



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sami Poola

---

# Laserskannerin hyödyntäminen ruiskuvalutuotteiden laaduntarkkailussa

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK Tekniikka

Sähköautomaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatiotekniikka

Tekijä: Sami Poola

Työn nimi: Laserskannerin hyödyntäminen ruiskuvalutuotteiden laaduntarkkailussa

Ohjaaja: Juha Hirvonen

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 76

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Tässä työssä tutkittiin laserskannerin käyttöä ruiskuvalutuotteiden valmistusvirheiden tunnistuksessa. Työn toimeksiantaja oli MSK Groupiin kuuluva MSK Plast.

Alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää laserskannausta hyödyntämällä, voidaanko tuotteista löytää valuvirheitä, joita ei välttämättä ihmissilmällä havaita, tutkia ovatko insertit paikallaan tuotteissa sekä olisiko mahdollista havaita pinnan niin sanottuja kauneusvirheitä. Työssä päästiin kuitenkin tutkimaan lähinnä vain valuvirheitä ja hieman pinnan kauneusvirheitä.

Työn teoriaosuudessa tutkittiin laserskannauksen ja konenäön eroja sekä perehdyttiin hieman syvemmin laserskannauksen teoreettiseen puoleen. Sen lisäksi käytiin läpi työssä käytetyn laserskannerin Ethernet-käyttöliittymää ja etenkin sieltä löytyneitä työkaluja kappaleiden tutkimiseen.

Työssä todettiin laserskannerin soveltuvan valuvirheiden toteamiseen melko hyvin. Pinnanvirheiden tutkimiseen laserskanneri puolestaan ei sovellu hyvin, jos virheet eivät ole selkeitä pinnan tasosta erottuvia.

<sup>1</sup> Asiasanat: laserskannaus, gocator, käyttöliittymä, resoluutio, laaduntarkkailu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical Automation

Author: Sami Poola

Title of thesis: Using a Laser Scanner to Improve the Quality Control of Injection Molded products

Supervisor: Juha Hirvonen

Year: 2021

Number of pages: 76

---

MSK Plast, which is a part of MSK Group company, was interested in finding out if laser scanning could be used to improve the quality control of their injection molding products. In the beginning the goal was to find out if laser scanning can be used to find casting errors that a human eye might miss on their products, to check if inserts are in place and if it is possible to detect possible errors on the surface of the product. In the thesis it was only possible to inspect the casting errors and some errors on the surface of the product.

The theory part of the thesis focused on the differences between laser scanning and machine vision and aimed to learn a little more about laser scanning in theory. In addition to those the theory part studied the Ethernet user interface of the laser scanner that was used and especially the tools used in the inspection of the parts.

The conclusion of the thesis was that laser scanning can be used quite well to detect casting errors, but it is not so good for detecting errors on the surfaces of the products unless the surface errors are clearly on a different level than the rest of the product.

<sup>1</sup> Keywords: laser scanning, gocator, user interface, resolution, quality control

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	1
Thesis abstract .....	2
SISÄLTÖ .....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	9
1 JOHDANTO .....	10
1.1 Työn tausta .....	10
1.2 Työn tavoite .....	10
1.3 Työn rakenne .....	11
1.4 Yritysesittely .....	11
2 LASERSKANNAUKSESTA .....	12
2.1 Laserskannaus vs. kamerat .....	12
2.1.1 Laserskannerit .....	13
2.1.2 Älykamerat.....	13
2.1.3 Vertailua.....	14
2.2 Laserskannauskonfiguraatioita.....	15
2.2.1 Perinteinen geometria.....	16
2.2.2 Käänteinen geometria.....	17
2.2.3 Peilausgeometria .....	17
2.2.4 Poispäin katsova geometria.....	18
3 LAITTEISTO.....	19
3.1 Gocator 2340A-3R-01 .....	20
3.1.1 Toimintaperiaate .....	24
3.2 Resoluutio ja tarkkuus .....	24
3.2.1 X-resoluutio.....	25
3.2.2 Z-resoluutio.....	25
3.2.3 Z-lineaarisuus .....	26

3.3	Käyttöliittymä.....	27
3.4	Työkalut .....	28
3.4.1	Profile Area .....	28
3.4.2	Profile Bounding Box .....	29
3.4.3	Profile Circle.....	30
3.4.4	Profile Dimension.....	30
3.4.5	Profile Groove .....	31
3.4.6	Profile Intersect.....	32
3.4.7	Profile Line .....	33
3.4.8	Profile Panel.....	34
3.4.9	Profile Position .....	34
3.4.10	Profile Strip .....	36
3.4.11	Surface Bounding Box .....	37
3.4.12	Surface Countersunk Hole.....	39
3.4.13	Surface Ellipse .....	41
3.4.14	Surface Hole .....	43
3.4.15	Surface Opening .....	44
3.4.16	Surface Plane .....	46
3.4.17	Surface Position.....	46
3.4.18	Surface Stud .....	48
3.4.19	Surface Volume .....	50
3.4.20	Script Built-in Functions .....	51
4	KAPPALEIDEN SKANNAUS .....	54
4.1	Kappale 1 .....	54
4.2	Kappale 2 .....	59
4.3	Kappale 3 .....	64
4.4	Kappale 4 .....	70
5	Tulokset ja pohdinta .....	74
	LÄHTEET .....	76

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Kuvassa laserskanneri ja sen alla kulkeva kuljetin ja tämän ohjauspaneeli.....	19
Kuva 2. Gocator 2300 -sarjan laitteen Ethernet-käyttöliittymä (LMI Technologies. 2015)..	27
Kuva 3. Havainnekuva Profile Area -toiminnon toiminnasta (LMI Technologies 2015).....	29
Kuva 4. Havainnekuva Profile Bounding Box -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).....	29
Kuva 5. Havainnekuva Profile Circle -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015). ....	30
Kuva 6. Havainnekuva Profile Distance -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015)..	31
Kuva 7. Havainnekuva Profile Groove -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015)....	31
Kuva 8. Havainnekuva Profile Intersect -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015)..	32
Kuva 9. Havainnekuva Profile Line -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).....	33
Kuva 10. Havainnekuva Profile Panel Gap -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).....	34
Kuva 11. Havainnekuva Profile Panel Flush -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).....	34
Kuva 12. Havainnekuva Profile Position -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).	35
Kuva 13. Havainnekuva Profile Strip -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015). ....	36
Kuva 14. Havainnekuva Surface Bounding Box -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015). ....	38
Kuva 15. Havainnekuva Surface Bounding Box -työkalun toiminnasta kolmeulotteisena (LMI Technologies 2015). ....	39
Kuva 16. Havainnekuva Surface Countersunk Hole -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015).....	40

Kuva 17. Havainnekuva Surface Countersunk Hole -työkalu toiminnasta kolmiulotteisia (LMI Technologies 2015). .....	41
Kuva 18. Havainnekuva Surface Ellipse -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015). .....	42
Kuva 19. Havainnekuva Surface Ellipse -työkalun toiminnasta kolmiulotteisena (LMI Technologies 2015). .....	43
Kuva 20. Havainnekuva Surface Hole -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (vasen) ja kolmiulotteisena (oikea) (LMI Technologies 2015).....	44
Kuva 21. Havainnekuva Surface Opening -työkalun toiminnasta kaksi- (vasen) ja kolmiulotteisena (oikea) (LMI Technologies 2015).....	45
Kuva 22. Havainnekuva Surface Plane -työkalun toiminnasta kaksi - (vasen) ja kolmiulotteisena (oikea) (LMI Technologies 2015).....	46
Kuva 23. Havainnekuva Surface Position -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015). .....	47
Kuva 24. Havainnekuva Surface Position -työkalun toiminnasta kolmiulotteisena (LMI Technologies 2015). .....	48
Kuva 25. Havainnekuva (oikea) Surface Stud -työkalun toiminnasta kaksi- (vasen) ja kolmiulotteisena (oikea) (LMI Technologies 2015).....	49
Kuva 26. Havainnekuva Surface Volume -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015). .....	50
Kuva 27. Havainnekuva Surface Volume -työkalun toiminnasta kolmeulotteisena (LMI Technologies 2015). .....	51
Kuva 28. Havainnekuva Script-työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).....	52
Kuva 29. Havainnekuva Script-työkalun ohjelmoinnista (LMI Technologies 2015). .....	53

Kuva 30. Kuvassa kappale 1. Kuvasta poiketen työssä päädyttiin lopulta käyttämään kappaletta, jossa tiivistettä ei ollut reunoilla. ....	55
Kuva 31. Kappaleen 1:n ongelmakohta havainnollistettuna punaisella viivalla.....	56
Kuva 32. Oikeanlainen kappale hyväksyttynä.....	58
Kuva 33. Huonon kappaleen tunnistus. ....	59
Kuva 34. Kuvassa kappale 2. ....	60
Kuva 35. Kappale 2 oikeassa kuvausasennossa. Samalla myös esimerkkinä viallinen kappale, ongelmakohdat ympyröity punaisilla ympyröillä.....	60
Kuva 36. Kappale 2 ilman Gap filling -ominaisuutta.....	62
Kuva 37. Kappale 2 Gap filling -filtterin läpi ajettuna.....	62
Kuva 38. Esimerkki oikean kappaleen tunnistuksesta. Laatu tekee jostain syystä alareunaan kummallisen ylimääräisen pätkän kappaletta, jota ei ole oikeasti olemassa, mutta skanneri silti tunnistaa kappaleen oikeaksi leveyden perusteella. ....	63
Kuva 39. Kuva hylätystä kappaleesta, jossa reunoista puuttuu selkeästi isot palaset. ....	63
Kuva 40. Kuvassa kappale, jota skanneri ei pystynyt erottelemaan vialliseksi. ....	64
Kuva 41. Kuvassa kappale 3. ....	65
Kuva 42. Kappaleen 3 ongelmakohta havainnollistettuna punaisella neliöllä. ....	66
Kuva 43. Oikea kappale 3 ilman alustaa.....	67
Kuva 44. Kappale 3 korkeammalla alustalla. ....	68
Kuva 45. Kappale 3 matalammalla alustalla ensimmäisillä arvoilla. ....	69
Kuva 46. Kappale 3 muokatuilla arvoilla ympyrän muotoisen aluskappaleen kanssa.....	70
Kuva 47. Esimerkki kappaleesta 4. Kuvassa myös punaisella rajattu ongelmakohta, jota yritettiin tunnistaa.....	71



Kuva 48. Ensimmäinen edes hieman selkeä kuva, joka kappaleesta 4 saatiin.....	72
Kuva 49. Kappale 4 hieman paremmalla kuvanlaadulla. ....	72
Kuvio 1 Tässä 4 yleisimmin käytettyä skannausjärjestelmää (Latimer 2015). ....	16
Kuvio 2. Kuvaus laserskannerista (LMI Technologies 2015). ....	21
Kuvio 3. Gocator 2300 -sarjan mallien teknisiä ominaisuuksia (LMI Technologies. 2015).	23
Kuvio 4. Laserskannerin toimintaperiaatetta kuvaavia kuvia. (LMI Technologies 2015, Principles of 3D acquisition).....	24
Kuvio 5. Havainnekuva X-resoluutiosta (LMI Technologies. 2015).....	25
Kuvio 6. Havainnekuva Z-resoluutiosta (LMI Technologies. 2015).....	26
Kuvio 7. Havainnekuva Z-lineaarisuudesta (LMI Technologies. 2015). ....	26
Kuvio 8. Havainnekuva Tilt-ominaisuuden toiminnasta Profile Strip -työkalua käytettäessä (LMI Technologies 2015). ....	37
Kuvio 9. Havainnekuva Surface Opening -työkalun tunnistamista aukkotyypeistä (LMI Technologies 2015). ....	45
Kuvio 10. Havainnekuva Surface Stud -työkalun määrittämisestä (LMI Technologies 2015).....	49
Taulukko 1. Yleiskatsausvertailu neljän yleisimmin käytetyistä laserskannausgeometrioista (Latimer 2015).....	16
Taulukko 2. Gocator 2300 -malliston tekniset tiedot. Käytössä oleva malli ympäröity punaisella. (LMI Technologies. 2015). ....	22

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Insertti</b>	Muottiin asetettava osa, joka valetaan osaksi muovituotetta. Esimerkiksi mutteri, joka on kiinteä osa tuotetta.
<b>Saturaatio</b>	Kuvauksessa saturaatio on vääristymätyyppi, jossa tallennettu kuva on rajoitettu johonkin maksimiarvoon, mikä häiritsee kirkkaimpien kohtien mittauksessa.
<b>Ylisaturaatio</b>	Ylisaturaatio on efekti, jossa yksittäisen pikselin varaus leviää ympäröiviin pikseleihin ja korruptoi kuvan.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tällä hetkellä yrityksessä ruiskuvalettujen tuotteiden laatu, esimerkiksi tuotteiden täyttö ja inserttien olemassaolo, tarkistetaan silmämääräisesti, joten on suuri riski, että hyvin pienet virheet jäävät huomaamatta valmistusvaiheessa, jolloin virheellinen tuote tai erä tuotteita saattaa päätyä asiakkaalle asti. Automaatiotekniikkaa hyödyntämällä voitaisiin eliminoida inhimilliset virheet, jotka tuottavat yritykselle tappiota kalliiden reklamaatioiden muodossa.

Ruiskupuristus eli ruiskuvalu on yksi monipuolisimmista ja samalla yleisimmistä valmistustekniikoista, kun raaka-aineena on muovi (MSK Group, [viitattu 20.4.2021]).

Kun kappalemäärät ovat suuria, hyödynnetään muovin ruiskuvalua. Ruiskuvaluvalmistuksessa optimaalinen kappalemäärä on tuhansista jopa miljooniin kappaleisiin vuodessa. Kappalekoot vaihtelevat MSK Plastin ruiskuvalussa normaalisti grammoista muutamiin kiloihin. (MSK Group, [viitattu 20.4.2021].)

Ruiskuvalutekniikalla pystytään toteuttamaan laajasti eri kokoisia ja muotoisia muoviosia. Ruiskuvalutekniikan hyödyntäminen mahdollistaa monipuolisen tuotevalikoiman, johon on mahdollisuus sisällyttää myös teknisesti hyvin vaativia osia. MSK Plast valmistaa tällä hetkellä jopa enemmän kuin kahtatuhatta erilaista muoviosaa. (MSK Group, [viitattu 20.4.2021].)

## 1.2 Työn tavoite

Työssä tavoitteena on selvittää soveltuisiko laserskanneri parantamaan yrityksen laadunvalvontaa. Lisäksi yrityksen tavoitteena on pienentää kalliiden reklamaatioiden aiheuttamia kuluja, jotka johtuvat inhimillisen virheen seurauksena asiakkaille toimitetuista virheellisistä tuotteista.

### 1.3 Työn rakenne

Luvussa 2 käsitellään laserskannausta teoreettisemmasta näkökulmasta. Luku käsittelee laserskannauksen periaatteet ja vertailee sitä muihin konenäkötekniikoihin. Luvussa 3 käydään läpi käytettävää laitteistoa ja laserskannerin käyttöliittymää. Luku 4 on käytännön osuus. Siinä esitellään testikappaleet, joiden laatuvirheiden etsintään laserskanneria työssä käytettiin, kappaleisiin ja virheenetsintään liittyneet ongelmat, onnistumiset ja mahdolliset epäonnistumiset. Luku 5 sisältää pohdintaa tuloksiin liittyen sekä yhteenvedon.

### 1.4 Yritysesittely

MSK Plastilla on muovituotteiden valmistamisesta lähes viidenkymmenen vuoden kokemus ruiskuvalutekniikkaa hyödyntäen. Muoviosat, jotka räätälöidään asiakastarpeen mukaan, optimoidaan asiakkaan kanssa yhdessä. MSK Plast valmistaa ruiskuvalettuja muovituotteita erityisesti teollisuuden sovelluksiin. (MSK Group, [viitattu 14.1.2021].)

MSK Plast on osa MSK Group-konsernia, joka työllistää yli 800 ihmistä kansainvälisesti (MSK Group, [viitattu 14.1.2021]).

## 2 LASERSKANNAUKSESTA

Laserskannerit, joista usein käytetään myös nimitystä profiilisensori, käyttävät laserkolmiomittausperiaatetta kaksiulotteisen profiilin havaitsemiseen. Lasersäde suurennetaan erikoislinssillä staattisen laserviivan muotoon ja heijastetaan kohteen pinnalle. Optinen järjestelmä heijastaa laserviivan hajaheijastuneen valon todella herkälle sensorimatriisille. Etäisyystiedon (Z-akseli) lisäksi käyttämällä kameran ottamaa kuvaa saadaan laskettua sijainti laserviivaa (X-akseli) pitkin. Mitatut arvot tulostetaan sitten kaksiulotteiseen koordinaattijärjestelmään, joka on kiinteä anturin suhteen. Liikkuvien kappaleiden tai kulkevien tunnistimien tapauksissa on mahdollista saada kolmeulotteisia mittausarvoja. (Micro-Epsilon, [viitattu 1.6.2021].)

Laserskanneri soveltuu lukemattomien materiaalien tunnistukseen. Esimerkkeinä mainittakoon metalli, puu, muovi sekä kumi. Myös teollisuuden erilaisia käyttökohteita on todella paljon. Esimerkkeinä tästä ovat ajoneuvo- ja liikenneteollisuus, mekaaninen- ja elektroninen insinööryö sekä metallin prosessointi. (Micro-Epsilon, [viitattu 2.6.2021].)

### 2.1 Laserskannaus vs. kamerat

Suurena erona laserskannauksen ja älykameroiden välillä on valon tarve. Laserskannerit tuottavat itse tarvitsemansa valon ja soveltuvat näin ollen toimimaan jopa pimeissä tiloissa, kun taas kamerat ja älykamerat vaativat optimaalisen valaistuksen parhaan tuloksen saavuttamiseen. Heijastuva valo voi häiritä älykameran kuvaa, kun taas laserskannerilla ei samankaltaisia ongelmia pitäisi ilmetä. Älykameran edut puolestaan tulevat esiin, kun kohteesta etsitään vaikkapa värejä tai tekstiä. Laserskanneri tunnistaa vain kohteen pinnan muodot, joten värejä sillä ei pysty tunnistamaan. Myöskään tekstiä ei pysty laserskannerilla tunnistamaan. (Olache 2018.)

Laserskannerit ja älykamerat ovat kaksi eri tuotetta, eri teknologioilla, joilla on kuitenkin jonkin verran päällekkäisyyksiä käyttökohteissa. Tästä syystä voi olla haasteellista päätellä, kumpi olisi parempi valinta käyttökohteeseen. (Olache 2018.)

### 2.1.1 Laserskannerit

Laserskannerit mittaavat etäisyyden kohteeseen sen pinnan heijastaman lasersäteen avulla. Tämä säde on skannerin näkökenttä ja se voi mitata monien pisteiden korkeuksia luoden kohteen pinnan ääriviivat. (Olache 2018.)

Laserskannerit käyttävät kolmiomittausta kohteen etäisyydenmittaukseen. Skanneri lähettää lasersäteen, joka osuu kohteeseen ja heijastuu takaisin skanneriin. Tämän jälkeen säde kulkee linssin läpi ja lopulta osuu sensorimatriisiin. Määrittämällä, mihin laser osuu sensorimatriisissa, pystyy skanneri määrittämään etäisyyden kohteeseen useissa kohdissa, jolloin se pystyy kartoittamaan kohteen profiilin. Tiedyt algoritmit ohjelmistossa pystyvät poimimaan erilaisia profiilin ominaisuuksia. Nämä voivat sisältää kohteen reunat, maksimikorkeuden, minimikorkeuden ja niin edelleen. Erilaiset laserskannerit sisältävät erilaisia sisäänrakennettuja algoritmeja. Jotkut on tehty havaitsemaan pyöreän mallisia kohteita, toiset taas havaitsemaan reunoja ja toiset mittaamaan suurinta erotusta etäisyyksissä. (Olache 2018.)

### 2.1.2 Älykamerat

Älykamera on konenäköjärjestelmä, jossa on sisäänrakennettu prosessori. Älykameroita kutsutaan joskus näkösensoreiksi. Se on itsenäinen yksikkö, joka kykenee sekä kuvanottoon että sen prosessointiin. Älykamera suunniteltiin vähentämään perinteisen tietokonepohjaisen konenäköjärjestelmän monimutkaisuutta, jossa kamerat ottavat kuvia ja lähettävät ne tietokoneelle prosessoitavaksi. Tyypillisessä älykamerassa valaistus, linssit ja prosessointi sisältyvät kaikki kamerakokonaisuuteen. Tämä tekee siitä yksinkertaisemman. (Olache 2018.)

Älykameran kuvanotto perustuu samaan teknologiaan kuin minkä tahansa digikameran. Linssi kokoaa kohteesta tulevan valon ja keskittää sen kameran kennolle. Kenno koostuu valoherkistä neliömäisistä elementeistä, joita kutsutaan pikseleiksi. Riippuen valon määrästä tuloskuvan pikselit saavat arvon väliltä 0–255, nollan ollessa täysin musta ja 255 täysin valkoinen. Kun kuva on muodostettu, älykamera pystyy prosessoimaan kuvaa erilaisilla työkaluilla. Älykamera pystyy esimerkiksi etsimään ennakkoon opetettuja kuvioita, testaamaan kirkkauden keskiarvoa tietyltä alueelta kuvasta tai mittaamaan etäisyyttä

alueelta toiseen. Kuten laserskannereissa, myös älykameronissa on sisäänrakennettuja ohjelmistoja. Älykamerassa ohjelmisto rakennetaan kameraan (Olache 2018.)

### 2.1.3 Vertailua

Jos kuvasta halutaan saada korkeus mitattua, on laserskanneri parempi vaihtoehto. Älykameralla ei pysty mittaamaan korkeutta, koska kameran korkeutta ei pystytä määrittämään kuvasta. Lisäksi jos kohteiden etäisyydet vaihtelevat, ei konenäköjärjestelmä pysty huomioimaan tätä muutosta, vaan kuva näkyy isompana tai pienempänä etäisyyden muuttuessa. Laserskannereissa mittauskyky on sisäänrakennettuna (Olache 2018.)

Leveyttä mitatessa jotkin sovellukset voidaan ratkaista käyttämällä joko älykameraa tai laserskanneria. Tapausten tunnistamiseen on olemassa muutama hyvä sääntö. Ensimmäinen sääntö on, että kohde esiintyy älykameralle tai laserskannerille kiinteällä etäisyydellä. Toinen sääntö on, että kohde on aina samassa asennossa ja säännöllisesti kulkee laserskannerin näkökentän läpi. Laserskanneri ei pysty etsimään osia, se pystyy vain näkemään sen mitä kulkee suoraan lasersäteen läpi. Mikäli nämä toteutuvat, on laserskanneri parempi vaihtoehto. (Olache 2018.)

Jos tunnistettavat kappaleet eivät saavu skannerille tasaisesti, esimerkiksi kuljettimella, ei laserskanneri pysty mittaamaan oikeanlaisia leveyksiä ja etäisyyksiä, kun taas älykamera pystyy ottamaan kuvan ja paikallistamaan kappaleen, jonka jälkeen se voi käyttää mittaustyökalua oikeisiin paikkoihin. Toinen etu kameralla on, että se tarjoaa paljon vapaamman kiinnityksen. Kamera voidaan sijoittaa lähemmäs tai kauemmas erilaisten linssien avulla. Laserskannereilla on rajallinen maksimietäisyys, jonka lisäksi skanneri vaatii kohteen tietyn etäisyyden päähän itsestään, koska suoraan skannerin edessä on sokeita pisteitä, eli skanneri ei pysty tunnistamaan kappaleita, jos ne ovat liian lähellä laitetta. Jos kiinnitysetäisyydet aiheuttavat ongelmaa, on älykameralla enemmän vaihtoehtoja. (Olache 2018.)

Tapauksessa, jossa kohde on esimerkiksi lasinen putki, jonka sisältä pitäisi mitata mäntää, on laserskannerilla mahdollista mitata vain lasiputken profiilia, kun taas älykameralla voidaan nähdä putken läpi ja mitata mäntää sen sisältä. Tämä on yhtenä esimerkkinä

tapauksesta, jossa käyttökohteesta tulee liian monimutkainen laserskannerille ja älykameran käyttö on suositeltavaa. Toinen esimerkki laserskannerille monimutkaisesta käyttökohteesta on kappale, jolle pitäisi tehdä useita erilaisia tutkimuksia. Älykamera tarjoaa mahdollisuuden käyttää useita työkaluja yhteen kuvaan, kun taas voidaan tarvita useita laserskannereita, jotta saadaan toteutettua samat tutkimukset. Jokainen käyttökohde, jossa etsitään koodia tai luetaan tekstiä, on mahdottomuus laserskannerille ja vaatii siis älykameran. (Olace 2018.)

Lopputuloksena voidaan todeta, että sekä laserskannerit että älykamerat ovat erittäin tehokkaita ja hyödyllisiä tuotteita, jotka voivat ratkaista laaja-alaisesti erilaisia ongelmia. Osan pystyy ratkaisemaan molemmilla, mutta yleisesti laserskannerit ovat helpompia käyttää ja tyypillisesti hinnaltaan samankaltaisia. Nämä ovat pääsyyinä siihen, että kannattaa valita laserskanneri, mikäli mahdollista. (Olace 2018.)

## **2.2 Laserskannauskonfiguraatioita**

Lasersäteen heijastamiseen käytettäviä järjestelmiä pystytään käyttämään monella eri tavalla, joista jokaisella on omat yksilölliset ominaisuudet, hyödyt ja haitat (Latimer 2015).

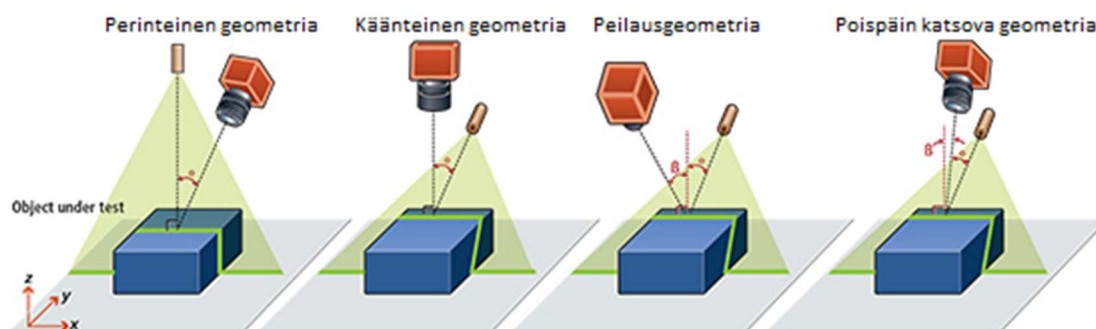
On toki olemassa monia erilaisia tapoja konfiguroida 3D-laserskanneri, mutta tyypillisesti kaikki ovat jonkinlaisia variaatioita neljästä yleisimmin käytetystä geometriasta. Erilaiset metodit tyypillisesti perivät perusominaisuudet siitä geometriasta, jota on käytetty pohjana erilaiseen järjestelmään. (Latimer 2015.)

Tässä esitellään neljä yleisimmin käytettyjen järjestelmien geometriaa.



Taulukko 1. Yleiskatsausvertailu neljän yleisimmin käytetyistä laserskannausgeometrioista (Latimer 2015).

