

# **Laadunvalvonnan kehittäminen 3D-skannauksen avulla**

Henrika Matula

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2020  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Tuotantotekniikka

Tekijä(t) Matula, Henrika	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2020
	Sivumäärä 69	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: (x)
Työn nimi <b>Laadunvalvonnan kehittäminen 3D-skannauksen avulla</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kalevi Jaaranen, Harri Peuranen		
Toimeksiantaja(t) Meconet Oy, Äänekoski		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Meconet Oy:n Äänekosken tehdas, jossa valmistetaan syvävetotekniikalla erilaisia ohutlevytuotteita.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selvitys 3D-skannauksen soveltuvuudesta tuotannon henkilökunnan työkaluksi laadunvalvonnassa. Opinnäytetyössä tehtävänä oli suunnitella 3D-skannerilla toteutettava mittausjärjestely laadunvalvontaa varten. Lisäksi selvitettiin Gage R&amp;R -menetelmän soveltuvuutta käytettäväksi 3D-skannerilla tehtäviin mittauksiin. Meconetilla on tulevaisuudessa tarkoitus keskittyä laadunvalvonnan kehittämiseen laajasti. Opinnäytetyössä käsitellyt asiat luovat pohjan mittausjärjestelyiden jatkokehittämiselle.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kouluttamalla tuotannon henkilökuntaa käyttämään 3D-skannereita. Opinnäytetyön tuloksena saatiin kokemukseen perustuvaa tietoa siitä, että tuotannon henkilökunnan käyttämä 3D-skanneri soveltuu hyvin ohutlevytuotteiden jatkuvaan laadunvalvontaan. Tulokset tukevat 3D-skannerin käytön laajentamista nykyisestä toimintamallista myös tuotannon työkaluksi. Lisäksi tuloksena saatiin jatkokehitystä varten tietoa, miten mittausjärjestelmää ja laadunohjausta voitaisiin tulevaisuudessa kehittää.</p> <p>Opinnäytetyön tuotteena syntyi sisäiset ohjeet 3D-skannausta varten ja Excel-laskentapohja Gage R&amp;R -menetelmän tutkimuksia varten. Gage R&amp;R -menetelmää voidaan yrityksessä soveltaa muuhunkin mittaukseen ja sen avulla voidaan jatkossa selvittää, kuinka mittauslaite kykenee toistamaan mittaukset (repeatability) sekä miten tulokset riippuvat mitalaitetta käyttävästä operaattorista (reproducibility).</p>		
Avainsanat (asiasanat) Syväveto, 3D-skannaus, laadunohjaus, Gage R&R		
Muut tiedot		

Author(s) Matula, Henrika	Type of publication Bachelor's thesis	Date March 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 69	Permission for web publication: (x)
Title of publication <b>Developing quality control with 3D scanning</b>		
Degree programme Engineer (AMK), Degree Programme in Mechanical Engineering		
Supervisor(s) Jaaranen, Kalevi Peuranen, Harri		
Assigned by Meconet Oy, Äänekoski		
Abstract <p>The bachelor's thesis was assigned by Meconet Oy in Äänekoski, which produces various sheet metal products using deep drawing technology.</p> <p>The aim of the thesis was to study the suitability of 3D scanning as a tool for the production personnel in quality control. The aim of the thesis was to design a measurement system for the quality control to be used with a 3D scanner. In addition, the applicability of using the Gage R&amp;R in 3D scanner measurements was investigated. In the future, Meconet intends to focus on developing their quality control extensively. The issues discussed in the thesis form the basis for the further development of measuring arrangements.</p> <p>The thesis focused on training the production personnel to use the 3D scanner. As a result of the thesis, experience-based information obtained showed that the 3D scanner used by the production staff is well suited for the continuous quality control of sheet metal products. The results support extending the use of the 3D scanner from its current operating model to be used as a production personnel tool. The study also provided information on how the measurement system and quality management could be further developed in the future.</p> <p>The bachelor's thesis produced internal instructions for 3D scanning and an Excel spreadsheet for Gage R&amp;R research. The Gage R&amp;R method can be applied to other measurements in the company, and it can be further investigated how a measuring device can repeat the measurements and how the results depend on the operator using the measuring device (reproducibility).</p>		
Keywords/tags (subjects) Deep drawing, 3D scanning, quality control, Gage R&R		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Opinnäytetyön lähtökohdat ja tavoitteet .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Meconet Oy.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Syvävedettyjen ohutlevytuotteiden 3D-skannaus .....</b>	<b>8</b>
4.1	Syväveto .....	8
4.2	3D-skannauksen toimintaperiaate .....	10
4.3	Käytetyt laitteet ja ohjelmistot .....	11
<b>5</b>	<b>Laadunohjaus menetelmiä.....</b>	<b>13</b>
5.1	Laadunohjaus yleisesti.....	13
5.2	Mittausepävarmuus .....	15
5.3	Gage R&R.....	16
5.3.1	Gage R&R tutkimuksen suunnittelu .....	17
5.3.2	Tulosten laskenta ja tarkastelu.....	18
5.3.3	Gage R&R menetelmän soveltaminen automaattisessa mittauksessa.....	19
5.4	Tilastollinen prosessinohjaus .....	21
<b>6</b>	<b>3D-skannauksen hyödyntäminen syvävetotuotteiden laadunhallinnassa .....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>3D-mittauksen prosessi .....</b>	<b>24</b>
7.1	Laitteiston kalibrointi .....	24
7.2	3D-skannauksen suorittaminen käytössä olevalla skannerilla.....	25
7.3	Mittausten suorittaminen skannauksen jälkeen.....	26
<b>8</b>	<b>3D-skannauksen koulutus.....</b>	<b>29</b>
8.1	Sisäisen ohjeen luonti.....	29
8.2	Koulutustilaisuudet .....	30
<b>9</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>31</b>
9.1	Mittaamisen nykytila.....	31

	2
9.2 Gage R&R -menetelmän käyttö tulevaisuudessa.....	33
9.3 Jatkokehitys.....	34
<b>10 Pohdinta.....</b>	<b>35</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>37</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>39</b>
Liite 1. Laskentakaavoja Gage R&R -testiä varten .....	39
Liite 2. Malli Gage R&R -testin laskentataulukosta.....	40
Liite 3. Malli Gage R&R testistä 3D-mittausta varten .....	41
Liite 4. Malli lyhyestä Gage R&R testistä kahdelle mittaajalle.....	42
Liite 5. Malli lyhyestä Gage R&R testistä yhdelle mittaajalle .....	43
Liite 6. Malli Gage R&R testistä 3D-mittaukseen .....	44
Liite 7. Sisäinen ohje 3D-skannaukseen .....	45
Liite 8. Polyworks pikaohje.....	65
<b>Kuviot</b>	
Kuvio 1. Meconetin toimipisteet. ....	6
Kuvio 2. Metrascan 750 käsiskanneri .....	12
Kuvio 3. Syvävetotuotteiden laadunhallintaprosessi .....	23
Kuvio 4. Skannauksen ja CAD-mallin vertailu mittauksessa .....	26
Kuvio 5. Ominaisuuden mittaus. ....	27
Kuvio 6. Mittausraportin tulostaulukko.....	28
Kuvio 7. 3D-mittauksen epävarmuuden syy-seuraus-diagrammi. ....	32
<b>Taulukot</b>	
Taulukko 1. Valmistajan ilmoittamia arvoja skannerille.....	13
Taulukko 2. K <sub>1</sub> kertoimet.....	20

