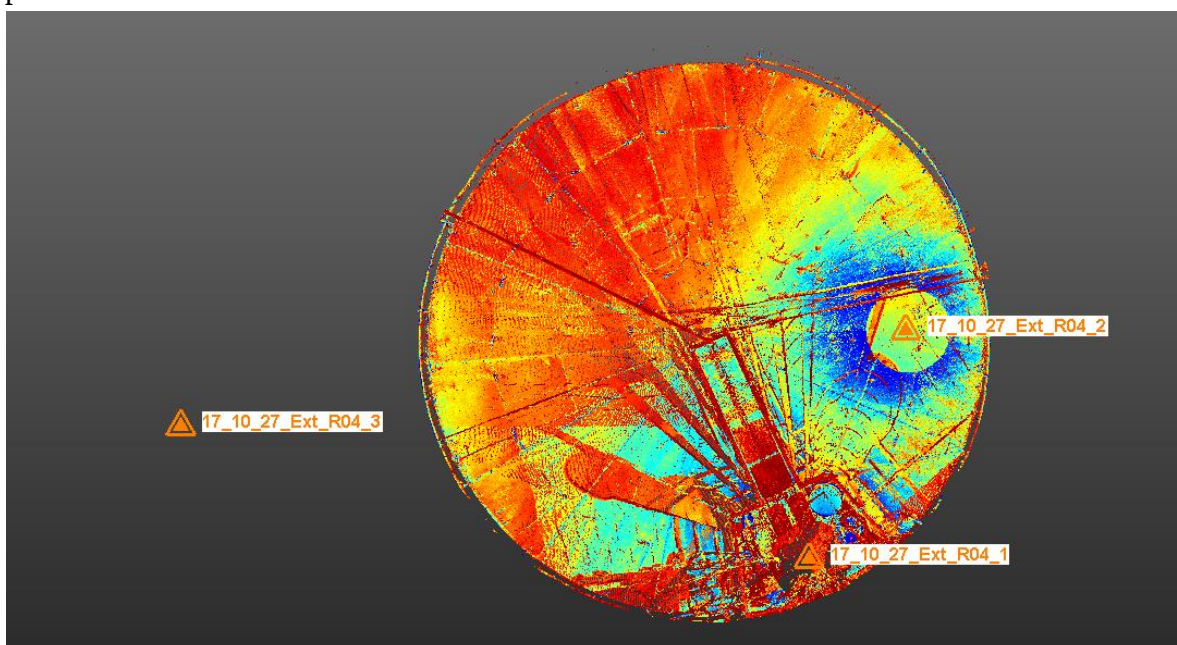


Figura 6.4 Poziția stațiilor de scanare exterior

Măsurătorile au fost realizate în aceeași zi cu cele efectuate pentru măsurătorile din interior. Parametrii de scanare au fost aceiași, iar prelucrarea măsurătorilor fost realizată identic cu cea

interioară. Raportul de registrație al măsurătorilor exterioare se găsește în anexa 3 - raport registrație al măsurătorilor laser 3D exterioare.

6.4. Calibrarea rezervorului

Activitatea de calibrare constă în ansamblu de operații necesare pentru determinarea volumului de lichid conținut într-un rezervor până la un nivel de umplere specificat. În cazul rezervoarelor de stocare cilindrice, verticale, calibrarea geometrică se realizează în două etape: determinarea stocului mort și determinarea volumului părții cilindrice a rezervorului.

6.4.1. Stoc mort

Volumul de lichid stocat în rezervor până la nivelul punctului de referință inferior a fost determinat prin două metode: metoda 96 de suprafețe egale și metoda pătratelor.

6.4.1.a. Metoda celor 96 de suprafețe egale

Utilizând cotele determinate prin metoda nivelmentului geometric s-a calculat diferența de nivel dintre placa de referință și cota punctelor.

Volumul stocului mort este determinat prin însumarea volumelor parțiale. Stocul mort pentru rezervorul R04 este de 7.16 m^3 , valoarea nefiind corectată pentru dilatarea termică întrucât temperatura din timpul măsurătorilor s-a încadrat în intervalul $20 \pm 3^\circ \text{ C}$.

6.4.1.b. Metoda pătratelor

Metoda pătratelor constă în însumarea volumului paralelipipedelor cu o înălțime egală cu diferența de nivel dintre punctul de referință inferior și valoarea medie a cotei punctelor situate într-un pătrat, a cărui latură este aleasă funcție de forma geometrică a fundului rezervorului, prezența deformațiilor locale și ordinul de mărime al acestora.

Pe suprafața fundului de rezervor R04, cu ajutorul sistemului de scanare laser 3D terestru, au fost determinate coordonatele 3D pentru 5.241.752 puncte, rezultând o densitate medie de $44.114 \text{ puncte/m}^2$.

Pentru a studia efectul eșantionării numărului de puncte utilizate, respectiv dimensiunea laturii pătratului utilizat pentru a determina volumul de sub placa de referință au fost analizate mai multe scenarii. S-au ales ca dimensiuni de referință pentru latura pătratului următoarele valori: 10, 100, 200, 300, 500, 700, 1000 mm. Rezultatele determinărilor pentru fiecare caz sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Tabel 2.14 Valorile stocului mort determinate prin metoda pătratelor

Latură pătrat	[mm]	10	30	50	70	100	200	300	500	700	1000
Lățime grid	[mm]	1230	411	247	177	124	62	42	26	19	13
Lungime grid	[mm]	1230	411	247	177	124	62	42	26	19	13
Numar mediu de puncte	[punct/patrat]	4	40	110	216	441	1765	3970	11028	21616	44114
Volum stoc mort	[m ³]	7,761	7,777	7,793	7,821	7,836	7,919	8,020	8,353	8,504	7.940

Valoarea laturii pătratului influențează în mod direct exactitatea de determinare a volumului stocului mort, în figura de mai jos putându-se observa impactul creșterii acesteia asupra volumului stocului mort.

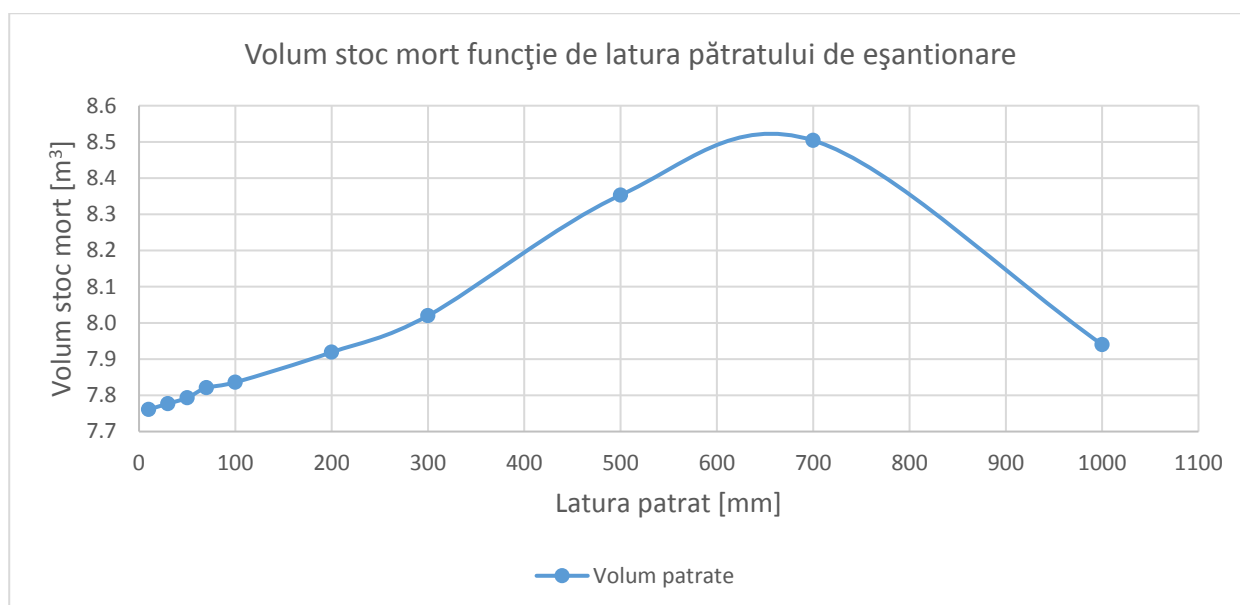


Figura 6.5 Metoda pătratelor - impact rezoluție

6.4.1.c. Analiza comparativă stoc mort

Metoda celor 96 de suprafețe egale poate fi utilizată pentru rezervoare care au funduri relativ plane, fără deformații locale.

Metoda pătratelor presupune realizarea de măsurători care să asigure o densitate ridicată de puncte, realizabilă doar prin utilizarea echipamentelor de scanare laser 3D.