	Perinteinen geometria	Käänteinen geometria	Peilausgeometria	Poispäin katsova geometria
Suurin hyöty	Laskennallisesti yksinkertainen	Kasvatettu korkeuden resoluutio	Hyödyllinen tummien kappaleiden tunnistuksessa	Tarjoaa suurimman mittausrésoluution
Suurin rajoite	Vaatii suuren linssin syvyyden	Laskennallisesti monimutkainen	Peilimäiset heijastukset voivat aiheuttaa mittausvirheitä	Jonkin verran katvealueita
Ensisijainen käyttö	Yleispätevä	Suurta tarkkuutta vaativat käyttökohteet	Tummanväristen kappaleiden tai todella karkeapintaisten kohteiden tunnistaminen	Korkean heijastavuuden omaavien kohteiden tunnistaminen (esim. lasi, metalli, tms.)



Kuvio 1 Tässä 4 yleisimmin käytettyä skannausjärjestelmää (Latimer 2015).

### 2.2.1 Perinteinen geometria

Perinteinen geometria on kaikkein yleisimmin käytetty metodi. Siinä lasersäde heijastetaan kohtisuoraan mitattavalle pinnalle. Tämän konfiguraation tärkein ominaisuus on, että kohteen korkeudenvaihtelut heijastetussa säteessä eivät aiheuta muutoksia Y-akselin arvoihin. Tämä yksinkertaistaa myöhemmin tehtäviä laskuja, joita tarvitaan, jotta saadaan kohteen muoto selvitettyä. Tästä johtuen järjestelmä on nopeampi, tarkempi ja helpompi kalibroida asennuksen aikana. (Latimer 2015.)

Yksi perinteisen geometrian haitoista on, että kamera tai valoanturi katsovat kohteeseen osuvaa lasersädettä kulmassa. Tämä lisää kentän syvyyttä, johon kameran tai valoanturin pitää mukautua keskittymisen ylläpitämiseksi, kun kohteen korkeus vaihtelee. Tämä myös tarkoittaa, että linssi joutuu käyttämään suurempaa suurennusta, kun kohteen pituus, ja sen seurauksena kohteen etäisyys linssistä muuttuu. Tämän takia testikappale on kalibroitava, jotta saadaan tarkkoja mittaustuloksia järjestelmästä. (Latimer 2015.)

Tällä skannausgeometrialla on myös mahdollisuus katvealueisiin. Erityisesti aina kun kamera tai valoanturi katsovat kohdetta mistä tahansa muusta kulmasta, kuin kohtisuoraan tutkittavasta pinnasta, jäävät jotkin osat säteestä kameran näkökentän ulkopuolelle, koska mikään kohde ei ole täysin litteä. Tästä aiheutuu luonnollisesti suunnittelukompromissi, koska korkeuden mittauksen resoluutio kasvaa kameran kulman kasvaessa, kasvaa myös mahdollisuus katvealueille. (Latimer 2015.)

### **2.2.2 Käänteinen geometria**

Vaihtamalla laserlähteen ja kameran tai valoanturin paikkoja, saadaan käänteinen geometria. Tällä asetuksella saadaan parempi korkeuden resoluutio perinteiseen geometriaan verrattuna, koska epäsuora kulma laservaloon tarkoittaa, että muutos kohteen korkeudessa aiheuttaa suuremman siirtymän lasersäteiden sijainnissa. (Latimer 2015.)

Käänteistä geometriaa käyttäessä muutos kohteen korkeudessa aiheuttaa muutoksia Y-akselin arvoissa, tehden tulosten tulkitsemisesta vaikeampaa. Tästä syystä käänteinen geometria on hyödyllisin tasomaisten kappaleiden tunnistuksessa. (Latimer 2015.)

### **2.2.3 Peilausgeometria**

Peilausgeometrijärjestelmissä molemmat sekä laserlähde että kamera ovat samankaltaisessa epänormaalissa kulmassa tasoon nähden. Kun sekä heijastus että katselu ovat kulmassa, tarjoaa tämä paremman korkeusresoluution verrattuna perinteiseen ja käänteiseen geometriaan. Tässä järjestelmässä on kuitenkin mahdollisuus siihen, että kamera tai valoanturi saa peilimäisiä, tai lähes peilimäisiä, heijastuksia suoraan

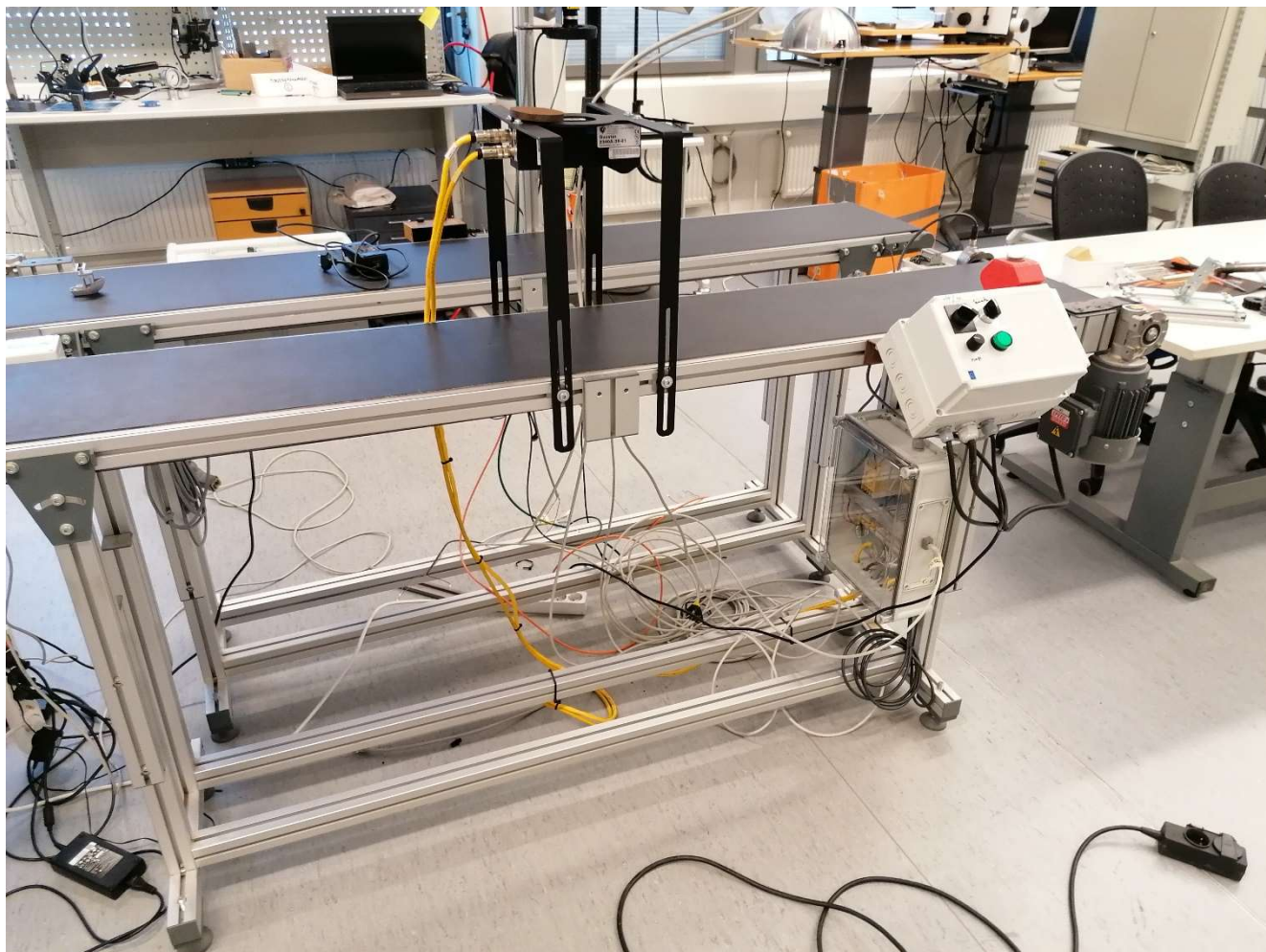
laserlähteestä. Tämä voi aiheuttaa mittausvirheitä, jos nämä heijastukset aiheuttavat saturaatiota tai ylisaturaatiota tunnistimessa. (Latimer 2015.) Saturaatio tarkoittaa sitä vääristymää, kun tallennetun kuvan maksimiarvo häiritsee kirkkaiden alueiden mittauksia (Hasinoff 2012). Ylisaturaatiolla tarkoitetaan efektiä, jossa pikselin varaus leviää ympäröiville pikseleille ja näin ollen korruptoi kuvan (Alper 2017). Toisaalta korkeampaa heijastusta pystytään hyödyntämään signaalitasojen kasvattamiseen tummansävyisistä kohteista, koska tummat sävyt heijastavat vähemmän valoa, jonka vuoksi mittaussignaali on matalampi, toisin sanoen tunnistimella on vähemmän valoa mitattavaksi. (Latimer 2015.)

Myös peilausgeometrian tapauksessa kappaleen korkeuden muutos aiheuttaa muutoksia Y-akselin arvoissa, hankaloittaen tulosten tulkitsemista. Tästä syystä tätä järjestelmää käytetään yleisimmin tasomaisien kappaleiden tunnistuksessa. Myös kameran tai valoanturin epäsuora kulma aiheuttaa toisinaan jonkin verran katvealueita. (Latimer 2015.)

#### **2.2.4 Poispäin katsova geometria**

Poispäin katsovan geometrian järjestelmässä sekä laserlähde että kamera tai valoanturi on sijoitettuna samalle puolelle kohtisuorasta pisteestä kohteeseen nähden. Tämä laskee huomattavasti peilimäisten heijastusten riskiä, jos kappale ei ole erittäin karkeapintainen. Toisaalta tämä myös laskee korkeusresoluutiota, koska kameran tai valoanturin näkymä on niin samanlainen kuin laserlähteen. Myös jonkinlaisten katvealueiden mahdollisuus on olemassa. (Latimer 2015.)

### 3 LAITTEISTO



Kuva 1. Kuvassa laserskanneri ja sen alla kulkeva kuljetin ja tämän ohjauspaneeli.

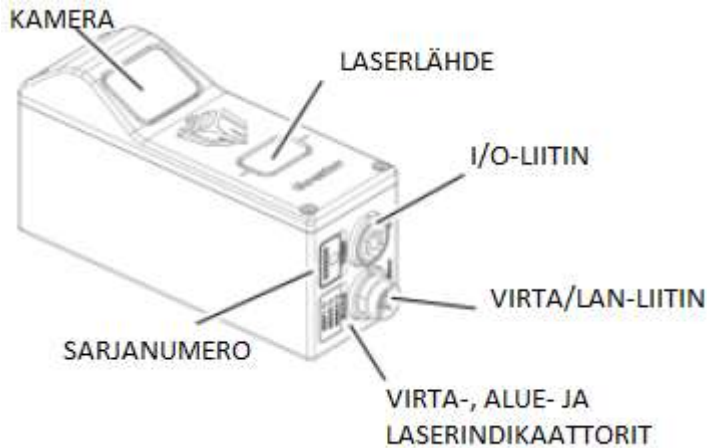
Työssä käytettävä laserskanneri oli LMI Technologiesin valmistama Gocator 2340A-3R-01 vuodelta 2013. Laserskannerin muodostamaa kolmiulotteista profiilia tutkittiin siihen kytketyn kannettavan tietokoneen avulla. Tietokoneella käytettiin laserskannerin omaa käyttöliittymää, jolla pystyi kontrolloimaan itse skanneria ja määrittelemään, mitä osaa kappaleesta laserskannerilla tutkitaan ja mitä menetelmää laserskanneri tähän tutkimiseen käyttää. Käyttöliittymän kautta pystyttiin luomaan kappaleesta malli, jonka perusteella laserskanneri tunnistaa kyseisen kappaleen ja paikoittaa sen, eli jos kappale ei tule aina samassa orientaatioissa skannerille, skanneri osaa itse korjata orientaation vertailua varten.

Käyttöliittymästä löytyy myös useita erilaisia ohjelmia, joilla voi löytää virheitä skannattavista kappaleista. Käyttöliittymästä oli myös mahdollista valita, tutkitaanko kappaleen pintaa vai profiilia. Molemmille oli erilaisia valmiita sisäänrakennettuja työkaluja, joita pystyttiin

hyödyntämään, kun skannattavasta kappaleesta oli luotu profiili. Eli kun kappaleesta saatiin riittävän hyvä kuva, voitiin skannaukseen sijoittaa työkalu, jolla tutkittiin sen oikeanlaisuutta. Tämän työn kappaleet olivat sellaisia, että työssä käytettiin pinnan tutkimiseen tarkoitettuja menetelmiä. Laserskanneri oli kytkettynä osaksi kuljetushihnaa, jonka moottoria ohjattiin taajuusmuuntajalla ja hihnan ohjauspaneelissa oli säätönappi nopeuden säätämiseksi.

### **3.1 Gocator 2340A-3R-01**

Laserskannerin resoluutio on suoraan kytköksissä kuvan tarkkuuteen. On myös tärkeää tietää käytetyn laitteen välysetäisyys, mittausalue sekä näkökenttä. Välysetäisyydellä tarkoitetaan minimietäisyyttä, jonka päässä kuvattavan kohteen tulee sijaita (LMI Technologies 2015). Jos kohde on lähempänä, ei siitä saada luotettavaa dataa. Mittausalueella tarkoitetaan pystysuoraa etäisyyttä, se alkaa siitä, mihin välysetäisyys loppuu (LMI Technologies 2015). Mittausalue siis nimensä mukaisesti kuvaa aluetta, jolta kuvattua dataa saadaan. Mikäli kohteen sijainti on yli mittausalueen, ei siitä saada luotettavaa dataa. Näkökentällä tarkoitetaan aluetta, joka on mittausalueella X-akselin leveydellä (LMI Technologies 2015). Kauempana skannerista näkökenttä on suurempi, mutta X- ja Z-resoluutiot ovat pienempiä ja lähellä skanneria taas näkökenttä on pienempi, mutta X-resoluutio on suurempi. Lineaarisuus kertoo kohteen oikean etäisyyden ja mitatun etäisyyden erosta. Laserskannerin toistokyvyllä tarkoitetaan sen kykyä pystyä antamaan samat tulokset samasta kappaleesta (LMI Technologies 2015). Laserluokilla tarkoitetaan laserin turvaluokituksia. Esimerkiksi käytetystä laitteesta löytyi tunnus 3R, joka kehottaa välttämään suoraa katsetta laserlähteeseen.



Kuvio 2. Kuvaus laserskannerista (LMI Technologies 2015).

Luettelo käytetyn laserskannerin sisältämistä osista. (LMI Technologies 2015).

- Kamera: Tarkkailee laservaloa, joka heijastuu kohteen pinnasta.
- Laserlähde: Lähettää laserprofilointiin sopivaa valoa.
- I/O-liitin: Vastaanottaa tulo- ja lähtösignaaleja.
- Virta/LAN-liitin: Vastaanottaa virran ja laserin turvasignaalit ja liittää 1000Mbit/s Ethernet-verkkoon.
- Virran indikaattori: Valo palaa, kun virta tulee laitteelle (sininen).
- Alueindikaattori: Valo palaa, kun kamera tunnistaa laservalon ja se on kohdealueella (vihreä).
- Laserindikaattori: Valo palaa, kun laserin turvatulo on aktiivinen (keltainen).
- Sarjanumero: skannerin sarjanumero.

Taulukko 2. Gocator 2300 -malliston tekniset tiedot. Käytössä oleva malli ympäröity punaisella. (LMI Technologies. 2015).

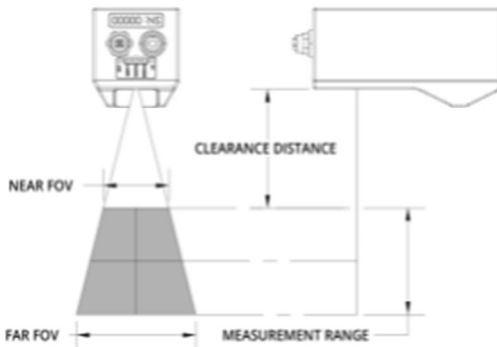
MODEL	2320	2330	2340	2350	2370	2375	2380
Data Points / Profile	1280	1280	1280	1280	1280	1280	1280
Linearity Z (+/- % of MR)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.04
Resolution Z (mm)	0.0018 - 0.0030	0.006 - 0.014	0.013 - 0.037	0.019 - 0.060	0.055 - 0.200	0.154 - 0.56	0.092 - 0.488
Resolution X (mm) (Profile Data Interval)	0.014 - 0.021	0.044 - 0.075	0.095 - 0.170	0.150 - 0.300	0.275 - 0.550	0.27 - 0.80	0.375 - 1.100
Repeatability Z ( $\mu$ m)	0.4	0.8	1.2	2	8	N/A	12
Clearance Distance (CD) (mm)	40	90	190	300	400	650	350
Measurement Range (MR) (mm)	25	80	210	400	500	1350	800
Field of View (FOV) (mm)	18 - 26	47 - 85	96 - 194	158 - 365	308 - 687	345 - 1028	390 - 1260
Recommended Laser Class	2M	2M	3R	3R	3B	3B-N	3B
Other Laser Classes	3R	3R, 3B	3B	3B			
Dimensions (mm)	35x120x149.5	49x75x142	49x75x197	49x75x272	49x75x272	49x75x272	49x75x272
Weight (kg)	0.8	0.74	0.94	1.3	1.3	1.3	1.3

Luettelo Gocator 2340 -mallin teknisistä tiedoista. (LMI Technologies. 2015).

- Datapisteet/Profili: 1280
- Lineaarisuus Z: 0,01
- Resoluutio Z (mm): 0,013–0,037
- Resoluutio X (mm): 0,095–0,170
- Toistokyky Z ( $\mu$ m): 1,2
- Välysetäisyys (mm): 190
- Mittausalue (mm): 210
- Näkökenttä (mm): 96–194
- Suositeltu laserluokka: 3R
- Muut laserluokat: 3B
- Mitat (mm): 49x75x197
- Paino (kg): 0,94

## ALL 2300 SERIES MODELS

Scan Rate	Approx. 170Hz to 5000 Hz
Interface	Gigabit Ethernet
Inputs	Differential Encoder, Laser Safety Enable, Trigger
Outputs	2x Digital output, RS-485 Serial (115 kBaud), 1x Analog Output (4 - 20 mA)
Input Voltage (Power)	+24 to +48 VDC (13 Watts); RIPPLE +/- 10%
Housing	Gasketed aluminum enclosure, IP67
Operating Temp.	0 to 50° C
Storage Temp.	-30 to 70° C



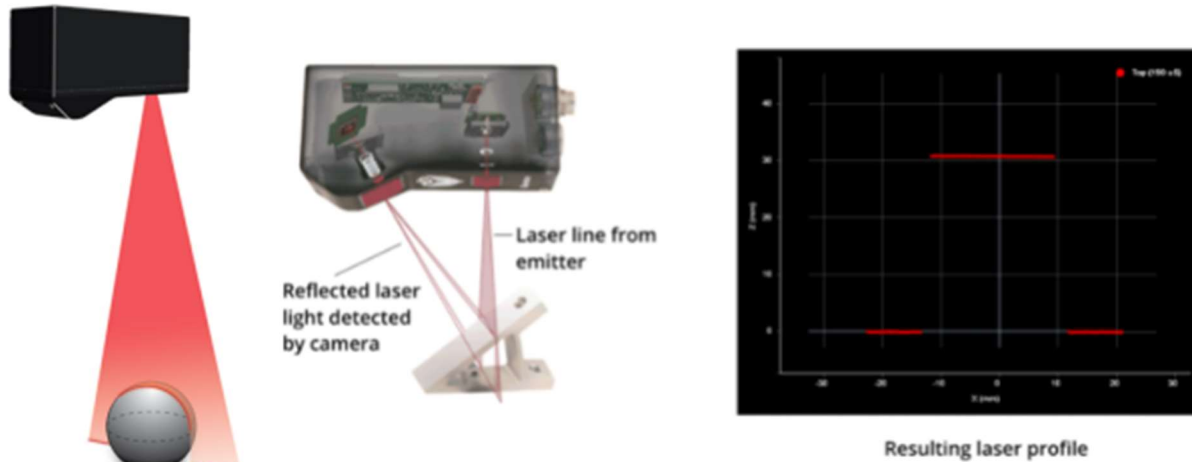
Kuvio 3. Gocator 2300 -sarjan mallien teknisiä ominaisuuksia (LMI Technologies. 2015).

Luettelo Gocator 2300 -sarjan mallien teknisistä ominaisuuksista (LMI Technologies. 2015).

- Skannaustajuus: Arviolta 170Hz–5000Hz.
- Käyttöliittymä: Gigabittinen Ethernet-käyttöliittymä.
- Tulot: Differentiaaliasentoanturi, Laserturvan käyttöönotto, laukaisija.
- Ulostulot: kaksi digitaalista ulostuloa, RS-485-sarja (115 kBaud), yksi analoginen ulostulo (4–20mA).
- Syöttöjännite (virta): +24 – +48 V vaihtovirtaa (13 W); aaltoilu +/- 10%.
- Kotelointi: Tiivistetty alumiinikotelo, IP67.
- Toimintalämpötila: 0–50 celsiusastetta.
- Varastointilämpötila: -30 – +70 celsiusastetta.



### 3.1.1 Toimintaperiaate



Kuvio 4. Laserskannerin toimintaperiaatetta kuvaavia kuvia. (LMI Technologies 2015).

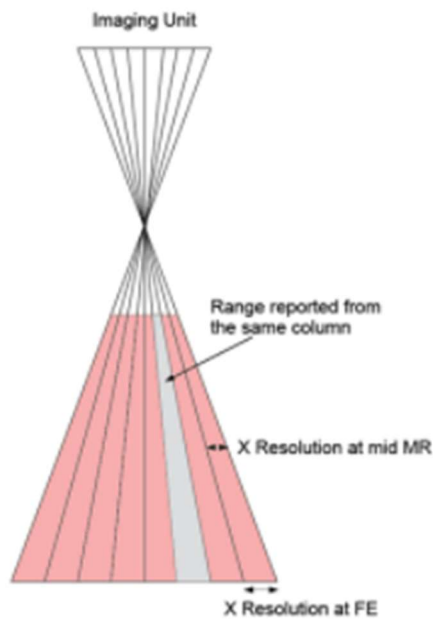
Laserskannerin kamera katsoo laserlähteen lähettämää kohteeseen osuvaa viivamaista lasersädettä kulmasta ja tunnistaa kohteen heijastaman laservalon. Kamera mittaa yksittäisen viivan 3D-profiilin, jokaisella kameran valotuksella. Heijastettu laservalo kohdistuu eri kohtiin riippuen kohteen etäisyydestä anturiin nähden. Skannerin laserlähde, kamera ja kohde muodostavat kolmion. Skanneri käyttää kohteen ja skannerin välisen etäisyyden laskemiseen laserlähteen ja kameran välistä etäisyyttä ja kahta tunnettua kulmaa, joista toinen riippuu laservalon sijainnista anturilla. Tästä saadaan kohteen korkeus. Tätä kutsutaan laserkolmiomittaukseksi. Kohdeobjektit yleensä liikkuvat kuljettimella tai muulla liikkuvalla mekanismilla skannerin alitse. Skannereita voidaan myös kiinnittää robottikäsiin tai lineaarikiskoihin, joilla skanneri liikutetaan kohteen ylitse. Molemmissa tapauksissa skanneri kaappaa sarjan 3D-profiileja ja rakentaa niistä kokonaiskuvan kohteesta. Skannerin nopeus ja vaadittava altistumisaika kohteen mittaukseen ovat tyypillisesti kriittiset tekijät sovelluksissa, joissa linjalaserskannereita käytetään (LMI Technologies 2015.)

## 3.2 Resoluutio ja tarkkuus

Seuraavissa alaotsikoissa perehdytään hieman tarkemmin X- ja Z-resoluutioon sekä Z-lineaarisuuteen. Lisäksi tutkitaan niiden merkitystä skannaustulokseen ja havainnollistetaan niitä kuvien avulla.

### 3.2.1 X-resoluutio

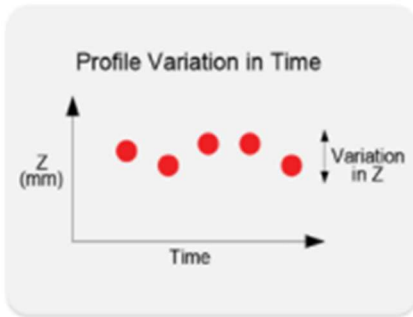
X-resoluutio on vaakasuora etäisyys jokaisen mitattavan pisteen välillä laserlähteen tuottamassa viivassa. Tämä perustuu valoanturin sarakkeiden määrään ja kohteen leveyteen. Koska näkökenttä on muodoltaan puolisuunnikkaan muotoinen, ovat pisteet lähempänä toisiaan lähellä skanneria. X-resoluutio määrittää pienimmän mitattavissa olevan leveyden vaihtelun. (LMI Technologies 2015.)



Kuvio 5. Havainnekuva X-resoluutiosta (LMI Technologies 2015).

### 3.2.2 Z-resoluutio

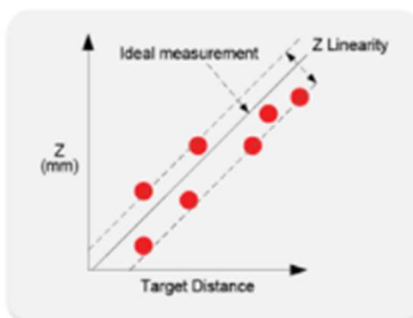
Z-resoluutio kuvaa pienintä muutosta korkeudessa kahden pisteen välillä, mikä pystytään mittaamaan. Kohteen korkeuserot rajoittavat Z-resoluutiota. Kuten X-resoluutio, Z-resoluutio on parempi lähietäisyydellä ja huonompi pidemmällä etäisyydellä. (LMI Technologies 2015.)



Kuvio 6. Havainnekuva Z-resoluutiosta (LMI Technologies. 2015).

