



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

## **MAHUTITE KALIBREERIMINE GEOMEETRILISTE MÕÖTMISTE MEETODIGA.**

**The tank volume calibration by geometric measurement method.**

Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine ÕPPEKAVA  
LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Jevgeni Fjodorov

Üliõpilaskood: 193140EDJR

Juhendaja: Tatjana Baraškova,  
vanemlektor

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"...." ..... 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS**

Mina Jevgeni Fjodorov (sünnikuupäev:15.07.1999)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Mahutite kalibreerimine geomeetriliste mõõtmiste meetodiga, mille juhendaja on Tatjana Baraškova,
  - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.



# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. GEOMEETRILINE MEETOD.....	9
1.1 Kalde ja deformatsiooni mõju.....	10
1.2 Temperatuuri mõju.....	10
2 HORISONTAAL- JA VERTIKAALMAHUTITE KALIBREERIMISTE MEETOD.....	11
2.1 Vertikaalmahutite kalibreerimine geomeetrilise meetodi abil .....	11
2.1.1 Vertikaalsed mahutid .....	11
2.1.2 Seinte kõrguse ja paksuse mõõtmine.....	11
2.1.3 Paagi kaldeastme määramine .....	12
2.1.4 Surnud maht mõõtmine .....	12
2.1.5 Mahuti baaskõrguse mõõtmine.....	12
2.2 Horisontaalmahutite kalibreerimine geomeetrilise meetodi abil.....	12
2.2.1 Horisontaalsed mahutid.....	12
2.2.2 Paagi kaldeastme määramine .....	12
2.2.3 Paagi telje ebapüsivuse mõõtmised .....	13
2.2.4 Paagi vöö siseläbimõõdu mõõtmised .....	13
2.2.5 Vöö pikkuse mõõtmised .....	13
2.2.6 Põhjade punnsuse mõõtmised.....	14
2.2.7 Sisemiste detailide mahtude määramine .....	14
2.2.8 Mahuti baaskõrguse mõõtmised .....	14
3 HORISONTAALSE SILINDRILISE OBJEKTI KALIBREERIMINE KASUTADES GEOMEETRILIST NING LAERSKANEERIMISE MEETODIT.....	15
3.1 Mahu määramine geomeetrilisel meetodil.....	15
3.1.1 Välisümberrõõdu mõõtmine .....	15
3.1.2 Sisediameetri mõõtmine.....	17
3.1.3 Horisontaalse silindrilise osa pikkus.....	19
3.1.4 Plaadiringi laiused .....	21
3.1.5 Mahuti kale.....	21
3.1.6 Plaadi ja värvi paksuse mõõtmine.....	23
3.1.7 Temperatuuri mõju.....	23
3.1.8 Surnud maht .....	24
3.1.9 Mahu arvutamine .....	24
3.2 Mahu määramine laserskaneerimisega .....	25
3.2.1 Mõõteprotsess mõõtmisele mahuti seest .....	25
3.2.2 Mahu arvutamine .....	26

KOKKUVÕTE .....	39
SUMMARY .....	40
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	41
LISAD .....	42

## EESSÕNA

Diplomitöö teema „Mahutite kalibreerimine geomeetriliste mõõtmiste meetodiga“ oli pakutud lõpp tööjuhendaja poolt.

Lõpp töö kirjutamisel autor kasutas „ISO 7507“ seeria ja „ГОСТ 8.346-2000“, „ГОСТ 8.570-2000“ standardid. Samuti, oli kasutatud „MSKJ 045 Mahutid“ kalibreerimisjuhend geomeetrilise meetodi kirjeldamiseks. Autor konsulteeris kirjutamise ajal Teadur-etalonihoidjaga, kes andis võimalus seadega Trimble SX12 tutvuda ning omandada teadmisi, mis on seotud mõõteeksperimenti plaanimisega. Ka, andis nõundeid ja soovitusi kuidas rakendada seda informatsiooni lõpp töös. Lisaks, lõpp töö praktiline osa oli tehtud Avelors Pluss OÜ ettevõttes, kus andis võimalus teha horisontaalse mahuti mõõtmisi.

Esmalt soovib autor tänada oma töö juhendajat, TalTechi Virumaa kolledžist Tatjana Baraškova. Lisaks soovib autor tänada TalTechi Virumaa kolledži eesti keele lektorit Ingrid Preesi lõpp töö korrigeerimise eest, AS Metrosert teadur-etalonihoidja Armin Ansip, Avelors Pluss OÜ tsehi juhataja Aleksandr Ivanov ja direktor Igor Põhtin.

Lõpp töö võtmesõnad: geomeetiline meetod, horisontaalsed mahutid, vertikaalsed mahutid, laserskaneerimine meetod, rakenduskõrgharidusõppe lõpp töö.

## SISSEJUHATUS

AS Metrosert on Eesti metroloogia keskasutus, mis tegeleb mõõtevahendite kalibreerimise, taatlemise, erimõõtmistööde ning juhtimissüsteemide ja toodete sertifitseerimisega, hoiab ja arendab riigietalone, korraldab täienduskoolitusi ning on tunnustatud väärismetallide katselabor.

Käesolevas töös vaatleb autor mahutite kalibreerimist geomeetrilisel meetodil ja see keskasutus pakub seda teenust. Kuna vaadeldav meetod on seotud lineaarsete mõõtmega, töötas autor AS Metrosert Pikkuuse riigietaloni labori esindajatega. Sel kevadel AS Metrosert ostis skaneeriva tahheomeetri Trimble SX12, mis suudab samuti skaneerida horisontaalseid ja vertikaalseid mahuteid.

Lõputöö koosneb kolmest peatükist:

Käesoleva töö esimene peatükk on pigem teoreetiline, kus autor kirjeldab geometrilise meetodi ja selle meetodi rakendamise.

Teises peatükis autor kirjeldab horisontaal- ja vertikaalmahutite kalibreerimise geomeetrilise meetodi abil. Kuna, paakid võivad olla horisontaalsed ja vertikaalsed, siis nende mõõtmise käik võib erineda.

Töö kolmandas peatükis kirjeldatakse praktiline osa. Praktilise osa täitmise ajal rakendas autor koos AS Metrosert esindajatega geomeetrilist meetodit ja laserskaneerimise meetodit, et võrrelda saadud tulemusi Avelors Pluss OÜ-le kulunud horisontaalse resevruari mõõtmisel. Töö ajal tekkis probleem, et paak ei olnud vertikaalne, mistõttu ei olnud võimalik rakendada EVS ISO 7507 seeria standardites kirjeldatud metoodikat ja tuli välja mõelda uus metoodika saadud mõõtmistulemuste võrdlemiseks kahe meetodi kasutamisel.

Autori eesmärk selles töös on uurida geomeetriliste mõõtmiste meetodeid horisontaalsete ja vertikaalsete mahutite kalibreerimiseks, saada teadmisi laserskaneerimise meetodist ja õppida seadmeid kasutama. Samuti on abiks metoodika väljatöötamine vertikaalsete ja horisontaalsete mahutite kalibreerimiseks geomeetrilise meetodi ja laserskaneerimise meetodi kasutamisel, mida saab edaspidi pakkuda teenusena erinevatele ettevõtetele.



# 1. GEOMEETRILINE MEETOD

Mahuti mahu määramiseks mõõdetakse vajalikud joonmõõtmed. Iga joonmõõde mõõdetakse vähemalt kaks korda ja lõpuks võetakse nende aritmeetiline keskmine. Mahuti siseläbimõõt  $D$  mõõdetakse kas seest või väljaspoolt igas vööndis eraldi. Välispinnalt mõõtmisel mõõdetakse ümbermõõt  $C_v$  mõõdulindiga igas vööndis kolmes kohas. Mõõtekohtadeks on vööndi keskkohat ning 100 mm kuni 300 mm kaugusel vööndi mõlemast äärest. Mahuti siseläbimõõt mõõdetakse teleskoopmõõtelatiga samamoodi igas vööndis eraldi. Ümbermõõdu mõõtmisel peab mõõdulint olema pidevas kontaktis mahutiga. Kui see tingimus ei ole võimalik täita, rakendatakse vastavaid parandeid. Mõõdulint peab olema mõõtmisel paralleelne vertikaaltasapinnaga. Mõõdulinti pingutatakse mõõtmiste ajal mõõdulindil märgitud mõõtejõuga kasutades selleks vastava mõõtepiirkonnaga dünamomeetrit. Ümbermõõtmise korratakse. Saadud mõõdiste erinevus samas kohas ei tohi ületada 3 mm. Kui erinevus on suurem, korratakse mõõtmist, kuni kaks tulemustest on lubatavates piirides. Arvutatakse nende aritmeetiline keskmine ja saadakse ümbermõõdu tulemus. Seinapaksust koos värvikihi paksusega mõõdetakse ultrahelipaksusmõõturiga või saadakse mahuti tööjooniselt (viimasel juhul tuleb värvikihi paksust mõõta eraldi). Paksust mõõdetakse iga ringvööndi kahes punktis, kuid mitte vähem kui viies punktis mahuti pikkuse kohta. Seinapaksust mahuti mõlemas sfäärilises või koonilises otsas mõõdetakse vähemalt kolmes punktis. Saadud mõõdiste erinevus ühe tsooni ulatuses ei tohi ületada 0,5 mm. Mõõtetulemuseks võetakse aritmeetiline keskmine. Mõõtetulemus mahuti silindrilisele osale ja otstele arvutatakse eraldi. Mahuti läbimõõdu mõõtmisel seestpoolt saadud mõõdiste erinevus ei tohi ületada 2 mm. Mõõtetulemuseks on kahe mõõdiste aritmeetiline keskmine. Mahuti silindrilise osa pikkus mõõdetakse mõõdulindiga, mis on pingutatud jõuga 50 N (pikkustel kuni 10 m) või 100 N (pikkustel üle 10 m) või teleskoopmõõtelati abil. Vööndi pikkus mõõdetakse mitmes kohas kaks korda. Mõõdiste erinevus ei tohi ületada 2 mm. Mahuti sfäärilise või koonilise otsa pikkust mõõdetakse mõõdulindiga, kasutades abivahendina laserloodi. Mõõdiste erinevus ei tohi ületada 2 mm. Mahuti kalle horisontaalasendist mõõdetakse nivelleerimise teel. Nivelleerimiseks kasutatakse abivahendina vett või laserloodi. Mõlemas otspunktis teostatakse kaks mõõtmist ja erinevus ei tohi ületada 2 mm. Arvestatakse ka mahuti diameetrite erinevust nendes lõigetes. Mõõtetulemuseks on nimetatud mõõdiste aritmeetiliste keskmiste vahe. [1]

## **1.1 Kalde ja deformatsiooni mõju**

Mahuti kalibreerimisel tuleb arvestada mahuti kalde ja deformatsioonide mõju

Kalde mõju arvestamine pole vajalik kui mahuti kalle horisontaal- või vertikaalasendist ei ületa 1 mm 1 m kohta.

Deformatsioonide arvestamine pole vajalik kui sisse- või väljapressimisjälgede summaarne läbimõõt korpusel ei ületa 100 mm ja jälgede sügavus ei ületa 5 mm. [1]

## **1.2 Temperatuuri mõju**

Kalibreerimisel tuleb arvestada temperatuuri mõju.

Mõõdulindi tugitemperatuur on reeglina 20 °C.

Mahuti geomeetriliste mõõtmete mõõtmisel on mõõdulindil, mis on lähedases kontaktis mahuti pinnaga, ligikaudu sama temperatuur kui mahutil. [1]

## 2 HORISONTAAL- JA VERTIKAALMAHUTITE KALIBREERIMISTE MEETOD

Geomeetrilist meetodit rakendatakse vertikaalsete ja horisontaalsete mahutite puhul, aga testi tulemuslikkus on erinev.