# 1 Johdanto

Kannattavan liiketoiminnan perusedellytys on, että asiakkaat ovat tyytyväisiä saamiinsa tuotteisiin ja palveluun. Tuotteiden laadun on oltava asiakkaan odotusten mukaista, jotta voidaan saavuttaa pitkäaikaisia asiakassuhteita. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii mekaniikan sopimusvalmistajana, jolle pitkät asiakassuhteet ovat hyvin tärkeitä. Laadulla on myös uusasiakashankinnan kannalta keskeinen merkitys. Laatu on hyvä kilpailukeino halpatuotantomaiden tuotantoa vastaan. Ylilaatua ei kuitenkaan kannata lähteä tavoittelemaan. Laatu on riittävällä tasolla silloin, asiakastyytyväisyys on korkea ja toiminta on kustannustehokasta. Tuotteiden laadunvalvonnan parantaminen antaa yritykselle paremman mahdollisuuden reagoida mahdollisiin ongelmiin ennen kuin tuote on asiakkaalla.

Suomalaisissa yrityksissä vielä vähän käytetty laadunvalvonnan työkalu on 3D-skannaaminen. 3D-skannaus mahdollistaa suurten ja monimuotoisten tuotteiden laadunvalvonnan täysin uudella tavalla verrattuna entiseen. Syvävetotuotteille yhteistä on moninaiset muodot ja sen takia ne voivat olla ovat haasteellisia mitata. Laadunvarmistamiseksi tuote voidaan skannata ja skannaustiedostoa verrataan alkuperäiseen 3D-malliin. Vertailussa data analysoidaan mittaamalla halutut mitat ja geometriset toleranssit. Lisäksi havainnollinen värikartta kertoo suunnitellun ja valmistetun tuotteen erot. Isona etuna on se, että dataan ja sen analysointiin voidaan aina palata myöhemmin uudestaan.

3D-skannausta voidaan käyttää myös reverse engineering- ja suunnittelutöihin, mutta tässä työssä keskityttiin ainoastaan sen käyttöön laadunvalvonnan työkaluna. Tuotteiden laatuun vaikuttaa monet asiat, mutta opinnäytetyötä on rajattu niin, että työn ulkopuolelle on jätetty kaikki tuotantoprosessista tulevat tuotteiden laatuun vaikuttavat muuttujat. Opinnäytetyössä keskitytään 3D-skannaustekniikalla tehtävään mittaamiseen ja sen toistettavuuteen.

Jyväskylän ammattikorkeakoulussakin on tehty 3D-skannauksesta opinnäytetöitä, mutta ne ovat keskittyneet enemmänkin laitetestaukseen ja reverse engineering -

tyyppiseen ajatteluun. Tässä opinnäytetyössä haetaan erilaista lähestymistä aiheeseen kuin ennen. Lisäarvoa ja täsmennystä edellisiin syntyy siitä, miten 3D-skannausta voidaan käyttää päivittäiseen laadunvalvontaan tehokkaasti.

## 2 Opinnäytetyön lähtökohdat ja tavoitteet

Opinnäytetyössä käsitellään vain toimeksiantajalla jo olemassa olevaa laitteistoa, ohjelmistoja ja niiden käyttöä. Kehittämistyön lähtökohtana on tarve parantaa laadunvalvontaa syvävetotuotteiden osalta. Toimeksiantaja yrityksessä on aikaisemmin ostettu 3D-skannausta palveluna ulkopuoliselta toimittajalta. 3D-skannaus kuitenkin koettiin yrityksessä niin hyvänä työkaluna laadunvalvontaan, että yritys hankki oman 3D-skannauslaitteiston vuoden 2018 loppupuolella ja sen käyttö on vielä uutta yrityksessä.

Opinnäytetyössä haetaan vastausta siihen, miten hyvin 3D-skannaus soveltuu tuotannon henkilökunnan käyttöön päivittäisessä laadunvalvonnassa. Lisäksi tässä opinnäytetyössä selvitetään kohdeyrityksessä R&R -menetelmän käyttöönoton mahdollisuuksia. Työn toimeksiantaja saa työstä hyötyä laitteiston lisääntyneenä käyttönä. Skannaamalla tuotteita säännöllisesti saadaan kattavampi selvitys tuotteiden laadusta ja myös sen kehittymisestä. Syvävetotuotteiden laadun huonontumiseen voi vaikuttaa esimerkiksi työkalun kuluminen, väärä voitelu tai jokin muu prosessista tuleva muuttuja.

Tavoitteena on saada luotua mittausjärjestely, jotta 3D-skannauksesta saadaan osa päivittäistä laadunvalvontaa etukäteen valittujen tuotteiden osalta. Työn yhtenä osana syntyy laitteiston päivittäiseen käyttöön tarkoitetut helppolukuiset käyttöohjeet. Käyttökoulutus annetaan etukäteen valituille henkilöille, jotka alkavat tehdä skannauksia oman työnsä ohessa. Näin dataa saadaan kerättyä riittävästi mm. SPC-seurantaan varten. Tämän lisäksi opinnäytetyössä selvitetään R&R -menetelmän käyttöönottoon liittyviä kysymyksiä.

Työn lopputuloksena syntyy selvitys R&R -menetelmän soveltamisesta 3D-mittauksen yhteydessä ja kokemukseen perustuvaa tietoa työntekijöiden kouluttamisesta 3D-skannauksen osaajiksi. Lopuksi voidaan tutkia, onnistuttiinko toimeksiantajan toiveissa. Saadusta tiedosta voidaan kehittää jatkokehitysideoita missä onnistuttiin, mitä voitaisiin tehdä paremmin ja mihin tulisi erityisesti kiinnittää jatkossa huomiota.

### **Tiedon- ja aineistonkeruumenetelmät**

Opinnäytetyön tiedonlähteinä käytetään alan kirjallisuutta ja verkkojulkaisuja. 3D-skannauksesta on vielä hyvin vähän painettua kirjallisuutta saatavilla, joten verkkojulkaisuja ja laitevalmistajan koulutusmateriaalia on käytetty tietolähteinä. Aineiston keruuta on pyritty rajaamaan vain oleellisiin asioihin. Aineisto sisältää mittaukseen liittyviä kuvia.

### **Käytetyt tutkimus- ja analyysimenetelmät**

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus tehdä toimeksiantajayrityksessä kehittämistyö ja siihen liittyvää laadullista tutkimusta. Työssä ei tuoteta tilastollista aineistoa vaan tulokset esitetään kuvailemalla tapahtumia, tilanteita ja visuaalisista havaintoja. Tarkoituksena on dokumentoida näiden keskeisiä piirteitä. Tutkimuksellisina menetelminä käytettiin osallistavia kehittämismenetelmiä, kuten esimerkiksi koulutustilaisuuksien pitäminen työntekijöille. Laadullisen eli kvalitatiivisen analyysin tavoitteena on jäsentää tutkimuskohteen ominaisuuksia, laatua ja merkitystä kokonaisvaltaisesti. Työn tuloksia analysoidaan pohtimalla, päästiinkö annettuihin tavoitteisiin.