Tabel 3.15 Analiza comparativă fund rezervor

Metoda	Suprafața eșantion	Volum	Diferență	
	[m²]	[m³]	[m³]	[%]
Metoda 96 suprafețe egale	1.238	7.160	-	-
Metoda Pătratelor	0.0001	7.761	- 0.601	- 8
	0.0009	7.777	- 0.617	- 8
	0.0025	7.793	- 0.633	- 8
	0.0049	7.821	- 0.661	- 8
	0.01	7.836	- 0.676	- 9
	0.04	7.919	- 0.759	- 10
	0.09	8.020	- 0.860	- 11
	0.25	8.353	- 1.193	- 15
	0.49	8.504	- 1.344	- 16
	1	7.940	- 0.780	- 9

Creșterea rezoluției de eșantionare prin utilizarea unor suprafețe cât mai mici, conduce la rezultate care reprezintă cât mai fidel realitatea din teren.

Prin determinarea stocului mort pentru aceleași rezervor, utilizând cele două metode și echipamente, se poate concluziona că metoda pătratelor oferă rezultate mai reale. Diferențele rezultatelor obținute utilizând cele două metode sunt cauzate de aproximarea grosieră în cazul utilizării unui număr mic de suprafețe, 96 de suprafețe egale.

6.4.2. Calibrare corp rezervor

Activitatea de calibrare a părții cilindrice a rezervorului se reduce la necesitatea de a determina suprafața secțiunii orizontale medii pentru fiecare virolă. Aceasta se poate realiza prin determinarea razei medii a fiecărei virole sau prin calculul direct al suprafeței acesteia.

6.4.2.a. Raza medie

Pentru calculul razei medii a fiecărei virole, s-au determinat coordonatele X și Y pentru 24 de puncte, distribuite în două secțiuni orizontale, situate la $\frac{1}{4}$ din înălțimea virolei deasupra și sub sudura de îmbinare dintre virole, cu un unghi orizontal de aproximativ 30° între vize.

Pentru testarea metodei de calcul s-au utilizat două seturi de măsurători, primul obținut utilizând stația totală și celălalt set de valori din scanarea laser 3D. Din norul de puncte s-au extras coordonatele punctelor situate în aproximativ aceeași poziție cu cea punctelor măsurate utilizând stația totală.

Tabel 4.16 Analiză comparativă metoda razei medii

Nr. crt	Virolă	Poziție	Măsurători cu stația totală		Măsurători cu scanner 3D		Diferențe	
			Rază	Rază medie virola	Rază	Rază medie virola	Rază	Rază medie virola
			[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	V1	$\frac{1}{4}$ h virolă deasupra sudurii	6.151	6.154	6.152	6.154	- 0.001	0.000
2		$\frac{1}{4}$ h virolă sub sudură	6.156		6.155		0.001	
3	V2	$\frac{1}{4}$ h virolă deasupra sudurii	6.148	6.149	6.151	6.152	- 0.003	- 0.003
4		$\frac{1}{4}$ h virolă sub sudură	6.149		6.153		- 0.004	
5	V3	$\frac{1}{4}$ h virolă deasupra sudurii	6.149	6.148	6.154	6.154	- 0.005	- 0.006
6		$\frac{1}{4}$ h virolă sub sudură	6.147		6.154		- 0.007	
7	V4	$\frac{1}{4}$ h virolă deasupra sudurii	6.147	6.146	6.151	6.150	- 0.004	- 0.004
8		$\frac{1}{4}$ h virolă sub sudură	6.145		6.149		- 0.004	
9	V5	$\frac{1}{4}$ h virolă deasupra sudurii	6.143	6.143	6.149	6.148	- 0.006	- 0.005
10		$\frac{1}{4}$ h virolă sub sudură	6.143		6.147		- 0.004	
11	V6	$\frac{1}{4}$ h virolă deasupra sudurii	6.139	6.138	6.142	6.141	- 0.003	- 0.003
12		$\frac{1}{4}$ h virolă sub sudură	6.137		6.140		- 0.003	

Analizând rezultatele, se poate observa impactul performanțelor tehnice ale echipamentului de măsură utilizat, constându-se o eroare sistematică - semnul dintre razele medii obținute. Diferența dintre valori sunt cauzate de performanțele echipamentelor de măsură.

Tabel 5.17 Caracteristici tehnice echipamente de măsurare

Echipament	σ_D	σ_{Hv}	σ_{Vt}	σ_{3D}
	[mm]	["]	["]	[mm]
Stație Totală	3	5	5	3.2
Scaner 3D	1.2	15	25	4.4

Pentru analiza impactului unghiului vertical asupra determinărilor, a fost realizat graficul de mai jos, în care se poate observa că eroarea sistematică se păstrează indiferent de valoarea unghiului vertical.

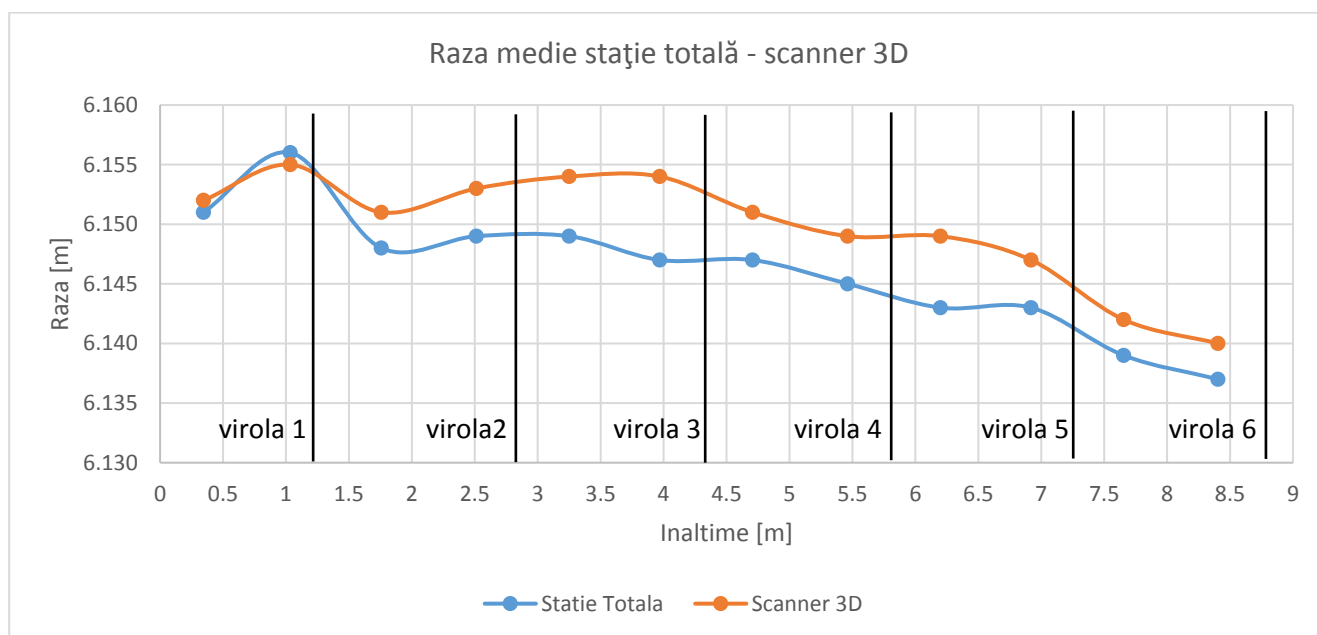


Figura 6.6 Raza medie calculată cu datele obținute cu stația totală – scanner 3D

6.4.2.b. Suprafețe secțiuni orizontale

Norul de puncte care descrie partea cilindrică a rezervorului a fost utilizat pentru determinarea suprafețelor secțiunilor orizontale din 100 în 100 mm pe toată înălțimea rezervorului. Metoda determinării suprafețelor presupune utilizarea unui număr ridicat de puncte, care să definească cât mai corect circumferința rezervorului.

În graficul de mai jos se pot observa variația suprafeței secțiunilor și influența sudurilor de îmbinare dintre virole.