### 2.1 Vertikaalmahutite kalibreerimine geomeetrilise meetodi abil

#### 2.1.1 Vertikaalsed mahutid

Resevuaari mõõtmisel geomeetrilisel meetodil mõõdetakse alguses esimese vöö übermõõdu pikkust.  $L_H$  übermõõdu pikkus mõõdetakse esimese vöö kõrgusega võrdsetel kõrgustel. Enne übermõõdu pikkuse mõõtmist kantakse esimese vöö kõrgusega võrdne kõrgus resevuaari seinale iga 5 m järel. Vastavalt tehtud märkidele kantakse rulett mahuti seinale. Ringjoone pikkuse mõõtmise alguspunkt valitakse resevuaari seinale ja märgitakse. Mõõtmisel peab lint olema pingul ja tihedalt vastu mahuti seina. Rulleti pingutamine toimub dünamomeetri prügistamisel 100 H pingutusega 30 m pikkusele ruletile ja 50 H pingutusega 10 m ja 20 m pikkustele rulettidele.  $L_H$  übermõõdu pikkust mõõdetakse vähemalt kaks korda. Teise dimensiooni alguspunkt nihkub horisontaalselt esimese algusest vähemalt 500 mm kaugusele. Kahe übermõõdu pikkuse mõõtmise tulemuste suhteline erinevus arvutatakse valemiga:

$$\delta L_H = 2 \times \frac{L_{H1} - L_{H2}}{L_{H1}}, \quad (2.1.1)$$

Kus

$L_{H1}$  – esimese vöö übermõõdu pikkus;

$L_H$  – übermõõdu pikkus;

Erinevus peab jääma vahemikku  $\pm 0,01\%$ . [2]

#### 2.1.2 Seinte kõrguse ja paksuse mõõtmine

$h_H$ -vööde kõrgust mõõdetakse mahuti välisküljelt koorma ja süvisega mõõteruleti abil. Kõrgusvööd tähistavad  $h_i$  - kaugust, mille piires on  $r_i$  - vöö siseraadius konstantne.  $H_i$  väärtus saadakse lahutades  $h_{Hi}$  väärtusest tehnilisel dokumentatsioonil vastuvõetud naplekkide väärtused.

Vööde paksust mõõdetakse kaks korda ultraheli paksusega, mille viga on  $\pm 0,1$  mm. Mõõtmistulemuste vahe peab jääma vahemikku  $\pm 0,2$  mm. Paagi värvikihi paksus määratakse värvipaksuste mõõtmistega mitte rohkem kui  $0,1$  mm vigadega stangentsirkuliga. [2]

### **2.1.3 Paagi kaldeastme määramine**

Reservi kaldeaste määratakse pikivahe mõõtmistulemuste järgi mahuti seinast kuni lõnganiidini ülemise vöö keskmisel lõigul ja esimese paojaasi kõrgusel koos kaldteega. Kaldeastet saab määrata mõõtmistulemuste järgi, mis näitavad kaugust mahuti seinast kuni küüslauguniidini  $3/4$  esimese vöö kõrguseni, millel on kaldkriips. [2]

### **2.1.4 Surnud maht mõõtmine**

Kus vähegi võimalik, mõõdetakse surnud mahtu põhjustavate objektide gabariitmõõtmed ja nende madalaima ja kõrgeima koha kõrgused mahuti tugipunkti suhtes. Mõõtetulemused registreeritakse ümardamissammuga  $10$  mm. Kui mõõtmisi on füüsiliselt võimatu läbi viia, võetakse surnud mahtu tekitavate objektide mõõtmed ja asukoht mahuti joonistelt. [2]

### **2.1.5 Mahuti baaskõrguse mõõtmine**

$H_b$  mahuti baaskõrgust mõõdetakse vähemalt kaks korda lastiga ruletiga. Kahe mõõtmise tulemuste vahe ei tohi ületada  $2$  mm. [2]

## **2.2 Horisontaalmahutite kalibreerimine geomeetrilise meetodi abil**

### **2.2.1 Horisontaalsed mahutid**

Paagi kontrollimisel mõõdetakse selle lineaarseid mõõtmeid. Iga lineaarse suuruse mõõtmiste arv on vähemalt kaks. Kahe dimensiooni keskmine aritmeetiline on tegelik väärtus. [3]

### **2.2.2 Paagi kaldeastme määramine**

Mahuti kaldeaste määratakse välis- või sisemõõtmiste tulemuste põhjal.

Välismõõtmistel paigaldatakse mahuti tippu vastassuunas kaks millimeetrise mõõtkavaga ja kummitoruga ühendatud veetoru. Veetasemeid mõõdetakse kahes veetorus.

Sisemõõtmistel valatakse mahutisse väike kogus vett ja mõõdetakse kahe millimeetrise mõõtkavaga veetasemeid kahes reservuaari vastassuunalises osas.

Torude vahemaad mõõdetakse mõõteruletiga. Mõõtelindi, torude ja joonlaudade näidud loetakse kuni 1 mm veaga. [3]

### **2.2.3 Paagi telje ebapüsivuse mõõtmised**

Mahuti silindrilisele osale tõmmatakse mõõterulett, kui mahutit moodustav nõgus, siis võetakse selle telje mittesirgjoonelisuse tõttu maksimaalne kaugus moodustava ja ruleti vahel. Kui mahuti moodustab kumeruse, võetakse selle telje ebapüsivuse tõttu pool mahuti ja ruleti otste vahekauguste summast. Moodustava ja ruleti punktide vahekaugust mõõdetakse metallist joonlaua või stangentsirkuliga. [3]

### **2.2.4 Paagi vöö siseläbimõõdu mõõtmised**

Mahuti siseläbimõõdu väärtused määratakse mahuti sisemuse mõõtmistulemuste või vöö välispikkuse ja seina paksuse mõõtmistulemuste järgi. Vöö sisemist diameetrit või übermõõdu pikkust mõõdetakse selle kolmes lõigus: keskmiselt, paremal ja vasakul, mis asuvad keevisõmblustest 50-100 mm kaugusel. Mõõtmisi tehakse vähemalt kaks korda ja kahe mõõtmistulemuse erinevus ei tohi olla suurem kui 1 mm.

Ringjoone pikkust mõõdetakse igas vööloikes vähemalt kaks korda. Kahe mõõtmise tulemuste vahe ei tohi olla suurem kui 3 mm.

Paagi ja põhjade seinapaksused mõõdetakse ultraheli paksusega, mille viga on  $\pm 0.1$  mm või võetakse tööjooniste järgi. Kahe mõõtmise tulemuste vahe ei tohi olla suurem kui 0.1 mm.

Vöö ristlõike ovaalsuse mõõtmiseks mõõdetakse sisediameetri määramisel selle übermõõdu mõõtmistulemuste järgi täiendavalt vöö välisläbimõõtu. Mõõtmisi tehakse igas lõigus vähemalt kaks korda. Kahe mõõtmise tulemuste vahe ei tohi olla suurem kui 2 mm. [3]

### **2.2.5 Vöö pikkuse mõõtmised**

Mahuti vöö pikkus (vahemaa vööde ristumisjoonte vahel), mõõdetakse mõõteruletiga välisküljelt kahel moodustaval vööl. Ruleti näidud loetakse veaga kuni 1 mm. Kahe mõõtmise tulemuste vahe ei tohi olla suurem kui 2 mm. [3]

### **2.2.6 Põhjade punnsuse mõõtmised**

Mahuti põhjad võivad olla kerakujulised või koonusekujulised. Mõõdetakse vahemaid põhja (ees või taga) ristumisjoonest, millel on paagivöö (üleval ja all) kuni joonlauaga ristumisniidini. Näidud loetakse veaga kuni 1 mm. Kahe mõõtmise tulemuste vahe ei tohi olla suurem kui 2 mm. [3]

### **2.2.7 Sisemiste detailide mahtude määramine**

Sisemiste detailide mahud määratakse mõõtmistulemuste järgi, kasutades stangentsirkulit, joonlauda või tööjooniseid, märkides nende asukoha. Keerulise geomeetrilise kujuga sisemisi detaile saab asendada lihtsamate, mahult ja paigutuselt võrdsete detailidega. [3]

### **2.2.8 Mahuti baaskõrguse mõõtmised**

Paagi baaskõrgust mõõdetakse ruletiga vähemalt kaks korda. Kahe mõõtmise tulemuste vahe ei tohi olla suurem kui 2 mm.

Mahuti moodustava kaldeastme, ristlõigete ovaalsuse, tünnikujulisuse ja koonuse mittesirgjoonelisuse mõõtmistulemuste põhjal koostatakse mahuti deformatsioonide loend ning määratakse paagi kontrollimise võimalus geomeetrilise meetodiga. [3]

### **3 HORISONTAALSE SILINDRILISE OBJEKTI KALIBREERIMINE KASUTADES GEOMEETRILIST NING LAERSKANEERIMISE MEETODIT**

Töö praktilise osa tegemise ajal oli autoril koos AS Metrosert esindajatega võimalus teha Avelors Pluss OÜ valmistatud valtsitud tünni kalibreerimine, kontrollida ka ostetud Trimble SX12 skaneerivat tahhomeetrit. Teostasime käsitsi mõõtmised mõõdulindi ja teiste tavapäraste mõõtevahenditega. Mõõdulindi meetod oli meil selle objekti puhul referentsiks. Lisaks teostasime laserskaneeringu mahu hindamiseks. [4]

#### **3.1 Mahu määramine geomeetrilisel meetodil**

Geomeetrilise meetodi rakendamiseks oli valitud valtsitud tsünn 4500 mm diameetril ja 16200 mm kõrgusel. Selle töö tegemiseks oli võtnud järgmised etalonid:

- 1) Mõõdulint, Richter 30 m, id 125
- 2) Laserkaugusmõõtur, Leica Geosystems Disto D2, id 0682615266 (201-81002)
- 3) Mõõtejoonlaud, Horex DIN 866-B, id 140119-01
- 4) Ultraheli paksusmõõtur, SAUTER TN 230-0,01 US, id MT0110071634

Lisask oli kasutatud järgmised abimõõtevahendid:

- 1) Mõõtevõimendi (AST Gruppe AE 703, id 2015501681) ja jõuandur (AST Gruppe KAP-S 100 N, id 2004400)
- 2) Kliimamonitooringu seade, Almemo 2890-9, mõõteplokk H15040066; andurid 15040022; 15040023; 15040024; 15040025; 15040027; 15040028; 15040051
- 3) Ristloodlaser, id 105-13133
- 4) Paksuse etalon (komplekt nr M02, etalon 4 mm)

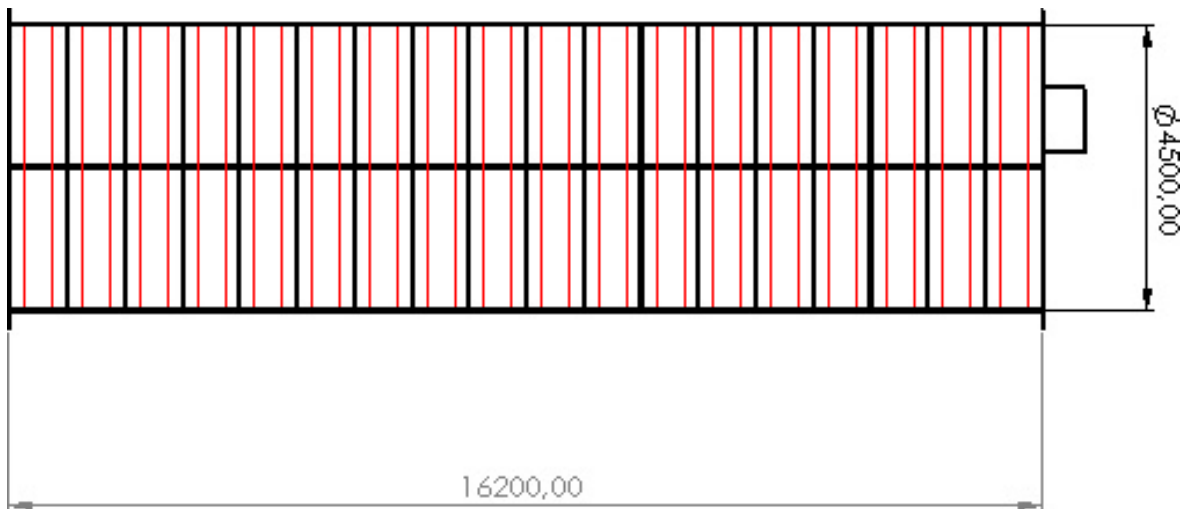
##### **3.1.1 Välisümberrõõrtudee mõõtmine**

Välisümberrõõrtudee mõõtmiseks vajalik kasutada mõõdulinti, mis võimaldab mõõta korraga kogu ümberrõõrtu. Ümberrõõrtu mõõdetakse igal plaadiringil kahel kaugusel umbes 225 mm kaugusel plaadiringi alguspunktist (1/4 plaadiringist) ja umbes 225 mm kaugusel plaadiringi lõpppunktist (3/4 plaadiringist). Mõõdetaval objektil on 18 plaadiringi, ümberrõõrtu mõõdetakse 36-st erinevast kohast. Mõõtmisi korratakse samal kohal kaks korda. [7]

Nõuded mõtmisele:

- 1) Mõõdulint peab olema pidevas kontaktis mahutiga.