## **3 Meconet Oy**

Meconet Oy toimii mekaniikan sopimusvalmistajana eri aloilla toimiville asiakasyrityksille. Yritys valmistaa jousi-, lanka-, meisto- ja syvävetotuotteita. Yritys on suomalaisomisteinen osakeyhtiö muotoinen perheyriety, jonka toimipisteet sijaitsevat Vantaalla, Äänekoskella, Pihtiputaalla, Tallinnassa, Tukholmassa ja myyntikonttori Pietarissa (ks. kuvio 1). Jokaisessa toimispisteessä on keskitytty omaan erityisosaamiseen.



Äänekosken toimipiste joka tässä työssä toimii toimeksiantajana, on erikoistunut syvävetämällä valmistettuihin tuotteisiin. (Meconet Group-yritysesittely, 2019.)



Kuvio 1. Meconetin toimipisteet. (Meconet Group-yritysesittely, 2019.)

Meconet toimittaa tuotteitaan maailmanlaajuisesti. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2018 49 M€ ja sen palveluksessa on noin 230 henkilöä. Yrityksellä on kokemusta yli 120 vuoden ajalta syvävedosta ja on edelläkävijä syvävetotekniikassa. (Meconet Group-yritysesittely, 2019.)

### Yrityksen tuotteet

Meconet on valmistanut räätälöityjä jousia ja lankatuotteita jo yli 75 vuoden ajan. Meconetillä on kattava valikoiman jousia ja jousikomponentteja saatavana erikokoisissa sarjoissa. Yrityksen valikoimista löytyy esimerkiksi lautasjousia, puristusjousia, vetojousia, vääntöjousia ja erilaisia lankamuototuotteita. Meconetin varastotuotteiden valikoimassa on yli 8 000 vakiojousituotetta. Standardijouset ja muut varastotuotteet pystytään toimittamaan asiakkaalle varastosta jopa saman päivän aikana. (Meconet, 2019.)

Meisto on ohutlevytuotteiden työstömenetelmä, jossa materiaalia leikamalla tai puristamalla muotoillaan haluttuun muotoon. Meistettävien tuotteiden valmistuksessa käytetään joko puristin- tai moniluistiteknologiaa. Yleisesti käytettyjä materiaaleja ovat teräkset, jousiteräkset, tinapronssit ja muut kupariseosmetallit. Meconetin meistotuotteita ovat mm. erilaiset kotelot, häiriösuojat ja sähkötekniset ohutlevyosat. Moniluisti-automaateilla valmistetaan erilaisia liittimiä ja kiinnittimiä mm. sähkötuote- ja elektroniikkateollisuudelle. (Meconet, 2019.)

Syvävetomenetelmällä valmistetaan mm. monimuotoisia, jäykkiä ja tiiviitä ohutlevykoteloita. Tuotteille tyypillistä on haastavat muodot. Tuotesuunnittelulla ja muotoilulla on mahdollista saavuttaa tuotteeseen pienempi ainepaksuus muihin menetelmiin nähden. Tuote- ja työkalusuunnittelua yrityksessä toteutetaan simulointiohjelmistolla. 3D-lasertekniikalla voidaan tuotteisiin tehdä aukotuksia ja rajauksia, jolloin pieni volyyminenkin sarjojen valmistaminen on kustannustehokasta. Yrityksellä on joustavat ja nopeat toimitukset syvävetotuotteissa. Syvävetotuotteita valmistetaan tyypillisesti suurissa ja keskisuurissa sarjoissa. (Meconet, 2019.)

Yrityksen asiakkaina on sekä pieniä, että suuria maailmanluokan yrityksiä, jotka haluavat menestyä omalla alallaan ja keskittyä omaan ydinliiketoimintaansa. Asiakkaiden päätoimialoja ovat mm. sähkötuote-, tietoliikenne-, elektroniikka-, rakennus-, terveys- ja kulkuvälineteollisuus. Meconetin valmistamia tuotteita on mm. pistorasioissa, kytkimissä, matkapuhelimissa, lukituslaitteissa, lääkeannostelijoissa, työkoneissa ja autoissa. (Meconet, 2019.) Meconetillä ei ole omia valmistettavia tuotteita vaan se valmistaa vain tilauksesta asiakkaiden osia ja kokoonpanoja.

Meconet suunnittelee itse syvävetotuotteiden työkalut ja simuloi etukäteen syvävetoprosessin. Simuloinnilla pystytään jo suunnitteluvaiheessa varmistamaan ja optimoimaan tuotteiden toiminnallisuus, valmistettavuus, valmistuskustannukset ja laatu. (Meconet Group –Syväveto, 2019.)

Meconet valmistaa syvävetotekniikalla mm.

- Moottorien konepeitot
- Valaisimien kuoret
- Pako-putkiston-osat
- Nosturiosat
- Säiliöt
- Tiiviit kotelorakenteet

(Meconet Group –Syväveto, 2019.)

## 4 Syvävedettyjen ohutlevytuotteiden 3D-skannaus

### 4.1 Syväveto

Syväveto on menetelmä, jossa levyaihio muovataan yleensä kuppimaiseksi tuotteeksi. Syvävedossa seinämän paksuutta ei ole tarkoitus muuttaa. Vedon aikana aihio liukuu pidätinlevyn ja vetorenkkaan välistä painimen pakottamana. Aihio muovautuu vetorenkkaan pyöristyksen yli liikkuaessaan kuppimaiseksi tuotteeksi. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 102.)

Syvävedon onnistumiseen vaikuttaa mm. materiaalin muovausominaisuudet ja paksuus. Lisäksi hyvään lopputulokseen vaikuttaa vetosuhte, vetonopeus, kitka ja voitelu. Työkalusta tulevia vaikutuksia vedon onnistumiseen ovat mm. painimen ja vetorenkkaan pyöristykset, työkalun pinnanlaatu sekä levyn pidätysvoima. (Mäki-Mantila 2001, 22)

Syvävedossa suurimpia haasteita aiheuttaa erilaiset vetovirheet. Yhdessä vetovaiheessa kuppimaisen muodon korkeus on rajallinen. Siihen vaikuttaa levyaihion ja painimen halkaisijoiden suhde eli rajavetosuhde. Jos rajavetosuhde ylitetään, ei levy materiaali enää kestä siihen kohdistettuja muovausvoimia vaan murtuu. Syväveto voi

myös epäonnistua rypyttymisen vuoksi. Rypyttymisen riski on suurempi mitä monimutkaisempia muovattavat kappaleet ovat. Toinen merkittävä riskitekijä ryppyjen muodostumiselle on materiaalista tulevat ominaisuudet mm. ohuet ja lujat levyt rypyttyvät helpommin. Seinämän rypyttymisen tärkeimmät tekijät ovat muovausgeometria ja jännitystila. (Aaltonen ym. 1997, 103.)

Jatkovetoa ja kääntövetoa voidaan käyttää syvien tuotteiden valmistamisessa. Syvävetoa jatketaan tekemällä jo kerran vedetylle kappaleelle yksi tai useampia jatkovetoja. Jatkovedossa vedetään edellisen vetovaiheen kuppi uudelleen, näin kupista saadaan syvämpi, kuin vain yhtä vetovaihetta käyttäen. Kääntövedossa kappaleen sisäpinta muuttuu ulkopinnaksi ja päinvastoin. Kääntö veto on yleisin tilanteissa, joissa halutaan yhdistää kaksi vetoa samaan työvaiheeseen. (Aaltonen ym. 1997, 104.)