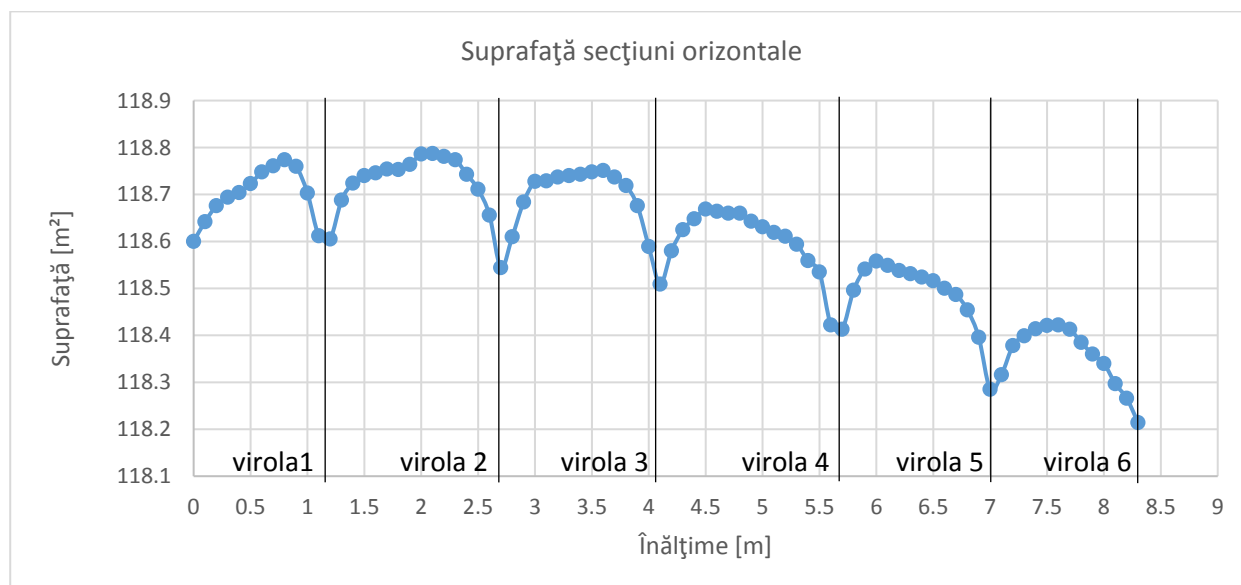


Figura 6.7 Suprafață secțiuni orizontale

6.4.2.c. Analiză comparativă

Pentru determinarea razei medii a celor 6 virole ale rezervorului R04, în cazul metodei razei medii, s-a utilizat un număr 144 de puncte, iar în cazul metodei suprafețelor s-a utilizat un număr de aproximativ 230.000 de puncte. Diferențele dintre rezultatele celor două metode se pot observa în tabelul de mai jos.

Tabel 6.18 Analiză comparativă metoda razei medii – metoda suprafețelor

Virola	Metoda razei medii		Metoda suprafețelor Măsurători cu Scanner 3D	Diferența dintre metoda razei medii și metoda suprafețelor	
	Măsurători cu Stația Totală	Măsurători cu Scanner 3D			
	[m]	[m]		Stația Totală - Scanner 3D	Scanner 3D - Scanner 3D
	(b)	(c)		(e=b-d)	(f=c-d)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e=b-d)	(f=c-d)
1	6.154	6.154	6.147	0.007	0.007
2	6.149	6.152	6.148	0.001	0.004
3	6.148	6.154	6.147	0.001	0.007
4	6.146	6.150	6.144	0.002	0.006
5	6.143	6.148	6.141	0.002	0.007
6	6.138	6.141	6.137	0.001	0.004

Dacă în cazul metodei razei medii, diferențele dintre rezultate erau cauzate de performanța echipamentelor de măsurare utilizate, diferențele rezultatelor obținute prin metoda razei medii și cea a suprafețelor în care s-au utilizat măsurătorile realizate cu scannerul 3D sunt cauzate de algoritmul de calcul și de eroarea de geometrizare.

Tabel 7.19 Analiza comparativă volum metoda razei medii – metoda suprafețelor

Virolă	Metoda razei medii				Metoda suprafețelor		Diferența metoda razei medii - metoda suprafețelor					
	Măsurători stație totală		Măsurători scanner 3D		Măsurători scanner 3D		Stație totală - Scanner 3D			Scanner 3D - Scanner 3D		
	Volum virola	Volum cumulat	Volum virola	Volum cumulat	Volum virola	Volum cumulat	Volum virola	Volum cumulat		Volum virola	Volum cumulat	
	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[%]	[m³]	[m³]	[%]
	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h=b-f)	(i)	(j)	(k=d-f)	(l)	(m)
1	142.750	142.750	142.750	142.750	142.431	142.431	0.319	0.319	0.22	0.319	0.319	0.22
2	178.147	320.897	178.350	321.100	178.095	320.526	0.052	0.371	0.12	0.255	0.574	0.18
3	166.244	487.141	166.569	487.669	166.170	486.696	0.074	0.445	0.09	0.399	0.973	0.20
4	189.869	677.010	190.117	677.785	189.753	676.449	0.116	0.561	0.08	0.363	1.336	0.20
5	154.118	831.129	154.369	832.155	154.038	830.487	0.081	0.642	0.08	0.332	1.668	0.20
6	177.539	1008.668	177.713	1009.868	177.458	1007.944	0.082	0.724	0.07	0.256	1.923	0.19

Exceptând virola 1, diferențele dintre cele două metode se încadrează în toleranța acceptată pentru determinarea volumului în cazul rezervoarelor de stocare produse petroliere 0.2 %. Se poate concluziona că metoda razei medii poate fi utilizată pentru rezervoare a căror abatere de cilindricitate nu este foarte mare și nu prezintă deformări locale proeminente.

Compararea celor trei tabele de calibrare arată impactul metodei utilizate pentru determinarea stocului mort, care conduce la depășirea toleranței acceptate pentru calibrarea rezervoarelor cilindrice verticale printr-o metodă geometrică.

Tabel 8.20 Analiza comparativă tabele de calibrare

Înălțime	Metoda razei medii		Metoda suprafețelor	Diferența metoda raza medie – metoda suprafețelor			
	Măsurători stație totală	Măsurători scaner 3D	Măsurători scaner 3D	Stație totală – Scaner 3D		Scaner 3D - Scaner 3D	
	Volum cumulat	Volum cumulat	Volum cumulat	Volum cumulat		Volum cumulat	
[m]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[%]	[m³]	[%]
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
0.000	7.160	7.160	7.835	-0.675	-8.62	-0.675	-8.62
0.500	65.730	65.730	67.172	-1.442	-2.15	-1.442	-2.15
1.000	125.170	125.150	126.551	-1.381	-1.09	-1.401	-1.11
1.500	184.570	184.600	185.896	-1.326	-0.71	-1.296	-0.70
2.000	243.920	244.070	245.288	-1.368	-0.56	-1.218	-0.50
2.500	303.270	303.530	304.692	-1.422	-0.47	-1.162	-0.38
3.000	362.620	362.960	364.038	-1.418	-0.39	-1.078	-0.30
3.500	421.980	422.360	423.437	-1.457	-0.34	-1.077	-0.25
4.000	481.330	481.760	482.828	-1.498	-0.31	-1.068	-0.22
4.500	540.730	541.140	542.168	-1.438	-0.27	-1.028	-0.19
5.000	600.160	600.510	601.542	-1.382	-0.23	-1.032	-0.17
5.500	659.580	659.890	660.891	-1.311	-0.20	-1.001	-0.15
6.000	718.890	719.220	720.189	-1.299	-0.18	-0.969	-0.13
6.500	778.160	778.540	779.519	-1.359	-0.17	-0.979	-0.13
7.000	837.430	837.860	838.810	-1.380	-0.16	-0.950	-0.11
7.500	896.640	897.120	898.069	-1.429	-0.16	-0.949	-0.11
8.000	955.830	956.360	957.343	-1.513	-0.16	-0.983	-0.10
8.500	1015.020	1015.610	1016.524	-1.504	-0.15	-0.914	-0.09

6.5. Inspecția rezervorului

6.5.1. Evaluare cilindricitate

Abaterile de la cilindricitate a mantalei rezervorului poate fi determinată prin compararea norului de puncte, care reprezintă cu fidelitate forma reală a rezervorului, cu un cilindru al cărui dimensiuni să respecte documentația de proiectare și execuție a rezervorului.

Întrucât virolele rezervorului sunt îmbinate cap la cap, s-a putut efectua o analiză pe întreaga suprafață desfășurată a mantalei rezervorului. Conform proiectului de execuție, rezervorul are un diametru de 12300 mm, iar pentru determinarea abaterii de cilindricitate s-a utilizat un cilindru cu un diametru egal.

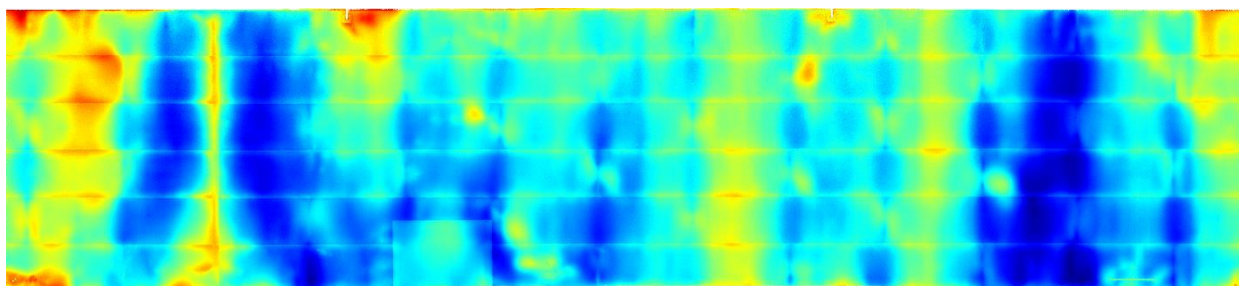


Figura 6.8 Abatere de la cilindricitate

6.5.2. Evaluare circularitate

Pentru evaluarea circularității rezervorului s-au realizat câte două secțiuni orizontale pentru fiecare virolă, la 300 mm sub și deasupra sudurii dintre virole. Pentru evidențierea abaterilor în reprezentarea grafică acestea au fost exagerate, scalate, cu un factor de 40. Din motive estetice, în graficele și tabelele care prezintă valorile abaterilor de circularitate a fiecărei virole au fost reprezentate câte 36 de puncte, asigurându-se o rezoluție în plan unghiular de 10° . Norul de puncte obținut a permis determinarea abaterii de circularitate cu o rezoluție de $3'$.