- 2) Mõõdulint peab olema mõõtmisel paralleelne mahuti vertikaaltasapinnaga.
- 3) Mõõdulinti pingutatakse mõõtmise ajal mõõdulindil märgitud mõõtejõuga kasutades selleks vastava mõõtepiirkonnaga dünamomeetrit.
- 4) Korratavuse hälve ei tohi olla enam kui 3 mm. Kui mõõtetulemuste korduvuse hälve on suurem, tuleb mõõtmisi korrata ja tulemused registreerida senikaua, kuni kahe järjestikuse mõõtmise mõõtetulemused vastavad nõudele.
- 5) Mõõtmise kordamiseks vabastatakse mõõdulint pinge alt, viiakse uuesti õigele kaugusele ja pingestatakse. Übermõõduna läheb kirja iga mõõtekoha kahe mõõdise aritmeetiline keskmine.

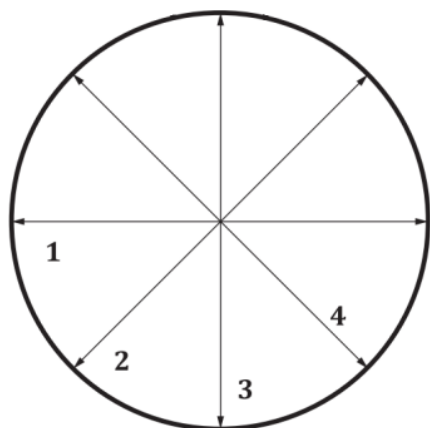


Joonis 3.1.1 Übermõõdu mõõtmine eri kohtadest (punasega märgitud 36 asukohta)



### 3.1.2 Sisediameetri mõõtmine

Kui välisübermõõdude mõõtmine pole võimalik, siis on vajalik mõõta sisediameetreid. Siseübermõõdude mõõtmised tuleb läbi viia tühja mahutiga. Mõõtmisel kasutatakse laserkaugusmõõturit. Kõik mõõtmised teostatakse määratletud kohtades ning mõõdud võetakse neljast punktist, mis on jaotatud ühtlaselt ümber übermõõdu. Saadud nelja mõõtetulemuse keskmine väärtus registreeritakse selle konkreetse plaadiringi konkreetse asukoha läbimõõduna. [7]



Joonis 3.1.2 Ühtlane jaotus ümber übermõõdu

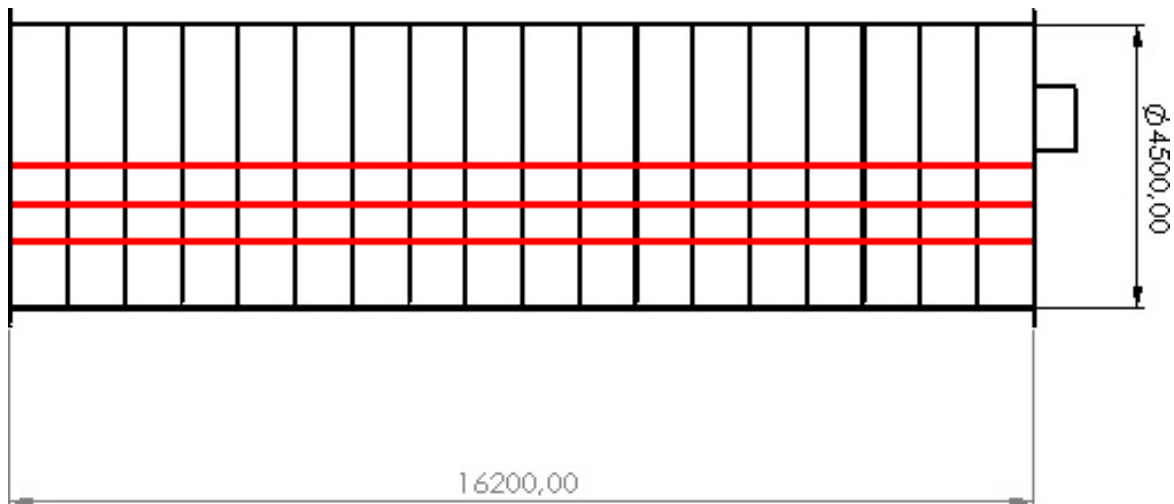
Kuna välisübermõõtude mõõtmine ei olnud võimalus teha, siis oli tehtud sissediameetri mõõtmine. Sissediameetri mõõtmisel saadi järgmised tulemused.

Mahuti diameeter					
Mõõtepunkt, #	Diameeter 1, mm	Diameeter 2, mm	Diameeter 3, mm	Diameeter 4, mm	Aritmeetiline keskmine, mm
13	4437	4446	4453	4450	4446
11	4448	4450	4455	4448	4450
9	4433	4442	4460	4446	4445
7	4397	4439	4455	4442	4433
5	4405	4437	4455	4411	4427
3	4433	4438	4452	4449	4443
1	4442	4438	4451	4448	4444
Mõõtetulemused (min, max), mm					
#	1	2	3	4	
13	4437	4447	4454	4451	
	4436	4445	4451	4448	
11	4448	4456	4456	4448	
	4447	4443	4454	4447	
9	4433	4442	4461	4446	
	4432	4441	4459	4445	
7	4398	4440	4456	4443	
	4395	4438	4454	4441	
5	4408	4437	4456	4414	
	4401	4436	4454	4408	
3	4437	4439	4452	4450	
	4428	4437	4451	4448	
1	4443	4438	4451	4448	
	4441	4437	4450	4447	

Joonis 3.1.3 Mahuti diameetri arvutamine

### 3.1.3 Horontaalse silindrilise osa pikkus

Mahuti silindrilise osa pikkus mõõdetakse laserkaugusmõõtuuri või mõõdulindiga vähemalt kolmest kohast, igast kohast võetakse 2 mõõdist. Mõõdiste erinevus samas kohas mõõtmisel ei tohi erineda 2 mm. Mõõdud võetakse kohtadest kus puuduvad takistused. Silindrilise osa pikkus on mõõdiste aritmeetiline keskmine. [7]



Joonis 3.1.4 Võimalikud kohad silindrilise osa pikkuse mõõtmiseks.

Mahuti silindrilise osa pikkuse arvutamisel saadi järgmised tulemused.

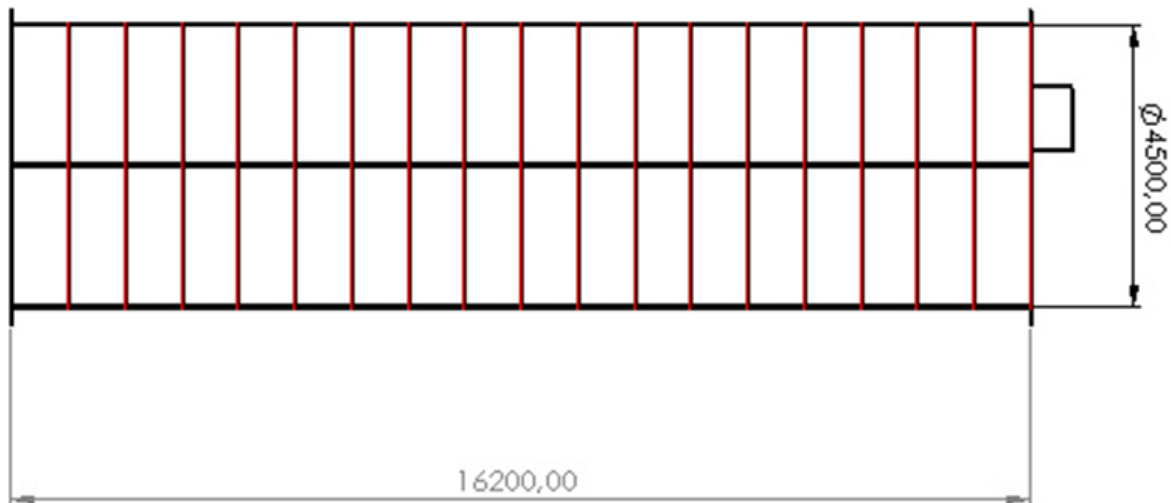
<b>Mahuti silindrilise osa pikkus</b>			
<b>Mõõtepunkt, #</b>	<b>Mõõtetulemus 1, mm</b>	<b>Mõõtetulemus 2, mm</b>	<b>Aritmeetiline keskmine, mm</b>
13	2299	2295	2297
11	4278	4276	4277
10	5325	5320	5323
9	6279	6271	6275
8	7320	7318	7319
7	8282	8263	8273
6	9280	9272	9276
5	10296	10285	10291
4	11293	11269	11281
3	12307	13303	12805
2	13307	13303	13305
1	14315	14312	14314
keevisest keeviseni	16485	16485	16485

Joonis 3.1.5 Mahuti silindrilise osa pikkus arvutamine

### 3.1.4 Plaadiringi laiused

Mõõtmisi võib teha nii seest kui väljast.

Üksikute plaadiringide laius mõõdetakse nende vastavate liitekohtade vahel kahest kohast ja võetakse kahe mõõdise keskmine. Tulemused peavad kokku langema  $\pm 2$  mm tolerantsi piires. Kui tulemused ei lange kokku on vajalik mõõtmisi korrata. Plaadiringi laiuste kogusumma peab kokku langema silindrilise osa pikkusega. [7]



Joonis 3.1.6 Plaadiringi laiused märgitud punasega

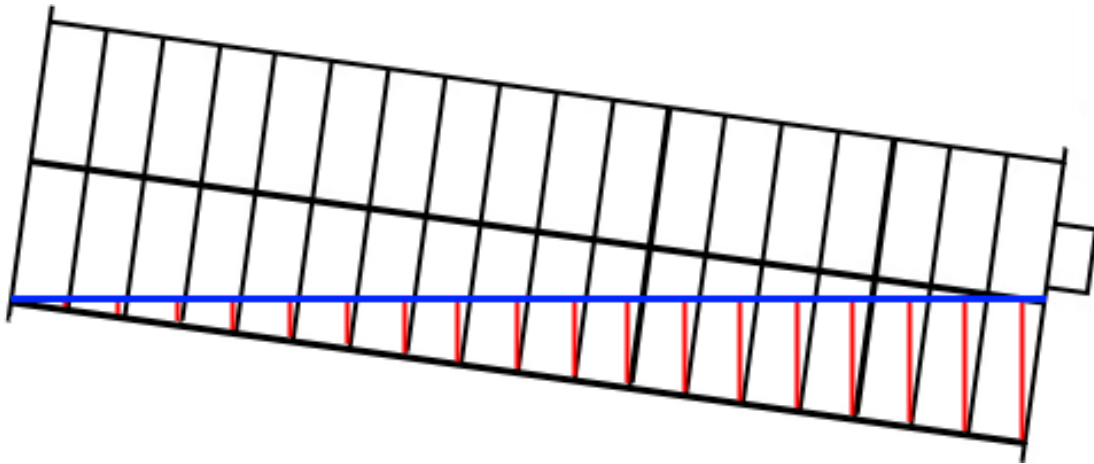
### 3.1.5 Mahuti kale

Kui plaadiringidel on erinevad läbimõõdud ja vertikaalteljed pole rööpsed, siis mõõdetakse ja arvutatakse kalle horisontaalse tugijoone ja mahuti lael ja/või põhjas asuvate punktide vahekauguste mitmel mõõtmistel saadud tulemustest.