### **Syvävedettävät materiaalit**

Materiaalilevyjä toimitetaan nauhana tai arkkeina. Materiaali voi olla myös valmiiksi pinnoitettua. Levyn valmistaja taulukoi aineiden veto-ominaisuudet. Syvävetotuotetta suunnitellessa valitaan sopiva laatu. (Katainen & Mäkinen 1989, 173.)

Syvävetämällä voidaan muovata mm.

- Terästä
- Ruostumatonta terästä
- Messinkiä
- Kuparia
- Alumiini
- Magnesiumia

(Katainen ym. 1989, 173.)

## 4.2 3D-skannauksen toimintaperiaate

3D-laserskannerin perusosat ovat kamera, laseryksikkö ja tietokone. 3D-laserskannerin toiminta perustuu kolmiomittaukseen. Kolmiomittaukseen perustuva 3D-laserskanneri lähettää skannattavan kappaleen pintaan laserviivan, jonka kamera havaitsee. Riippuen kohteen etäisyydestä skanneriin takaisin heijastuva laserviiva osuu kameran näkökentässä eri kohtiin. Tätä menetelmää kutsutaan kolmiomittaukseksi, koska kappaleen pintaan osuva laserviiva, kamera ja laserlähde muodostavat kolmion. Kolmion kyljistä tunnetaan kameran ja laserlähteen väli sekä laserlähteen kulma. Näin saadaan riittävä data täydelliseen kolmion koon määrittämiseen. Skannattu malli on siis kolmiulotteinen kolmioista muodostuva verkko, jota kutsutaan mesh-malliksi. (3D scanning. N.d.)

Kolmiomittaukseen perustuvat 3D-laserskannerit ovat monipuolisia ja helppokäyttöisiä. Niitä on käytössä teollisuuden monissa eri käyttökohteissa. Laitteiston heikkoutena on, että kameran tulee koko ajan nähdä laseryksikkö muuten se ei tallenna dataa. Tästä syystä skannatessa aiheutuu välillä hankalia työasentoja. Laitteistolle lisäarvoa kuitenkin tuo se, että mobiililla laitteistolla voidaan skannata lähes mitä tahansa myös tuotantotiloissa.

### **Käyttökohteita**

Teollisuudessa 3D-skannausta ja käänteissuunnittelua voidaan hyödyntää omien tuotteiden kehittämisessä muuttamalla fyysinen tuote takaisin digitaaliseen muotoon. Sama menetelmä sopisi myös tuotekopiointiin. Skannatuissa tuotteissa olevia muotovirheitä voidaan simuloida uudestaan simulointiohjelmissa. Käänteissuunnittelun avulla voidaan tehdä varasosia ja muutoksia tuotteisiin, joista ei ole olemassa 3D-mallia. (Levynmuovauksen teemapäivä – Steel forum 2017. 2018, 15.)

3D-skannausta voidaan hyödyntää myös seuraavissa käyttötarkoituksissa

- Käsintehtyjen ja uniikkien kappaleiden digitaaliseen muotoon taltioimiseen

- Luonnollisen kokoisen kappaleen taltioiminen ja koon muuttaminen digitaalisesti
- Lääketieteessä voidaan valmistaa sopivia proteeseja
- Muodissa ja suojavälineiden suunnittelussa täysin istuvien ja sopivien tuotteiden luomiseksi
- Teollisuudessa laadun tarkkailussa
- Animoinnin tukena tekemään hahmoista realistisempia
- Arkeologisissa tutkimuksissa ja erittäin arvokkaiden esineiden taltioimiseen (Bernier, Reinhard & Luyt 2015, 114.)

3D-skannauksen hyödyt tulevat esiin usealla tavalla ja eri käyttötilanteissa. Yleisesti dataa voidaan hyödyntää tuotteiden laadun ja osapuolien välisen tiedon parantamisessa. Hyötyjä voidaan myös hakea suunnitteluvirheiden vähentämisessä sekä tuotantoprosessin tehostamisessa ja tavoitteen mukaisen lopputuloksen varmistamisessa. Skannaus soveltuu havainnollistamaan myös kohteen rajoitteita ja mahdollisuuksia jatkosuunnittelulle.

### 4.3 Käytetyt laitteet ja ohjelmistot

Meconetin Äänekosken toimipisteessä on Creaformin valmistama Metrascan 750 Elite 3D-skanneri. Laitteiston tärkeimmät osat ovat Controller-keskusyksikkö, C-track-kamerayksikkö, käsiskanneri ja koskettava mittapää. Laitteistoa käytetään kannettavan tietokoneen kautta ja siihen on oma Creaformin valmistama skannausohjelmisto VXelements. Laitteisto sijaitsee omassa erillisessä tilassaan tehtaan suurten tuotteiden puolella ja on siirreltävässä myös tarvittaessa tuotannon puolelle. Skannauksen jälkeen varsinainen skannattujen kohteiden mittaus tapahtuu Innovmetricin valmistamalla Polyworks Inspector -nimisellä ohjelmistolla. Kuviossa 2 on nähtävissä skanneri operaattorilla kädessä ja taaempana C-track-kamerayksikkö.



Kuvio 2. Metrascan 750 käsiskanneri. (Handheld Optical CMM 3D Scanner: MetraSCAN 3D, N.d.)

Skanneria käytettäessä mitään jäykkiä asennuksia ei tarvita. Mitattavaa osaa ja järjestelmää voidaan liikuttaa vapaasti, milloin tahansa mittauksen aikana. Skannerissa on automaattinen kohdistus eli optiset heijastimet mahdollistavat toistuvat mittaukset ilman uudelleen kohdistamista. Skannerilla pystyy skannaamaan mitä tahansa materiaalia, jopa mustia, monivärisiä ja kiiltäviä pintoja. Valmistajan mukaan laitteen tarkkuus pysyy ajan kuluessa helposti suoritettavan kenttäkalibrointimenettelyn avulla. (Handheld Optical CMM 3D Scanner: MetraSCAN 3D, N.d.)

Käsiskanneri on kevyt käyttää vähäisen painonsa vuoksi. Skannerin käytössä täytyy kuitenkin huomioida, ettei se saa osua skannattavaan kohteeseen tai mihinkään muuallekaan, koska osumat voivat vaurioittaa skannerin heijastimia tai rakennetta. Vaurioituneella skannerilla voi saada väärää mittaustuloksia. Skanneri on myös hyvin kallis laite, joten sen kanssa tulee noudattaa erityistä varovaisuutta. Valmistaja ilmoittaa kotisivuillaan taulukossa 1 esitettyjä teknisiä tietoja skannerista.

Taulukko 1. Valmistajan ilmoittamia arvoja skannerille (Handheld Optical CMM 3D Scanner: MetraSCAN 3D, N.d.)