Toleranța în standardul C220-85 pentru săgeata la circumferința mantalei măsurată cu un șablon cu lungimea de 1 m este de ± 15 mm.

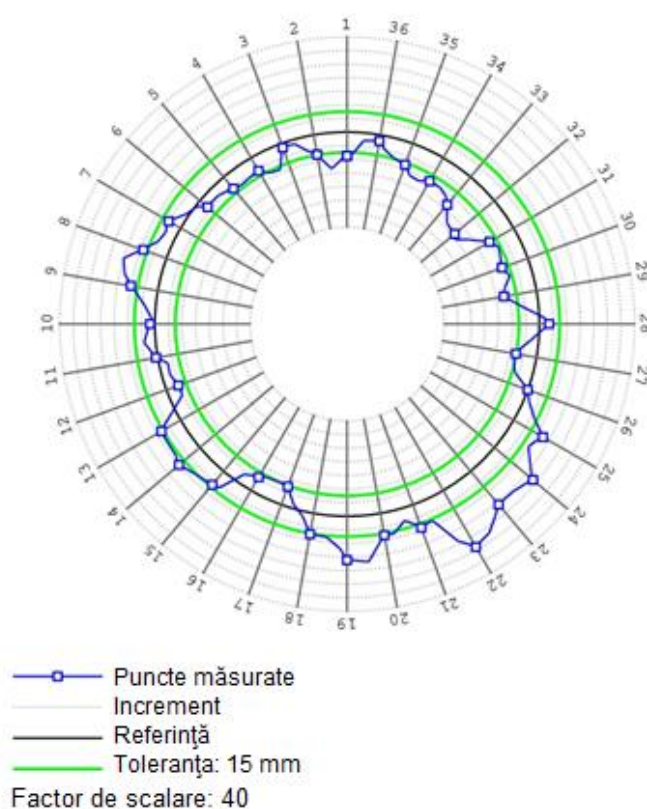


Figura 6.9 Abatere de la circularitate Virola 1- Sudură colț +300 mm

6.5.3. Evaluare verticalitate

Pentru determinarea abaterii de la verticalitate s-au efectuat 12 secțiuni verticale, din 30° în 30° în plan orizontal. Conform standardului C220-85, toleranța pentru săgeata mantalei măsurată pe verticală cu un șablon cu lungimea de 1 metru este de ± 15 mm.

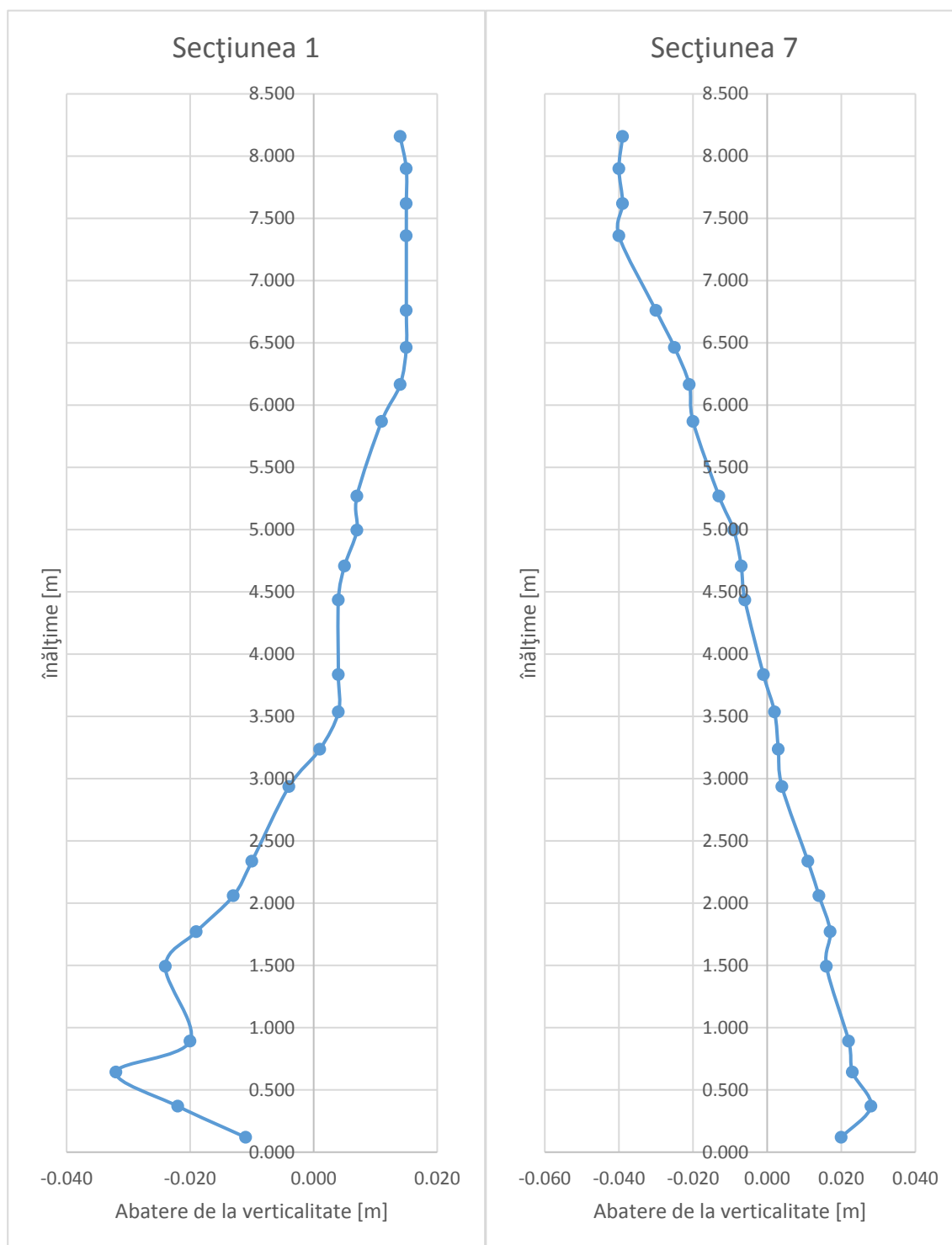


Figura 6.10 Abatere de la verticalitate secțiunea 1-7

6.5.4. Evaluarea înclinare

Tabel 9.33 Evaluare înclinare

Direcție	Înclinare		Toleranță EEMUA 159	Acceptat / Respins	Toleranță C220-85	Acceptat / Respins	Toleranță API 653	Acceptat / Respins
	[mm]	[%]						
Nord-Sud	26	0.31	1.5 %	Acceptat	0.085 m	Acceptat	130 mm	Acceptat
Vest-Est	4	0.05						

6.5.5. Evaluarea condiției curente a capacului rezervorului

Capacul rezervorului este prevăzut cu o pasarelă utilizată pentru accesul pe capacul acestuia. Nu prezintă urme de coroziune sau deformații.