Kui punktide asendeid mõõdetakse ainult mahuti ühel poolel, siis kaldenurk arvutatakse sobitatud sirgjoone kaldest.

$$\gamma = \arctan\left(\frac{l}{h}\right) \quad (3.1.1)$$

Kaldest tingitud mõju arvestamine pole vajalik kui mahuti kalle horisontaal- või vertikaalasendist ei ületa 1 mm 1 m kohta. [7]



Joonis 3.1.7 Kaldega mahuti, sinisega märgitud horisontaalne tugijoon, punasega märgitud kõrgus mahuti põhjast tugijooneni

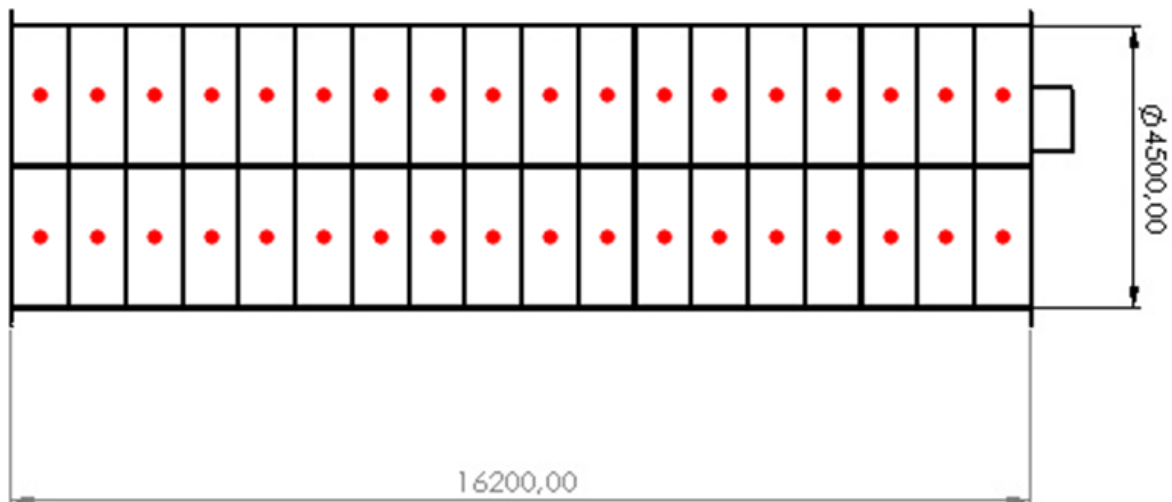
Mahuti kalde arvutamisel saadi järgmised tulemused.

Mahuti kalde arvutamine				
Mõõtepunkti kaugust laserist, mm	Laserkiire kõrgus mahuti seinast, mm	Kõrguse erinevus esimesest punktist, mm	Mahuti kalle, rad	Mahuti kalle, °
1000	320	0	0	-
2000	310	10	0.005	0.29
3000	305	15	0.005	0.29
4000	300	20	0.005	0.29
5000	300	20	0.004	0.23
6000	295	25	0.004	0.24
7000	290	30	0.004	0.25
8000	285	35	0.004	0.25
9000	280	40	0.004	0.25
10000	280	40	0.004	0.23
11000	270	50	0.005	0.26
12000	260	60	0.005	0.29
13000	260	60	0.005	0.26
<b>Aritmeetiline keskmine:</b>				0.26

Joonis 3.1.8 Mahuti kalde arvutamine

### 3.1.6 Plaadi ja värvi paksuse mõõtmine

Mahuti seinaplaatide paksus, värvkatte ja mistahes sisemiste katte paksus mõõdetakse iga plaadiringi jaoks. Plaatide ja värvkatte paksused registreeritakse ümardamissammuga 0,5 mm. Mõõtmiseks kasutatakse ultrahelipaksusmõõturit või saadakse tööjooniselt (sel juhul värvikihi paksus vajalik eraldi mõõta). Iga plaadiringi paksus mõõdetakse kahest punktist, mõõtetulemusena läheb kirja mõõdiste aritmeetiline keskmine. [7]



Joonis 3.1.9 Plaadi seinapaksuse mõõtmine eri kohtadest (punasega märgitud 36 asukohta)

### 3.1.7 Temperatuuri mõju

Kalibreerimisel tuleb arvestada temperatuuri mõju. Mõõdulindi tugitemperatuur on reeglina 20 °C. Mahuti geomeetriliste mõõtmete mõõtmisel on mõõdulindil, mis on lähedases kontaktis mahuti pinnaga, ligikaudu sama temperatuur kui mahutil. Kuivõrd terasest mahuti ja terasest mõõdulindi lineaarpaisumisteguritel on lähedased väärtused, saadakse mõõtetulemuseks maht 20 °C juures. Kui mahu väärtus tuleb esitada mingil teisel temperatuuri väärtusel, siis kasutatakse vastavat teisendusvalemit.

Mõõtmiste alguses ja lõpus mõõdetakse mahuti temperatuur. Temperatuurilugemid tuleb võtta minimaalselt kümnes hästi jaotatud punktis üle mahuti kesta. Mahuti kesta temperatuur arvutatakse nendel mõõtmistel saadud tulemuste keskmisena. [7]

Temperatuuri mõõtmisel saadi järgmised tulemused.

Temperatuuri mõõtmised							Aritmeetiline keskmine, °
Andur #	1	2	3	4	5	6	
Temperatuur (alguses), °	13.5	13.06	13.56	13.29	13.57	13.51	13.42
Temperatuur (keskel), °	14.14	14.04	13.86	14.15	13.63	14.1	13.99
Temperatuur (lõpus), °	14.29	13.82	14.44	14.05	14.27	12.12	13.83

Joonis 3.1.10 Temperatuuri mõõtmised

### 3.1.8 Surnud maht

Kus vähegi võimalik, mõõdetakse surnud mahtu põhjustavate objektide gabariitmõõtmed ja nende madalaima ja kõrgeima koha kõrgused mahuti tugipunkti suhtes. Mõõtetulemused registreeritakse ümardamissammuga 10 mm. Kui mõõtmisi on füüsiliselt võimatu läbi viia, võetakse surnud mahtu tekitavate objektide mõõtmed ja asukoht mahuti joonistelt. [7]

### 3.1.9 Mahu arvutamine

Mahu arvutamiseks kasutan järgmise valemi. [6]

$$V = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times l \times 10^{-9}, \quad (3.1.2)$$

Kus

$D$  – keskmine diameeter;

$l$  – mahuti üldpikkus;

Jooniselt 3.1.3 ja 3.1.5 saadi, et keskmine diameeter 4441 mm ja mahuti üldpikkus 16485 mm.

$$V = 3,14 \times \left(\frac{4441}{2}\right)^2 \times 16485 \times 10^{-9} = 255.220 \text{ m}^3 \quad (3.1.3)$$

Mahu arvutamiseks määramatuse valem. [5,6]

$$u(\bar{V}) = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial D}\right)^2 \times u(D)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial l}\right)^2 \times u(l)^2} = 0,015 \text{ m}^3 \quad (3.1.4)$$



## 3.2 Mahu määramine laserskaneerimisega

Mahu määramisel laserskaneerimisel oli kasutatud järgmine etalonseade:

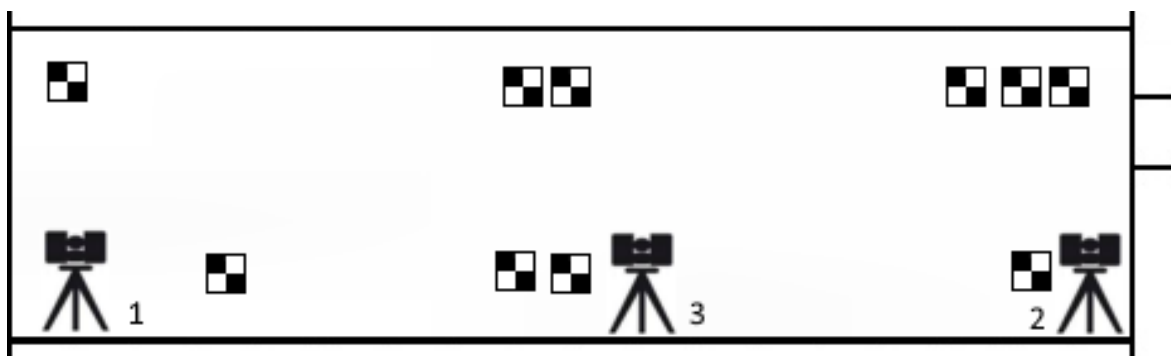
1) Skaneeriv tahhümeeter Trimble SX12 nr 30711637, tarvikute ja tarkvaraga  
Lisaks oli kasutatud järgmised abivahendid:

- 1) Magneetuvad sfäärid
- 2) Musta-valgeruudulised paber sihtmärgid

Kuna mõõteprotsess pole võimalik teha mahuti väljaspoolt, siis skaneerimine oli tehtud mahuti seest.

### 3.2.1 Mõõteprotsess mõõtmisele mahuti seest

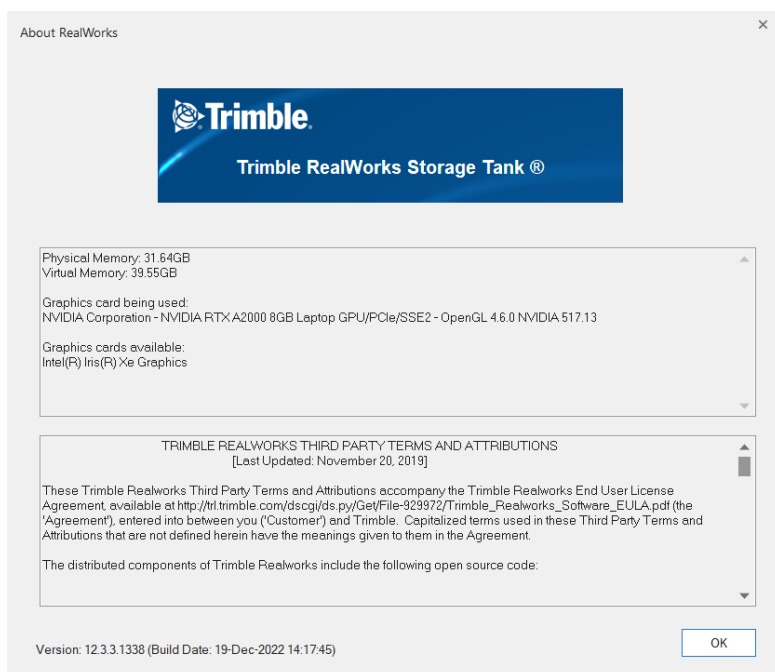
Laserskanner paigutatakse kindlalt mahuti põhja ning seadmega teostatakse ruumi skaneering kasutades skanneri tervet vaatevälja. Skanner paigutatakse vähemalt 3 asukohta (silindrilise osa algus, keskkohat ning lõpp). Vajadusel võib teha skanne ka rohkematest positsioonidest. Enne skaneeringut paigaldatakse mahuti seinale sihtmärgid, mis on nähtavad kõigist asenditest. [7]



Joonis 3.2.1 Skaneerimise asukohad

### 3.2.2 Mahu arvutamine

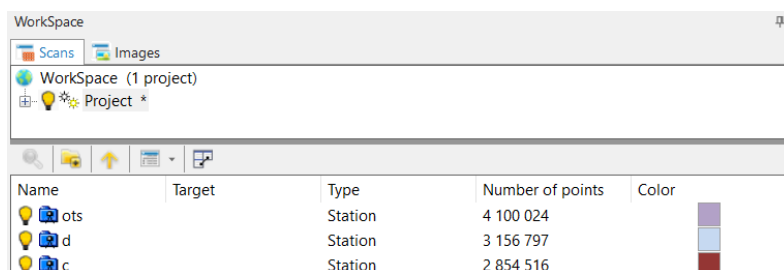
Mahuti maht arvutatakse punktivilve põhjal kasutades Trimble RealWorks Storage Tank Edition tarkvara. Mahust tuleb välja arvestada surnud maht, mis saadakse kas jooniselt või saadud punktivilve andmetest.