MetraSCAN 750™ Elite		
Tarkkuus		0,030 mm
Tilavuus tarkkuus	9,1 m <sup>3</sup>	0,064 mm
	16,6 m <sup>3</sup>	0,078 mm
Resoluutio		0,050 mm
Mittausnopeus		480,000 mittausta/s
Osakoko (suositus)		0,2–6 m
Skannaus alue		275 x 250 mm
Laser lähteet		7 laser sädettä (+ 1 extra säde)
Laser luokka		2M
Paino		1,38 kg
Mitat		289 x 235 x 296 mm
Yhteyspiste		1 x USB 3.0
Ohjelmisto		VXelements™
Mahdolliset tiedostomuodot		.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr
Käyttölämpötila		5 – 40 °C
Käyttökosteusalue (ei tiivistyvä)		10 – 90 %

## 5 Laadunohjaus menetelmiä

### 5.1 Laadunohjaus yleisesti

Laadun yhtenä määritelmänä voidaan pitää sitä, että laadulla tarkoitetaan sellaista tuotteen tai palvelun ominaisuutta, joka määrää sen käyttökelpoisuuden tarkoitettuun käyttöön. Laadun käsitteen perustana on aina asiakkaan näkökulma. (Konepajan mittaustekniikka 1987, 10.)

Laadunvalvonta on menettely, jonka tarkoituksena on varmistaa, että tuote noudattaa asiakasvaatimuksia. Laadunvalvontaan sisältyvät kaikki ne toimenpiteet, joilla valvotaan yrityksen tarjoamien tuotteiden laatua. Käytännössä laadunvalvonta tarkoittaa tuotteiden jatkuvaa testausta ja virheiden etsintää, tuotannon valvontaa ja sen kehittämistä, virheiden minimoimista ja poistamista. (Quality control, N.d.)



3D-skannaus sopii hyvin tuotteiden laadun todentamiseen ja geometrian mittaukseen. Skannatun tuotteen laatua voidaan tarkkailla myös jälkikäteen ilman fyysistä tuotetta. Muovattujen ohutlevytuotteiden muotovirheet mm. vetelyt ja takaisinjoustot ovat helposti tarkasteltavissa 3D-skannatuissa malleissa. (Levynmuovauksen teemapäivä – Steel forum 2017. 2018, 15.)

Laadunvalvonnan yhtenä tarkoituksena on etsiä poikkeamia tuotteissa. Poikkeama tarkoittaa sitä, että tuotteelle tai prosessille asetettu vaatimus ei täyty. Poikkeama voi olla esimerkiksi raaka-aineessa, prosessissa tai itse tuotteessa (väärän mallinen tai kokoinen tuote). Poikkeama voi olla missä toiminnan kohdassa tahansa ja sitä tarkastellaan aina sen suhteen, mitä on luvattu asiakkaalle. Muita reagoimiseen vaikuttavia tekijöitä ovat mahdolliset sanktiot, laatustandardista ja lainsäädännöstä tulevat vaatimukset tai mikä on yleisesti hyvien käytäntöjen mukaista. Poikkeama voi tulla esille asiakasreklamaation kautta tai sisäisessä tai ulkoisessa tarkastuksessa esimerkiksi auditoinnissa. Poikkeamat tulisi kirjata poikkeamaraporttiin, joka voi olla tiedosto tai paperilomake. Raporttiin kirjataan poikkeaman aiheuttamat välittömät toimenpiteet. Poikkeamia tulisi tarkastella säännöllisesti ja suunnitelman mukaisesti, jotta niiden esiintyvyydestä saadaan realistinen kuva. Poikkeamiin reagoimisen tehokkuutta tulee arvioida säännöllisesti. Poikkeamien määrää käytetään usein prosessin toimivuuden yhtenä mittarina. (Niemitalo, V. 2013.)

Korjaavalla toimenpiteellä tarkoitetaan poikkeaman aiheuttaman tilanteen korjaamista niin, että asiakkaan saama tuote tai yrityksen toiminnan laatu säilyy poikkeamasta huolimatta mahdollisimman laadukkaana. Yrityksessä tulisi olla laadittuna ohje siitä, miten menetellään, kun poikkeama havaitaan ja kuka on vastuussa korjaavasta toimenpiteestä. Vastuuhenkilöksi voidaan nimetä esimerkiksi prosessin omistaja. Juurisyyanalyysin kautta selvitetään perimmäinen syy poikkeamaan ja sen avulla voidaan suunnitella ehkäisevät toimenpiteet, jottei vastaavaa ongelmaa syntyisi uudelleen. Tehtyjen toimenpiteiden tehokkuuteen vaikuttaa myös se, miten henkilöstö on tietoinen niistä. Sekä miten henkilöstö noudattaa tehtyjä päätöksiä korjaavista ja ennalta ehkäisevistä toimenpiteistä. Korjaavien ja ehkäisevien toimenpiteiden tehokkuutta on tarkasteltava suunnitellusti. (Niemitalo, V. 2013.)

## 5.2 Mittausepävarmuus

Täysin virheettömän mittauksen suorittaminen ei ole mahdollista. Jokaista mittausta tehdessä mittaustulokseen vaikuttavat mittausolosuhteet, mittaaja, mittauslaite ja mittauksen kohde. Muuttujien vaikutukset tulisi rajata mahdollisimman pieniksi. (Konepajan mittaustekniikka 1987, 181.)

Mittausvirhe tarkoittaa oikean arvon ja mittaustuloksen erotusta. Mittausvirhe koostuu kahdesta osasta eli systemaattisesta virheestä ja satunnaisvirheestä. Käsitteeseen mittauksenepätarkkuus sisältyy satunnaisvirheet ja systemaattiset virheet. Käsite mittausepävarmuus puolestaan on virherajojen avulla ilmaistu mittaustulosten hajonnan eli satunnaisvirheen mitta. Mittausepävarmuus sisältää siis mittauksen kaikki virheet, paitsi systemaattiset virheet. (Mittausvirheistä, 2019).

### **Systemaattiset virheet**

Systemaattinen virhe esiintyy samansuuruisena jokaisessa mittaustuloksessa. Systemaattinen virhe syntyy silloin, jos mittausväline on viallinen ja näyttää jatkuvasti väärin. Systemaattinen virhe voi syntyä myös, jos mittaaja ei muista ottaa kaikkia tulokseen vaikuttavia tekijöitä riittävästi huomioon. Systemaattisen virheen mahdollisuutta voidaan pienentää mittalaitteiden kalibroinnilla ja mittaamalla monta kertaa eri olosuhteissa ja eri laitteistoilla. (Mittaaminen, N.d.)

### **Satunnaiset virheet**

Satunnaisen virheen tunnistaa siitä, että mittausta toistettaessa syntyy pientä heilailua mitatuissa arvoissa. Satunnainen virhe voi johtua esimerkiksi mittaajasta itsestään. Mittaaja voi olla esimerkiksi väsynyt tai muusta syystä epätarkka tuloksia tarkistaessaan. Virhe voi syntyä myös mittaustavasta tai mitattavasta kohteesta. Tärkeää on pystyä määrittelemään virhemarginaali. Satunnainen virhe voidaan saada siedettävälle tasolle ottamalla mittaukseen vaikuttavat tekijät riittävästi huomioon ja toistamalla mittaus monta kertaa. (Mittaaminen, N.d.)

## Karkea virhe

Karkeita virheitä voi syntyä esimerkiksi, jos mitta-asteikkoa luetaan väärin, mittalaitteeseen tulee toimintahäiriö tai tietojen kirjaamisessa tapahtuu virhe. (Mittaaminen, N.d.)