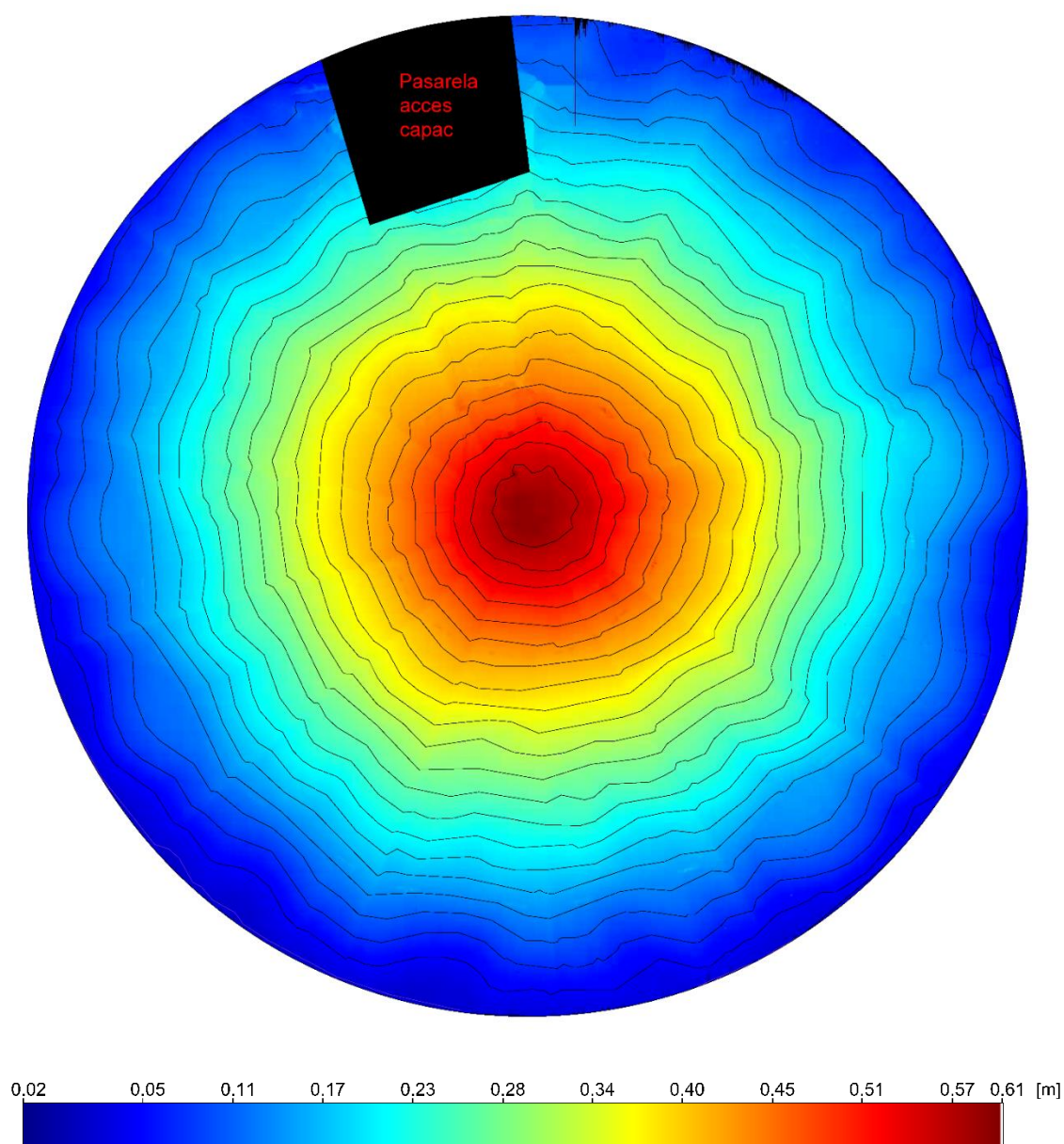


Figura 6.11 Evaluare situație curentă capac rezervor

6.5.6. Evaluarea condiției curente a fundului de rezervor

Norul de puncte poate fi utilizat pentru evaluarea condiției curente s-a realizat prin întocmirea unei hărți de inspecție a fundului de rezervor și folosirea curbelor de nivel pentru evidențierea deformațiilor locale ale acestuia.

Tabel 10.34 Deformații locale ale fundului de rezervor

Zona deformată local	Raza zona deformată [m]	Diferența de nivel [m]	C220-85		API 653	
			Toleranța [mm]	Acceptat/Respins	Toleranța [m]	Acceptat/Respins
1	0.74	0.01	±30 mm	Acceptat	0.023	Acceptat
2	0.627	0.01	±30 mm	Acceptat	0.019	Acceptat
3	0.525	0.01	±30 mm	Acceptat	0.016	Acceptat

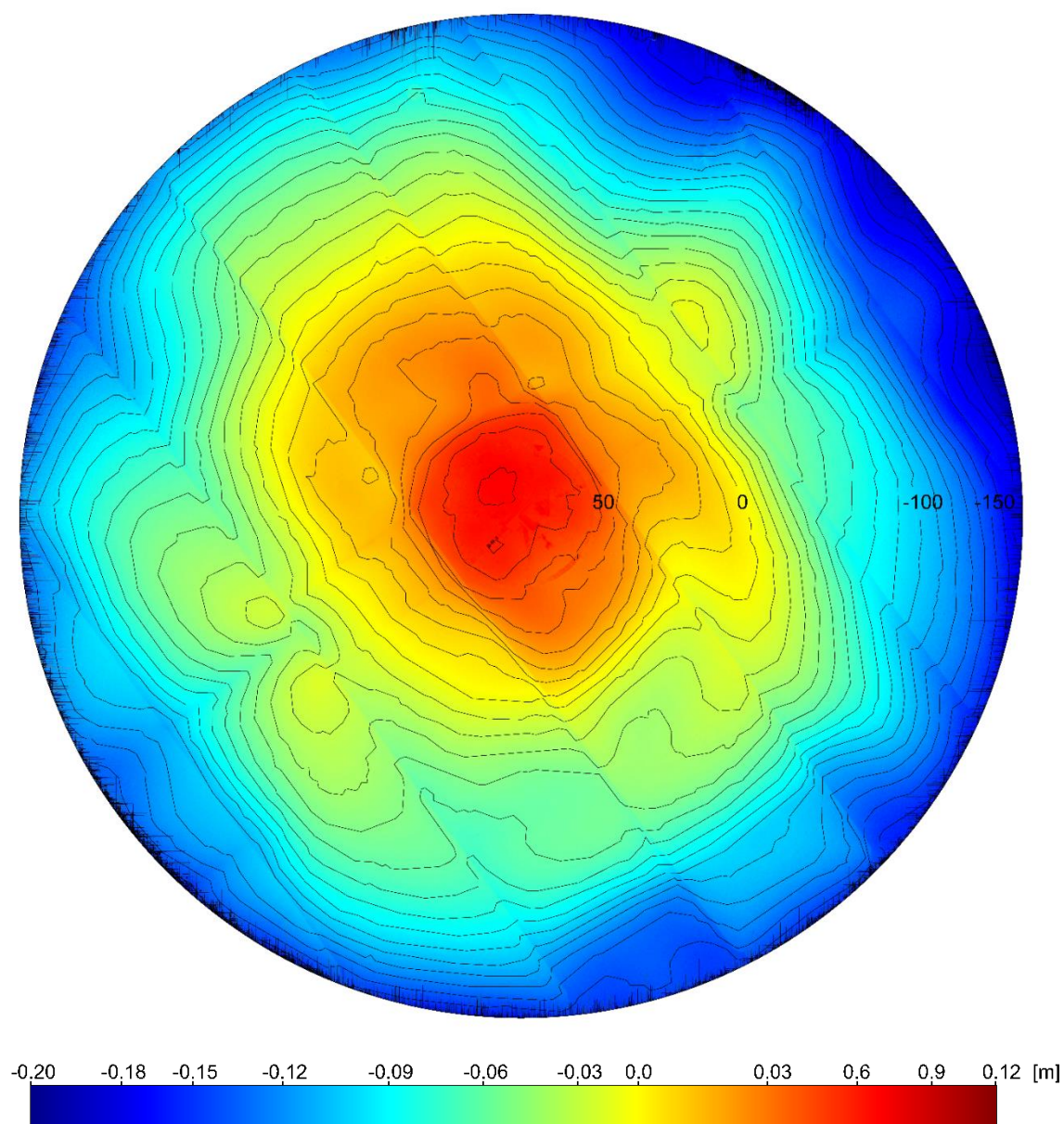


Figura 6.12 Evaluare situație curentă fund rezervor

6.5.7. Evaluarea tasării perimetrului a mantalei

Pentru evaluarea tasării perimetrului a mantalei rezervorului s-au realizat 12 secțiuni ale fundului de rezervor cu scopul de a determina tasarea perimetrală. Utilizând norul de puncte s-a realizat releveul fundului de rezervor necesar pentru a determina unghiul dintre suduri și mantaua rezervorului.