Joonis 3.2.2 Kasutatud tarkvara (Trimble RealWorks Storage Tank Version 12.3.3.1338)

Katsepäeval 24.04.2023 teostati mahuti mõõtmiseks 3 skaneeringut, mis nimetati seadme tarkvaras Trimble Access nimedega:

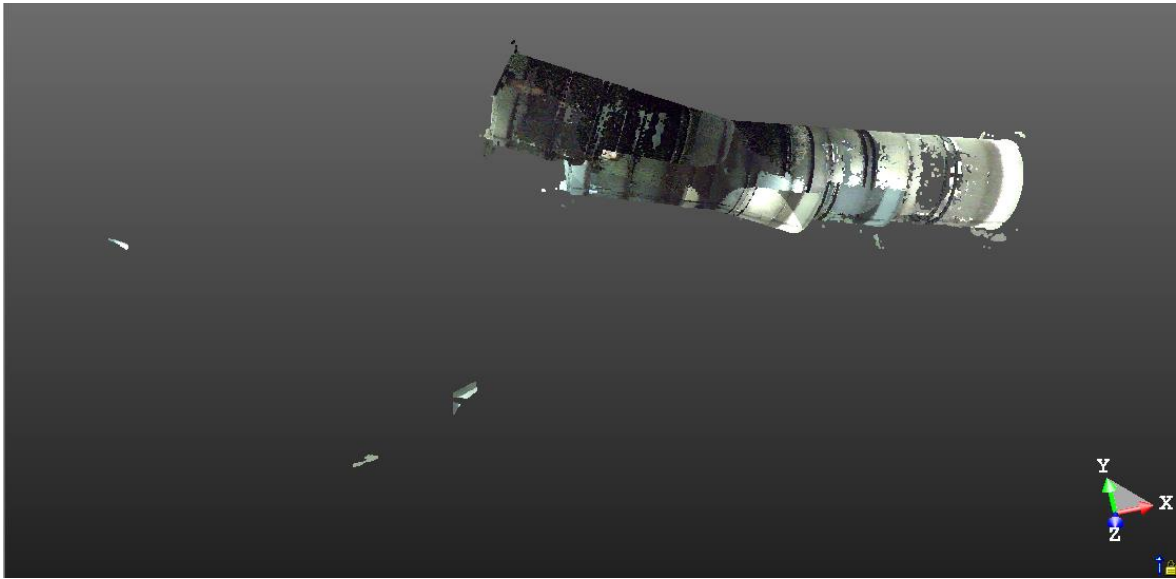
„ots“, „c“ ja „d“.



Name	Target	Type	Number of points	Color
ots		Station	4 100 024	Grey
d		Station	3 156 797	Blue
c		Station	2 854 516	Red

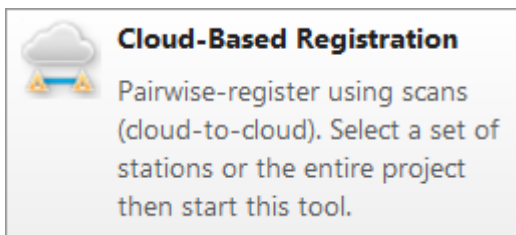
Joonis 3.2.3 Kokkusobitamata skaneeringud „ots“, „c“ ja „d“

Tehtud skannid oli vajalik liita, et saada punktipilvest terviklik kujutis.



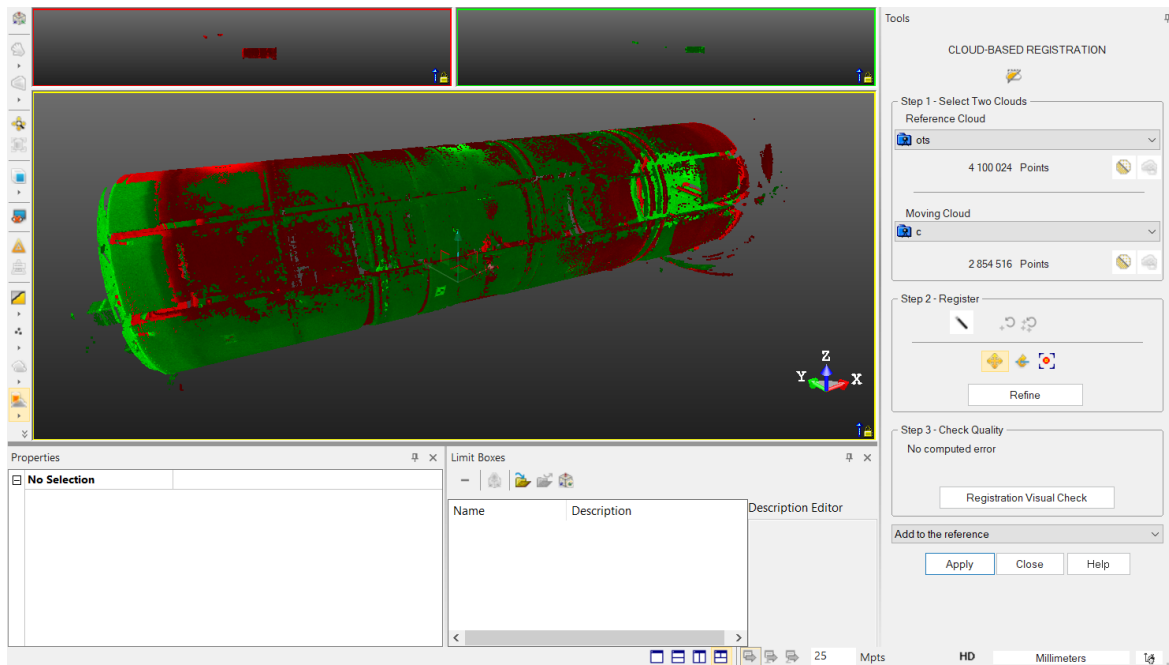
Joonis 3.2.4 Töötlemata punktipilvede asetus tarkvaras

Punktipilvede liitmiseks kasutati tarkvaras *Cloud-Based Registration* funktsiooni. Funktsioon võimaldab punktipilvi omavahel liita, kasutades liitmiseks ühtivaid punkte kahes võrreldavas punktipilves.



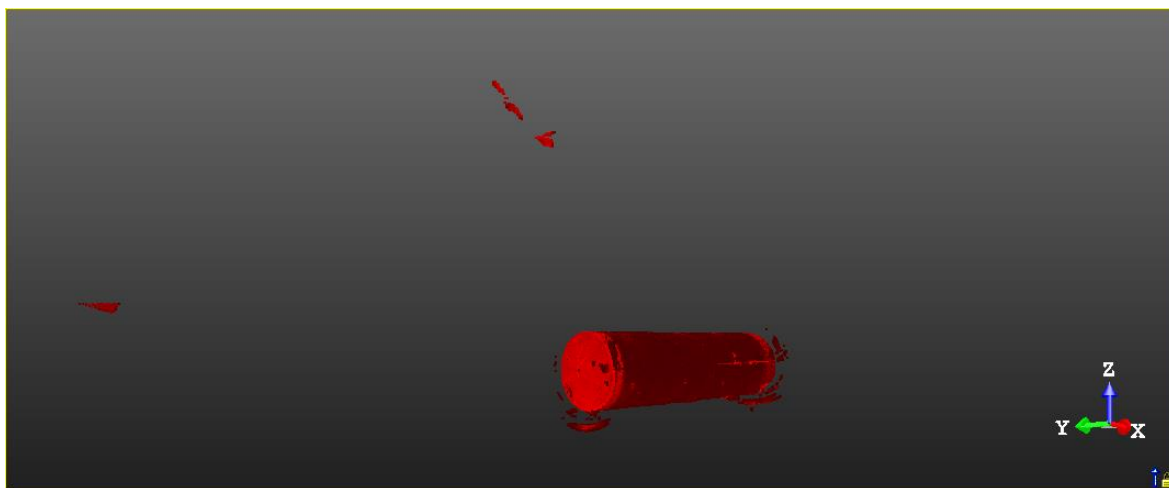
Joonis 3.2.5 Cloud-Based Registration

Funktsiooni kasutamiseks liigutati esimene võrreldav punktipilve paar käsitsi enamvähem paika ning täpsema paigutuse jaoks kasutati *Refine* käsku. Käsk *Refine* otsib ühiseid punkte ning teostab paigutust automaatselt. Tegevust korrati ka kolmanda punktipilve tarbeks.



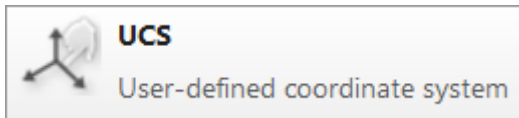
Joonis 3.2.6 Cloud-Based Registration vaade

Pärast punktipilvede liitmist jääb kujutisele ka hulganesti ebavajalikke parasiitpunkte. Parasiitpunktideks on mahuti avadest väljalangenud kiirte poolt jäädvustatud objektid.



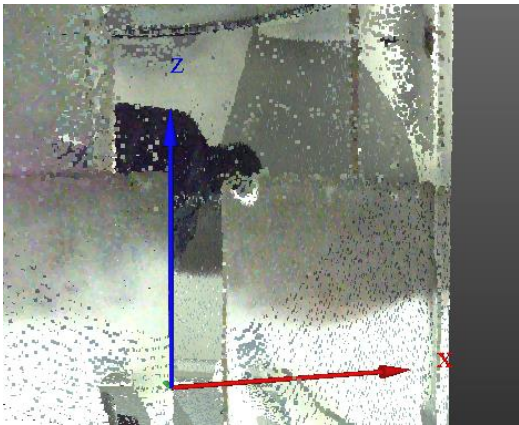
Joonis 3.2.7 Liidetud skannid koos parasiitpunktidega vaadates mahutit väljastpoolt.

Pärast punktipilvede liitmist tuleb objektile märgistada uus koordinaatteljestik kasutades funktsiooni *UCS (User-defined coordinate system)*.