### 5.3 Gage R&R

R&R on lyhennys sanoista repeatability ja reproducibility.

- Repeatability tarkoittaa toistettavuutta. Eli kyky toistaa sama tulos saman käyttäjän toimesta samanaikaisesti tai ajallisesti lähellä sitä.
- Reproducibility tarkoittaa uusittavuutta. Tällä kuvataan eri operaattorien mitaustulosten uusittavuutta eri ajanjaksoina.  
(Quality's greatest hits 2002, 202.)

Alun perin Ford, GM ja Chrysler ovat laatineet Gage R&R-testin alihankkijoilleen, tämä on myöhemmin yleistynyt laajaan käyttöön muuallakin. Gage R&R on testimenetelmä, jonka avulla pystytään määrittämään prosessin uusittavuuden (reproducibility) ja toistettavuuden (repeatability) yhteisvaikutuksen prosentteina toleranssialueesta tai prosessin mitatusta vaihtelusta. Siitä saadaan tulos mittausepävarmuudesta ja se sopii hyvin työkaluksi esimerkiksi toleranssialueeseen soveltuvan mittausmenetelmän kartoituksessa. Yleisesti Gage R&R-menetelmää käytettäessä mittausepävarmuus ilmoitetaan 95 %:n tai 99 %:n luottamustasolla. Täydellistä varmuutta ei voida saavuttaa, koska mittausepävarmuuden määrittämiseenkin liittyy mittausepävarmuutta. (Salomäki 1999, 140.)

Gage R&R:n määrittämiseksi on olemassa kolme laajalti käytettyä menetelmää. Näitä ovat vaihteluvälimenetelmä, keskiarvo- ja vaihteluvälimenetelmä, sekä varianssianalyysi ANOVA. (Gage Repeatability and Reproducibility, N.d.)

Gage R&R:n pitkässä testissä tutkimukseen käytetään aina vähintään kahta operaattoria ja 10 näytettä. Tämä on minimimäärä, jolla pitkä testi voidaan suorittaa. Kukin operaattori mittaa jokaisen näytteen vähintään kahdesti käyttäen samaa laitetta. Tämä mahdollistaa laitteen luontaisen vaihtelevuuden (toistettavuuden) erottamisen operaattorien välisen vaihtelun aiheuttamasta vaihtelusta (uusittavuus). Muita mahdollisten virhelähteiden mittaussvaihteluita (kalibrointi, stabiilisuus, lineaarisuus ja variaatio näytteessä) ei oteta huomioon R&R -tutkimuksissa. Tämä lähestymistapa määrittelee yleisesti R&R:n luotettavuustasolla, joka sisältää 99 % ( $5,15 \sigma$ ) teoreettisesta jakaumasta. Jotkut organisaatiot käyttävät erilaisia määritelmiä luotettavuustason määrittelyssä. Jotkut käyttävät 99,7 % ( $6 \sigma$ ) tai 95 % ( $4 \sigma$ ) intervallia uusittavuuden, toistettavuuden ja R&R:n luotettavuusvälien määrittämiseen. (Barrentine 2002, 5)

Pitkässä testissä yleensä on kahdesta neljään operaattoria. Yli neljän operaattorin testiä voidaan käyttää, mutta silloin tutkimuksesta saattaa tulla raskas. Suositeltu määrä operaattoreita testissä on kolme. Barrentine 2002, 6)

### 5.3.1 Gage R&R tutkimuksen suunnittelu

Tärkein osa tutkimusta tapahtuu jo ennen mittausten tekemistä. Tässä suunnitteluvaiheessa tehdyt tai huomiotta jätetyt päätökset määräävät tutkimuksen tarkkuuden.

Mittaussuunnitelmassa on käsiteltävä vähintään seuraavia asioita:

- Kuinka ja milloin laite kalibroidaan?
- Kuinka monta operaattoria osallistuu tutkimukseen?
- Kuinka monta näytettä mitataan?
- Miten näytteet valitaan?
- Kuinka monta tutkimusta tulisi suorittaa?
- Kuinka minimoida näytteen vaihtelu R&R-tutkimuksessa?
- Käytetäänkö yksittäisiä mittauksia vai keskiarvoja?
- Kuinka tuloksia analysoidaan?

- Miten yksipuoliset toleranssit otetaan huomioon tutkimuksessa.
- Onko mittaväline tarpeeksi tarkka mitattavalle mitalle?
- Kuinka voidaan tunnistaa ongelmat, jotka luovat erityisiä syitä R&R-tutkimuksessa?

(Barrentine 2002, 17-21).

Mittalaite tulisi kalibroida ennen tutkimuksen alkamista eikä sitä pitäisi kalibroida uudelleen ennen kuin tutkimus on päättynyt. Joissakin laitteissa ei ole operaattoria esimerkiksi automaattiset mittarit. Tällaisia tapauksia käsitellään kuin olisi yksi operaattori. Jos yksi operaattori suorittaa kaikki mittaukset, silloin operaattorin vaikutusta ei voida määrittää ja sitä ei pitäisi yrittää luoda keinotekoisesti. (Barrentine 2002, 17-18).

Suunnitellussa R&R -tutkimuksessa tulisi olla vähintään kaksi operaattoria. Tutkimuksen luotettavuuden lisäämiseksi suositeltu operaattorien lukumäärä tutkimuksessa on kolme. Tutkimuksessa on käytettävä edustavaa otosta käyttäjistä ja ne on valittava satunnaisesti. Tutkimuksen on tarkoitus kattaa lopulta kuitenkin kaikki operaattorit. Tutkimuksessa ei pidä sekoittaa kokemattomia tai uusia käyttäjiä pätevien käyttäjien kanssa. Tarkoituksena on arvioida ammattitaitoisia operaattoreita. Tyypillinen määrä mitattavia kohteita on kymmenen eri näytettä. Näytteitä tulisi kuitenkin valita tarpeeksi siten, että näytteiden lukumäärä kertaa käyttäjien lukumäärä on suurempi kuin 15. (Barrentine 2002, 18).

### 5.3.2 Tulosten laskenta ja tarkastelu

Tulokset mittauksista taulukoidaan ja ne lasketaan esimerkiksi Excel-taulukon avulla (kts. liitteet 2-6) tai siihen suunnitellulla ohjelmistolla. Ensin lasketaan kunkin operaattorin mittausten vaihteluväli ja näiden keskiarvot. Excelissä vaihteluvälin laskenta onnistuu kätevästi käyttämällä maks-min -funktiota. Seuraavaksi lasketaan kunkin operaattorin mittausten keskiarvot ja keskiarvojen keskiarvot. Tämän jälkeen on hyvä laskea mittaustulosten ylempi ohjausraja (UCL). UCL:n ylittävät tulokset tulisi mitata uudestaan tai pudottaa arvioinnista ja tehdä laskelmat uudelleen. Tällaisten selkeästi

poikkeavien tulosten syyt on selvitettävä (Barrentine 2002, 8). Liitteessä 1 on esitetty seuraavien arvojen laskentaan tarvittavia kaavoja.