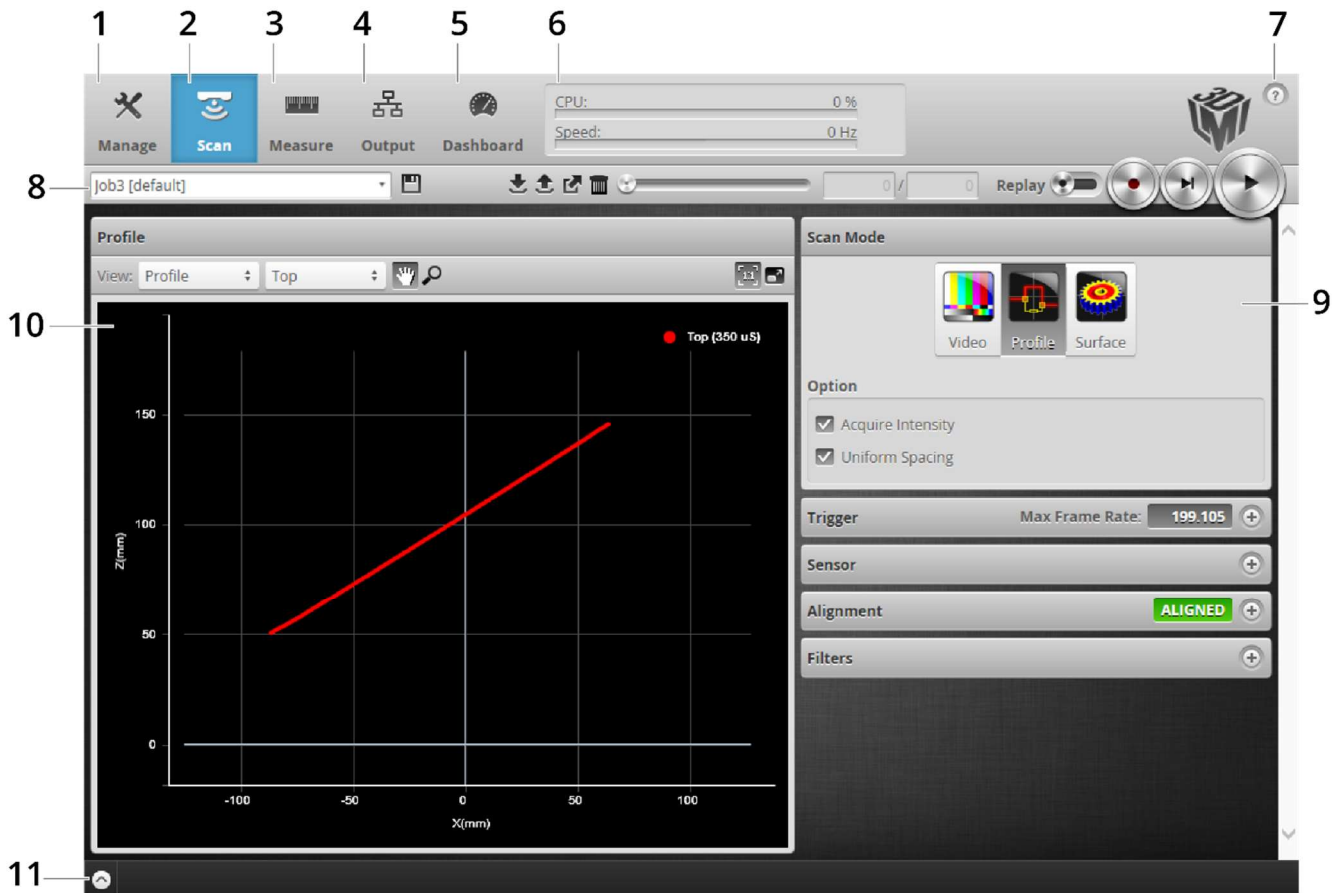
### 3.2.3 Z-lineaarisuus

Z-lineaarisuus on kohteen oikean etäisyyden ja kohteen mitatun etäisyyden ero koko mittausalueella. Z-lineaarisuus kertoo sensorin kyvystä mitata absoluuttinen etäisyys. (LMI Technologies 2015.)



Kuvio 7. Havainnekuva Z-lineaarisuudesta (LMI Technologies. 2015).

### 3.3 Käyttöliittymä



Kuva 2. Gocator 2300 -sarjan laitteen Ethernet-käyttöliittymä (LMI Technologies. 2015).

Gocator 2300 -sarjan käyttöliittymän osat (LMI Technologies. 2015).

- 1. Manage-sivu: Sisältää asetuksia skannerin järjestelmän layoutiin, verkkoon, liikkeeseen ja kalibrointiin, töiden hallintaan ja skannerin huoltoon.
- 2. Scan-sivu: Sisältää asetuksia skannaustilaan ja kuvaamisen laukaisuun sekä yksityiskohtaisia asetuksia skannerin konfigurointiin ja kalibroinnin suorittamiseen.
- 3. Measure-sivu: Sisältää sisäänrakennetut työkalut ja niiden asetukset.
- 4. Output-sivu: Sisältää asetuksia ulostuloprotokollien konfigurointiin. Ulostuloprotokollia käytetään mittausten lähettämiseen ulkoisille laitteille.
- 5. Dashboard-sivu: Tarjoaa seuranta- ja mittausstatistiikalle ja skannerin kunnolle.
- 6. CPU:n käyttöprosentti ja nopeus: Skannerin suorituskykymittari.
- 7. Apua: Tarjoaa linkkejä käyttöohjeisiin ja ohjelmistonkehityspaketteihin. Tarjoaa myös mahdollisuuden ladata anturilta tiedostoja, joita pystyy käyttämään emulaattorilla.

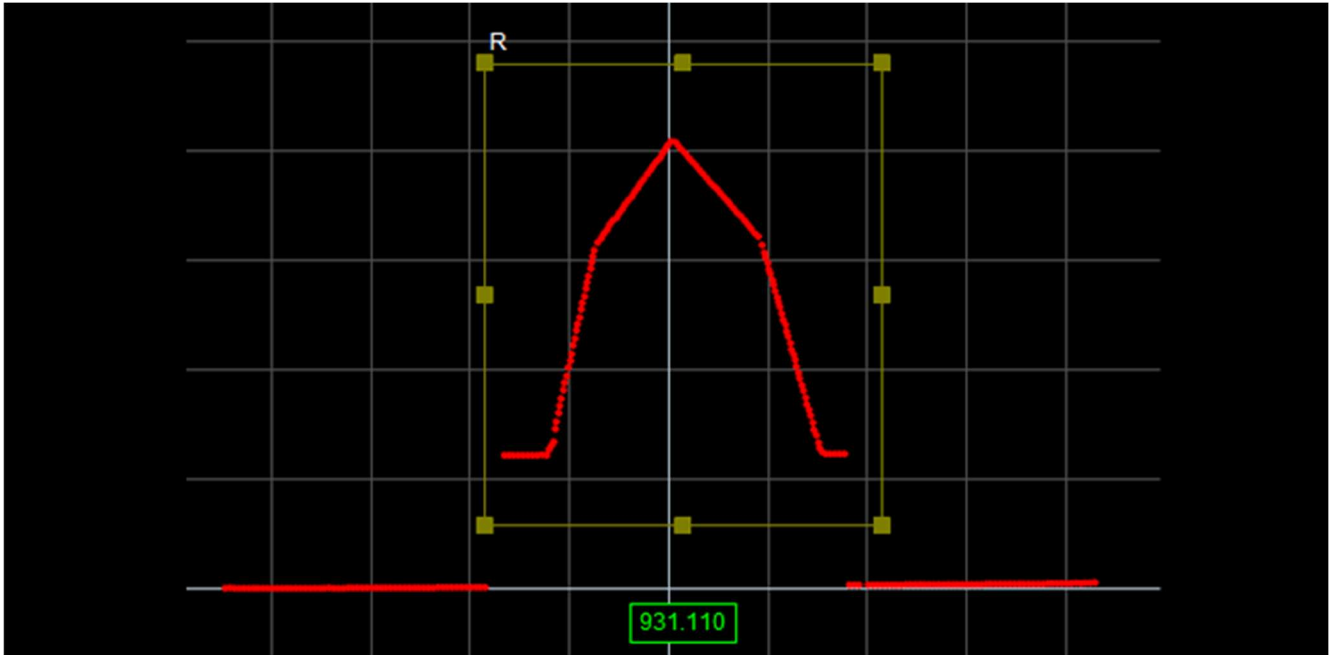
- 8. Työkalurivi: Ohjaa skannerin toimintoja, hallitsee töitä ja näyttää uudelleen tallennettua mittausdataa.
- 9. Konfiguraatioalue: Tarjoaa ohjaimet skannauksen konfigurointiin ja mittaustyökalujen asetukset.
- 10. Kuva-alue: Näyttää skannerin dataa, työkaluasetuksien hallintaa ja mittauksia.
- 11. Loki: Näyttää viestejä anturilta. Virheet, varoitukset ja muuta tietoa.

### **3.4 Työkalut**

Tässä käydään lyhyesti läpi Measurement-sivulta löytyvät sisäänrakennetut työkalut. Tarkempia tietoja eri työkaluista ja niiden käyttämisestä algoritmeista löytyy laitteen käyttöohjeista. Profiilityökaluilla pystytään tutkimaan kappaletta vain kaksiulotteisessa muodossa, kun taas pintatyökaluilla pystytään tutkimaan kaksi- ja kolmeulotteisia kuvia kappaleista.

#### **3.4.1 Profile Area**

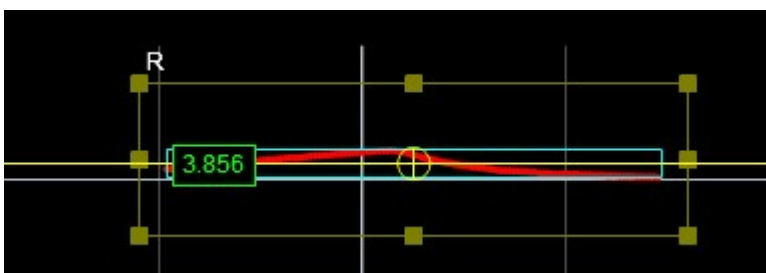
Area-työkalu päättelee ja määrittää poikkileikkauspinta-alan alueen sisältä. Käyttäjä määrittelee alueen manuaalisesti. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 3. Havainnekuva Profile Area -toiminnon toiminnasta (LMI Technologies 2015).

### 3.4.2 Profile Bounding Box

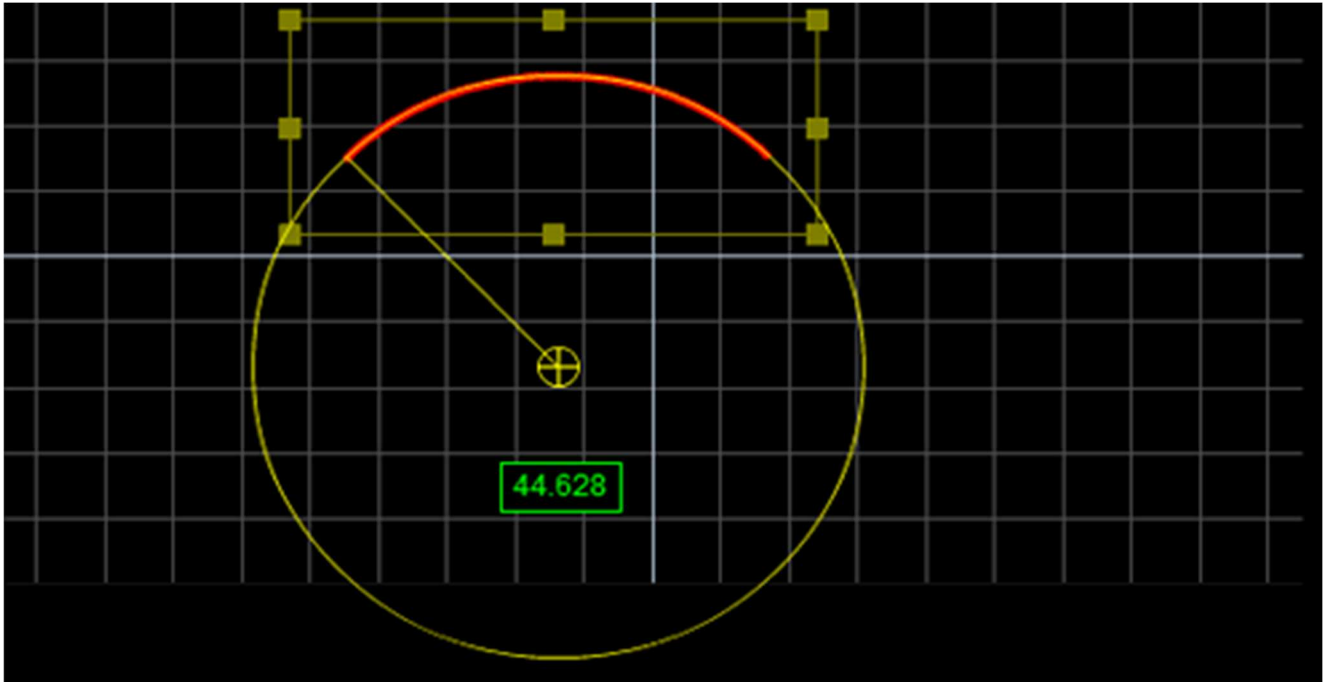
Bounding Box -työkalu tarjoaa mittaukset liittyen pienimpään suorakulmaiseen laatikkoon, joka mahtuu profiiliin ympärille (esimerkiksi X:n sijainti, Z:n sijainti, leveys, jne.). Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. Bounding Box -työkalu tarjoaa absoluuttisen paikan, jota Position-ominaisuutta hyödyntäen voidaan käyttää ankkurina. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 4. Havainnekuva Profile Bounding Box -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

### 3.4.3 Profile Circle

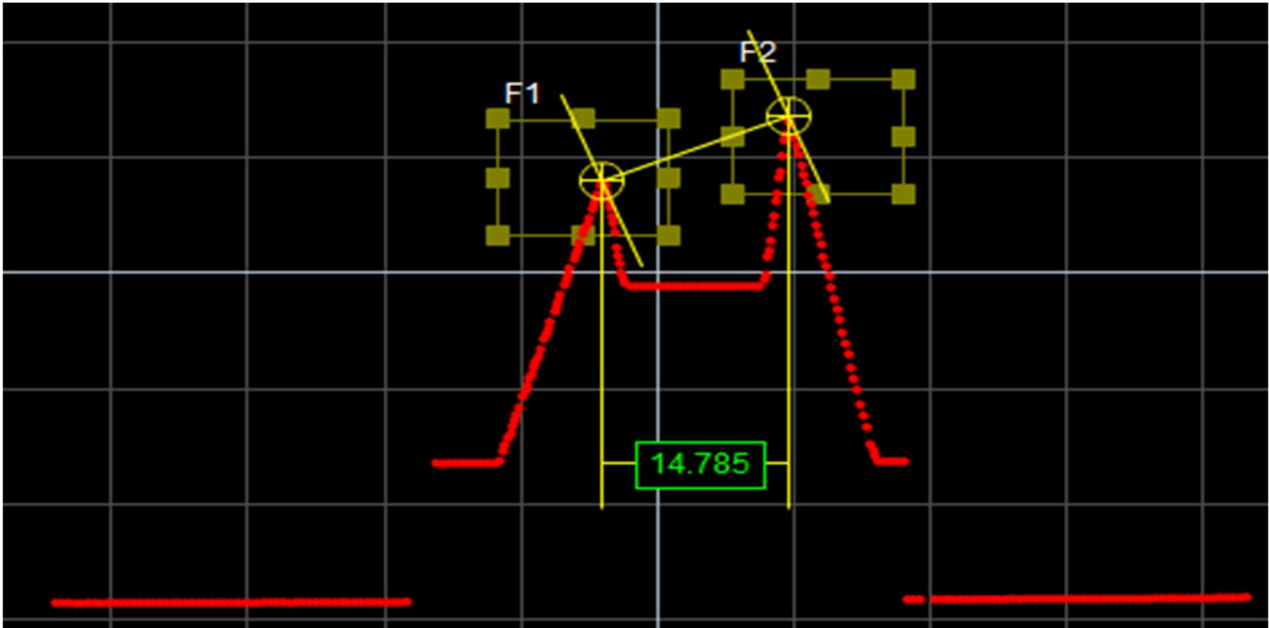
Circle-työkalu sovittaa profiiliin ympyrän ja mittaa tämän ympyrän erilaisia ominaisuuksia. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 5. Havainnekuva Profile Circle -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

### 3.4.4 Profile Dimension

Dimension-työkalu tarjoaa mittauksia leveyden, korkeuden, etäisyyden sekä X:n keskiosan ja Z:n keskiosan määrittämiseen. Työkalun mittaukset tarvitsevat kaksi ominaisuutta (Max Z tai Min X tai jokin vastaava) mittaavaa pistettä. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 6. Havainnekuva Profile Distance -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

### 3.4.5 Profile Groove

Groove-työkalu tarjoaa mittoja V-, U- tai avoimenmuotoisista urista. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 7. Havainnekuva Profile Groove -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).



### 3.4.6 Profile Intersect

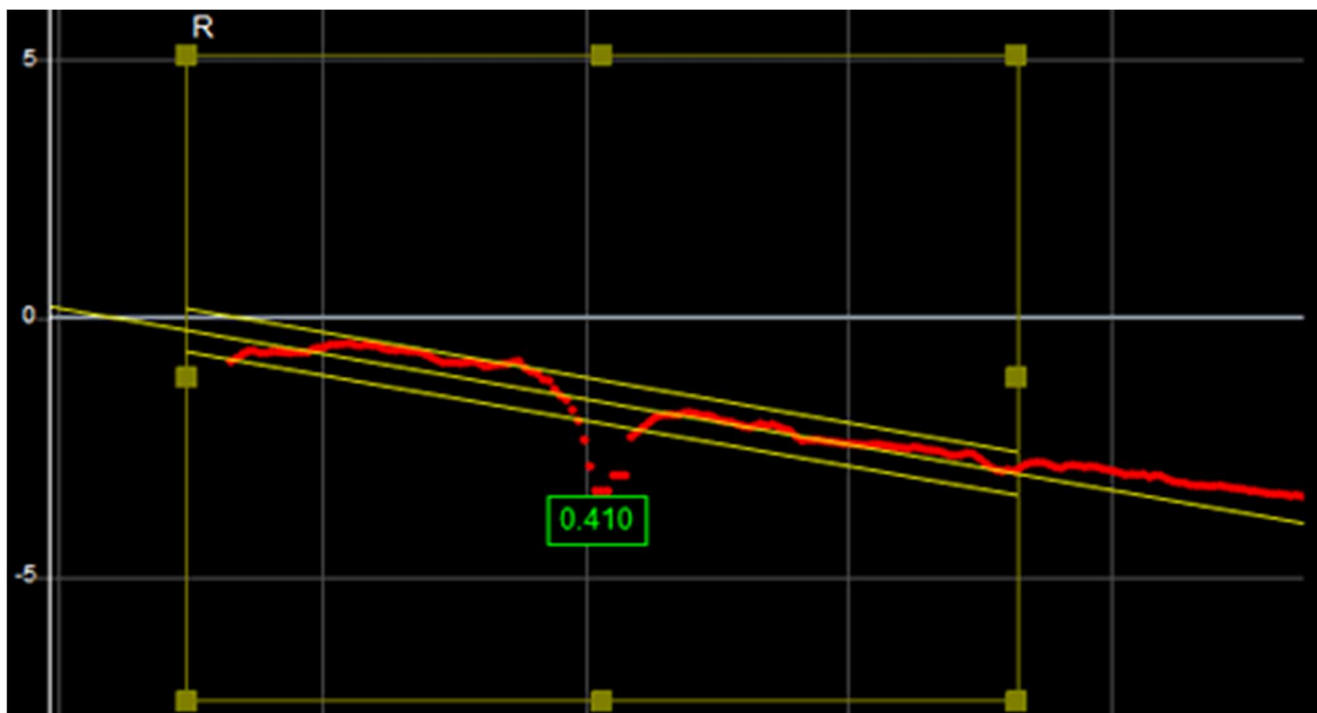
Intersect-työkalu määrittää leikkauspisteitä ja kulmia. Intersect-työkalun mittaukset vaativat kaksi sovitusviivaa, joista yksi on referenssiviiva, joka on asetettu X-akselille (eli  $Z = 0$ ), Z-akselille (eli  $X = 0$ ) tai käyttäjän määrittämälle viivalle. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 8. Havainnekuva Profile Intersect -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

### 3.4.7 Profile Line

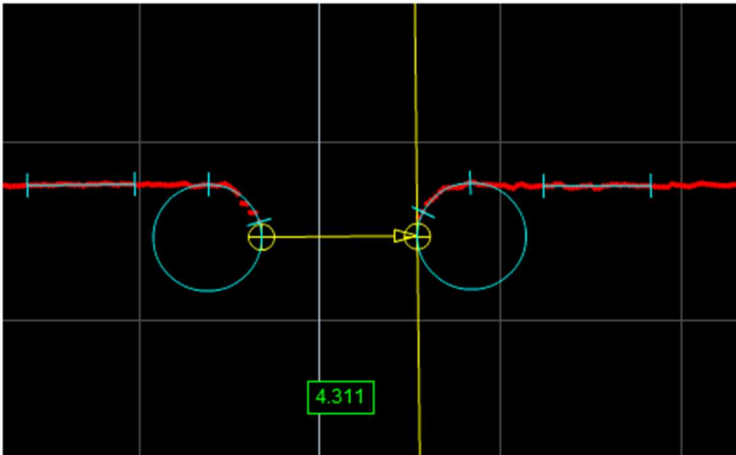
Line-työkalu sovittaa viivan profiiliin ja mittaa poikkeamat parhaiten sopivasta viivasta. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 9. Havainnekuva Profile Line -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

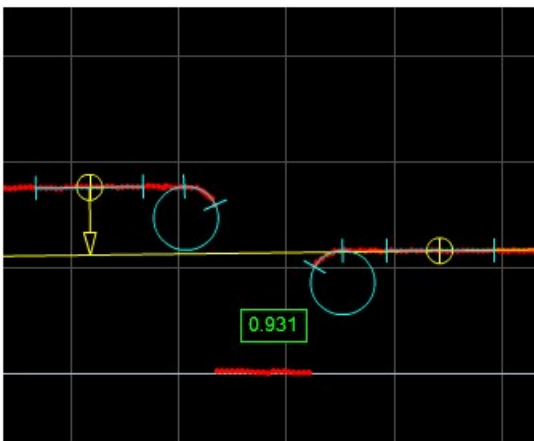
### 3.4.8 Profile Panel

Profile Panel Gap -työkalu tarjoaa etäisyyden kahden pinnan reunojen välillä. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 10. Havainnekuva Profile Panel Gap -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

Profile Panel Flush -työkalu mittaa kahden pinnan reunojen korkeuseroa. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)

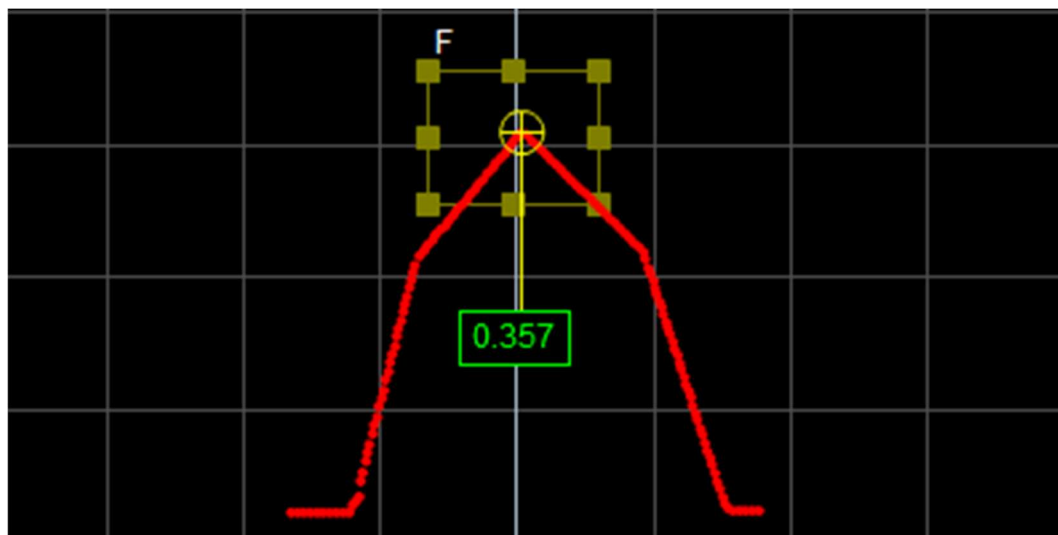


Kuva 11. Havainnekuva Profile Panel Flush -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

### 3.4.9 Profile Position

Position-työkalu etsii X- tai Z-akselin sijainnin mittauspisteessä. Ominaisuuden tyyppi tulee olla määriteltynä ja olla yksi sisäänrakennetuista tyypeistä. Tämä tarkoittaa, että työkalun

ominaisuuksista on valittava jokin ominaisuus, jota työkalu käyttää mittauksessa, esimerkiksi Max Z, Min X, Corner tai joku muu vastaava. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 12. Havainnekuva Profile Position -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

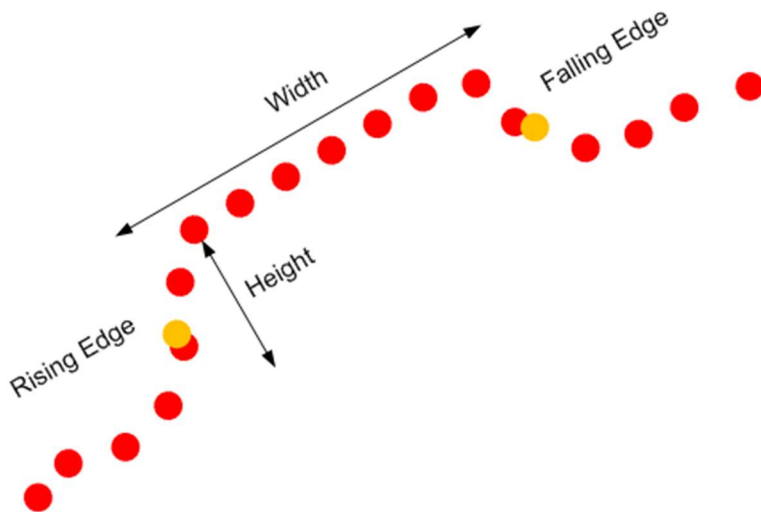
### 3.4.10 Profile Strip

Strip-työkalu mittaa kaistaleen leveyden. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 13. Havainnekuva Profile Strip -työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

Strip-työkalusta löytyy myös Tilt-ominaisuus. Sillä kaistaleen pystyy kallistamaan koordinaatin X-akselin suhteen. Tätä voi joutua käyttämään esimerkiksi kuljettimen värinän takia. Jos Tilt-ominaisuus on käytössä, työkalu antaa tulokset leveydestä ja korkeudesta käännetyn kulman mukaan nauhalla. (LMI Technologies 2015.)