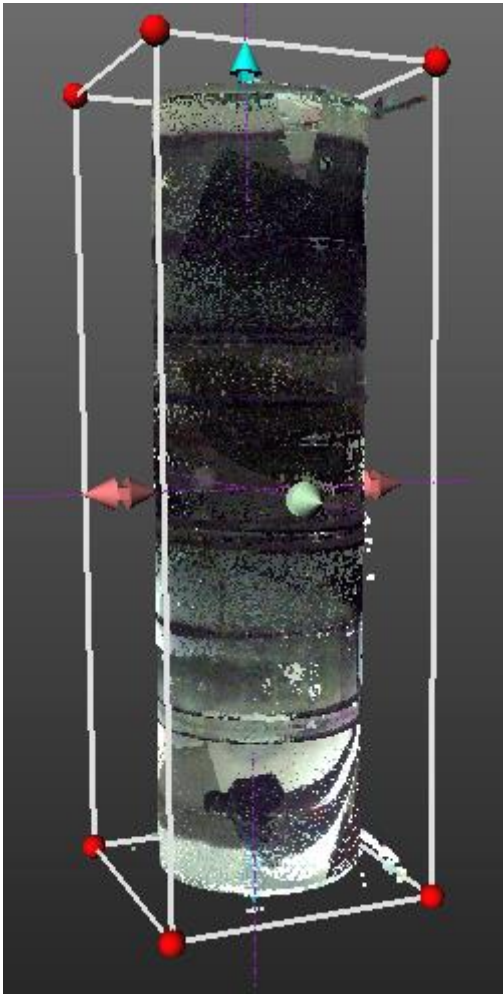
Joonis 3.2.8 UCS

Kuna mahuti mahtu oli plaanis hiljem hinnata käsuga *Vertical Tank Calibration*, siis seati koordinaatteljestik nii, et mahuti z-telg jookseb mahuti silindrilise osaga paralleelselt.



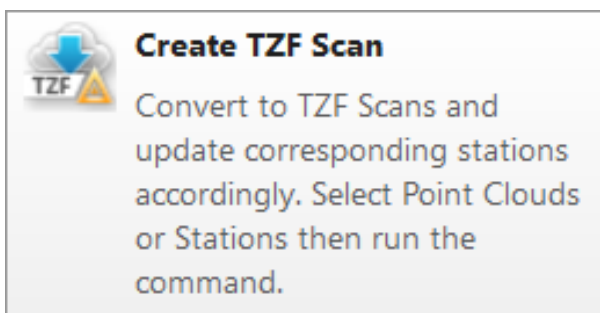
Joonis 3.2.9 Uus koordinaatteljestik

Parasiitpunktide väljalõikamiseks loodi esmalt piirangute kast (*Limit box*).



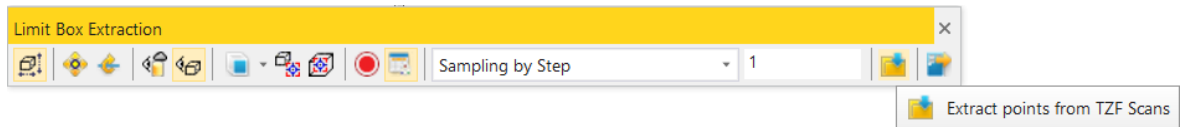
Joonis 3.2.10 Limit box

Et kasutada funktsiooni *Limit Box Extraction* oli vajalik töö muuta *TZF Scan* formaati. Selleks kasutati *Create TZF Scan* funktsiooni.

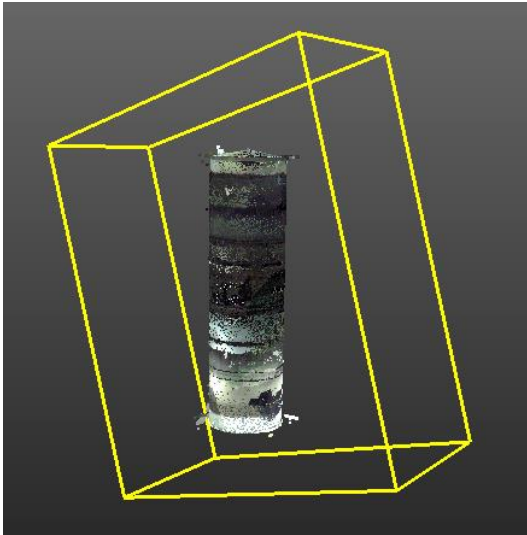


Joonis 3.2.11 Create TZF Scan

Kui töö oli muudetud *TZF Scan formaati*, siis oli võimalik kasutada *Limit Box Extraction* funktsiooni, mis eraldas kõik punktid, mis jäid kasti sisse.

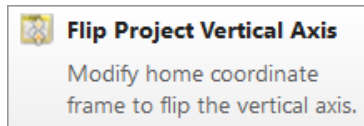


Joonis 3.2.12 Limit Box Extraction



Joonis 3.2.13 Limit Box Extraction funktsiooniga eraldatud punktid

Vaate korrastamiseks kasutati ka *Flip Project Vertical Axis* funktsiooni.

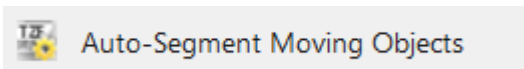


Joonis 3.2.14 Flip Project Vertical Axis



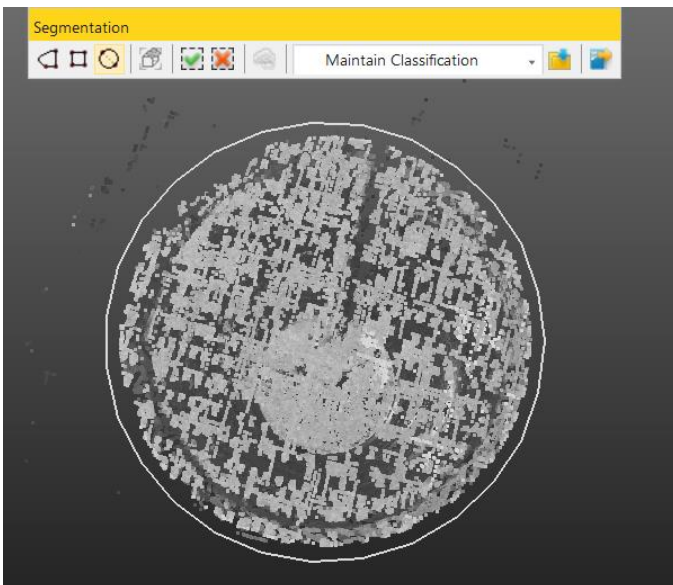
Joonis 3.2.15 Korrastatud vaade ja seda ümbritsev raam

Parasiitpunktide eraldamiseks kasutati veel *Auto-Segment (TZF-Based)* funktsiooni.



Joonis 3.2.16 Auto-Segment Moving Objects

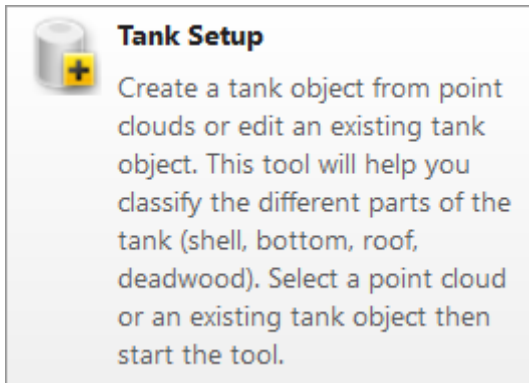
Kasutati ka tavalist käsitsi tehtavat *Segmentation* funktsiooni. Seda funktsiooni kasutati nõnda, et mahuti ümber joonistati ring ning jäeti alles kõik punktid, mis jäid ringi sisse. Käsku korrati erinevates vaadetes, et eemaldada suur osa parasiitpunkte.



Joonis 3.2.17 Segmentation

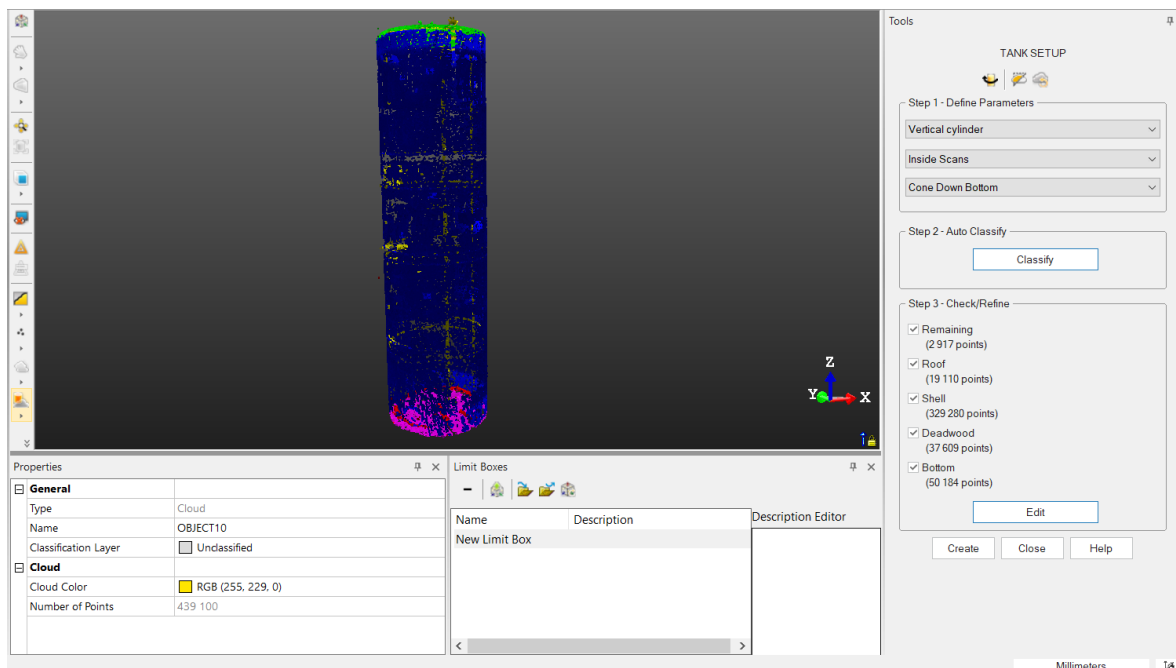


Eraldatud punktide jaoks kasutati käsku *Tank Setup*, mis on vajalik mahuti defineerimiseks.

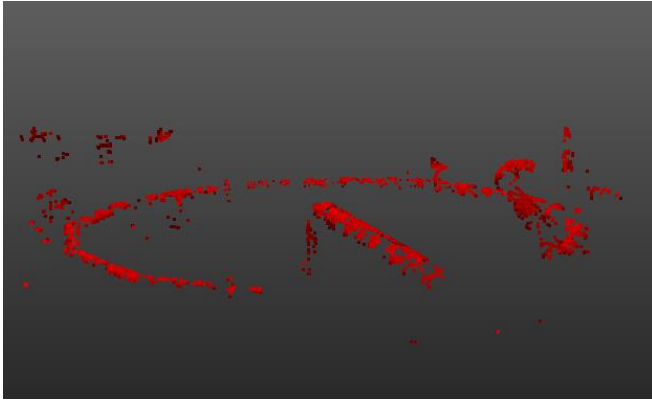


Joonis 3.2.18 Tank Setup

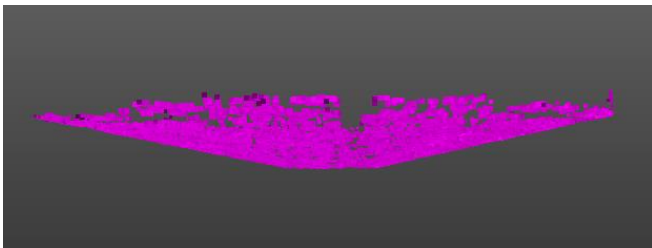
Käsku *Tank Setup* kasutades valiti mahutile iseloomulikud parameetrid. Mõõdetud objekt oli vertikaalne mahuti, mis oli tootmiseks horisontaalses asendis. Skann tehti küll horisontaalselt, aga mahuti defineerimisel oli sobilikum ikkagi vertikaalne mahuti. Skannid tehti mahuti seest ning põhi oli kooniline. Käsku *Classify* vajutades eraldas tarkvara automaatselt kõik mahuti elemendid.