- Toistettavuus (EV, Equipment Variation). Mittavälineestä johtuva vaihtelu.
- Uusittavuus (AV, Appraiser Variation). Operaattorista johtuva vaihtelu.
- Mittausepävarmuus (R&R, Repeatability & Reproducibility). Näiden kahden edellä mainitun lähteen yhdistelmästä johtuvasta vaihtelusta.
- Näytevaihtelu (PV, Part Variation). Tämä arvo kertoo näytteiden välisen vaihtelun.
- Kokonaisvaihtelu (TV, Total Variation). Ja lopuksi voidaan arvioida myös kokonaisvaihtelua.

Lopulliset tulokset ilmoitetaan prosentteina ja määritellään seuraavasti 0–20 % on hyväksyttävä tulos. 20–30 % saattaa olla hyväksyttävä joissakin tapauksissa ja tulokset, jotka ovat yli 30 % eivät ole hyväksyttäviä enää. Yli 30 % tuloksiin tulee ehdottomasti puuttua ja on selvitettävä mistä ne johtuvat (Barrentine 2002, 8-9).

### 5.3.3 Gage R&R menetelmän soveltaminen automaattisessa mittauksessa

Mittauksessa, jossa ei ole käyttäjän vaikutusta, voidaan tehdä vain arvio toistettavuudesta (repeatability). Mitataan kukin koekappale satunnaisessa järjestyksessä ainakin taulukossa 2 ilmoitettu määrä kertoja. Taulukossa olevat kertoimet on tarkoitettu tilanteeseen, jossa operaattorien määrä kertaa mitattava kappale on  $\leq 15$ . Mittaukset on mahdollista suorittaa myös niin, että kaikki mittaukset suoritetaan testikappaleelle ennen seuraavalle koekappaleelle siirtymistä, jos satunnaista järjestystä on hankala käytännössä toteuttaa. Tulokset tulee ilmoittaa mahdollisimman monella desimaalilla. Koska operaattoria ei ole, käsitellään tapausta kuin kyseessä olisi vain yksi operaattori. Koekappaleiden lukumäärä määrittää kokeiden vähimmäismäärän. Analyysi suoritetaan käyttämällä sopivia tekijöitä. (Barrentine 2002, 38-39).

Taulukko 2. K<sub>1</sub> kertoimet (Barrentine 2002, 53).

# of trials	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	≥ 16
2	4,26	4,33	4,36	4,4	4,4	4,44	4,44	4,44	4,48	4,48	4,48	4,48	4,56
3	2,94	2,96	2,98	2,98	2,99	2,99	2,99	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,05
4	2,44	2,45	2,46	2,46	2,48	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49	2,49	2,5
5	2,17	2,18	2,19	2,19	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,21
6	2	2,01	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,03	2,03	2,04

Toisinaan voi olla tarpeellista verrata R&R -tutkimuksen tuloksia laitteen valmistajan ilmoittamiin arvoihin. Tyypillisissä R&R -tutkimuksissa oletetaan, että toleranssi perustuu tuotteen tai prosessin asiakasmääritykseen. Tällaisissa tilanteissa, joissa verrataan tuloksia laitevalmistajan ilmoittamiin tarkkuuksiin niin tulosten tulkinta kuitenkin muuttuu. Laitteen valmistajan teknisistä tiedoista laskettu toleranssi ei ole lainkaan sama kuin asiakkaan määrittämä toleranssi tuotteelle tai prosessille. Toistettavuusmenettely on sama, mutta tulosten tulkinta on aivan erilainen. Toistettavuusprosentti lasketaan seuraavalla kaavalla (Barrentine 2002, 25).

$$\text{Repeatability \%} = \frac{5,15\sigma_{ev} \cdot 100}{\text{tolerance}}$$

Jos toleranssi on laitekohtainen, hyväksyttävyyssriteeri ei ole enää 0–30 %. Sen sijaan 100 % suhde tällaisessa tapauksessa tarkoittaa, että laite on osoittanut myyjän lupaukset laitteen tarkkuudesta. Alle 100 % suhde tarkoittaa, että laite mittasi luvattua paremmin, kun taas yli 100 % on huonompaa kuin luvattiin (Barrentine 2002, 25).

Jos on merkkejä siitä, että laite ei täytä valmistajan lupauksia, tutkimukseen tulisi sisältyä myös seuraavia tekijöitä

- Kalibrointiohjelma.
- Huoltoväli ja -aikataulu.
- Ympäristötekijöiden valvonta.
- Laitevalmistaja voi suorittaa mahdollisen huollon mittavälineelle.
- Laitevalmistajan muut suositukset.

(Barrentine 2002, 25).

## 5.4 Tilastollinen prosessinohjaus

Tilastollinen prosessinohjaus eli SPC (statistical process control) muodostuu kolmesta keskeisestä periaatteesta.

- Kaikki työ on keskenään sidoksissa olevia prosesseja.
- Kaikki prosessit ovat vaihtelevia.
- Vaihtelun pienentäminen tarjoaa mahdollisuuden parantaa työtä.

SPC on tilastomatematiikkaan perustuva työkalu. SPC:ssä on tarkoituksena siirtyä yksittäisen tuotteen tarkastamisesta prosessinohjaukseen. SPC:n avulla tutkitaan prosessin tai systeemin tilaa ja selvitetään, onko hajonta peräisin luonnollisesta lähteestä vai onko prosessissa jokin poikkeava häiriö. Luonnollisista häiriön syistä käytetään nimitystä yleinen syy tai kohina ja poikkeavista häiriöistä käytetään nimitystä erityisyys. (Karjalainen & Karjalainen, 1999, 10).

Systeemiajattelussa lähtökohtana on, että eri tekijät vaikuttavat keskenään saadaksesen yhdessä jonkun lopputuloksen aikaan. Systeemi on kokonaisuus, jota ei voi jakaa osiin. Systeemiajattelussa ei ajatella loppua tai alkua vaan kaikki tekijät ovat saumattomasti yhteydessä toisiinsa. Systeemi sisältää mm. ihmiset ja fyysiset osat. Nämä ovat välttämättömiä osia, mutta eivät yksin saavuta organisaation päämääriä. Systeemin seuraaminen tilastollisesti on kannattavaa. SPC-käyrillä pystytään tutkimaan, miten jokin muutos systeemissä vaikuttaa laatuun. (Karjalainen & Karjalainen, 1999, 42-43).

Prosessinohjauksessa on tärkeää ymmärtää, ettei kaksi tuotetta eivät koskaan ole täysin identtisiä vaan niissä on vaihtelua. Vaihtelua aiheutuu yleisistä syistä ja erityisistä syistä. Suurin osa virheistä johtuu prosessista tai systeemistä itsessään ja ne kuuluvat normaaliin satunnaiseen vaihteluun. Prosessissa kaikki tekijät vaihtelevat aina jonkin verran. Yleisistä ja tuntemattomista johtuvaa vaihtelua prosesseissa on 94-98 %. Erityisyyt syntyvät jostakin poikkeavasta tekijästä, joka ei ole ennakoitavissa. Erityisyys voi tulla esimerkiksi materiaalipoikkeamasta, inhimillisestä virheestä



ja ohjelmointi- tai asetusvirheestä. Erityisyys on poistettava nopeasti prosessista, kun sellainen havaitaan. SPC:ssä prosessille lasketaan ohjausrajat prosessin sisäisen käytäytymisen perusteella. Toleranssirajat ja ohjausrajat ovat eri asia. Suunnittelijat luovat toleranssirajat ja prosessi itse luo ohjausrajat. (Karjalainen & Karjalainen, 1999, 10-13).