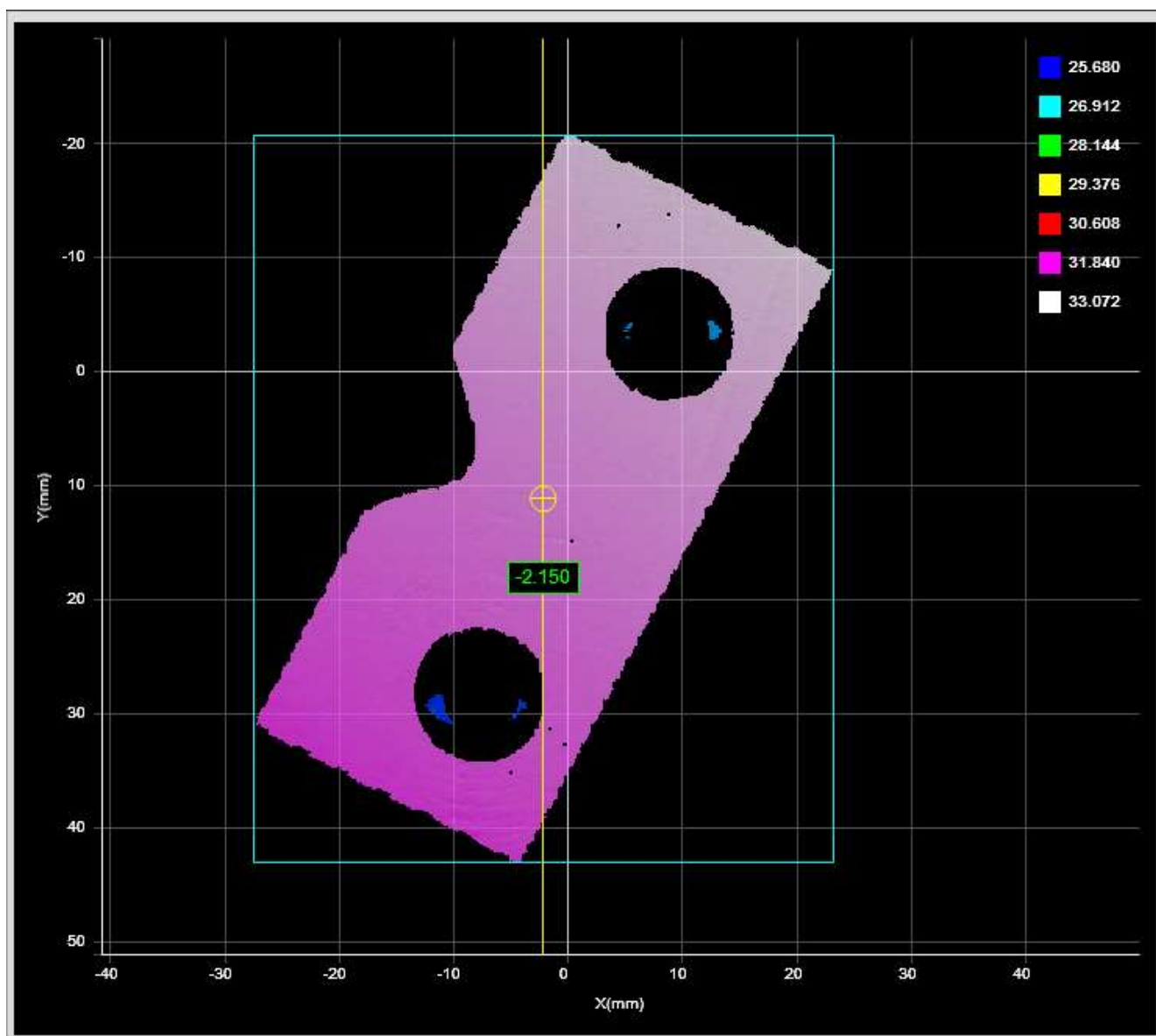


Kuvio 8. Havainnekuva Tilt-ominaisuuden toiminnasta Profile Strip -työkalua käytettäessä (LMI Technologies 2015).

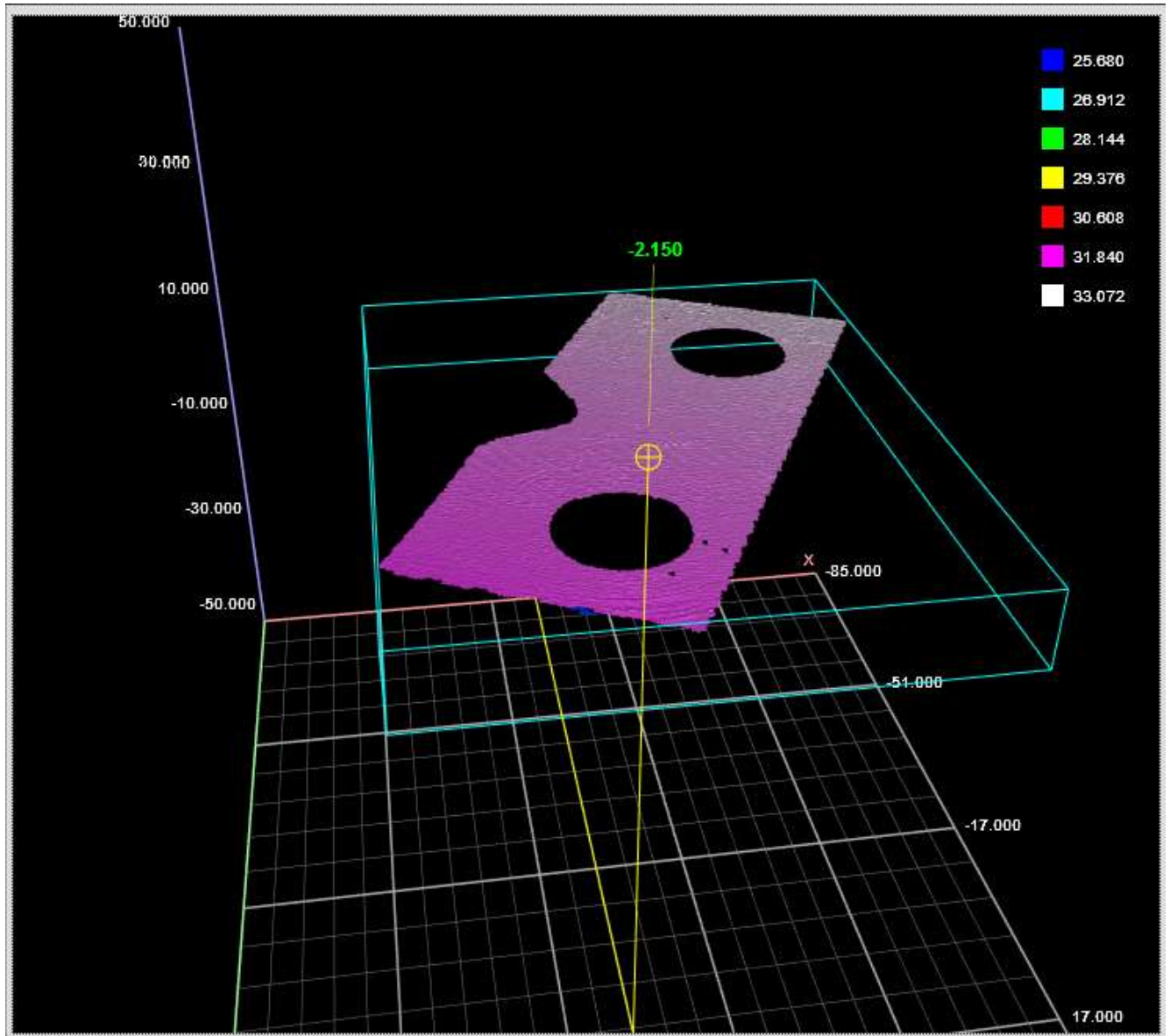
### 3.4.11 Surface Bounding Box

Bounding Box -työkalu tarjoaa mittauksia liittyen pienimpään mahdolliseen suorakulmaiseen laatikkoon, joka koteloi kappaleen. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. Bounding Box -työkalu voi olla

pystysuora tai käännetty. Pystysuora Bounding box -työkalu tarjoaa absoluuttisen pisteen, jota Position-työkalu voi käyttää referenssipisteenä ankkurointiin. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 14. Havainnekuva Surface Bounding Box -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015).



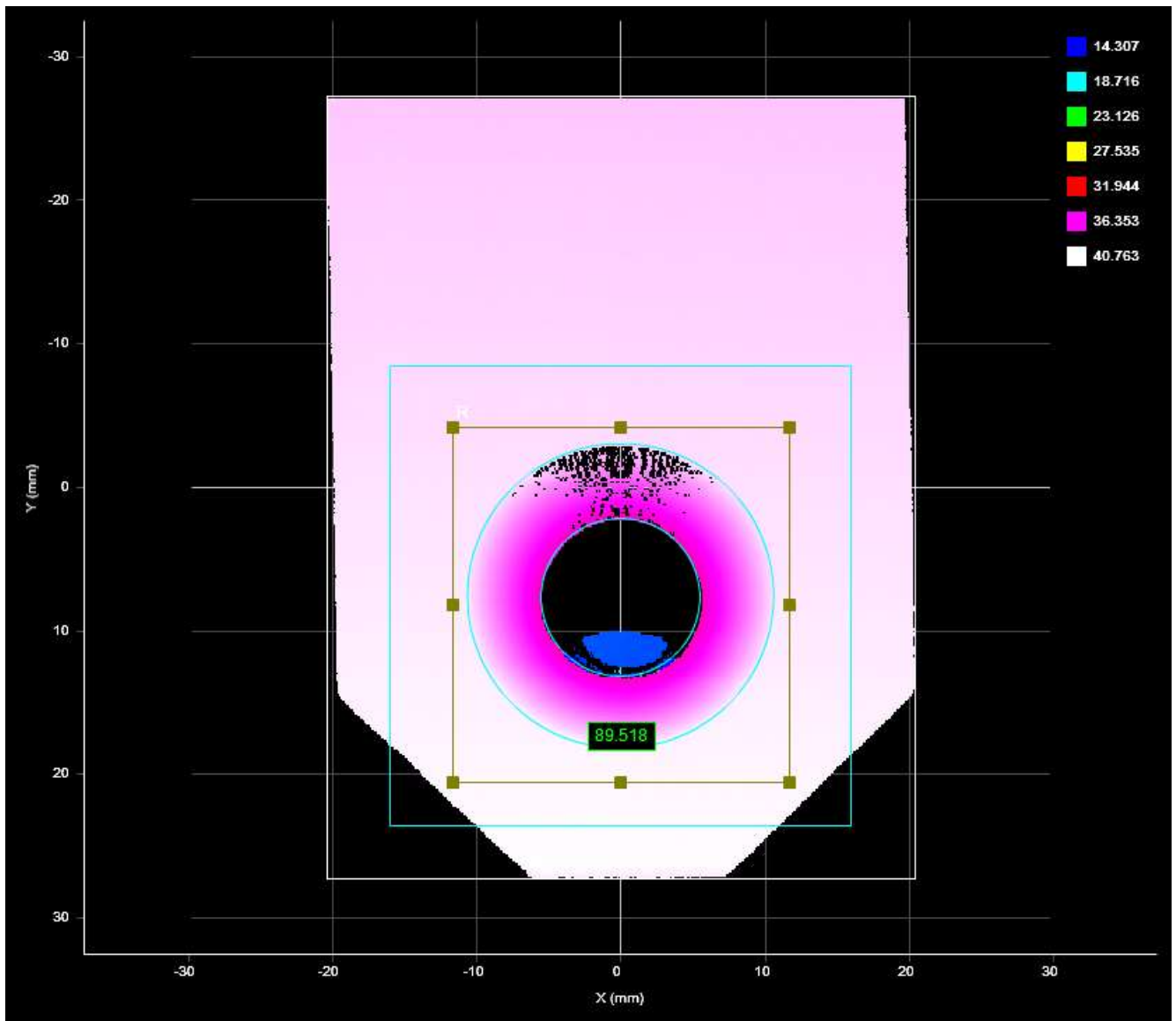
Kuva 15. Havainnekuva Surface Bounding Box -työkalun toiminnasta kolmeulotteisena (LMI Technologies 2015).

### 3.4.12 Surface Countersunk Hole

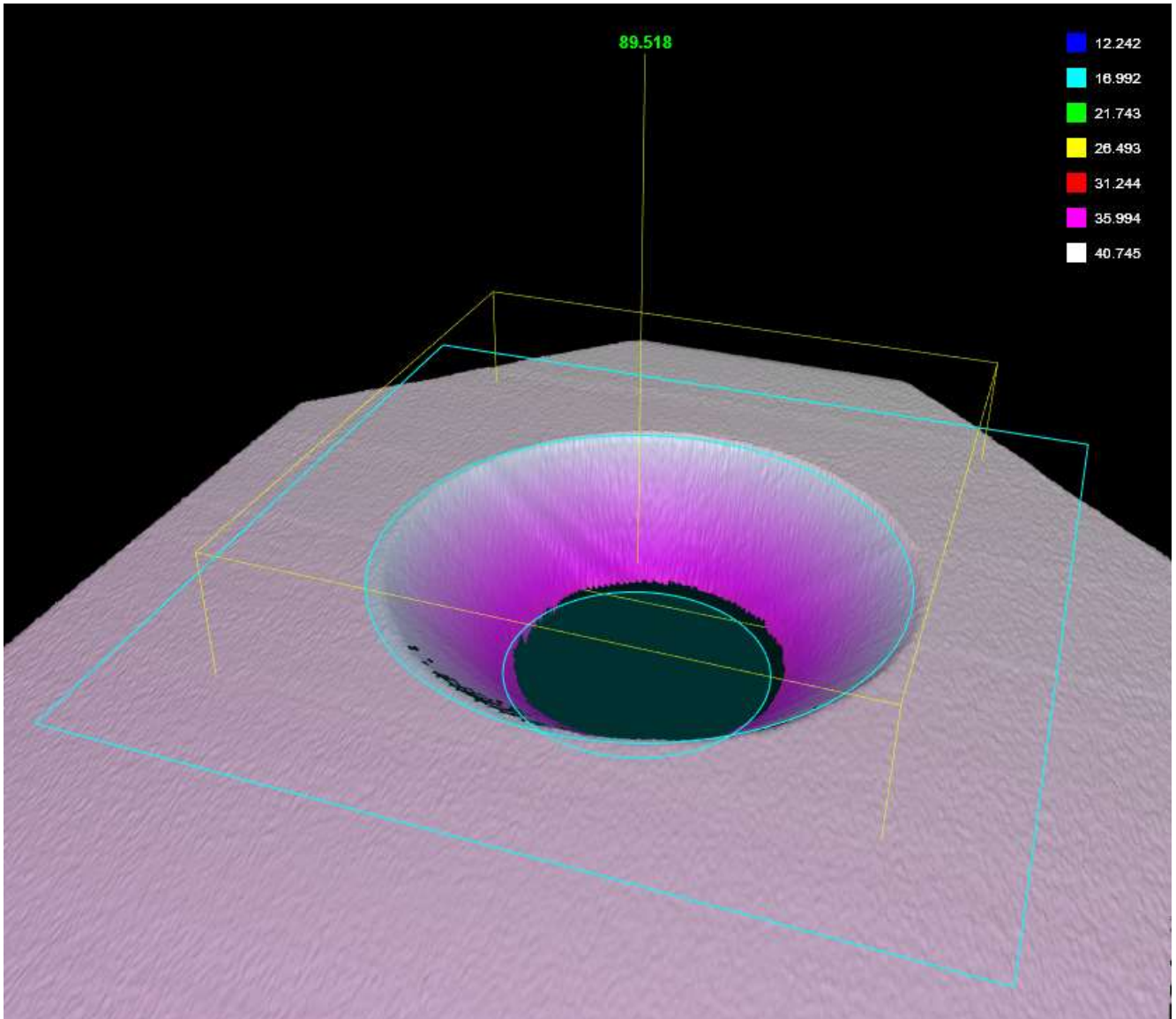
Countersunk Hole -työkalu paikallistaa ympyrämäisen aukon tutkittavan alueen pinnasta ja tarjoaa mittauksia upotettujen reikien ominaisuuksien arvioimiseen, mukaan lukien keskireiän sijainnin (X, Y ja Z), reiän ulkosäteen, reiän viisteen kulman ja reiän syvyyden.



Upotettu reikä voi olla pinnalla, joka on kulmassa skanneriin nähden. (LMI Technologies 2015.)



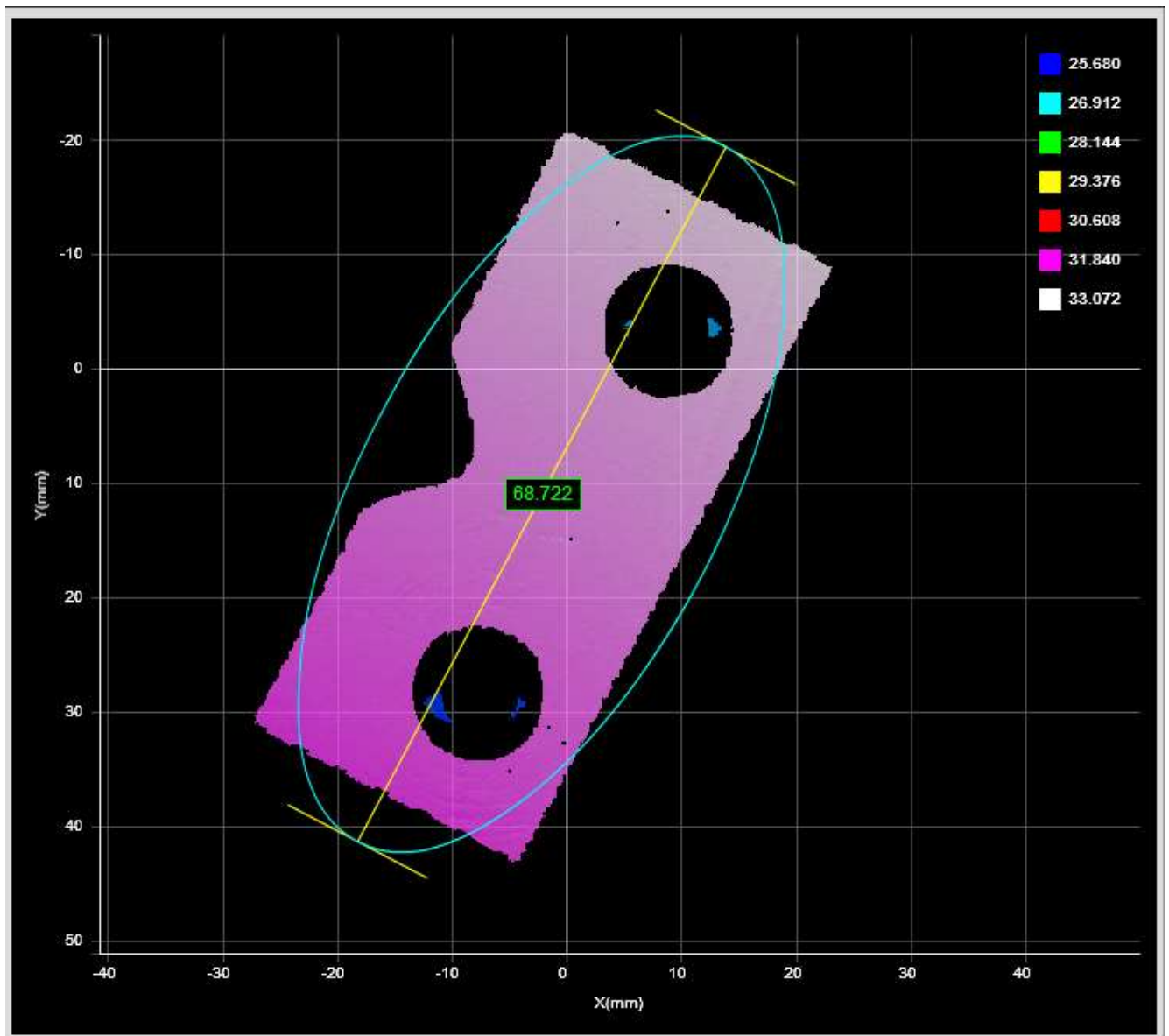
Kuva 16. Havainnekuva Surface Countersunk Hole -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015).



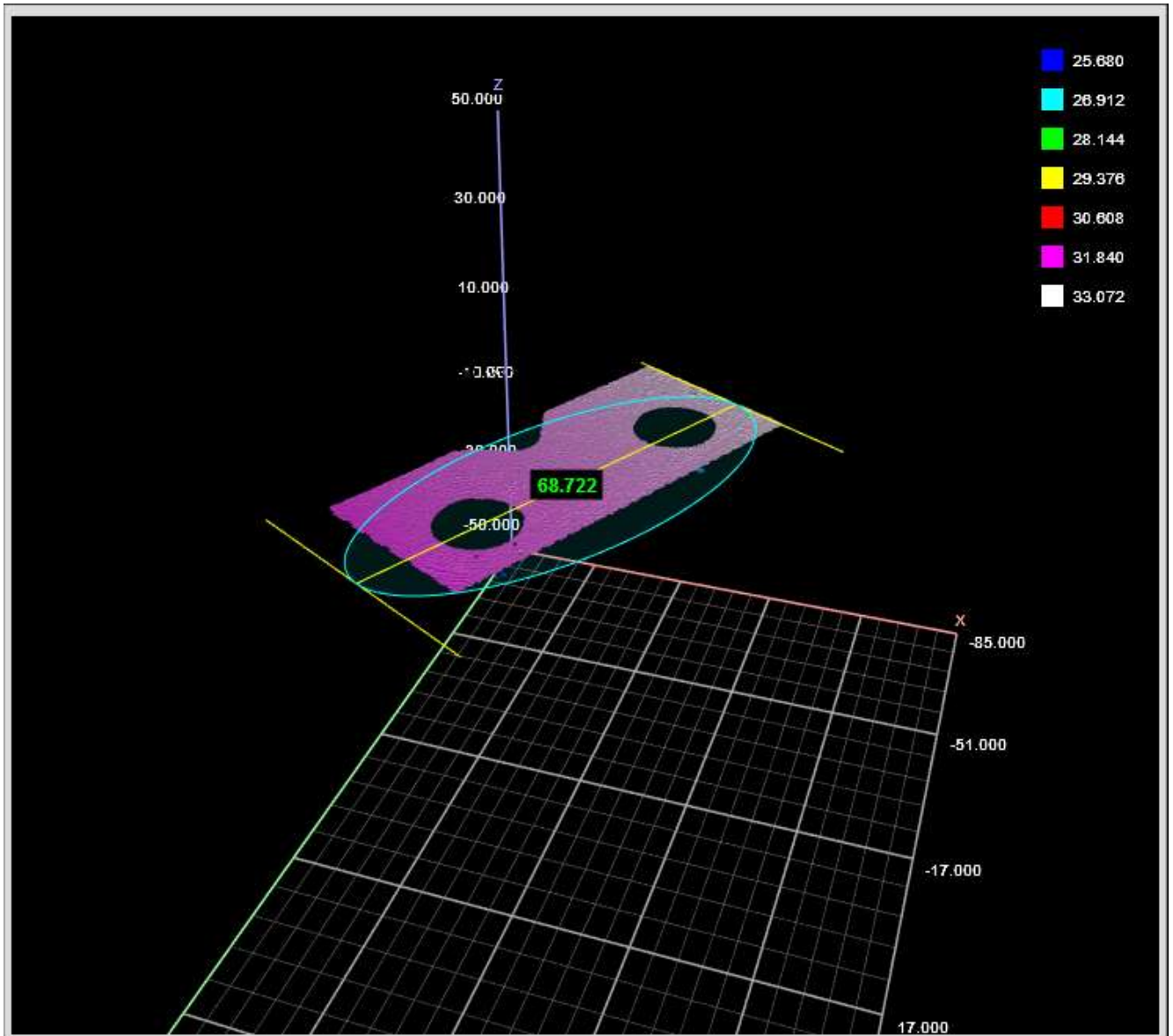
Kuva 17. Havainnekuva Surface Countersunk Hole -työkalu toiminnasta kolmiulotteisia (LMI Technologies 2015).

### 3.4.13 Surface Ellipse

Ellipse-työkalu mittaa osan muotoon XY-tasossa sovitetun ellipsin pää- ja sivuakselin pituudet sekä pää- ja sivuakselin pituuksien suhteen ja ellipsin suuntauskulman. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 18. Havainnekuva Surface Ellipse -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015).

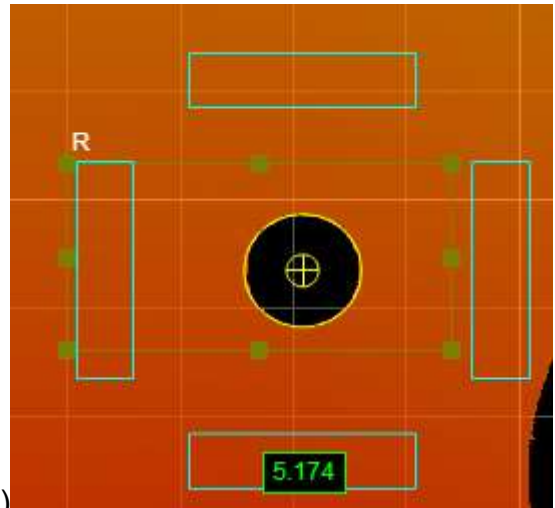
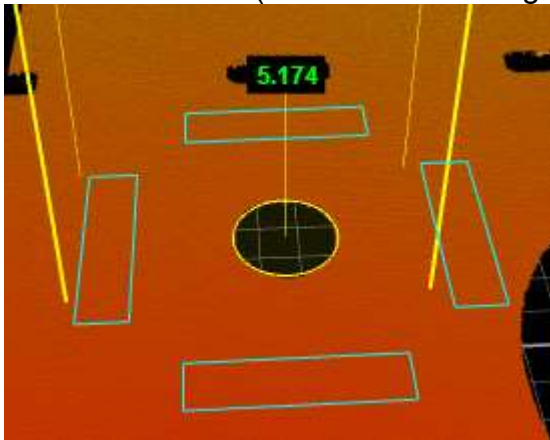


Kuva 19. Havainnekuva Surface Ellipse -työkalun toiminnasta kolmiulotteisena (LMI Technologies 2015).

### 3.4.14 Surface Hole

Hole-työkalu paikantaa ympyrän muotoisen aukon tutkittavan alueen pinnasta ja palauttaa sen sijainnin ja säteen. Reikä voi olla pinnalla kulmassa skanneriin nähden. Algoritmin toimintaa voi muokata muuttamalla sen parametreja Measurements-paneelistä. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen

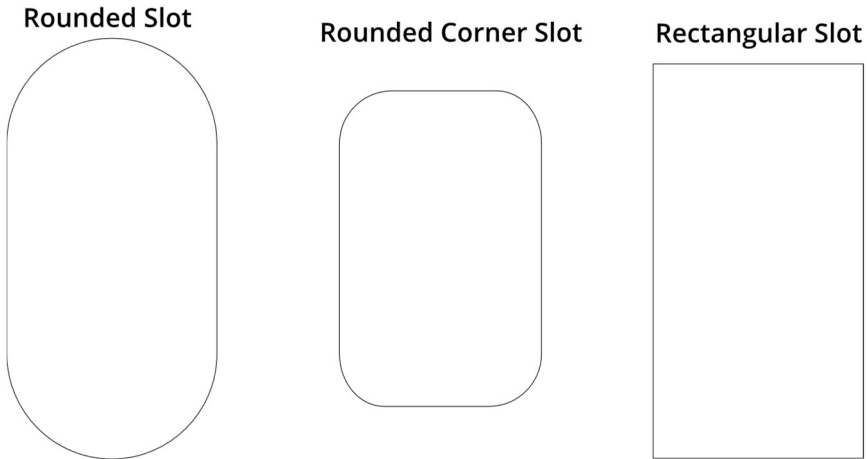
tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 20. Havainnekuva Surface Hole -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (vasen) ja kolmiulotteisena (oikea) (LMI Technologies 2015).