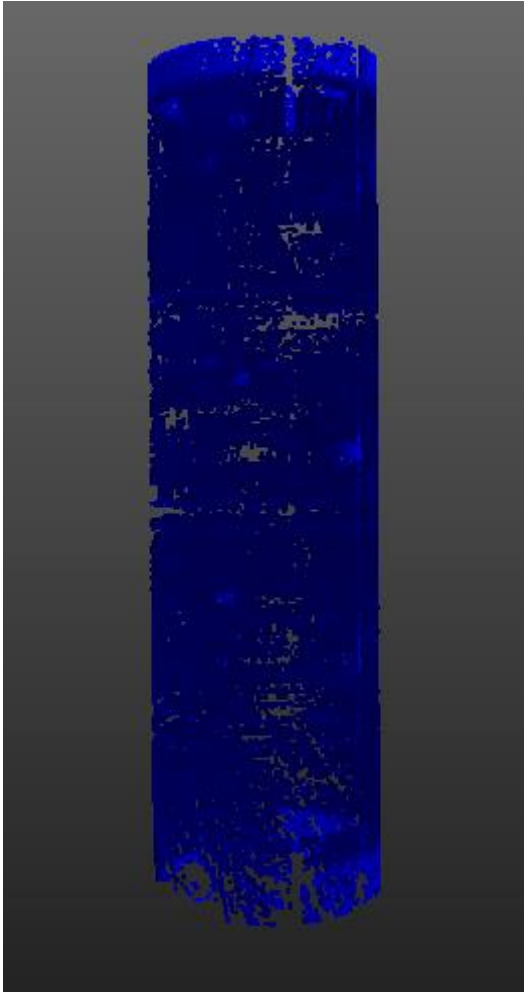
Joonis 3.2.19 Tank Setup



Joonis 3.2.20 Punktid nimega Remaining

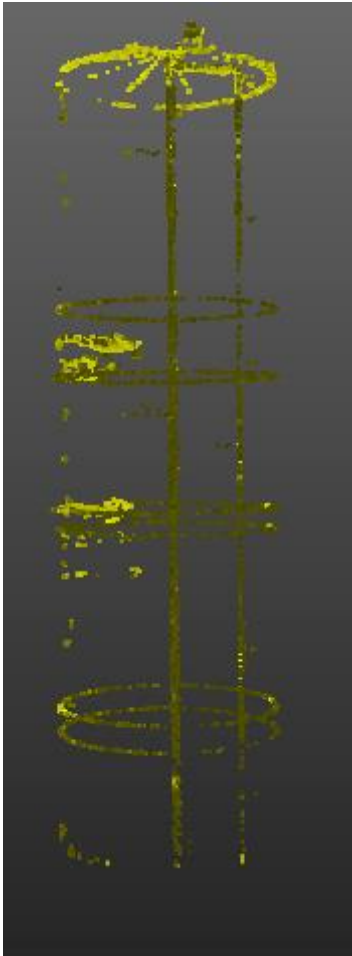


Joonis 3.2.21 Punktid nimega Roof

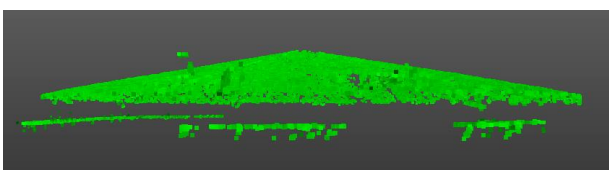


Joonis 3.2.22 Punktid nimega Shell ehk mahuti silindriline osa

Punktid nimega Deadwood ehk surnud maht. Kõik mõõtmiste ajal mahutis olnud inimesed arvestati ka surnud mahu hulka.

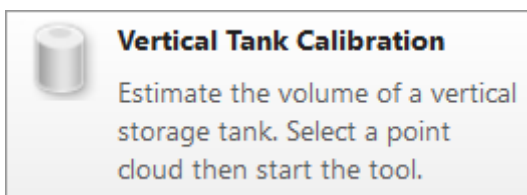


Joonis 3.2.23 Punktid nimega Deadwood ehk surnud maht



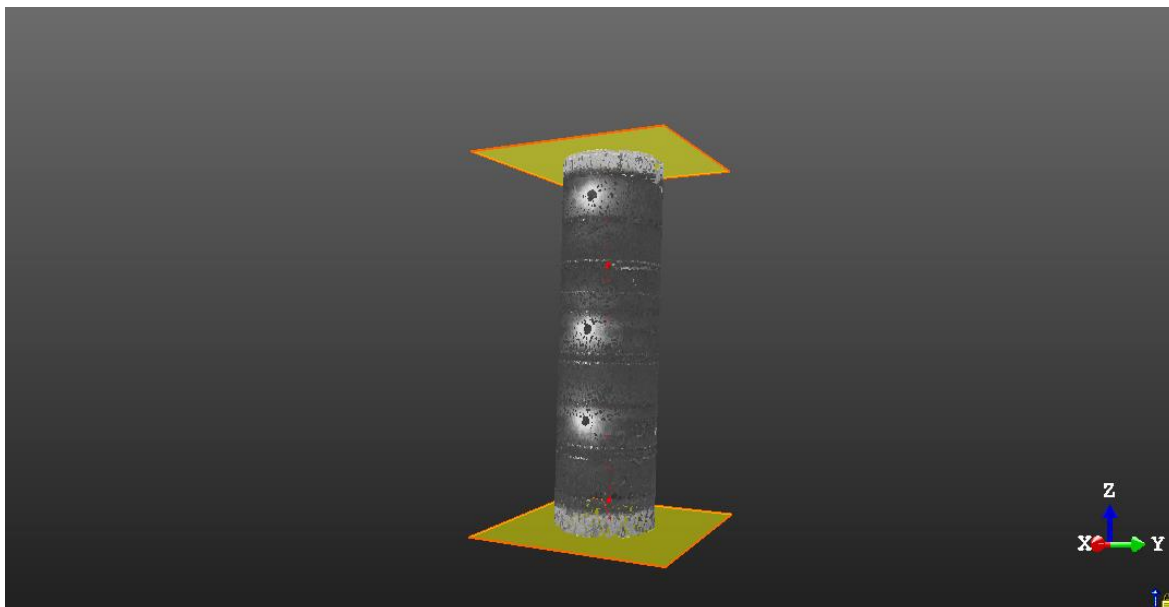
Joonis 3.2.24 Punktid nimega Bottom

Mahuti mahu hindamiseks kasutati tarkvara funktsiooni *Vertical Tank Calibration*



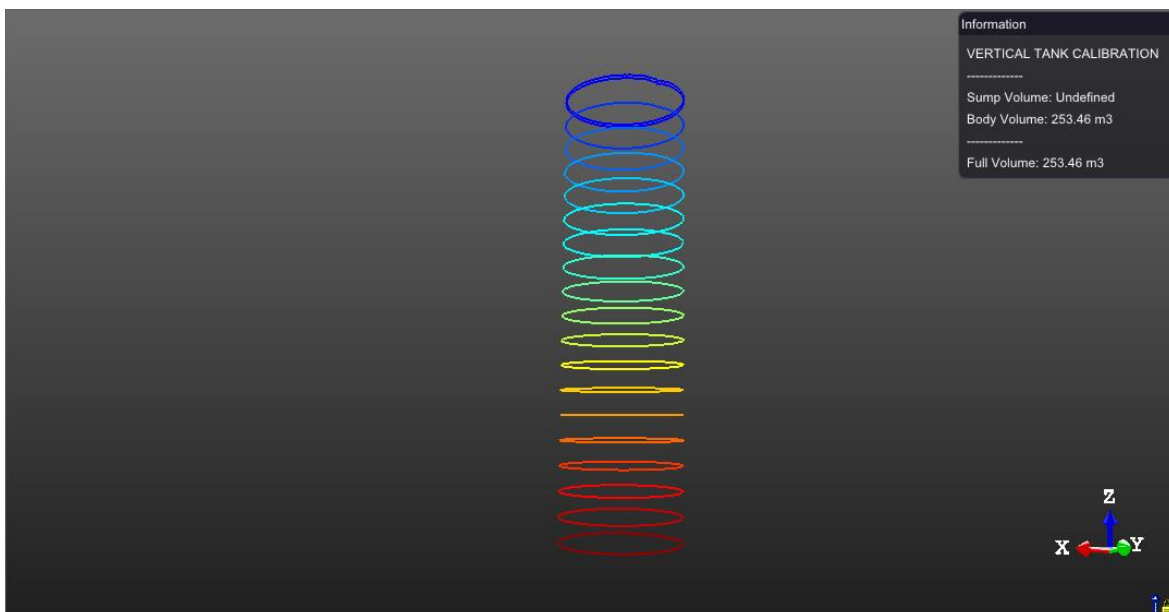
Joonis 3.2.25 Vertical Tank Calibration

Käsku kasutades oli vajalik paika panna 2 tasapinda (ülemine ja alumine) ja määrata, millise sammuga loodakse punktide põhjal *polyline* ringid.



Joonis 3.2.26 Vertical Tank Calibration vaade

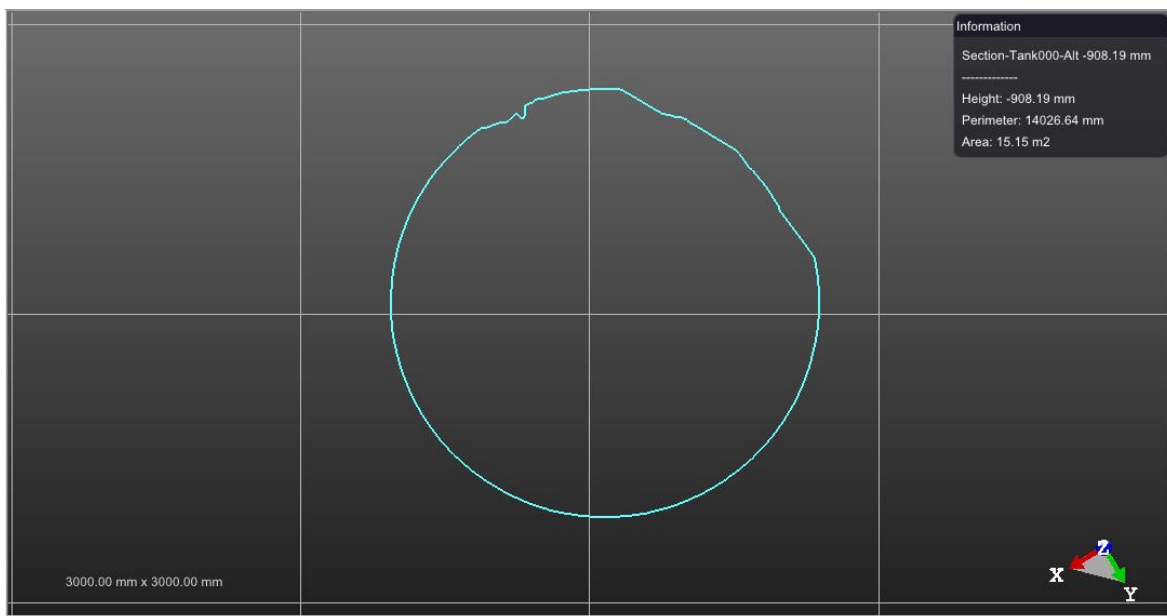
Tasapinnad paigutati silindrilise osa algusesse ning lõppu ning käsku kasutades saadi *polyline* ringid ning mahuti maht.