Tabel 11.35 Tasarea perimetrală

Secțiune	B	R	θ	B_e	B_{ew}	B_u	Rezultat
	[m]	[m]	[°]	[m]	[m]	[m]	
1	16.5	750	26	58	51	55	Stabil
2	41.5	750	4	58	51	58	Stabil
3	37.5	750	34	58	51	54	Stabil
4	38	750	64	58	51	52	Stabil
5	34	750	4	58	51	58	Stabil
6	24.5	750	56	58	51	52	Stabil
7	43.5	750	26	58	51	55	Stabil
8	57	750	4	58	51	58	Deplasat
9	31	750	34	58	51	54	Stabil
10	36	750	64	58	51	52	Stabil
11	33	750	4	58	51	58	Stabil
12	48.5	750	56	58	51	52	Stabil

6.5.8. Evaluarea tasării fundului de rezervor

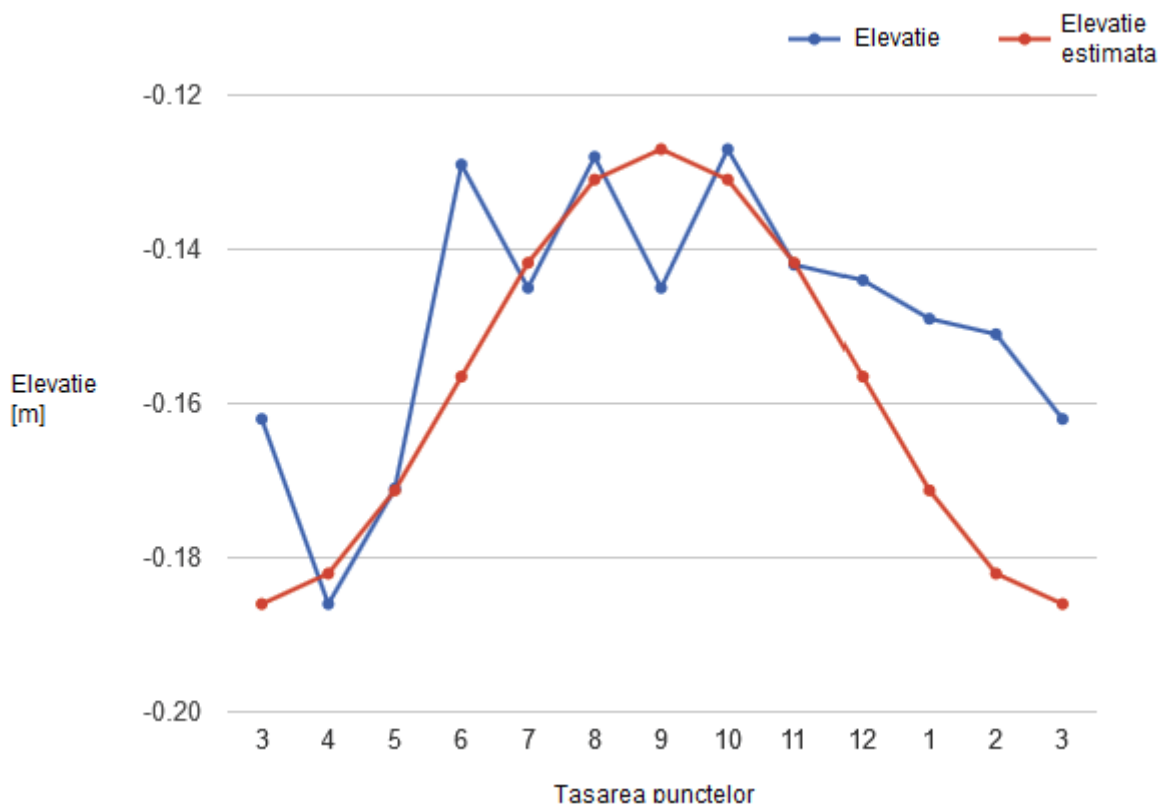


Figura 6.13 Evaluarea tasării fundului de rezervor

Tabel 12.37 Evaluare tasare fund

Punct	Înălțime [m]	Θ [°]	PE [m]	Ui [m]	Si [m]	Rezultat -
1	-0.149	0	-0.171	0.022	0	STABIL
2	-0.151	30	-0.182	0.031	0.008	STABIL
3	-0.162	60	-0.186	0.024	0.01	STABIL
4	-0.186	90	-0.182	-0.004	-0.016	STABIL
5	-0.171	120	-0.171	0	-0.012	STABIL
6	-0.129	150	-0.157	0.028	0.029	STABIL
7	-0.145	180	-0.142	-0.003	-0.018	STABIL
8	-0.128	210	-0.131	0.003	0.014	STABIL
9	-0.145	240	-0.127	-0.018	-0.021	STABIL
10	-0.127	270	-0.131	0.004	0.013	STABIL
11	-0.142	300	-0.142	0	-0.008	STABIL
12	-0.144	330	-0.157	0.013	0.002	STABIL

6.5.9. Rezultate control NDT

În urma controlului vizual și verificărilor utilizând lichide penetrante s-a constatat că rezervorul nu are fisuri sau alte defecte care să afecteze rezistența mecanică a acestuia. Pentru evaluarea situației curente a rezervorului R04, s-au comparat măsurătorile de grosime de tablă efectuate la ultimul raport de inspecție, care a fost întocmit în anul 2004, cu cele actuale pentru a verifica dacă viteza de coroziune proiectată, de 0.1 mm/an, a fost depășită. Grosimile măsurate pentru tabla T-1.3 de la virola 1 nu au fost utilizate pentru calculul grosimii medii deoarece acesta este un petec adăugat în urma unor lucrări de reparații, iar grosimea diferă de cea a celorlalte table din componența virolei.

Tabel 13.38 Evaluare viteză de coroziune

Grosimi medii	Virola	Valori grosimi tabla control		Diferență	Viteza de coroziune proiectată: 0,1 mm/an	Rezoluție
		2004	2017			acceptat/respins
manta	1	5.1	4.95	-0.15	1.3	acceptat
	2	5	4.90	-0.10	1.3	acceptat
	3	5	4.87	-0.13	1.3	acceptat
	4	5	4.92	-0.08	1.3	acceptat
	5	4.9	4.87	-0.03	1.3	acceptat
fund	-	5.7	5.62	-0.08	1.3	acceptat
capac	-	5.8	5.74	-0.06	1.3	acceptat

6.5.10. Rezoluție

Abaterea de cilindricitate a rezervorului R04 este de cuprinsă între +60 mm și -36 mm și nu se încadrează în intervalul de toleranțe specificate în standardul C 220-85: ± 30 mm pentru rezervoare realizate tolă cu tolă, cu o capacitate cuprinsă în $100 \div 1000 \text{ m}^3$. Deoarece suprafețele deformațiilor care nu respectă toleranțele maxime admise nu sunt mari, aproximativ 1 m^2 , se poate utiliza rezervorul în condiții de siguranță, cu mențiunea de a monitoriza zonele afectate.

7. Concluzii generale

7.1. Considerații finale

Lucrarea prezentată conține analize teoretice și experimentale din domeniile calibrării și inspecției condiției curente a rezervoarelor destinate stocării lichide petroliere. Cercetările au fost orientate pentru creșterea preciziei de realizare a tabelelor de calibrare și diversificarea rapoartelor utilizate pentru evaluarea condiției curente a rezervoarelor.

Calibrarea rezervoarelor nu este o temă nouă, a fost reglementată prin standarde internaționale și național, însă utilizarea echipamentelor de achiziție a datelor 3D pentru această activitate nu a fost tratată, reprezentând un domeniu în care se efectuează cercetări.

Calibrarea rezervoarelor reprezintă conlucrarea domeniului geodeziei, care furnizează echipamente de măsură și tehnici de măsurare, cu domeniul metrologiei care contribuie cu proceduri și concepte privind calitatea rezultatelor.

Inspecția condiției curente a rezervoarelor este un domeniu de interes special pentru monitorizarea comportării în timp a construcțiilor, furnizând informațiile necesare îndeplinirii calității lucrărilor ingineresti.

În cadrul acestei teze, au fost prezentate două metode de calibrare geometrice, prima utilizând măsurători realizate cu o stație totală și o nivelă (echipamente clasice din geodezie) și cealaltă utilizând măsurători realizate cu scanner laser 3D. S-a demonstrat că precizia rezultatelor depinde de echipamentele utilizate, dar și de modalitatea de prelucrare a datelor.

Au fost realizate comparații între rezultatele obținute folosind același metoda de calcul, utilizând măsurări realizate cu două tipuri de echipamente, pentru evidențierea impactului performanțelor tehnice ale acestora asupra rezultatelor. Pentru evidențierea impactului metodei de calcul, au fost realizate comparații între metode diferite utilizând același echipament de măsurare.

Inspecția condiției curente a rezervoarelor scade riscurile de producere a accidentelor și crește durata de viață a rezervoarelor în cazul realizării și respectării unui plan de mentenanță preventivă. Legislația națională nu reglementează intervalul de timp dintre inspecții, competențele necesare și autorizarea unui personal specializat pentru realizarea acestor activități.

7.2. Concluzii

Teza de doctorat „Contribuții la utilizarea echipamentelor de achiziție a datelor spațiale (3D) în aplicații de verificare și control a instalațiilor și echipamentelor industriale” a avut drept scop identificarea cerințelor și metodelor utilizate pentru calibrarea și inspecția rezervoarelor de stocare produse petroliere. Obiectivul principal al lucrării de față a fost acela de a analiza posibilitățile de utilizare a echipamentelor de achiziție a datelor spațiale 3D în activitățile de calibrare și inspecție.

Analizând conținutul lucrării se pot trage următoarele concluzii:

- Calibrarea rezervoarelor utilizând echipamente de achiziție a datelor spațiale 3D oferă rezultate mult mai precise în comparație cu metodele tradiționale utilizate.
- Numărul de măsurători efectuate, mărimea eșantionului utilizat, influențează în mod direct rezultatele și precizia acestora.
- Inspecția situației curente a rezervoarelor cu un nivel ridicat de acuratețe și detaliere poate fi obținut doar utilizând scanarea laser 3D și poate mări durata de viață a acestora prin identificarea încă din faza incipientă a defectelor și remedierea acestora.