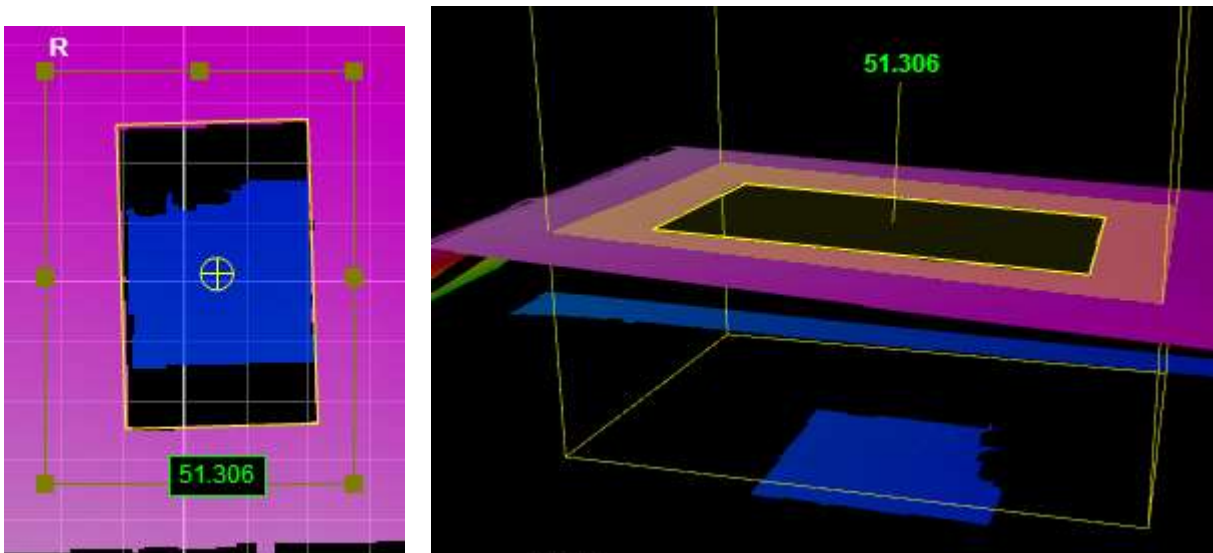
### 3.4.15 Surface Opening

Opening-työkalu paikantaa pyöristetyt, suorakulmaiset ja pyöristetyillä kulmilla olevat aukot. Aukot voivat olla pinnalla kulmassa skanneriin nähden. (LMI Technologies 2015.)



Kuvio 9. Havainnekuva Surface Opening -työkalun tunnistamista aukkotyypeistä (LMI Technologies 2015).

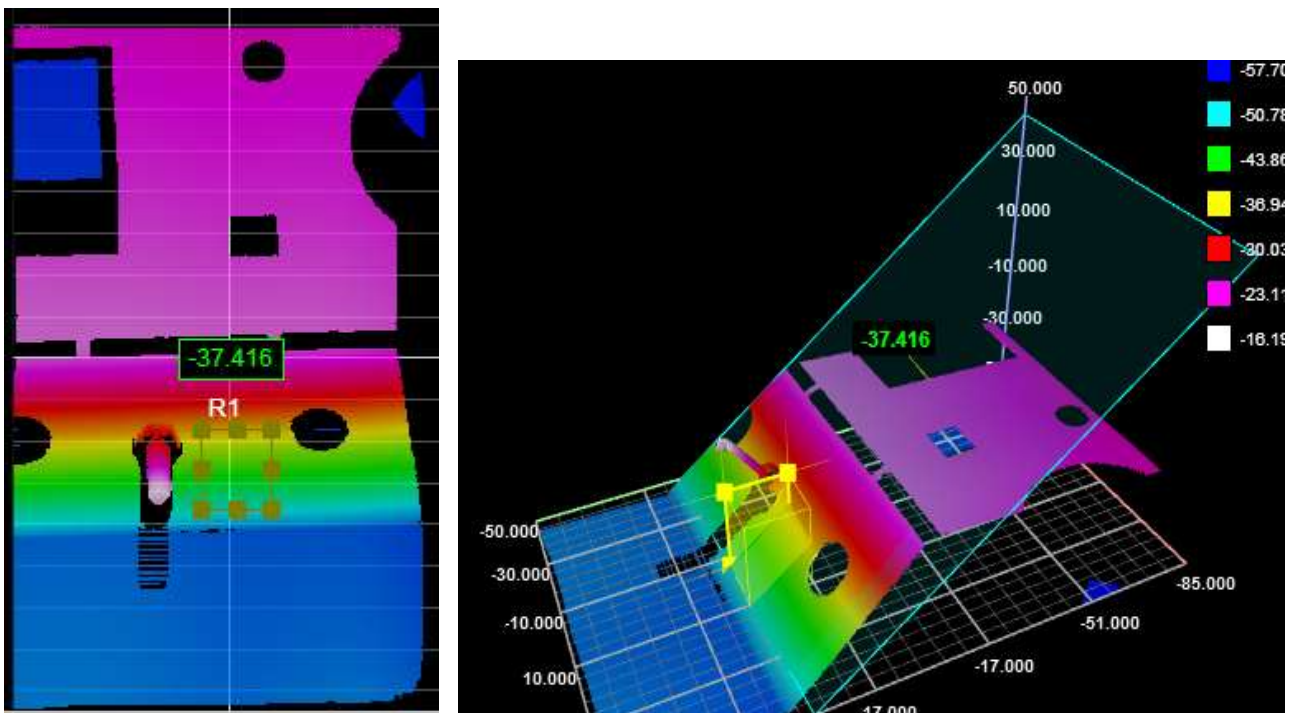
Algoritmin toimintaa voi muokata muuttamalla sen parametreja Measurements-paneelista. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. On mahdollista määrittää etukäteen mittausalue, johon aukon oletetaan ilmestyvän. Algoritmi voi erotella taustainformaation, jota ilmestyy aukon sisälle, eli algoritmi voi jättää huomioimatta, jos aukon pohjalla on jotakin ja keskittyä vain aukkoon. Se voi myös havaita paikan, joka ilmestyy vain osittain datassa. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 21. Havainnekuva Surface Opening -työkalun toiminnasta kaksi- (vasen) ja kolmiulotteisena (oikea) (LMI Technologies 2015).

### 3.4.16 Surface Plane

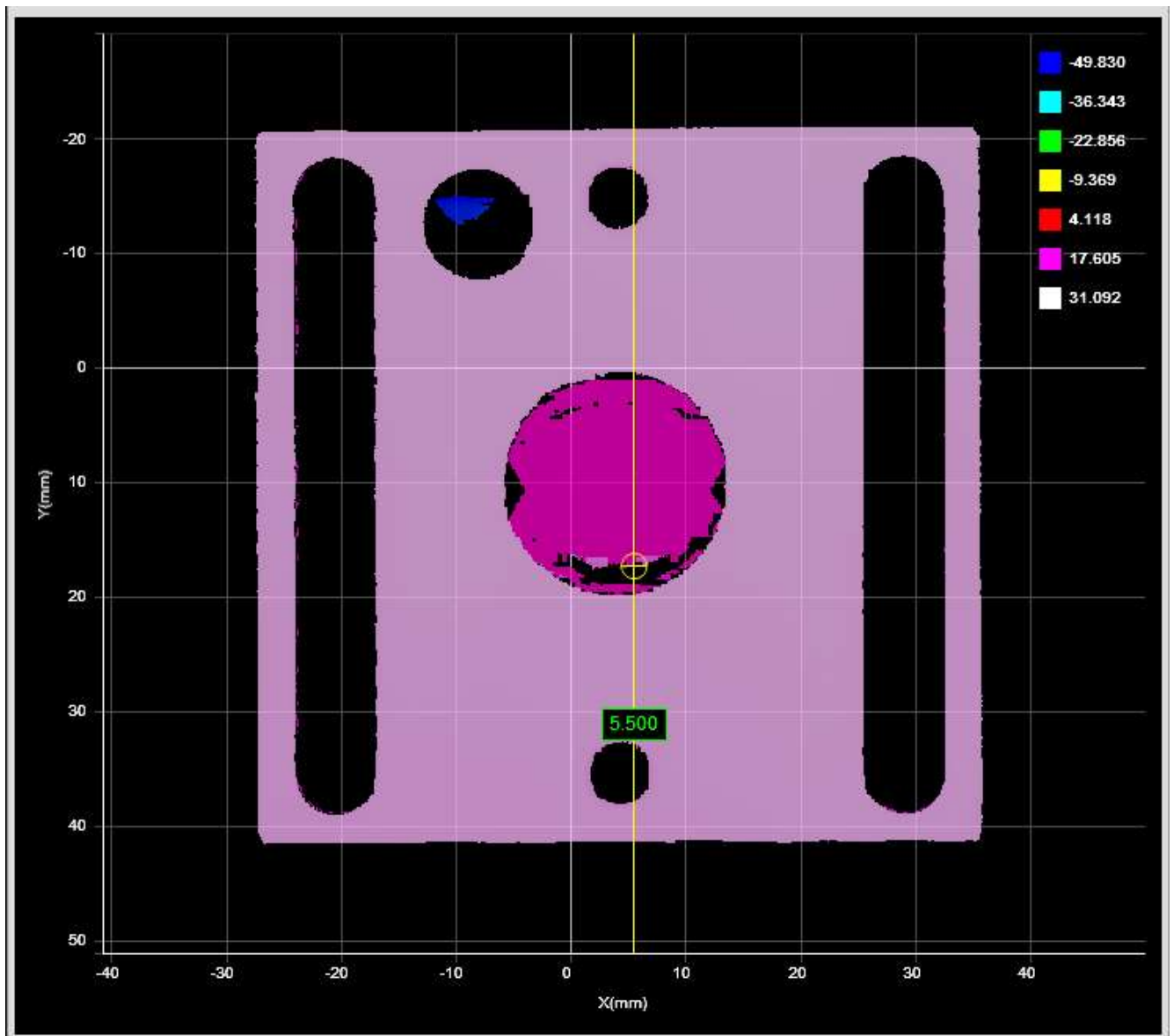
Plane-työkalu sovittaa profiilin pintaan tason ja tarjoaa mittauksia, jotka kertovat tason X-akselin kulman, Y-akselin kulman ja Z-akselin siirtymän pinnasta kohdistustavoitteen suhteen. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. Työkalun palauttama Z Offset tarkoittaa kappaleessa tapahtuvaa siirtymää Z akselin suhteen. Plane Angle X- ja Plane Angle Y -ominaisuuksien mittauksia voidaan käyttää kallistuskulman muokkaukseen Hole-, Opening-, ja Stud-työkaluilla. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 22. Havainnekuva Surface Plane -työkalun toiminnasta kaksi - (vasen) ja kolmiulotteisena (oikea) (LMI Technologies 2015).

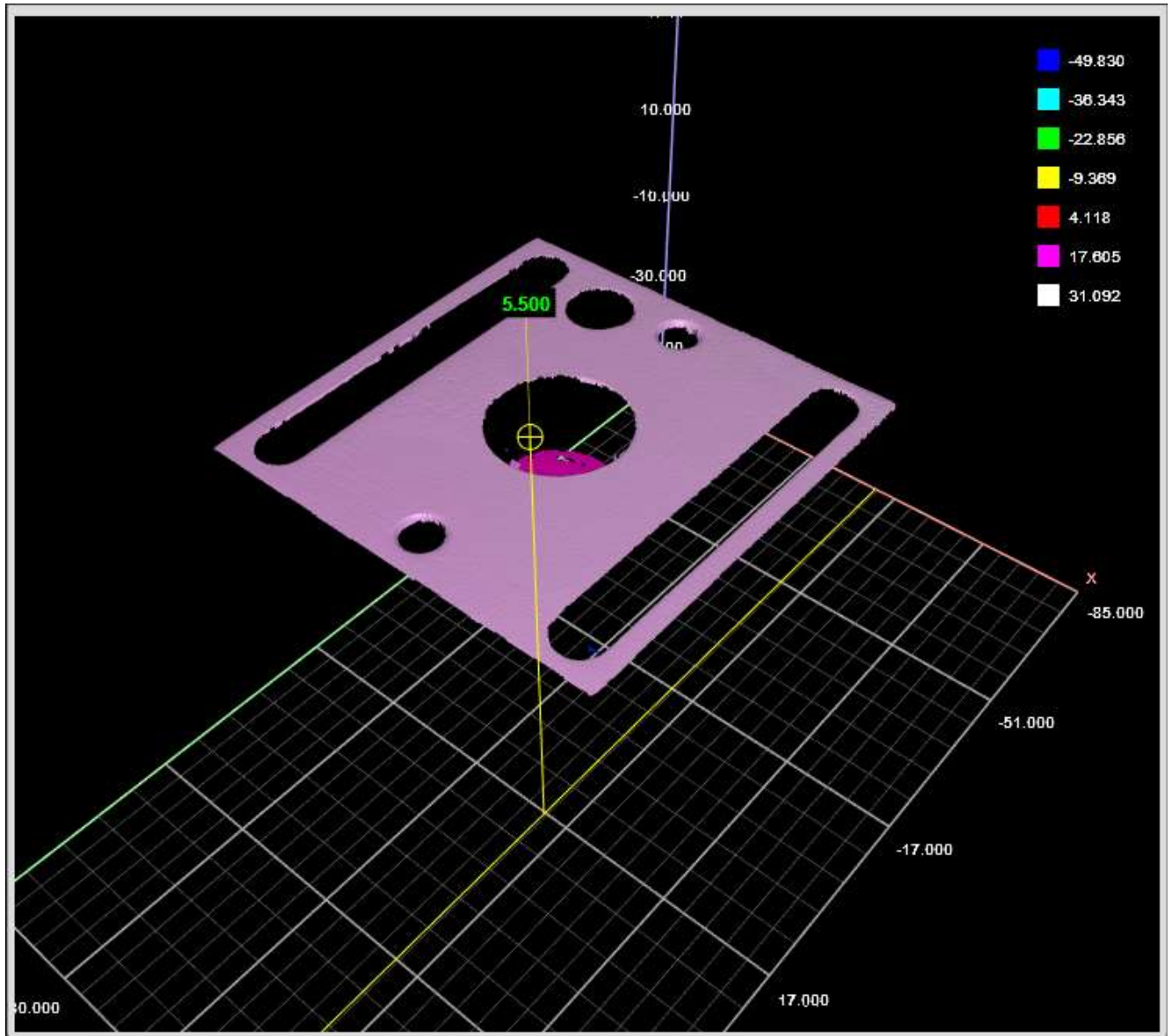
### 3.4.17 Surface Position

Position-työkalu kertoo X-, Y- tai Z-sijainnin kappaleelle. Ominaisuuden tyyppi tulee valita etukäteen työkalun sisäänrakennetuista ominaisuuksista, esimerkiksi Min Z, Max X tai jokin muu vastaava. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 23. Havainnekuva Surface Position -työkalun toiminnasta kaksiuotteisena (LMI Technologies 2015).



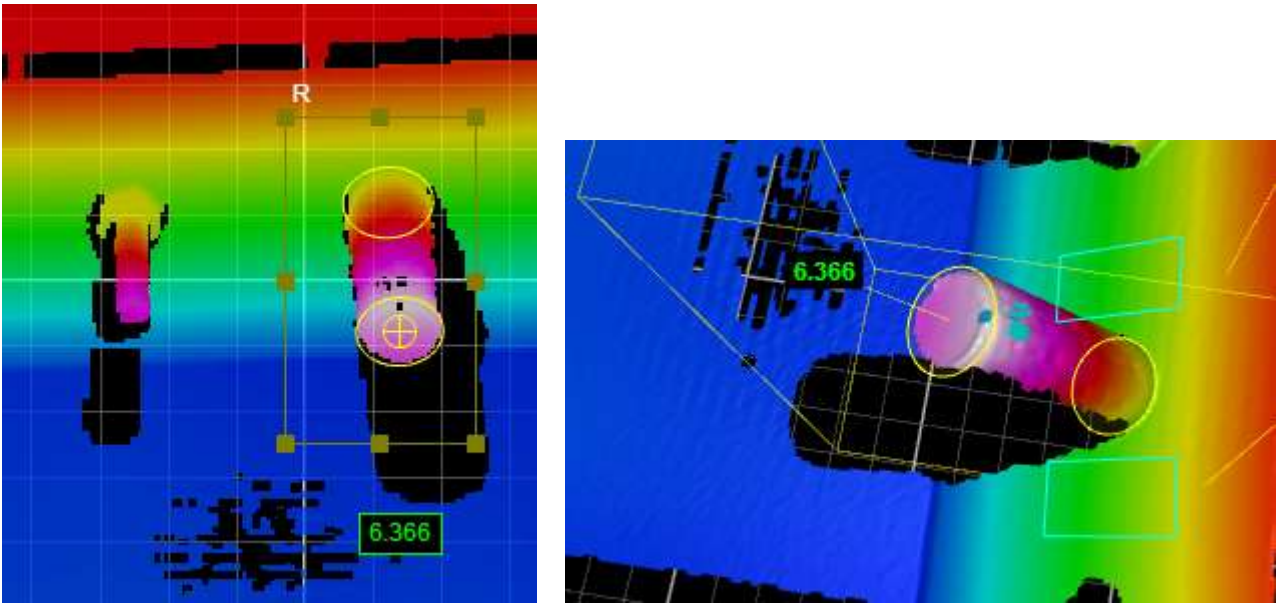


Kuva 24. Havainnekuva Surface Position -työkalun toiminnasta kolmiulotteisena (LMI Technologies 2015).

### 3.4.18 Surface Stud

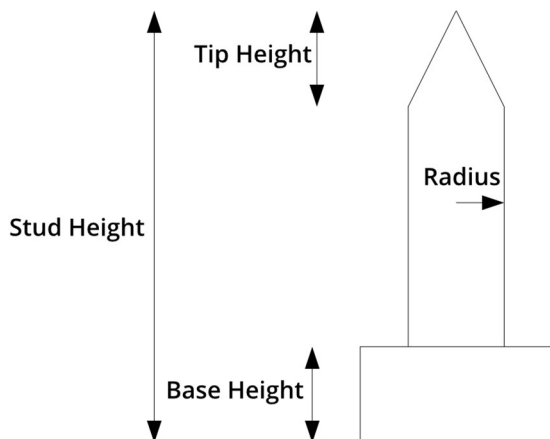
Stud-työkalu mittaa tapin sijainnin ja säteen. Algoritmin toimintaa voi muokata muuttamalla sen parametreja Measurements-paneelista. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. Tapin sijainti määritellään joko tapin kärjestä tai sen juuresta. Kärki on tapin akselin ja sen huipun leikkauspiste, kun

taas tapin juuri on sen akselin ja sitä ympäröivän alustan leikkauspiste. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 25. Havainnekuva (oikea) Surface Stud -työkalun toiminnasta kaksi- (vasen) ja kolmiulotteisena (oikea) (LMI Technologies 2015).

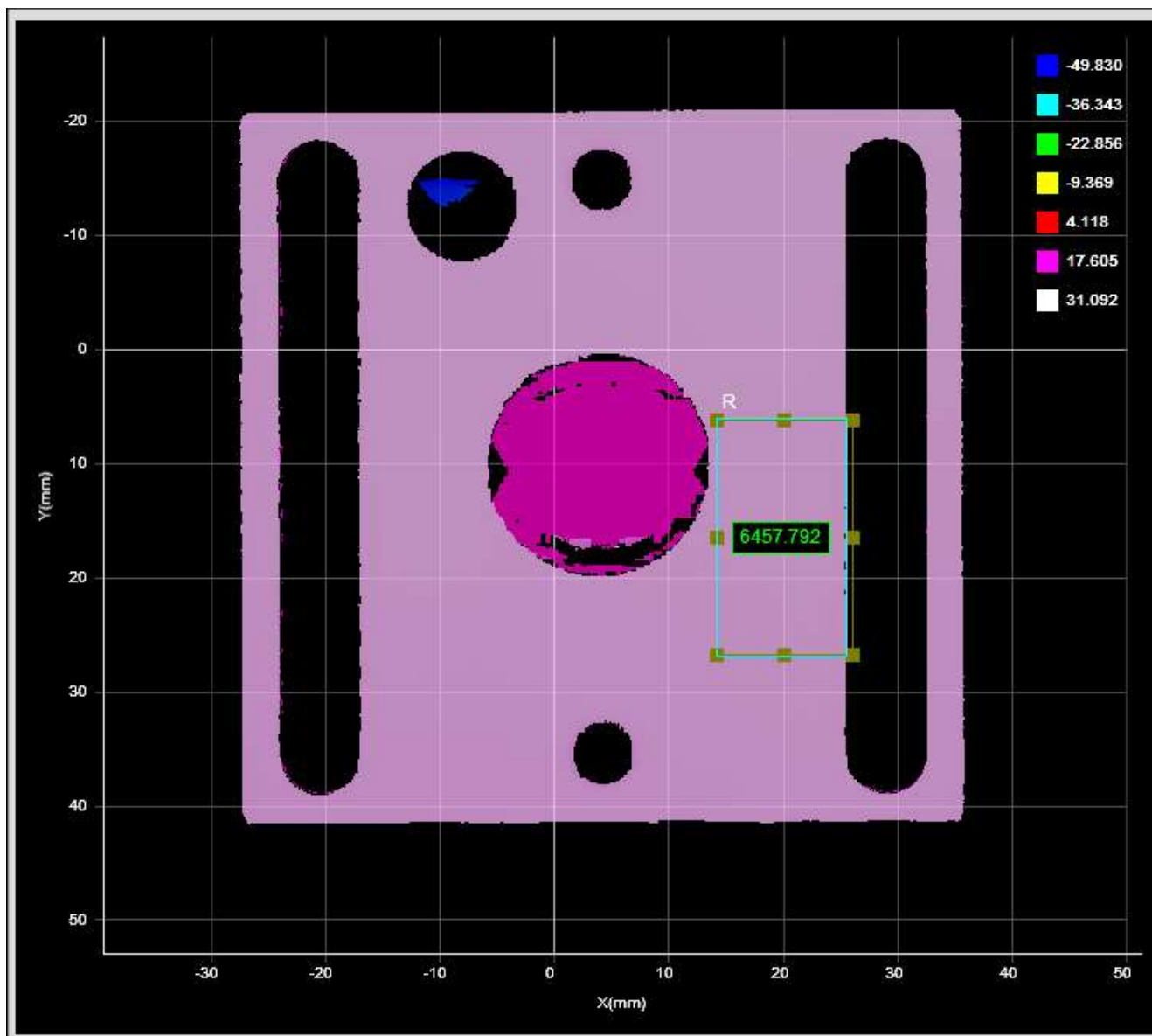
Tapin muoto määrittyy joko kärjen tai juuren korkeuden mukaan. Juuren ja kärjen korkeudet määrittävät, mistä tapin lieriömäinen osuus alkaa ja mihin se loppuu. (LMI Technologies 2015.)



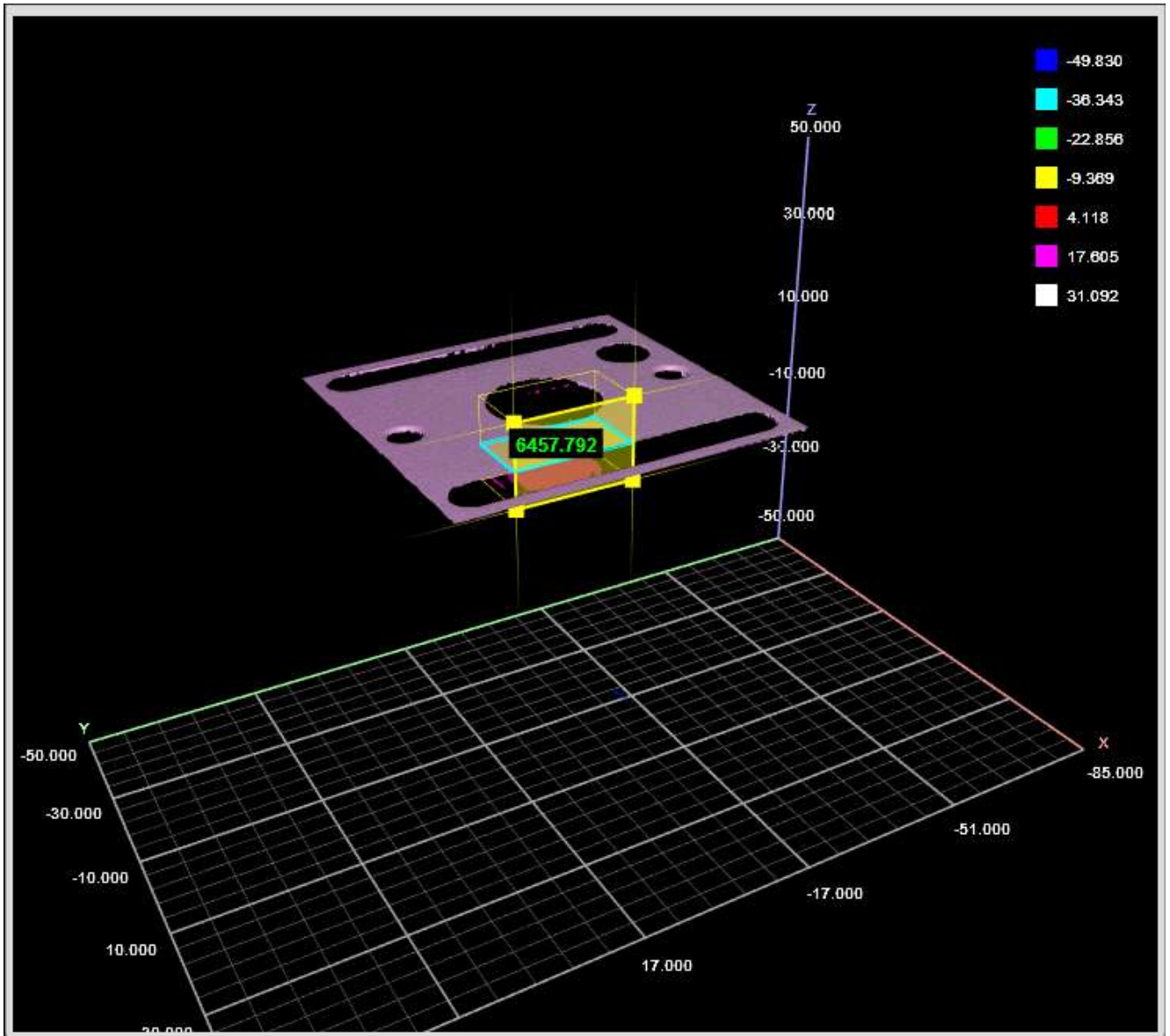
Kuvio 10. Havainnekuva Surface Stud -työkalun määritystyöstä (LMI Technologies 2015).