Joonis 3.2.27 Polyline ringid ning mahuti maht

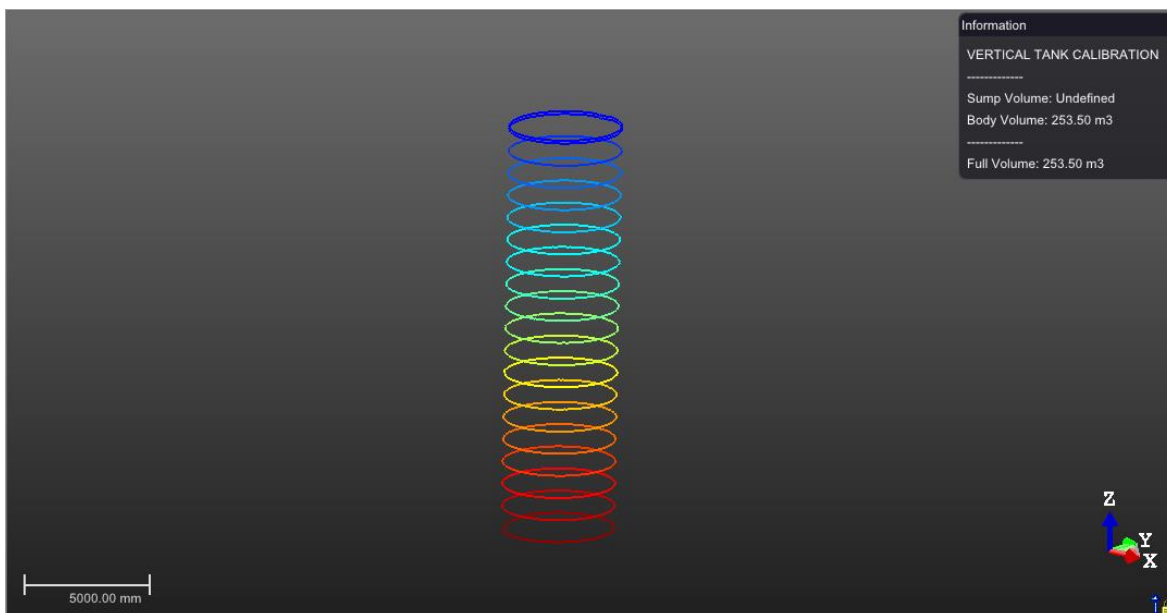
Loodud ringid kontrolliti üle ning vajadusel tehti parandused, mis olid kooskõlas mahuti geometriaga.

Defektne kuju tekkinud puudu jäänud punktidest. Ring asub mahuti sisenemise ava kõrval, kuhu oli paigutatud kilest materjal, mida skaneeriv tahhümeeter ei suutnud jäädvustada.



Joonis 3.2.28 Parandust vajav ring

Pärast parandamist mahuti maht oli  $(253,300 \pm 0,001) \text{ m}^3$ .



Joonis 3.2.29 Parandatud polyline ring

## KOKKUVÕTE

Mõõtmised on oluline osa inimese igapäevaelust. Igal pool esinevad sellised mõõdikud nagu pikkus, maht, kaal ja aeg. Mõõtmise õppimine on peamine nõue igas teadus- ja tehnoloogiavaldkonnas, eelkõige masinaehituses ja tootmises. Ükski tehnikaharu ei saa eksisteerida ilma aktsepteeritud mõõtesüsteemita, mis määrab tehnoloogilised protsessid ja juhtimise ning toodangu kvaliteedi kontrolli. Seetõttu on metroloogia oluline teaduslik-tehniline areng, sest ilma täpsete mõõtmisteta ei ole teaduse areng võimalik.

Lõputöö teemaks oli mahutite kalibreerimine, kasutades geomeetrilist meetodit. Lõputöö eesmärgiks oli kontrollida horisontaalse mahuti kalibreerimise meetodikat, kus võrreldi geomeetrilist meetodit, mis tehti käsitsi mahuti sees laserskaneerimise meetodiga, kui kasutati AS Metrosert poolt ostetud skaneerivat tahheomeetrit Trimble SX12.

Lõputöö kirjutamisel kasutas autor erinevaid standardeid ja juhendeid mõõtmiseks.

Töö alguses kirjeldatakse geomeetrilist meetodit ja selle rakendamist mahutite kalibreerimiseks. Kuna mahutid võivad olla nii horisontaalsed kui ka vertikaalsed, on nende töö käik mõõtmisel erinev, mistõttu autor kirjeldab vertikaalsete ja horisontaalsete mahutite kalibreerimist geomeetrilise meetodiga.

Edasi kirjeldab töö meetodikat, mis on kirjutatud horisontaalse silindrilise mahuti mõõtmiseks kahe meetodi kasutamisel. Võrreldi geomeetrilist meetodit ja laserskanneri meetodit silindrilise mahuti mahu arvutamiseks. Töös kirjeldab autor käsitsi tehtud mõõtmiste käiku ja skaneeriva tahheomeetri kasutamist. Samuti, näitab autor saadud tulemusi, mis on enam-vähem ühesugused, mis tähendab, et meetodid on võrreldavad.

Kokkuvõtteks, võib öelda, et mõlemad kontrollitavad meetodid on võrreldavad ja teadusasutus AS Metrosert võib pakkuda laserskaneerimise teenust skaneeritava tahheomeetri Trimble SX12 kasutamisel teistele ettevõtetele.

## **SUMMARY**

Measurements are an important part of a person's daily life. There are metrics, such as height, volume, weight, and time everywhere. Learning to measure is a key requirement in all fields of science and technology, especially in mechanical engineering and manufacturing. No branch of technology can exist without an accepted measurement system that determines technological processes and management and controls the quality of production. Therefore, metrology is an important scientific and technical development because without accurate measurements scientific development is not possible.

The topic of the thesis was calibration of liquid tanks using a geometrical method. The aim of the thesis was to check the calibration methodology made inside of a horizontal container and compare the geometric method performed manually with the laser scanning method using the Trimble SX12 scanning tacheometer purchased by AS Metrosert.

In writing the diploma work, the author used different standards and instructions for measuring.

At the beginning of the work, the geometrical method and its application to calibrate containers are described. As containers can be both horizontal and vertical, the way they are measured is different, which is why the calibration of vertical and horizontal containers using a geometric method is described.

The work further describes the methodology written to measure a horizontal cylindrical container using two methods. A comparison has been made between the geometrical method and the laser scanner method for calculating the volume of the cylindrical container. In the work, the course of manual measurements and the use of a scanning tacheometer has been described. The results of both methods are almost identical, which proves that both methods can be used interchangeably.

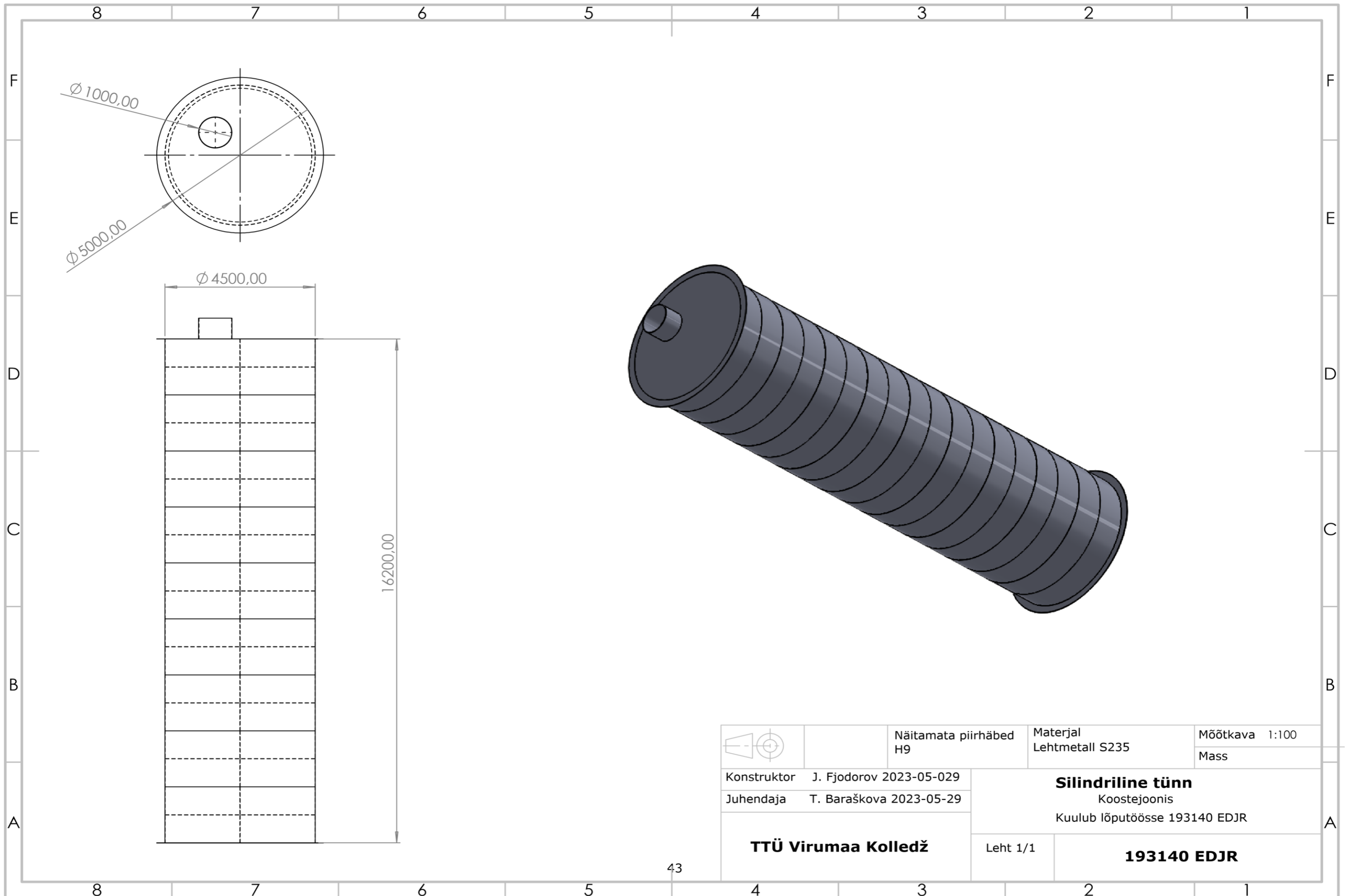
In conclusion, the results of both mentioned methods are comparable, and the laser scanning service using tacheometer Trimble SX12 can be offered to other companies by AS Metrosert.




## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Kalibreerimisjuhend. MSKJ 045 Mahutid. Tallinn: AS Metrosert. 2015, lk 9-10.
2. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические, методика поверки. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 8.570-2000. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 2000, lk 8-12.
3. Резервуары стальные горизонтальные цилиндрические, методика поверки. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 8.346-2000. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 2000, lk 8-10.
4. Trimble SX12. [Online] <https://tunneling.trimble.com/products-and-solutions/trimble-sx12#product-support> (24.05.2023).
5. Kulderknup, E., Laaneots, R., Mathiesen, O., Nanits, M. Mõõtevahendite kalibreerimine. Tallinn: TTÜ, 2000, lk 45-65.
6. Измерительная техника механических величин. Москва: Издательство "ЗНАНИЕ", 1980.
7. Ansip, A. Horisontaalse silindrilise objekti kalibreerimine kasutades geomeetrilist ning laserskaneerimise meetodit. Tallinn: AS Metroert. 2023.

**LISAD**



	Näitamata piirhæbed H9	Materjal Lehtmetsall S235	Mõõtkava 1:100 Mass
	Konstruktor J. Fjodorov 2023-05-029	<b>Silindriline tûnn</b> Koostejoonis Kuulub lõputõõsse 193140 EDJR	
Juhendaja T. Baraškova 2023-05-29	Leht 1/1		
<b>TTÜ Virumaa Kolledž</b>			