- Având în vedere gradul ridicat de inflamabilitate a produselor petroliere și efectele nocive asupra mediului înconjurător, rolul inspecției condiției curente pot fi considerat unul de prevenție și protecție.

7.3. Contribuții

Teza aduce contribuții în domeniul calibrării și inspecției rezervoarelor utilizând echipamente de achiziție a datelor spațiale 3D, ce pot fi considerate contribuții personale în domeniu și totodată elemente cu caracter de noutate:

- Realizarea unei ample documentări a cerințelor și metodelor utilizate în domeniul calibrării și inspecției rezervoarelor care a avut la bază literatură de specialitate, standardele naționale și internaționale;
- Analiza normativelor naționale și internaționale din domeniul calibrării și inspecției rezervoarelor;
- Prezentarea metodelor de calibrare și a corecțiilor utilizate pentru întocmirea unei tabele de calibrare;
- Adaptarea noțiunilor teoretice la studiile și analizele efectuate asupra obiectului studiului de caz;
- Testarea metodelor de calcul utilizate și evidențierea impactului preciziei echipamentelor de măsură utilizate;
- Prezentarea unui raport de evaluare a condiției curente utilizând scanarea laser 3D.
- Evidențierea avantajelor oferite de utilizarea a sistemelor de achiziție a datelor spațiale 3D în cadrul operațiilor de calibrare și inspecție rezervoarelor prin reducerea costurilor, creșterea preciziei de determinare și investigarea exhaustivă a situației curente;
- Propunerea de către autor a unor direcții de cercetare viitoare.

7.4. Perspective de cercetare

Lucrarea de doctorat se dorește a fi un punct de plecare, pentru specialiști, în alegerea metodei utilizate pentru calibrarea rezervoarelor de stocare produse petroliere.

De asemenea, cercetările pot fi continuate prin utilizarea măsurătorilor realizate pentru întocmirea rapoartelor de inspecție a condiției curente pentru realizarea de simulări de tipul analiza de element finit cu scopul de a determina durata de viață remanentă funcție de formă geometrică a rezervorului, grosimea materialelor, viteza de coroziune, clasa de risc seismic a zonei în care este construit rezervorul, tiparul vântului specific locației, accidente de tipul deversărilor, suprapresiune sau vid.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Guvernul României, "Ordonanța nr. 20/1992 privind activitatea de metrologie," Monitorul Oficial al României, București, 1992.
- [2] B. Andrea, "fema.gov," 20 Decembrie 2002. [Online]. Available: <https://www.fema.gov/es/media-library/assets/images/41311>. [Accessed 2 Decembrie 2017].
- [3] W. J.W.Ash, "Review of failures, causes & consequences in the bulk storage industry," John Moores University, Faculty of Technology and Environment, Liverpool, 2006.
- [4] ICFI, "World socialist website," Published by the International Committee of the Fourth International, 25 Septembrie 2001. [Online]. Available: <https://www.wsws.org/en/articles/2001/09/toul-s25.html>. [Accessed 16 Aprilie 2017].
- [5] "ICIS," Independent Chemical Information Service, 18 Septembrie 2003. [Online]. Available: <https://www.icis.com/resources/news/2003/09/18/519437/repso-blames-human-error-for-puertollano-refinery-blast/>. [Accessed 16 Aprilie 2017].
- [6] "gov.uk," 2006. [Online]. Available: <http://www.buncefieldinvestigation.gov.uk/reports/index.htm>. [Accessed 16 Aprilie 2017].
- [7] "Sunday Express," 10 12 2017. [Online]. Available: <https://www.express.co.uk/comment/expresscomment/890522/Sir-Mike-Penning-Buncefield-fire-Hemel-Hempstead>. [Accessed 20 12 2017].
- [8] Y. Liu, "Thermal buckling of metal oil tanks," University of Edinburgh, Edinburgh, 2011.
- [9] C. L. J.I. Chang, "'A study of storage tank accidents.'," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006.
- [10] Energy Institute, "Atmospheric pressure above-ground storage tank loss of containment incidents involving petroleum, petroleum products, or other fuels," Energy Institute, Londra, 2017.
- [11] "ec.europa.eu," 24 August 2017. [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/environment/seveso/index.htm>. [Accessed 15 Aprilie 2017].
- [12] I. D. Grigoraș, Depozitarea Fluidelor, Ploiești: Editura Univestitații din Ploiești, 2002.
- [13] DIN, "DIN EN 14015:2005-02 Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above," Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2005.
- [14] "masiniunelte," 19 august 2014. [Online]. Available: <https://masiniunelte.store.ro/blog/wp-content/uploads/2014/08/Exemplu-roluire-2.jpg>. [Accessed 10 3 2018].
- [15] M. Boboc, "Contribuții la creșterea siguranței în exploatare a instalațiilor de limitare și stingere a incendiilor din parcurile de rezervoare destinate depozitării produselor petroliere," Universitatea Petrol & Gaze Din Ploiești - Facultatea De Inginerie Mecanică și Electrică, Ploiești, 2016.
- [16] L. Moldovan, "Concepte fundamentale pentru prevenirea exploziilor și protecția împotriva exploziilor în medii cu atmosfere potențial explozive," INSEMEX, Petrosani, 2016.
- [17] I. E. Commission, "EN 60079-10-1:2009 Explosive atmospheres. Classification of areas. Explosive gas atmospheres," International Electrotechnical Commission, Londra, 2009.
- [18] A. Andris, "Clasificarea ariilor periculoase ex generate de gaze, vapori, cețuri și/sau prafuri combustibile," INSEMEX, Petrosani, 2016.
- [19] N. Cristescu, Topografie inginerească, București: Editura didactică și pedagogică, 1978.
- [20] R. S. Fritz Deumlich, Instrumentenkunde der Vermessungstechnik, Heidelberg: Wichmann Verlag, 2001.

- [21] F. Henze, K. Heine and G. Siedler, *Developments of Surveying Technologies in Construction History*, Cottbus: Proceedings of the Third International Congress on Construction History, 2009.
- [22] J. Kahar, "Lecture note on geodesy," Nagoya Univeristy, Nagoya, 2004.
- [23] P. I. Dragomir, "Note de curs - Bazele măsurătorilor inginerești," UTCB - Facultatea de Geodezie, București, 2009.
- [24] A. Jocea, "Note de curs - Tehnologii de culegere, prelucrare și reprezentare a datelor spațiale," UTCB - Facultatea de geodezie, București, 2013.
- [25] A.-M. Loghin and V. E. Oniga, "The three-dimensional geodetic networks adjustment automation using MATLAB," RevCAD19, Alba Iulia, 2015.
- [26] I. Neuner, Note de curs - Instrumente și metode de măsurare, București: UTCB - Facultatea de Geodezie, 2007.
- [27] I. Neuner, "Note de curs-Senzori, tehnica de măsurare și prelucrare," UTCB - Facultatea de Geodezie, București, 2010.
- [28] Guvernul României, "Legea privind securitatea și sănătatea în muncă," Monitorul Oficial, Partea I nr. 646 din 26 Iulie 2006, București, 2006.
- [29] T. S. C. Petre Iuliu Dragomir, *Tehnici de măsurare și poziționare în domeniul apropiat*, București: Conpress, 2014.
- [30] G. Badea, "Cadastru General," București, Conpress, 2005, p. 86.
- [31] Government of Western Australia, *Introduction to surveying - second edition*, West Perth : Department of training and workforce development, 2016.
- [32] A. Beraldin, F. Blais and U. Lohr, "Laser scanning technology," in *Airborne and terrestrial laser scanning*, Dunbeath, Whittles Publishing, 2010, pp. 1-39.
- [33] A. F. Țăranu, "Utilizarea scanării laser 3D în conservarea patrimoniului cultural," Universitatea Tehnică de Construcții București, București, 2014.
- [34] C. B. Norbert Pfeifer, "Laser scanning – principles and applications," Vienna University of Technology, Viena, 2007.
- [35] A. J. A. S. C. Coșarcă, "Scanare Laser – O nouă tehnică în Măsurătorile Terestre," Alba Iulia, 2009;.
- [36] Y. Reshetyuk, "Self calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning," Stockholm, 2009.
- [37] X. Liang, "Feasibility of Terrestrial Laser Scanning for Plotwise Forest Inventories," Aalto University School of Engineering, Kirkkonummi, 2013.
- [38] J. F. H. Sara B. Walsh, "Data Processing of Laser Scans Towards Applications in Structural Engineering," University of Illinois, Champaign, 2009.
- [39] T. SCHULZ, "Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy," Technical University of Berlin, Berlin, 2007.
- [40] G. B. Brolly, "Locating and parameter retrieval of individual trees from terrestrial laser scanner data," University of West Hungary, Sopron, 2013.
- [41] C. Fröhlich and M. Mettenleiter, "Terrestrial laser scanning – new perspectives in 3D surveying," *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Freiburg, 2004.
- [42] "www.faro.com," FARO, [Online]. Available: <https://www.faro.com/products/construction-bim-cim/faro-focus/features/>. [Accessed 30 Martie 2018].