### 3.4.19 Surface Volume

Volume-työkalu määrittää rajatun alueen tilavuuden, pinta-alan ja kappaleen paksuuden. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



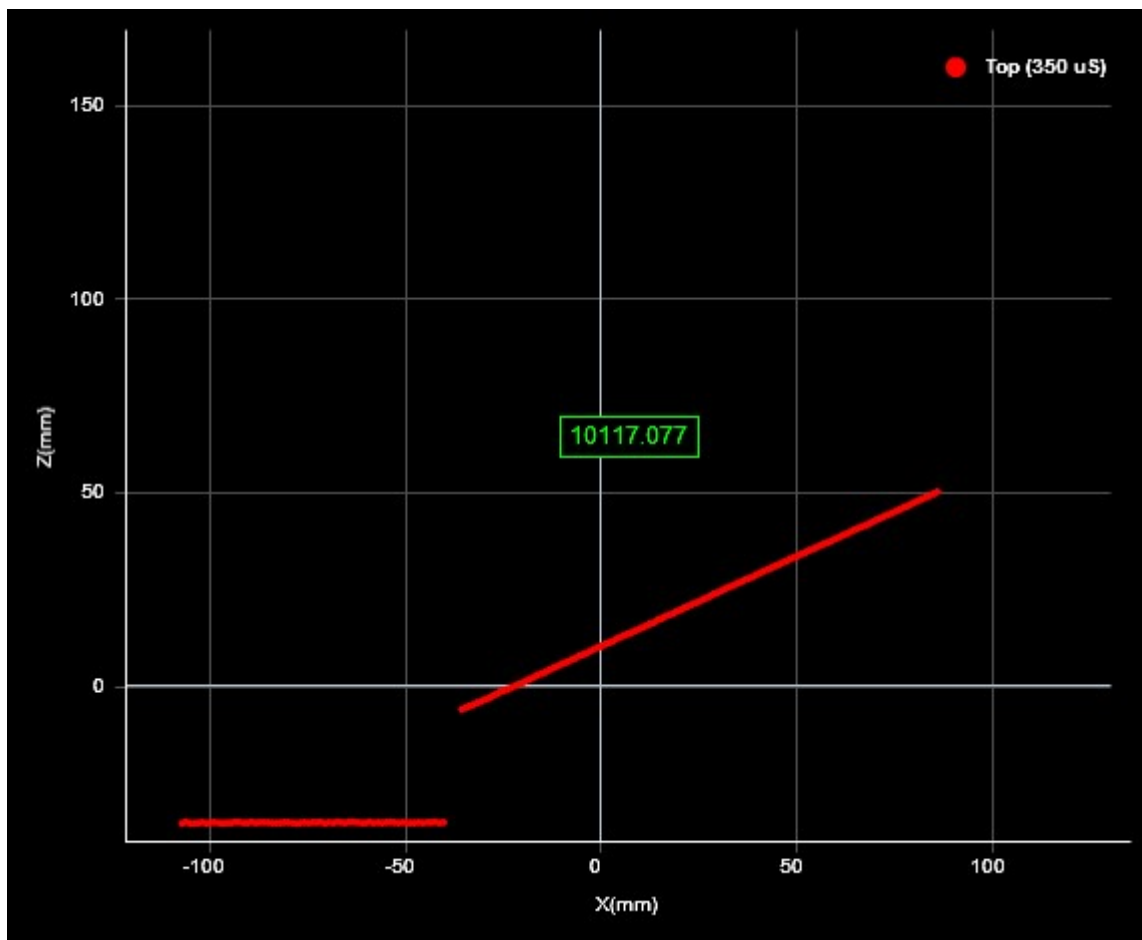
Kuva 26. Havainnekuva Surface Volume -työkalun toiminnasta kaksiulotteisena (LMI Technologies 2015).



Kuva 27. Havainnekuva Surface Volume -työkalun toiminnasta kolmeulotteisena (LMI Technologies 2015).

### 3.4.20 Script Built-in Functions

Molemmissa profiilin ja pinnan mittauksissa löytyy oma Script-työkalunsa. Script-työkalun mittauksia voidaan käyttää mukautetun mittauksen ohjelmointiin käyttäen yksinkertaistettua C-pohjaista syntaksia. Script-työkalun mittaus voi tuottaa useita mittausarvoja ja tuloksia ulostuloon. Työkalun mittausarvoja voidaan verrata määriteltäviin minimi- tai maksimiarvoihin päätöksen tekemiseksi. (LMI Technologies 2015.)



Kuva 28. Havainnekuva Script-työkalun toiminnasta (LMI Technologies 2015).

```
Code
1 double DimensionDistance = Measurement_Value(2);
2
3 if (Measurement_Valid(2))
4 {
5   Output_Set(DimensionDistance + 10000, 1);
6 }
7 else
8 {
9   Output_SetAt(0, 0);
10 }
```

\*Press save button or 'Ctrl+S' to apply change.  
Press 'Esc' to exit full screen.

Output:

Output 0 10117.077

Id:

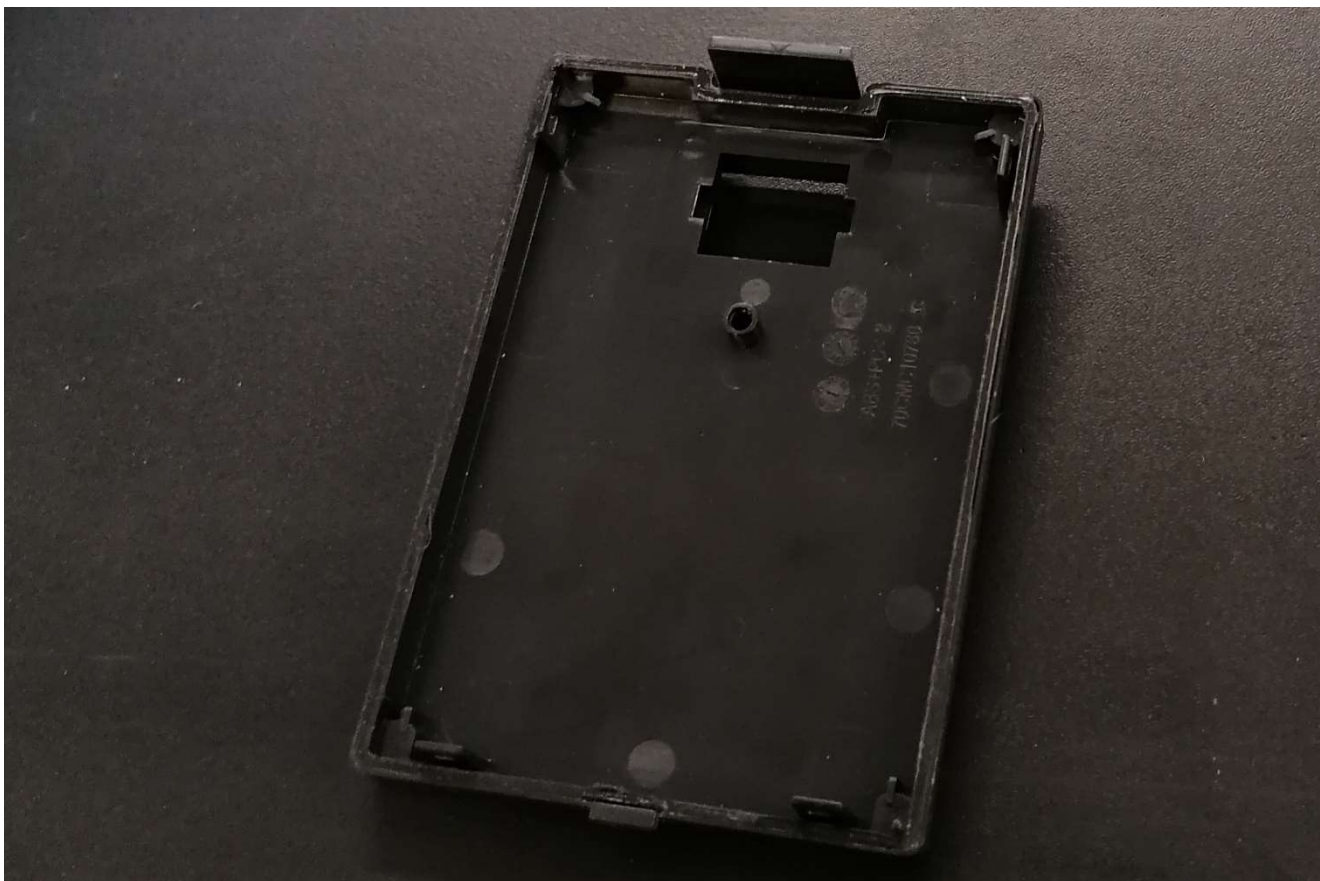
Kuva 29. Havainnekuva Script-työkalun ohjelmoinnista (LMI Technologies 2015).

## 4 KAPPALEIDEN SKANNAUS

Työn skannaukset toteutettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun robotiikan laboratorion tiloissa käyttäen koulun omaa laserskannerikokonaisuutta, johon kuului laserskanneri, kuljetin ja kannettava tietokone. Työssä oli tarkoituksena selvittää mahdollisia keinoja ruiskuvalussa tapahtuvien laatuvirheiden havaitsemiseen. Työssä käsiteltävissä kappaleissa yleisin virhe oli kappaleiden vajaatäyttö eli kappaletta valettaessa muotti ei jostain syystä täytynyt loppuun asti. Tästä aiheutuu epätasaisuutta, tai kappaleesta voi jopa puuttua huomattava palanen. Työssä selvitettiin myös, onko mahdollista havaita pinnan niin sanottuja kauneusvirheitä eli esimerkiksi naarmuja tai muuta vastaavaa. Myös inserttien löytymisen tutkimisesta oli aluksi puhetta, mutta sellaisia kappaleita ei päätynt testattavien joukkoon, joten tätä ei päästy kunnolla tutkimaan. Insertit ovat osia, jotka asetetaan muottiin ja valetaan kiinni tuotteeseen. Esimerkiksi mutteri kiinteänä osana tuotetta on insertti.

### 4.1 Kappale 1

Ensimmäisenä työssä oli tärkeää selvittää, että laserskannerilla pystyy ylipäättään tunnistamaan alkuperäisen kappaleen, jota saatiin MSK Plastilta kokonaisen erän verran tutkittavaksi. Kappaleen ongelmakohtana oli kappaleen alareunan vajaatäyttö. Tässä kappaleessa ongelma oli niin pieni täyttövaje, ettei sitä ihmissilmällä huomattu.



Kuva 30. Kuvassa kappale 1. Kuvasta poiketen työssä päädyttiin lopulta käyttämään kappaletta, jossa tiivistettä ei ollut reunoilla.

Alkuperäisten havaintojen perusteella laite tunnisti kyllä kappaleen kohtuu hyvin, mutta koska kappaleessa on kuvassa näkyvän reiän kohdalla pieni uloke kappaleen alle, kappale ei kulkenut linjalla vaakatasossa, joten kappaleen toinen pää kulki linjalla hieman toista alempana. Tästä aiheutui pientä epätarkkuutta kuvaan, jonka takia työssä päädyttiin käyttämään alustaa, johon kappaleen saisi suoraksi. Kappaletta myös kuvattiin alkuvaiheessa tiivisteiden kanssa.





Kuva 31. Kappaleen 1:n ongelmakohta havainnollistettuna punaisella viivalla.

Kappaleen suoristamiseen käytettiin pientä puunpalaa, joka sopi juuri kappaleessa olevan reiän ja kappaleen reunan väliin. Leveydeltään puunpala oli juuri niin leveä, ettei se tullut reunojen yli, joten se ei näkynyt millään tavalla kappaleen kuvaamisessa.

Kappaleen suoristamisen jälkeen ongelma oli saada kappale pysymään oikeassa asennossa kuva-alueella. Tästä seurasi useampia tunteja ja laboratoriokäyntejä ilman kunnollisia tuloksia. Juuri kun työssä saatiin tehtyä jonkinlainen tutkimiseen käytettävä työkalu aseteltua oikealle sijainnille ja saatiin lupaava tulos, kääntyi kappale käyttöliittymässä 180 astetta ympäri, jolloin työkalu olikin aivan väärässä kohdassa. Tästä seurasi vielä useamman tunnin yritykset säätää asetuksia kohdilleen, joka johti lopulta siihen, että skanneri ei antanut kappaleesta kuvaa ollenkaan.

Tässä välissä saatiin kappaleen skannaukseen uudet ohjeet, että tutkitaan kappaletta ilman tiivistettä. Aluksi kun kappaletta aloitettiin tutkimaan ilman tiivistettä, oli muutaman kerran ongelmana, että kuvanlaatu yllättäen muuttui tuntemattomasta syystä ilman minkäänlaista

arvojen muokkaamista, mutta luultavasti vika oli joissakin käytetyistä arvoista, koska tämä ei enää toistunut myöhemmässä työn vaiheessa, kun arvot olivat kohdillaan.

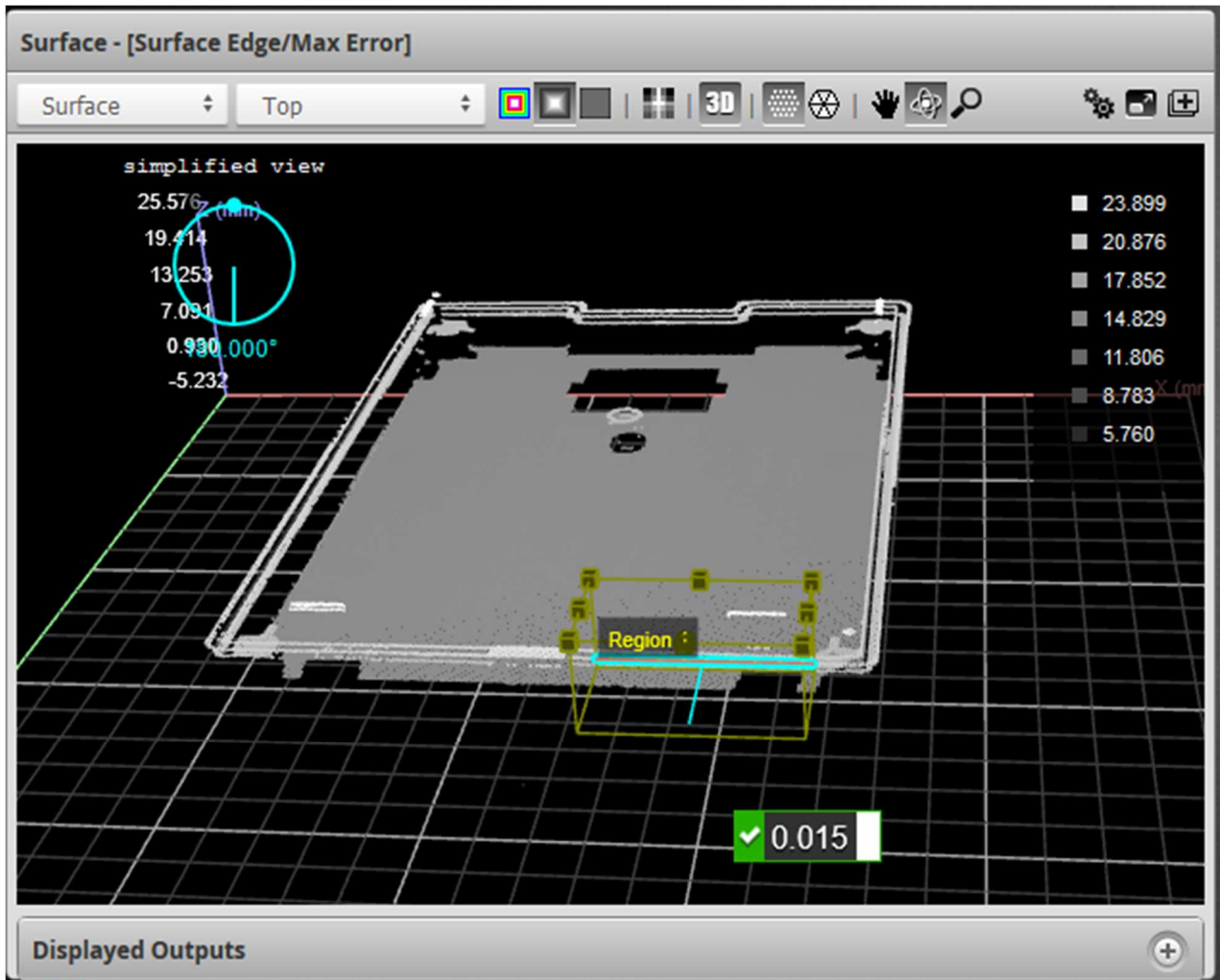
Työssä huomattiinkin, että ainakin vanhemman mallin skannereissa melko suuri ongelma vähänkään vähemmän harjaantuneelle käyttäjälle olivat laitteen käyttöliittymän hyvin niukat tai olemattomat viestit siitä, mikä skannauksessa meni pieleen. Välillä kuva ei yksinkertaisesti tullut näkyviin lainkaan, eikä käyttöliittymä kertonut syytä miksi. Toisinaan taas käyttöliittymä antoi virheilmoituksen koodilla ja kun koodin merkityksen selvitti, oli viestinä, että jokin parametreista ei ole sopiva kuvaukseen, eikä siis mitään tarkempaa selitystä, mistä parametristä mahtoi olla kyse.

Lopulta asiantuntijan avustuksella saatiin kappale näkyviin hyvänlaatuisena. Tässä kohdassa selvisi siis ongelma, joka aiheutti kappaleen kääntymisen 180 astetta, johtui väärästä paikoitusmenetelmästä. Paikoittaminen "Surface bounding box" -menetelmällä loi vain suorakulmion ulkoisten muotojen ympärille ja tästä syystä käyttöliittymä saattoi kääntää kappaleen, koska kappaleen ulkoinen muoto on riittävän symmetrinen. Tämän jälkeen otettiin käyttöön Edges-menetelmä, joka tunnisti kappaleen reunat. Tämän avulla tunnistettiin myös jo paikoitusvaiheessa kappaleessa oleva reikä, joten kappale saatiin paikoitettua huomattavasti paremmin, kun säädettiin paikoituksen sallima virhemarginaali kohdilleen, ettei laite hyväksynyt kappaletta sen ollessa väärinpäin. Lopulta paras kuva saatiin Scan-välilehdellä asettamalla Trigger-valikon Spacing-arvoksi 0,12 mm ja Sensor-valikosta Exposure-alavalikosta valotusajaksi valikoitui 750 mikrosekuntia. Näiden lisäksi säädettiin Sensor-valikosta Active area -toiminnolla aktiivinen alue, johon laitteisto keskittyi.

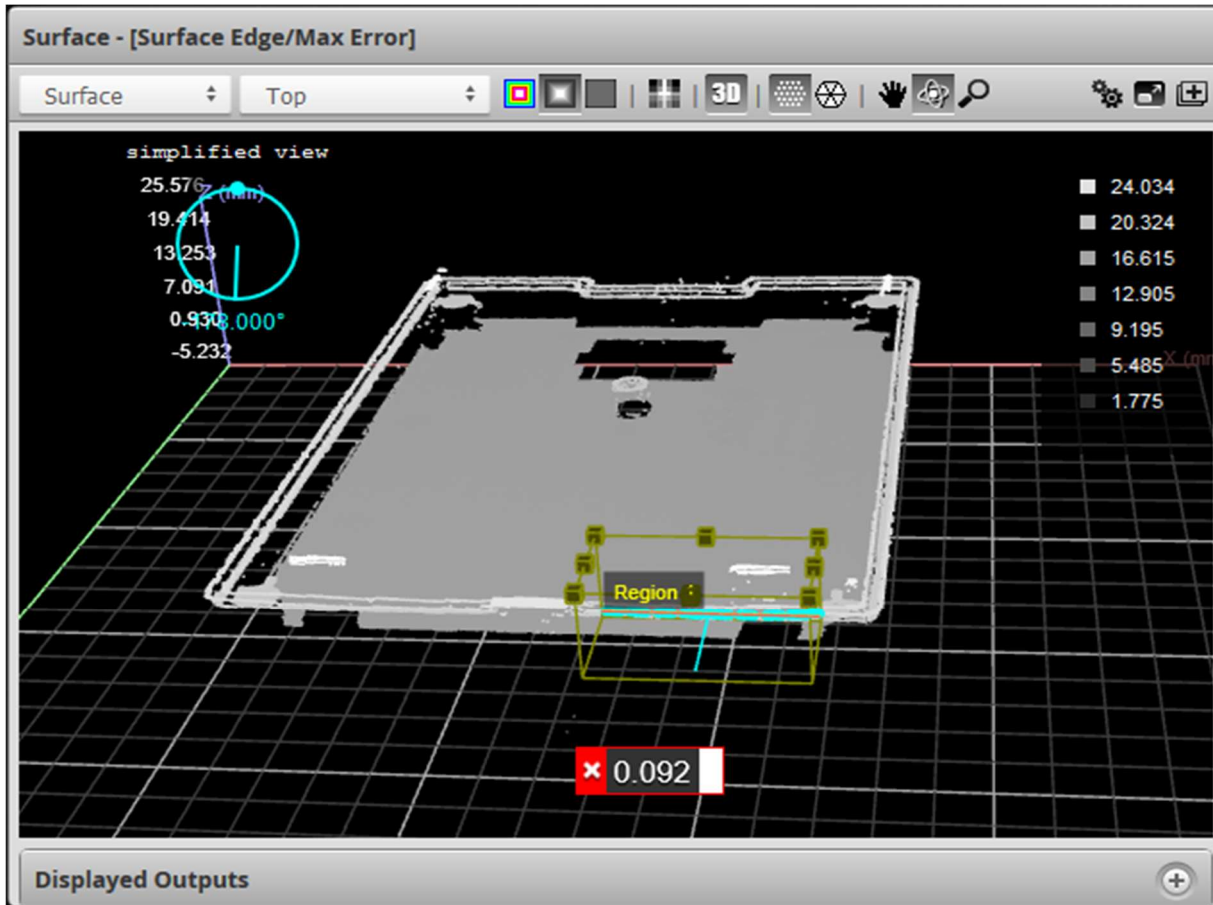
Tämän jälkeen valittiin Active area -alavalikosta Tracking window -valintaruutu, jonka alta aukeaa lisää valintoja. Valikon alta löytyi skannauksen korkeuteen liittyviä asetuksia. Sieltä pystyttiin asettamaan Height-kenttä sopivaan kohtaan ja Height-arvoksi säädettiin 21 mm.

Tämän jälkeen keskityttiinkin oikeiden työkalujen löytämiseen. Koska ongelmakohtana oli normaalisti suoran kohdan vajaatäyttö, asiantuntijan avustuksella valikoitui melko nopeasti kaksi erilaista mahdollisuutta tutkia virhettä kappaleessa. Surface edges -työkalua käyttämällä saatiin tutkittua juuri sitä reunaviivaa, jossa vajaatäyttöä esiintyi. Ensimmäisenä vaihtoehtona kokeiltiin käyttää Measurements-alavalikosta löytyvää Min error -menetelmää.

Pienellä arvojen säätelyllä saatiinkin hyviä tuloksia ja saatiin vialliset kappaleet eroteltua oikeista. Toinen vaihtoehto oli tehdä Surface Position -työkalulla sen Features-alavalikosta löytyvä Point-vertailukohta, jota pystyttiin käyttämään vertailukohtana ja ankkurina, josta pystyttiin mittaamaan Z Offset -menetelmällä, onko kappaleen pohjan ja reunan korkeusero sama. Myös tällä menetelmällä saatiin hyviä tuloksia.



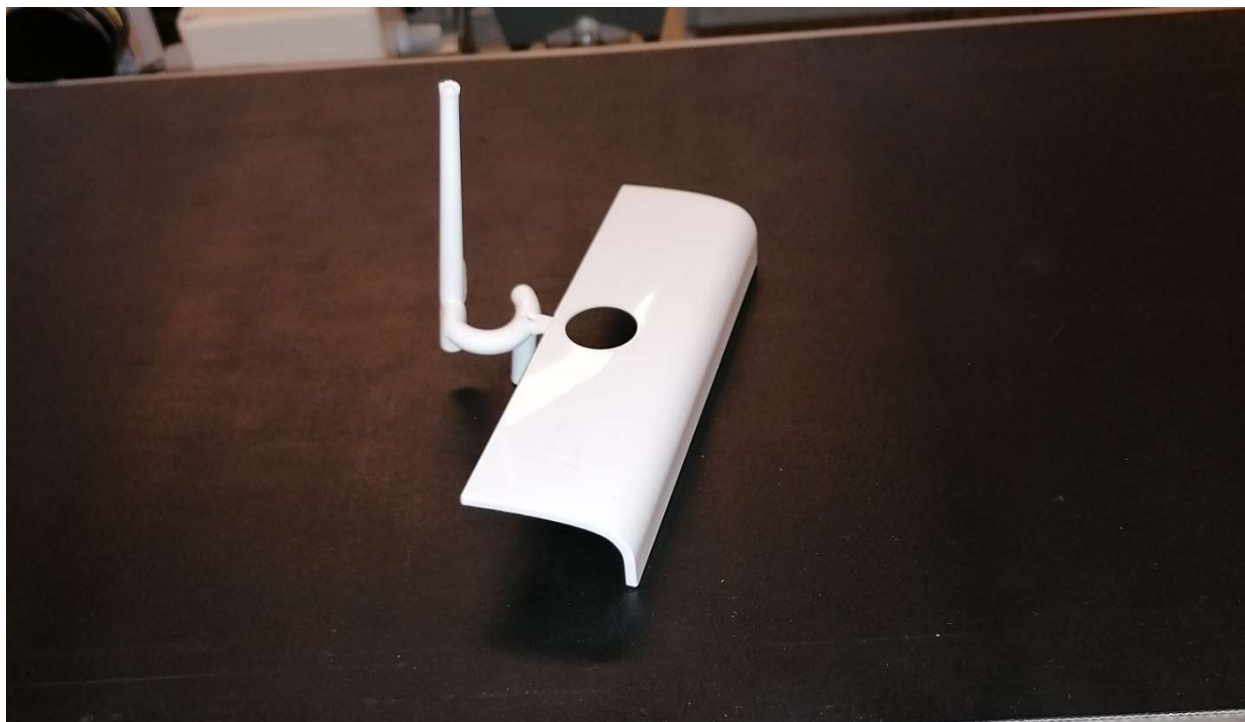
Kuva 32. Oikeanlainen kappale hyväksyttynä.



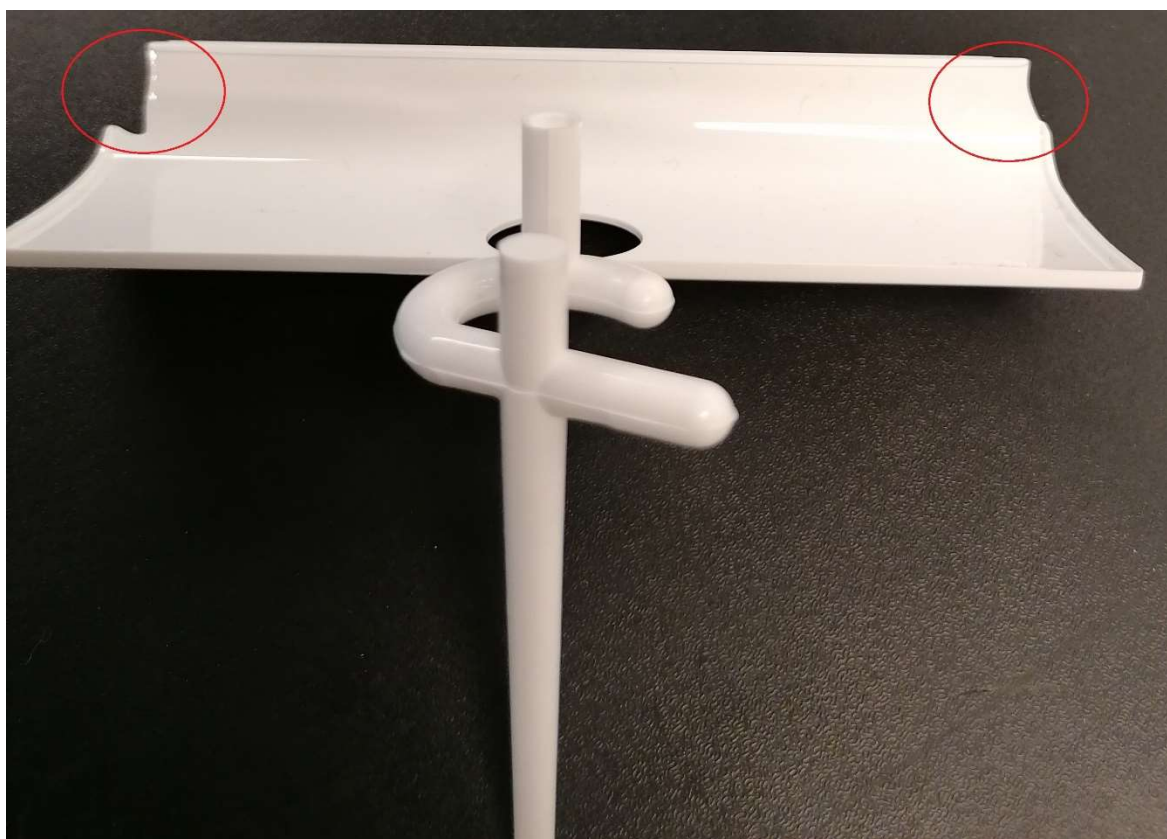
Kuva 33. Huonon kappaleen tunnistus.

## 4.2 Kappale 2

Tämän kappaleen ongelmakohtana oli, kuten kuvassa 35 näkyy, leveämpi kaartuva osa, johon saattaa ruiskuvalussa tulla vajaatäyttö.



Kuva 34. Kuvassa kappale 2.

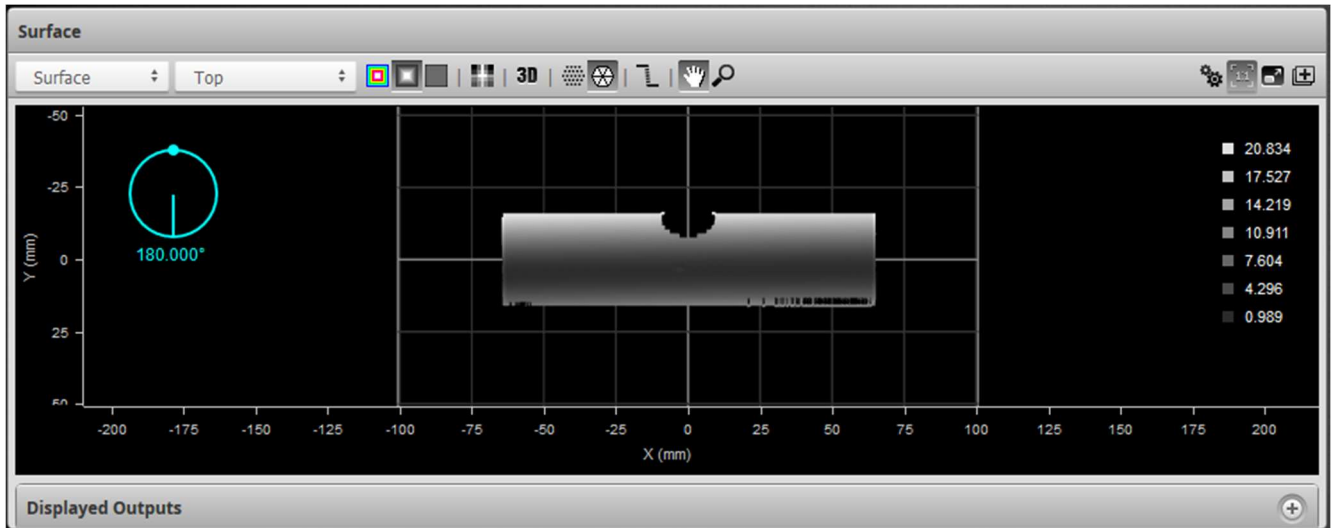


Kuva 35. Kappale 2 oikeassa kuvausasennossa. Samalla myös esimerkkinä viallinen kappale, ongelmakohdat ympyröity punaisilla ympyröillä.

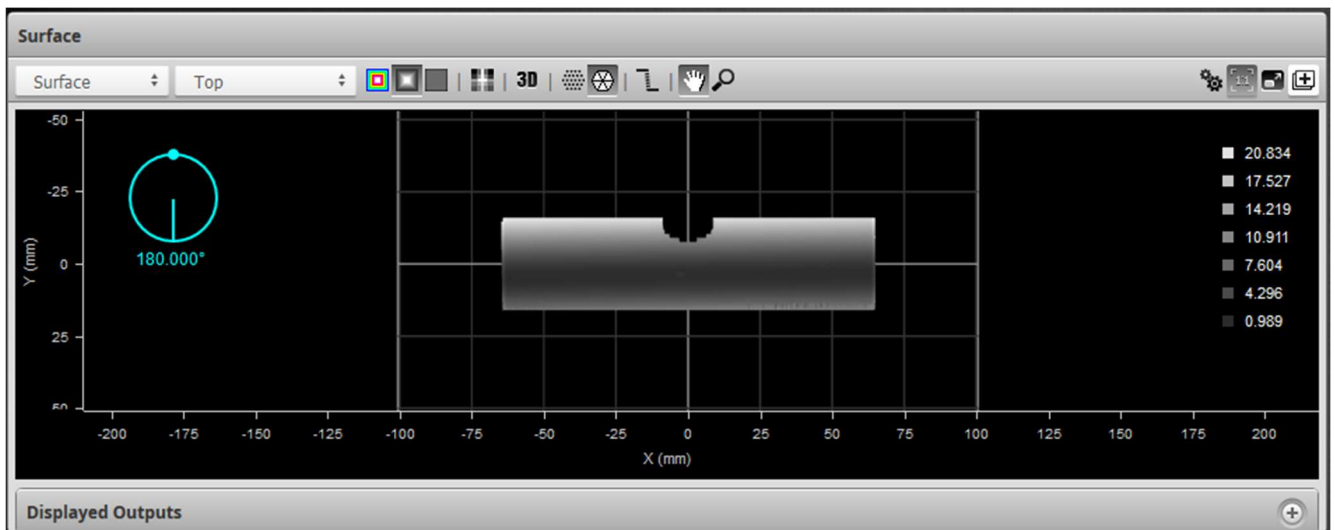
Kappaleen erikoinen muoto aiheutti päänvaivaa. Kuten kuvassa 34 näkyy, kappaleessa oli ohut ja kapea varsi tai sen kaltainen osa ja sitten leveämpi kaareva osa. Juuri kaarevan ja leveän osan kuvassa kuljetinta vasten olevassa osassa oli mahdollisia vaajatäyttöjä. Skanneri tulkitse käyttetyillä asetuksilla linjalla kulkevan kaksi eri kappaletta, joka johtui ilmeisimmin siitä, että kappaleen muoto loi hetkellisesti liian suuren välin kahden osan välillä, joten skanneri alkoi skannaamaan sitä uutena palana. Tästä syystä kappale onnistuttiin skannaamaan vain toisesta suunnasta.

Mahdollisesti myös kappaleen muodon takia kappaleelle oli vaikeaa löytää oikeanlaisia asetuksia. Tällä kertaa ongelmat eivät olleet paikoituksessa, vaan siinä, että kappaleen sai ylipäättään näkymään. Eli taas kerran ongelmaa tuotti, ettei käyttöliittymä tarjonnut minkäänlaista vihjettä siihen, missä vika olisi voinut olla. Tämä ongelma ratkaistiin kuitenkin kohtuullisen nopeasti, koska arvojen säätämisestä oli kokemusta jo edellisestä kappaleesta.

Noin tunnin säätelyn jälkeen Scan-välilehden Trigger-valikon Spacing-arvoksi saatiin 1,4 mm ja Sensor-valikosta Exposure-alavalikosta valotusajaksi saatiin lopulta 670 mikrosekuntia. Myös aktiivista aluetta säädettiin Active area -toiminnolla. Height-kenttää muokattiin hieman, mutta Height-arvon muuttamisella ei tuntunut olevan merkitystä tulokseen, joten se jätettiin samaan 21 mm:n arvoon kuin edellisessä kappaleessa. Näilläkin arvoilla jostain syystä keskelle yhtenäisiä alueita tuli reikiä kohtiin, joissa ei reikiä ollut, joten kuvaan jouduttiin käyttämään Filter-valikosta Gap filling -ominaisuutta molemmille x- ja y-akseleille, jotta saatiin paranneltua kuvan täyttöä. Jostain syystä keskelle yhtenäistä aluetta tuli reikiä kohtiin, joissa ei reikiä ollut.

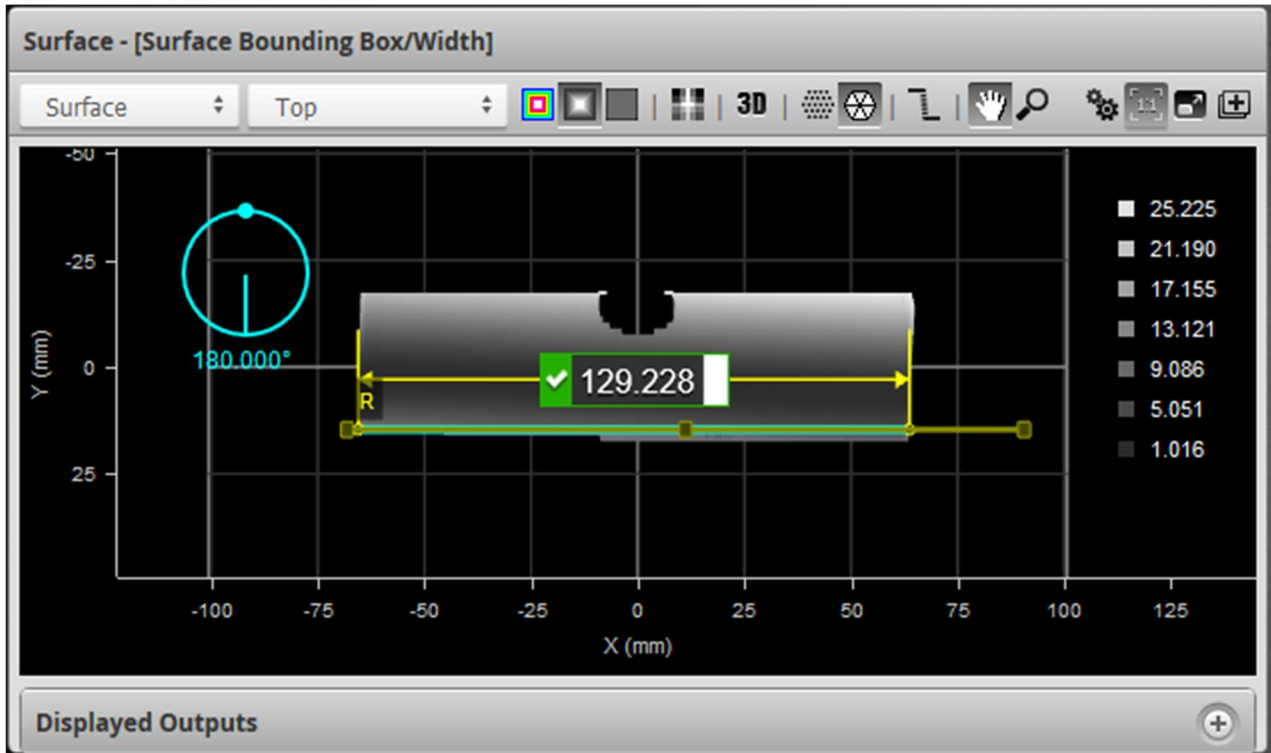


Kuva 36. Kappale 2 ilman Gap filling -ominaisuutta.

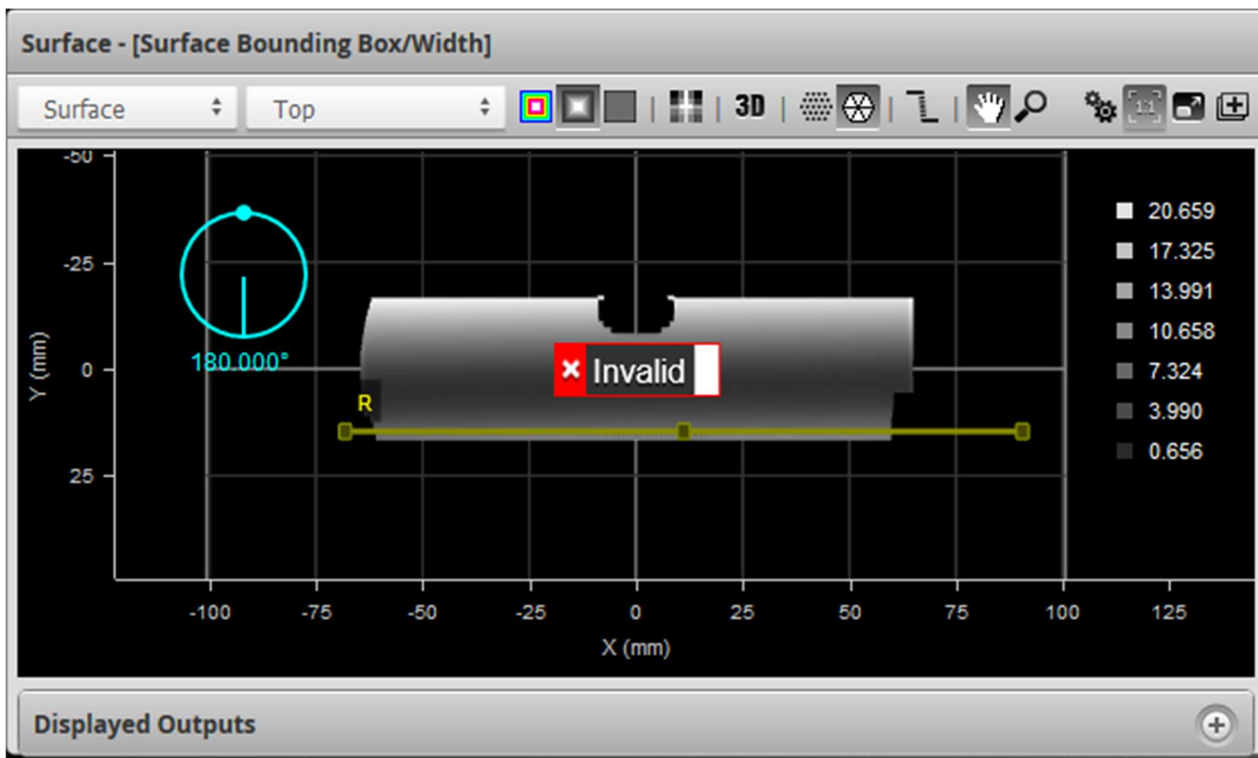


Kuva 37. Kappale 2 Gap filling -filterin läpi ajettuna.

Kappaleesta saatiin huonohkosta laadusta huolimatta eroteltua hyvät ja huonot melko hyvin. Virheiden tunnistamiseen käytettiin Surface bounding box -työkalun Measurements-alavalikosta Width-toimintoa, joka tutki määritetyn alueen leveyttä ja sen perusteella määritteli, onko kappale hyväksytty.



Kuva 38. Esimerkki oikean kappaleen tunnistuksesta. Laatu tekee jostain syystä alareunaan kummallisen ylimääräisen pätkän kappaletta, jota ei ole oikeasti olemassa, mutta skanneri silti tunnistaa kappaleen oikeaksi leveyden perusteella.



Kuva 39. Kuva hylätystä kappaleesta, jossa reunoista puuttuu selkeästi isot palaset.



Kappaleista yhdessä oli vain hyvin pieni täyttövirhe toisessa kulmassa, kuten näkyy kuvassa 40. Tätä ei saatu tunnistettua skannauksissa vialliseksi kappaleeksi. Mittauksia tehtiin kuitenkin useita kymmeniä ja kaikki muut vialliset kappaleet saatiin tunnistettua.

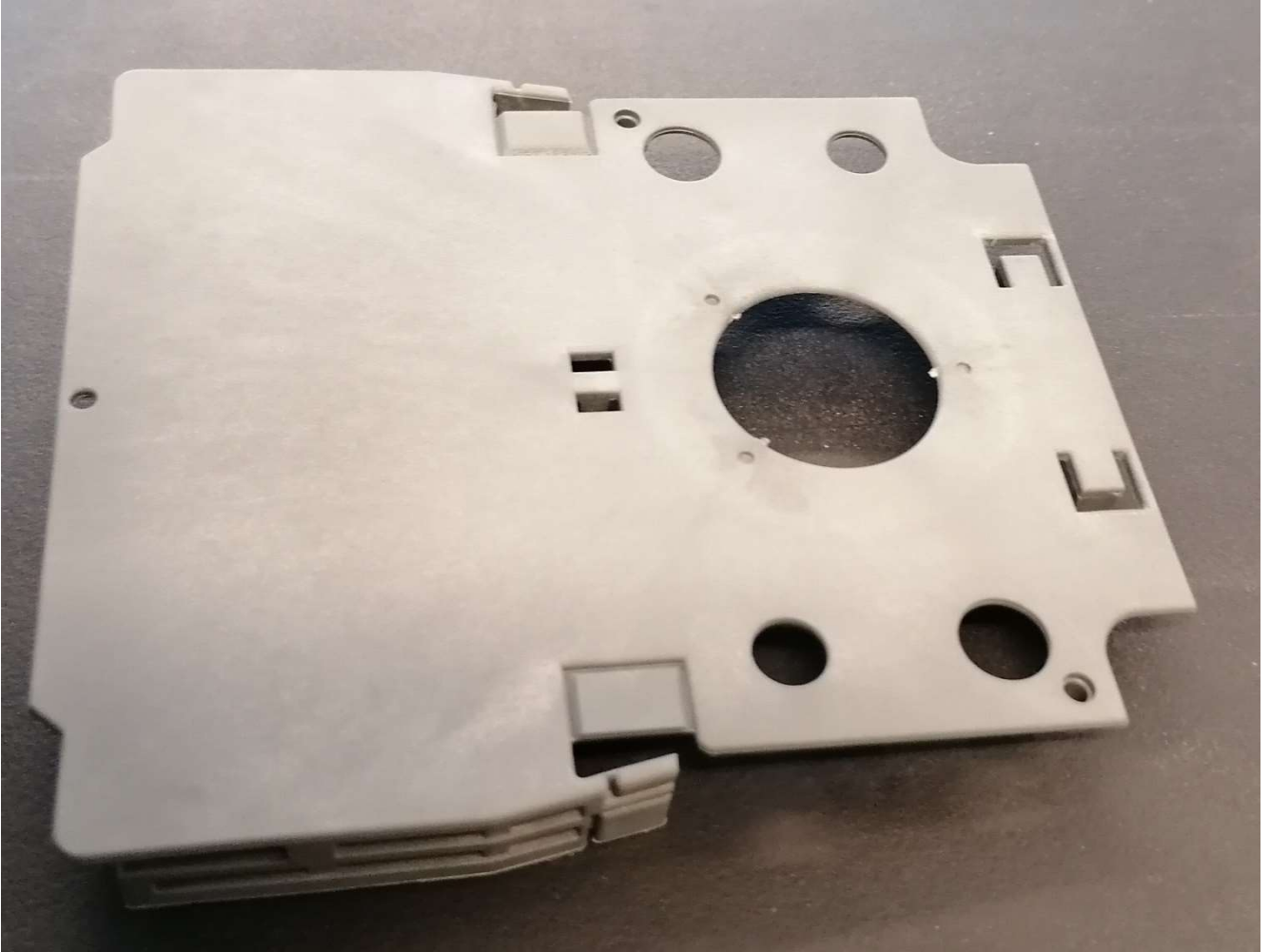


Kuva 40. Kuvassa kappale, jota skanneri ei pystynyt erottelamaan vialliseksi.

Lopuksi yritettiin vielä säätää arvoja, jotta kuvasta saataisiin paremman laatuinen. Jostain syystä, kun kuva saatiin paremman laatuiseksi, käyttöliittymä käänsi sen noin 45 asteen kulmaan. Tälle ei löytynyt ratkaisua, joten työssä pitäydettiin huonomman laadun kuvissa.

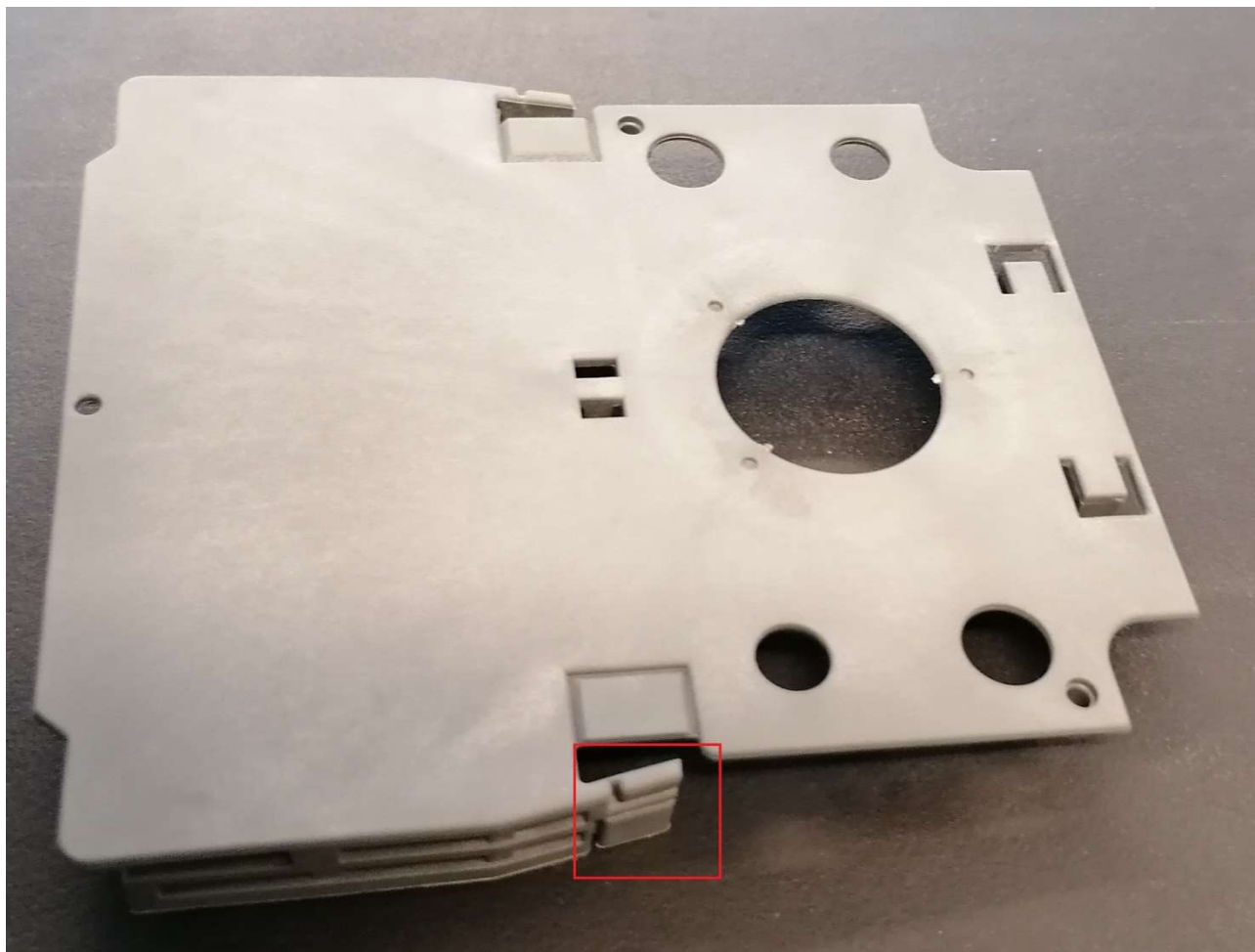
### 4.3 Kappale 3

Tässä kappaleessa ongelmana olivat kappaleen sivussa olevat pystysuorat osat.



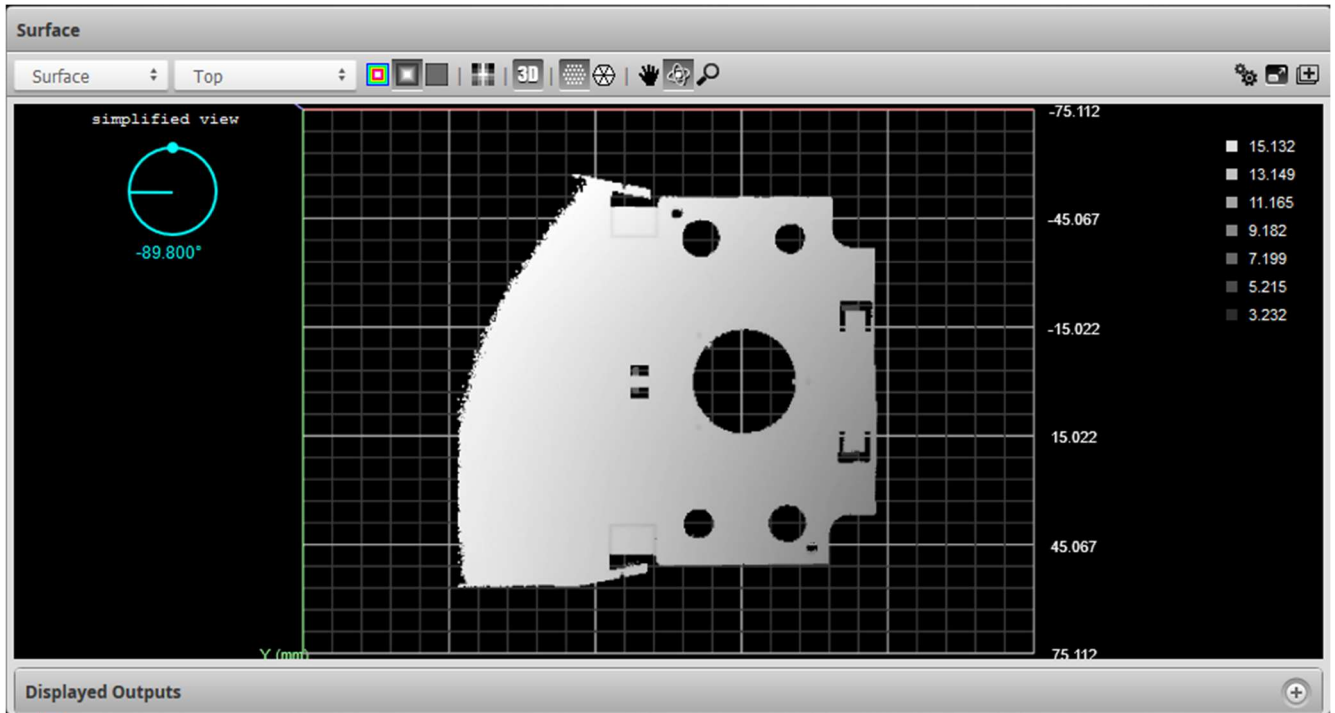
Kuva 41. Kuvassa kappale 3.

Tätä kappaletta skannailtaessa aloitettiin skannaukset epähuomiossa viallisella kappaleella. Kappaleelle säädettiin ensin Trigger-valikosta Spacing-arvoksi 0,5 mm ja Sensor-valikon Exposure-alavalikosta Exposure 800 mikrosekuntiin. Lisäksi säädettiin aktiivinen alue Active area -toiminnolla paremmaksi. Tässä kului aikaa alle 10 minuuttia, sillä arvot olivat sattumalta heti melko hyvät. Tämän jälkeen lähdettiin säätämään arvoja lisää, jotta kuvaa saataisiin vieläkin paremmaksi. Noin 10 minuutin säätelyn jälkeen, Spacing-arvolla 0,12 mm ja Sensor-valikon Active area -alavalikon Tracking window -valintaruudun alta paremmaksi säädetyllä Height-kentällä ja Height-arvolla 15 mm, saatiin laadultaan melko hyvä kuva. Tämän jälkeen huomattiin käytössä olevan kappaleen olevan viallinen yksilö.