- [43] "trimble.com," Trimble, [Online]. Available: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/tx8>. [Accessed 30 Martie 2018].
- [44] "www.riegl.com," RIEGL, [Online]. Available: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/33/>. [Accessed 30 Martie 2018].
- [45] "SCENE 5.1- User manual," 2012.
- [46] D. C. Dumitras, Ingineria fasciculelor laser, Bucuresti: BIC ALL, 2004.
- [47] R. Staiger, "Terrestrial laser scanning - Scanners and methods," INTERGEO East, Sofia, 2007.
- [48] VLAAMS LEONARDO DA VINCI AGENTSCHAP v.z.w., "Teoria si practica scanarii laser terestre cu ajutorul laserului, Versiunea 2," Flemish Agency, 2008.
- [49] S. S, L. R, M. M and T. P.J.G., "Incidence angle influence on the quality of terrestrial laser scanning points," Delft Institute of Earth Observation and Space Systems, Kluiverweg, 2009.
- [50] A. R. T. S. Hilmar Ingensand, "Performances and experiences in terrestrial laserscanning," Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zürich, 2003.
- [51] American Society for Nondestructive Testing, [Online]. Available: <https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT>. [Accessed 22 Mai 2018].
- [52] D. Andreica, "Note de curs - Inspectia cu particule magnetice," Universitatea Babeş Bolyai, Cluj.
- [53] European Committee for Standardization, "SR E 1993-4-2 Eurocod 3 Proiectarea structurilor de oţel partea 4-2: Rezervoare," Asociaţia de Standardizare din România, Bucuresti, 2008.
- [54] The Engineering Equipment and Materials Users Association, "EEMUA 159: Above ground flat bottomed storage tanks - a guide to inspection, maintenance and repair Edition 4," The Engineering Equipment and Materials User Association, Londra, 2014.
- [55] American Petroleum Institute, "API Standard 650, Welded Tanks for Oil Storage, Twelfth Edition.," American Petroleum Institute, Washington, 2016.
- [56] T. Holmes, "Mechanical integrity management of bulk storage tanks," UK Health and Safety Laboratory , Derbyshire , 2009.
- [57] American Petroleum Institute, "API 653: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, Fifth Edition.," American Petroleum Institute, Washington, 2014.
- [58] Asociaţia de Standardizare din România, "SR EN 14015: specificaţii pentru proiectarea şi fabricarea rezervoarelor de oţel, sudate, supraterane, cu fund plat, cilindrice, verticale, construite în situ, destinate depozitarii lichidelor la temperatura ambiantă sau superioară," Asociaţia de Standardizare din România, Bucuresti, 2005.
- [59] European Committee for Standardization, "Eurocod 1: Actiuni asupra structurilor Partea 4 Silozuri si rezervoare," European Committee for Standardization prin Asociaţia de Standardizare din România, Bucuresti, 2007.
- [60] C 220-85 Instrucţiuni tehnice privind verificările abaterilor de la forma geometrică şi a calităţii cusăturilor sudate ale rezervoarelor din oţel cilindrice verticale pentru depozitarea ţiteiului şi a produselor petroliere lichide, Bucureşti: MATRIX ROM, 1985.
- [61] Guvernul României, "OG nr. 20/1992 privind activitatea de metrologie cu modificările şi completările ulterioare," Monitorul Oficial al României, Bucureşti, 1992.
- [62] Biroul Român de Metrologie Legală, "Ordinul BRML nr. 148 pentru aprobarea Listei oficiale a mijloacelor de măsurare supuse controlului metrologic legal," Monitorul Oficial al României, Bucureşti, 2012.
- [63] Asociaţia de Standardizare din România, "SR Ghid ISO/CEI 99 Vocabular internaţional de metrologie Concepte fundamentale şi generale şi termeni asociaţi (VIM)," Asociaţia de Standardizare din România, Bucureşti, 2010.

- [64] P. Howarth, "Metrology in short," EURAMET, Lyngby, 2008.
- [65] Biroul Roman de Metrologie Legală, "NML 017-05 "Rezervoare de stocare pentru lichide"," Monitorul Oficial, București, 2005.
- [66] International Organization for Standardization, "International Organization for Standardization," International Organization for Standardization, 2016. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/37004.html>. [Accessed 21 Decembrie 2017].
- [67] International Organization for Standardization, "ISO 7507-2:2005 Petroleum and liquid petroleum products - Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 2: Optical-reference-line method," International Organization for Standardization, Londra, 2005.
- [68] International Organization for Standardization, "ISO 7507-4:2010 Petroleum and liquid petroleum products - Calibration of vertical cylindrical tanks -- Part 4: Internal electro-optical distance-ranging method," International Organization for Standardization, Londra, 2010.
- [69] A. Nadolo, Măsurarea volumului și cantității lichidelor în industrie, București: Editura Tehnică, 1975.
- [70] E. L. Upp and P. J. LaNasa, Fluid flow measurement: a practical guide to accurate flow measurement -second edition, Woburn: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [71] Inspectoratul general de stat pentru controlul calității produselor- inspecția metrologiei de stat, "Normă tehnică de metrologie NTM 1-123/3-86 Verificarea metrologică a rezervoarelor-calibrarea rezervoarelor cilindrice verticale cu capac fix prin metoda geometrică directă și prin metoda mixtă," Editura Tehnică, București, 1986.
- [72] Comisia națională pentru standarde, metrologie și calitate, "Normă tehnică de metrologieE NTM M1-123/8-90," Editura Tehnică, București, 1993.
- [73] J. Linke and G. Wendt, "The 3D laser scanner CALLIDUS as new standard measuring device for storage tanks".
- [74] K. Papadopoulos, D. Tzetzis, G. Oancea and P. Kyratsis, "Reverse Engineering of a Milktank and Evaluation of Volume Metering Procedure," Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2016.
- [75] V. Knyva, M. Knyva and J. Rainys, New approache to calibration of vertical fuel tanks, Kaunas: Lituania, 2013.
- [76] D. Onose, Topografie, București: Editura MATRIX ROM, 2004.
- [77] S. Sivaraman, Vertical Cylindrical Storage Tank Calibration Technologies, Singapore: API Conference & Expo Singapore 2012, 2012.
- [78] International Organization for Standardization, ISO 7507-1:2003 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks - Part 1: Strapping method, Geneva: International Organization for Standardization, 2003.
- [79] M. Yeandle, Calibration of storage tanks, Ohio.
- [80] American Petroleum Institute, Manual of petroleum measurement standards chapter 2 - Tank calibration, Washington: American Petroleum Institute, 2003.
- [81] S. Zamfir, R. Vidu and V. Brinzoi, Coroziunea materialelor metalice, Editura didactica si pedagogica, 1994.
- [82] O. C. POPA, "Aspecte privind microstructura în determinarea duratei de viata la oboseala a materialelor," *ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY*, p. 61, 2006.
- [83] N. N. Drăghici, Conduce pentru transportul fluidelor, București: Editura Tehnică, 1971.
- [84] The Engineering Equipment and Materials Users Association, EEMUA 159: Above ground flat bottomed storage tanks - a guide to inspection, maintenance and repair Edition 5, Londra: The Engineering Equipment and Materials User Association, 2017.

- [85] A. F. C. Negrilă, "Contribuții la perfecționarea tehnologiilor geodezice de achiziție, prelucrare și interpretare a datelor spațiale în zone de hazard și risc," Universitatea Tehnică de Construcții București, București, 2013.
- [86] D. Onose, "Urmărirea comportării în timp a construcțiilor si terenurilor, Note de curs," Bucuresti, 2011.
- [87] W. Allen Marr; M. ASCE; Jose A. Ramos; T. William, "Criteris for settlement of tanks," *Journal of geotechnical engineering division*, vol. 108, 1982.
- [88] C. Georgescu, "Toleranțe și control dimensional," Universitatea Dunărea de Jos, Galați, 2009.
- [89] A. Potorac and D. Prodan, Toleranțe și control dimensional, Suceava: Universitatea Ștefan cel Mare.
- [90] Asociația de Standardizare din România, "SR EN 14127:2011 Examinări nedistructive - Măsurarea grosimii cu ultrasunete," Asociația de Standardizare din România, Bucureșt, 2011.
- [91] International Organization for Standardization, "ISO 17637:2016 Non-destructive testing of welds -- Visual testing of fusion-welded joints," International Organization for Standardization, Geneva, 2016.

Anexe

Anexa 1 - Măsurători cu stația totală

Anexa 2 Raport registrație al măsurătorilor laser 3D interioare

Anexa 3 Raport registrație al măsurătorilor 3D exterioare

Anexa 4 Harta de inspecție