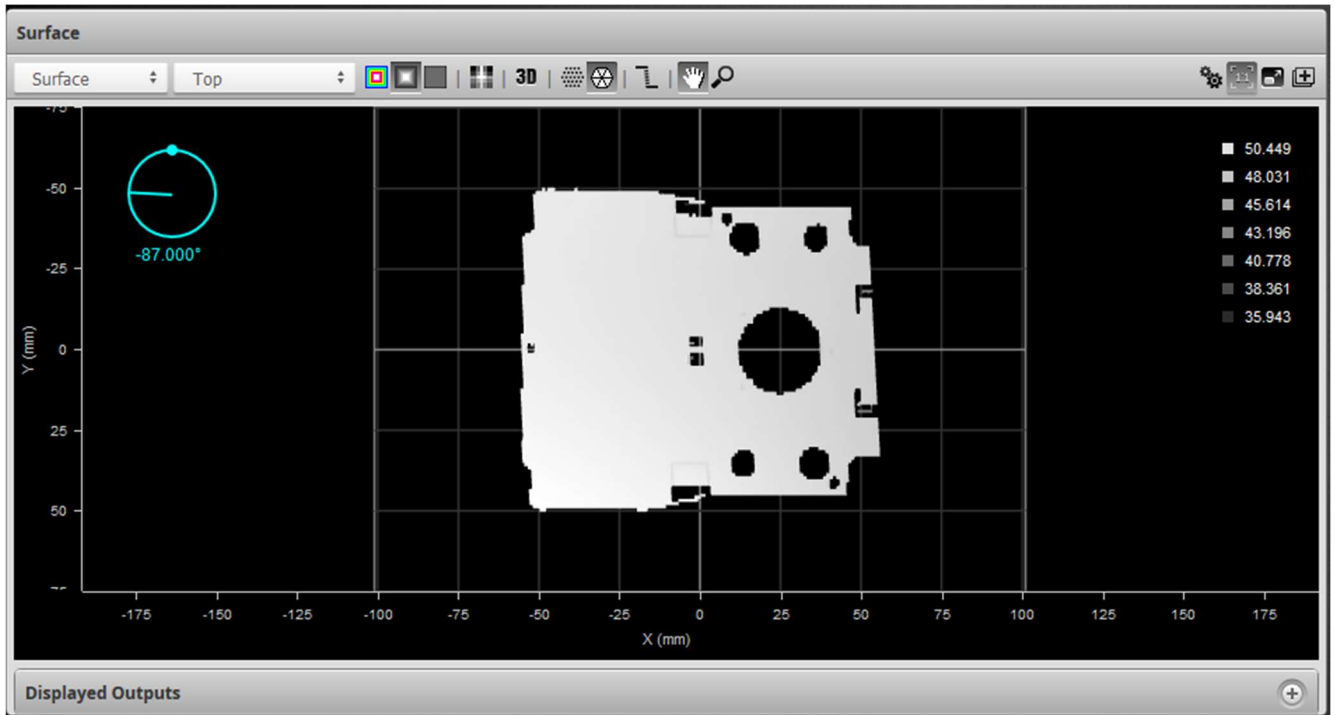
Kuva 42. Kappaleen 3 ongelmakohta havainnollistettuna punaisella neliöllä.

Tämän jälkeen käyttöön otettiin kuvissa 41 ja 42 näkyvä ehjä kappale. Ongelmana tämän kappaleen kanssa oli kuitenkin, että kunnollisella täytöllä kappale ei pysynytään ihan suorassa kuljettimella. Tämä aiheutti sen, että kappaleen skannauksessa kappaleesta jäi puuttumaan yksi sen kulmista.



Kuva 43. Oikea kappale 3 ilman alustaa.

Oli siis etsittävä kappaleelle jonkinlainen alusta, jolla sen saisi suoraksi. Laboratorion tiloista löytyikin puupalikka, jolla kappale saatiin kulkemaan suorassa linjalla. Koska kappaleen korkeus muuttui palikan myötä merkittävästi, oli arvoja säädettävä jälleen uudestaan. Noin kymmenen minuutin säätelyn jälkeen saatiin kelvollinen kuva Spacing-arvolla 1 mm ja Exposure-arvolla 2000 mikrosekuntia. Myös Height-kenttää ja aktiivista aluetta muokattiin paremmin sopivaksi kappaleelle. Height-arvoksi asetettiin 25 mm.

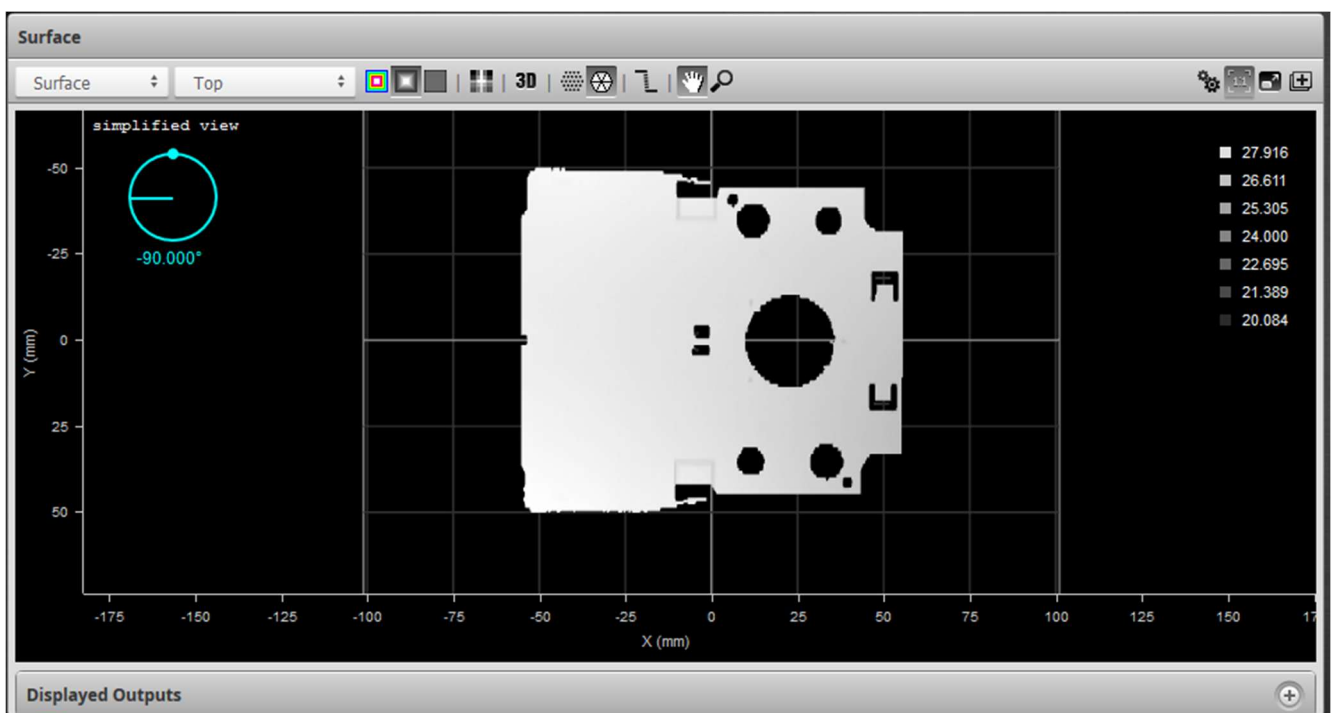


Kuva 44. Kappale 3 korkeammalla alustalla.

Tämän jälkeen kohdattiin taas ongelmia. Yritettäessä parantaa kuvan laatua entisestään, kokeiltiin muuttaa Sensor-valikon Spacing-alavalikosta "Spacing interval"-asetusta, joka antaa kolme erilaista automaattiasetusta, jotka ovat nimeltään Resolution, Balanced ja Speed. Oletettavasti Resolution keskittyy parantamaan resoluutiota, mutta samalla tulos tulee herkemmäksi nopeuden aiheuttamalle häiriölle, ja Speed puolestaan helpottaisi nopeudesta aiheutuvaa häiriötä, mutta resoluutio ei olisi paras mahdollinen. Balanced taas olisi siltä väliltä eli se yrittää vähentää jossain määrin nopeudesta aiheutuvaa häiriötä ja yrittää siinä samassa parantaa resoluutiota mahdollisuuksien mukaan. Tämän kokeilun myötä kuitenkin kuva katosi kokonaan näkyvistä, eikä se palautunut, vaikka asetuksen säätö takaisin alkuperäiseen asetukseensa.

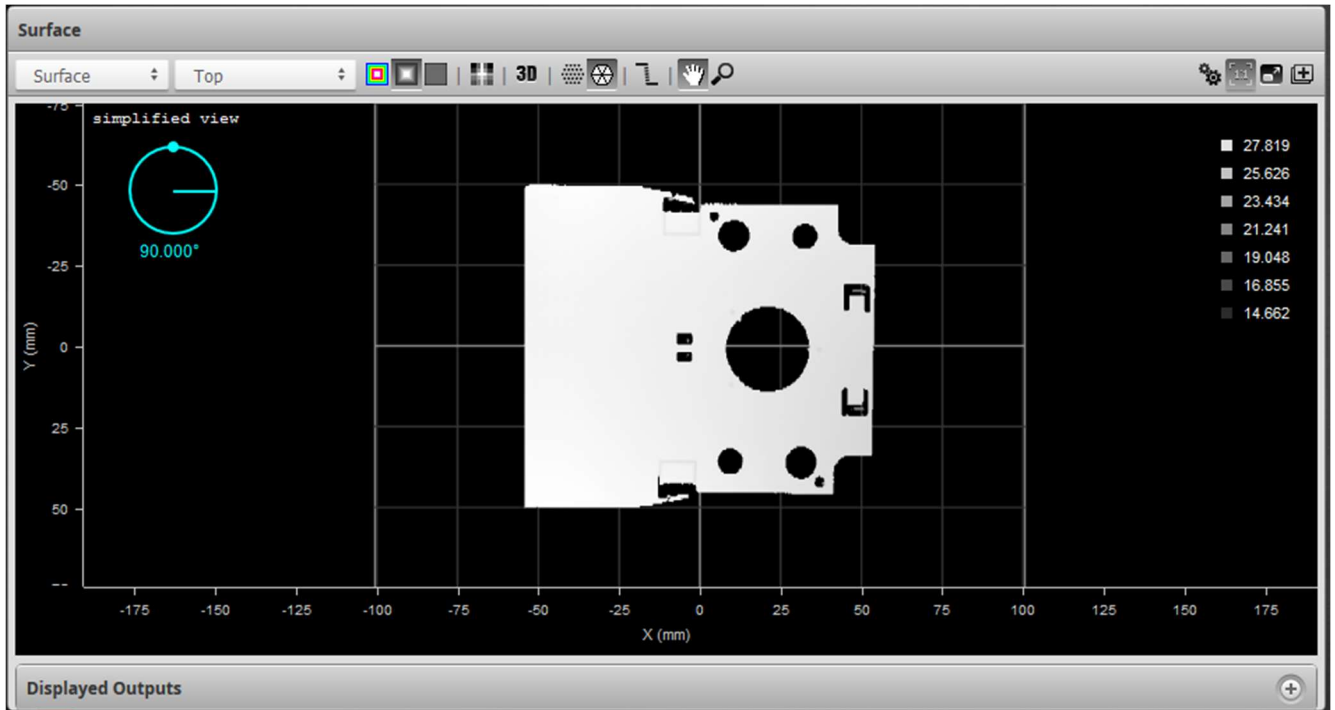
Kuvan uudelleen näkyviin saaminen kesti noin viisitoista minuuttia. Kuva saatiin lopulta takaisin säätämällä Trigger-valikon Spacing-arvoksi 1,2 mm, mutta kuvan laatu huonontui kohtuullisen paljon. Kun kokeiltiin vaihtaa Trigger-valikon Spacing-arvo takaisin arvoon 1 mm, jostain syystä kuva yhtäkkiä näkyikin taas normaalisti ja paremmalla laadulla. Tämän jälkeen yritettiin arvoja säätää, että kuvasta saataisiin parempi, mutta ilmeisesti puupalikka oli alustana liian korkea, eikä arvoista saatu sellaisia, että kuvan laatu olisi parantunut samankaltaiseksi, kuin alkuun virheellisellä kappaleella saadut kuvat.

Tämän jälkeen etsittiin kappaleelle matalampaa alustaa ja laboratorion tiloista löytyikin ympyränmuotoinen muovikappale, jolla kappale saatiin pysymään tasapainossa. Arvoja täytyi tietenkin muuttaa jälleen, joten kokeiltiin alkuperäistä Spacing-arvoa 0,5 mm ja Exposure säädettiin arvoon 1000 mikrosekuntia. Myös aktiivinen alue ja Height-kenttä säädettiin paremmin matalammalle sopivaksi ja Height-arvo palautettiin arvoon 15 mm. Näillä arvoilla saatiin jo kohtuullinen kuva. Ainoana huonona puolena kappaleessa oli, että se oli sijoitettava keskellä olevien pienien reikien reunalle, joten alusta hieman vääristää kuvaa, mutta kappaletta annettaessa annettiin ymmärtää, etteivät kyseiset reiät ole ongelmakohtia tässä kappaleessa.



Kuva 45. Kappale 3 matalammalla alustalla ensimmäisillä arvoilla.

Tämän jälkeen kokeiltiin Spacing-arvoa pikkuhiljaa laskea ja arvolla 0,3 mm saatiinkin vieläkin paremman laatuinen kuva. Myös alustaa saatiin siirrettyä sen verran, ettei se peitä reikiä keskeltä.



Kuva 46. Kappale 3 muokatuilla arvoilla ympyrän muotoisen aluskappaleen kanssa.

Kaiken tämän työn jälkeen oli hieman turhauttavaa huomata, ettei kappaletta saanut ylhäältäpäin kuvattuna millään työkalulla kunnolla tunnistettua. Viallisissakin kappaleissa oli kuitenkin jotakin täyttöä ongelmakohdassa koko pituudelta ja osassa myös korkeus oli samalla tasolla edes osan alueesta, joten silläkään ei saatu luotettavaa tulosta. Kappale vaatisi joko erilaisen skanneriasetelman, esimerkiksi sivusta kuvaavan tai jollain akselilla liikkuvan skannerin, jota ei valitettavasti laboratorion tiloissa saanut järjestettyä tai vaihtoehtoisesti jonkinlaisen alustan, joka pitäisi kappaleen kylki ylöspäin, mutta jos kappaleen olisi kääntänyt pystyyn, olisi se ollut liian korkea skannattavaksi.

#### 4.4 Kappale 4

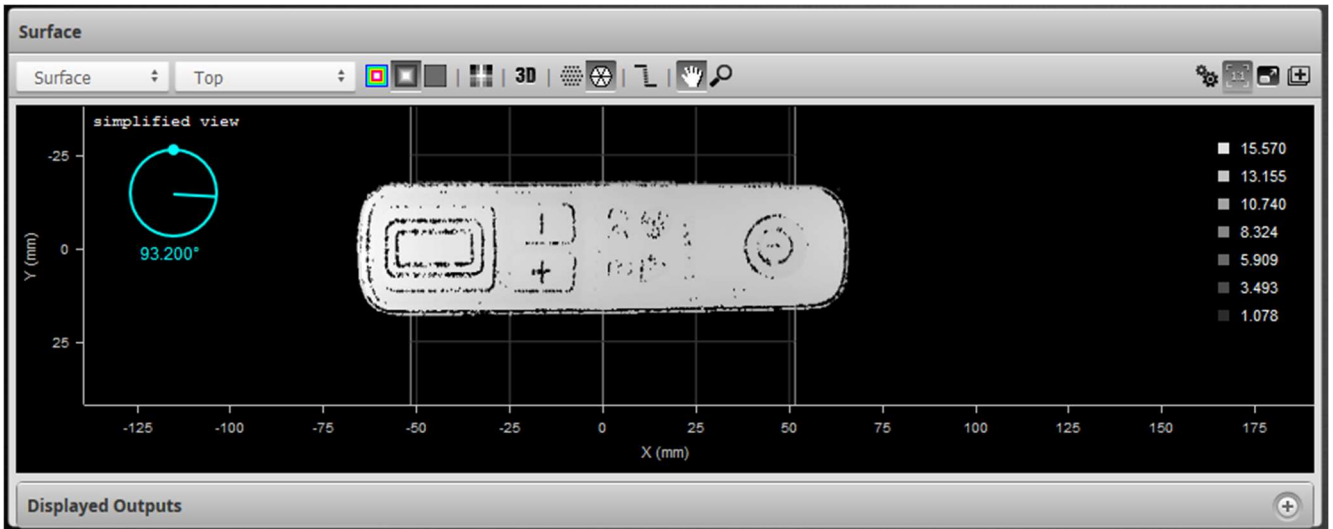
Neljäs ja työn viimeinen kappale oli hyvin matala ja tarkoitus oli selvittää, pystyisikö skannerilla havaitsemaan pinnan virheitä, esimerkiksi ylimääräisiä painaumuksia.



Kuva 47. Esimerkki kappaleesta 4. Kuvassa myös punaisella rajattu ongelmakohta, jota yritettiin tunnistaa.

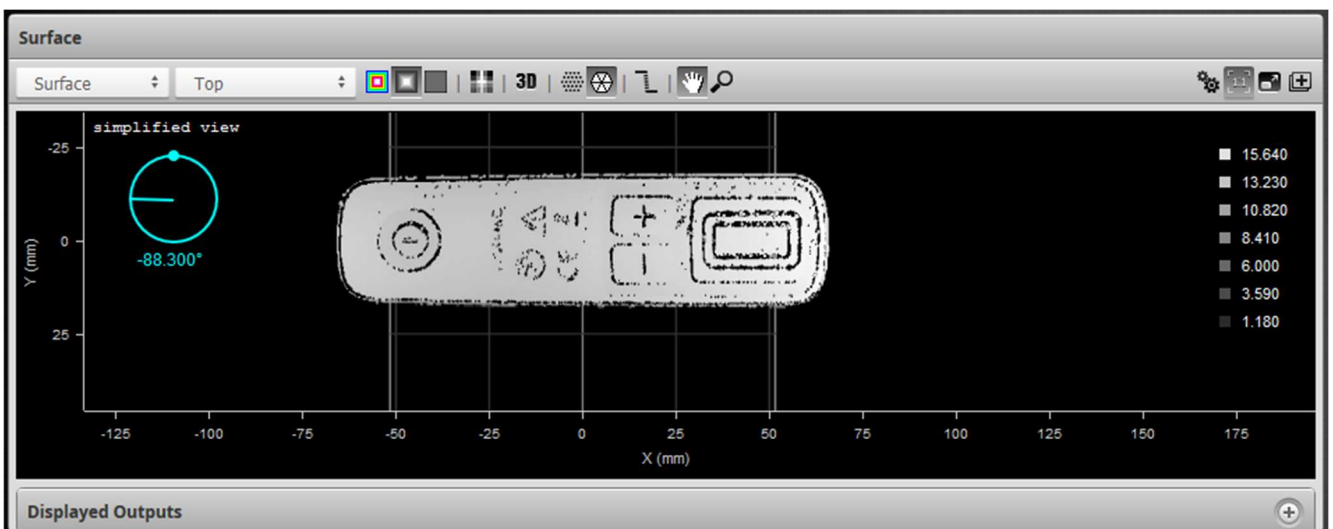


Arvoja yritettiin noin puolen tunnin ajan säätää, jotta kuvasta saataisiin riittävän hyvä tunnistukseen. Lopulta Trigger-valikon Spacing-arvolla 0,2 ja Sensor-valikon Exposure-alavalikon Exposure-arvolla 570 mikrosekuntia saatiin melko hyvä kuva kappaleesta.



Kuva 48. Ensimmäinen edes hieman selkeä kuva, joka kappaleesta 4 saatiin.

Kappaleesta saatu kuva ei kuitenkaan ollut riittävän tarkka, että siitä olisi voinut saada minkäänlaista virhettä etsittyä työkaluilla, koska virheet olivat hyvin pieniä kappaleen pinnassa. Arvoja yritettiin muokata vielä, jotta kuvasta saataisiin parempi. Tunnin työskentelyn ja erilaisten arvojen kokeilun jälkeen todettiin, että ainoa tapa, jolla kuvaa saatiin parannettua edes vähän, oli pienellä Exposure-arvon laskemisella. Se säädettiin arvoon 550 mikrosekuntia.



Kuva 49. Kappale 4 hieman paremmalla kuvanlaadulla.

Skannauksessa kokeiltiin ainakin kolmea eri versiota kyseisestä kappaleesta ja kappaleita skannattiin kymmeniä kertoja, mutta valitettavasti tästä kappaleesta ei saanut niin hyvää kuvaa, että työkaluilla olisi tästä saanut selkeästi eroteltua pinnan virheitä, joten tästä kappaleesta ei saanut kunnollista tunnistusta.

## 5 Tulokset ja pohdinta

Työssä tutkittiin vajaatäytön ja pintavirheiden etsimistä laserskannerilla neljän esimerkkikappaleen avulla. Työhön oli tarjolla kaikkiaan yhdeksän erilaista kappaletta. Käytetyt neljä kappaletta valikoituivat suureksi osaksi olosuhteiden pakosta, joka tässä tapauksessa tarkoittaa sitä, että neljä tarjolla olevista kappaleista olivat ilmeisimmin liian korkeita käytettyyn skannauslayoutiin. Tämä oletus tehtiin sen pohjalta, ettei niille löytynyt arvoja, joilla kappaleista olisi saanut minkäänlaista kuvaa tai ainakaan kokonaista kuvaa näkyviin. Viimeinen jäljelle jäänyt kappale oli yrityksen puolesta todettu jätettäväksi ulkopuolelle, sen ollessa hyvin samankaltainen toisen kappaleen kanssa. Lisäksi tätä kappaletta oli vain yksi, joten siitä ei olisi voitu etsiä virheitä, koska verrokki puuttui. Työhön olisi mielellään otettu ainakin yksi kappale, jossa inserttejä olisi päässyt tutkimaan, mutta valitettavasti kappaleet, joissa niitä oli, olivat ilmeisesti liian korkeita käytettyyn skannauslayoutiin, koska niistä ei saatu kuvaa ollenkaan.

Työn tulokset olivat hieman kaksijakoisia. Kahdelle ensimmäiselle kappaleelle löydettiin ainakin jokseenkin toimivat tunnistukseen käytettävät työkalut. Ensimmäistä kappaletta skannattiin kymmeniä kertoja ilman virheitä. Toistakin kappaletta skannattiin melkein yhtä paljon, mutta toisen kappaleen tapauksessa oli yksi viallinen kappale, jota ei saatu eroteltua. Kahdesta jälkimmäisestä kappaleesta ei puolestaan tuloksia saatu ollenkaan. Toki suurella todennäköisyydellä kolmannesta kappaleestakin saisi hyviä tuloksia, jos kappaleen saisi skannattua ongelmakohtan suunnasta, eikä suoraan ylhäältäpäin. Skannauksien perusteella voinee todeta, että laserskanneria voitaisiin soveltaa ainakin jossain määrin vajaatäyttöjen löytämiseen ruiskuvalutuotteissa. Pinnan virheitä ei ainakaan tämän työn perusteella pystytä laserskannerilla tutkimaan. Työssä ei kuitenkaan päästy tutkimaan pintaa, jossa olisi selkeä naarmu tai kunnon lovi, joten näistä ei voida todeta varmuudella, ettei laserskannerilla niitä pystyisi toteamaan. Lisäksi pinnan tutkiminen voisi onnistua paremmin hyödyntämällä uusinta teknologiaa ja jos tekijänä toimisi asiaan pidemmällä aikavälillä perehtynyt ja huomattavasti alalla kokeneempi ammattilainen.

On hyvä pitää mielessä, että työssä käytetty laserskanneri oli noin kahdeksan vuotta vanha, joten teknologian kehityksen huomioiden on mahdollista, että jos skannauksissa olisi hyödynnetty uusinta teknologiaa, olisivat tulokset voineet olla parempia. Työn alkaessa

huomattavasti aliarvioitiin työn monimutkaisuus ja mahdolliset ongelmakohdat, minkä vuoksi työn alkuperäisesti suunniteltu aikataulu ei toteutunut. Myös COVID-19-pandemia toi omat haasteensa työhön. Yrityskäyntejä oli luultavasti huomattavasti vähemmän, kun niitä olisi ollut niin sanotusti normaaliolosuhteissa.

Itse työn osuudessa etenkin alkupuolen vaikeudet johtuivat suureksi osaksi vähäisestä kokemuksesta laitteen käyttöön liittyen. Laitetta oli kyllä käytetty konenäön kurssilla, muttei laitteeseen mitään kovin syvällistä perehtymistä ollut osana kurssia. Kurssin painopiste oli muutenkin konenäön puolella. Laserskannaukseen liittyen kurssin materiaaleista ei löytynyt muuta tietoa, kuin laboratoriotyön ohjeistus. Pikkuhiljaa sekin alkoi kuitenkin luonnistua paremmin ja ongelmat, joihin aluksi käytettiin tuntikaupalla aikaa, alkoivat ratketa hyvinkin nopeasti, kun opittiin säätämään oikeita asetuksia. Opittavaa toki jäi tämän työn jälkeenkin ja kokemuksella ja vielä paremmalla asiaan perehtymisellä saisi varmasti parempia tuloksia.

## LÄHTEET

- Alper G. 13.10.2017. Blooming suppression and smear rejection with ccd machine vision cameras. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.6.2021]. Saatavilla: <https://www.adimec.com/blooming-suppression-and-smear-rejection-with-ccd-machine-vision-cameras/>
- Hasinoff S. W. 2012. Saturation (imaging). [Verkkosivu]. [Viitattu 8.6.2021]. Saatavilla: <https://people.csail.mit.edu/hasinoff/pubs/hasinoff-saturation-2012-preprint.pdf>
- Latimer, W. 5.6.2015. Understanding laser-based 3D triangulation methods. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.6.2021]. Saatavilla: <https://www.vision-systems.com/cameras-accessories/article/16738248/understanding-laserbased-3d-triangulation-methods>
- LMI Technologies. 2015. Gocator 2300 & 2880 Series User Manual. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.5.2021]. Saatavilla: <https://d3ejaiy6ggq5z4s.cloudfront.net/manuals/gocator/gocator-4.2/G2/Default.htm>
- Micro-Epsilon. Ei päiväystä. Laser scanners for 2D/3D profile measurement. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.6.2021]. Saatavilla: <https://www.micro-optronic.com/technology/Laser-Profile-Scanner/>
- Micro-Epsilon. Ei päiväystä. Profile measurement sensor applications. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.6.2021]. Saatavilla: [https://www.micro-epsilon.co.uk/2D\\_3D/laser-scanner/applications/](https://www.micro-epsilon.co.uk/2D_3D/laser-scanner/applications/)
- MSK Group. Ei päiväystä. Konserni. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.1.2021]. Saatavilla: <https://mskgroup.fi/fi/konserni/>
- MSK Group. Ei päiväystä. Konsernin verkkosivu. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.5.2021]. Saatavilla: <https://mskgroup.fi/> MSK Group. Ei päiväystä. Ruiskuvalu. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.4.2021]. Saatavilla: <https://mskgroup.fi/fi/muoviosien-valmistus/ruiskuvalu/>
- Olache, D. 1.12.2018. Smart Cameras vs. Profile Sensors. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.5.2021]. Saatavilla: <https://www.qualitymag.com/articles/95151-smart-cameras-vs-profile-sensors>