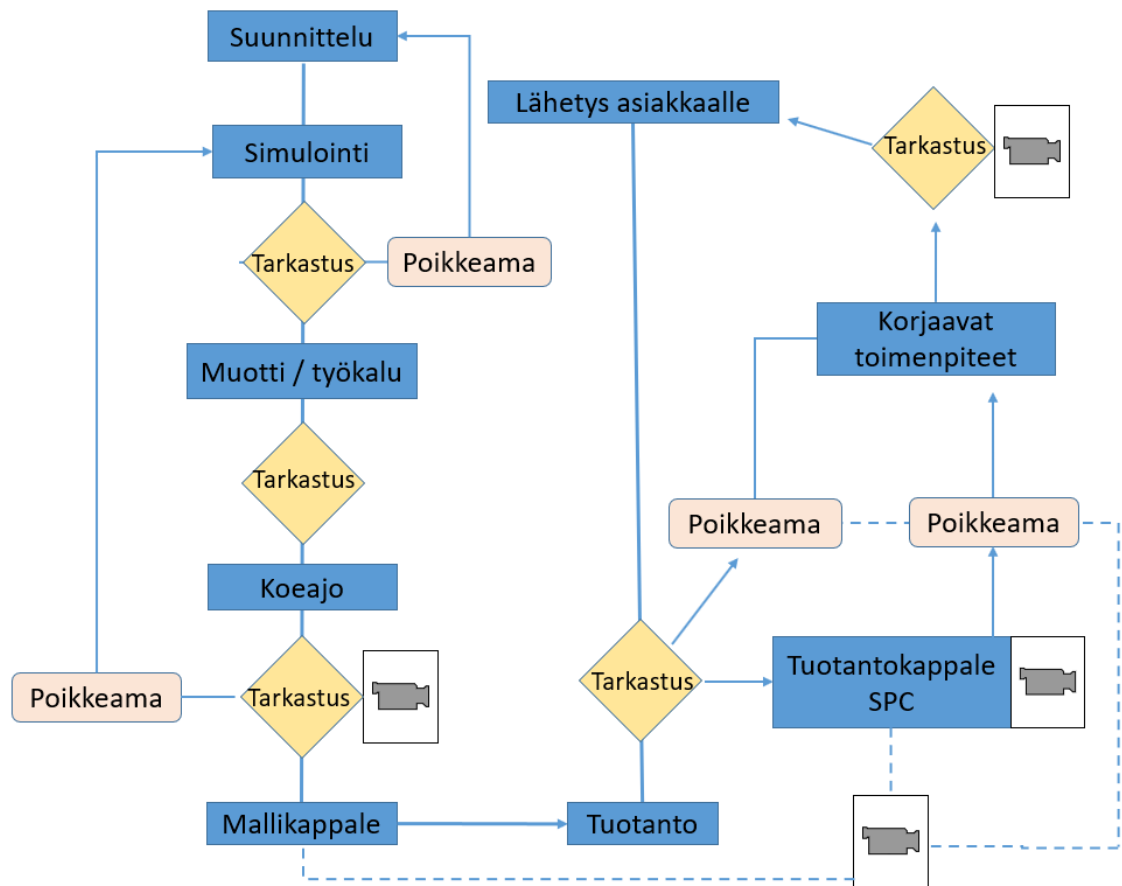
Poikkeamien ja virheiden hallitsemisessa tulee ensisijaisesti keskittyä löytämään ja hallitsemaan erityisyyt. Pitkän aikavälin tavoitteeksi voidaan asettaa koko prosessin parantaminen. Tähän kuitenkin edellytetään tilastollisesti ohjatun prosessin hyvää tuntemusta. (Karjalainen & Karjalainen, 1999, 14).

## **6 3D-skannauksen hyödyntäminen syvävetotuotteiden laadunhallinnassa**

Yrityksessä on ollut suunnitelmana aloittaa tilastollista SPC-seuranta osista A ja B. Alkuperäinen suunnitelma on ollut, että aina kun näitä osia valmistetaan, niin erästä valitaan ennalta sovittu määrä satunnaista kappaletta mittaukseen. Osia valmistetaan myös iltaisin ja viikonloppuisin. Mittauskoordinaattori ei ole aina paikalla kaikkina aikoina, jolloin osia valmistetaan, joten tarkoitus on, että tuotannosta työteki- jöitä kävisi skannaamassa osien datan talteen myöhempää tarkastelua varten.

3D-skannauksella saadaan hyvä näkökulma tuotteen valmistuksen eri vaiheista. Tuotetta voidaan mitata myös joiltain osin, vaikka se ei olisi vielä valmis. Esimerkiksi ennen leikkausta, jos halutaan saada jokin tietty mitta selville ennen kuin tuote on lopullisessa muodossaan. Skannauksella voidaan saada dataa siitä, vastaako fyysinen tuote suunniteltua ja simuloitua mallia. Tuotantokappaleessa havaitusta poikkeamasta voidaan tehdä vertailu CAD-malliin ja alkuperäiseen mallikappaleeseen ilman, että mallikappaletta tarvitsee välttämättä fyysisesti säilyttää. Samoin mahdollista poikkeamaa voidaan verrata CAD-malliin ja suoraan mallikappaleeseen. Mallikappaleeseen vertailu antaa hyvä lisätietoa siitä minkälainen alkuperäinen hyväksytty tuote on ollut ja miten tuote on siitä muuttunut.

Kuviossa 3 on esitetty Meconetin syvävetotuotteiden laadunhallintaprosessia suunnittelusta aina asiakkaalle lähetykseen saakka. Kuviossa on kameramerkein havainnollistettu missä kohtaa 3D-skannausta voidaan hyödyntää laadunvalvonnassa. Jatkuvalla ja säännöllisellä osien mittaamisella saadaan kerättyä dataa myös työkalun kulumisesta. Kulunut työkalu ei enää tuota parasta laatua ja se saattaa näkyä poikkeamana laadussa. Laadun heikkenemistä voi aiheuttaa myös muut prosessivaihtelut.



Kuvio 3. Syvävetotuotteiden laadunhallintaprosessi

## 7 3D-mittauksen prosessi

### 7.1 Laitteiston kalibrointi

Mittaus kalibroimattomilla mittausvälineillä on yhtä tarkkaa kuin tuloksen arvaaminen. Kallis ja tarkka mittausväline voi olla edellytys tarkalle mittaukselle, mutta se ei välttämättä takaa, että mittaustulos on oikea. Välineiden kalibrointi, tarkastus ja huolto ovat olennaisen tärkeä osa mittaamista. (Konepajan mittaustekniikka, 1987, 39.)

3D-skannauslaitteisto tulee kalibroida kerran viikossa. C-Track ja käsiskanneri molemmat kalibroidaan samalla. Kalibroinnin ollessa voimassa viimeisin kalibrointi päivämäärä on nähtävissä skannausohjelmistossa normaalinäkymässä. C-trackin kalibrointiin on oma kalibrointisauva. Sauvaa näytetään kamerayksikölle eri asennoissa ohjelmiston määrittelemällä tavalla. Laitteisto ohjaa eteenpäin kalibroinnin suorittamisessa. Kalibrointisauvaa pidetään kädessä neljällä eri tavalla. Ohjelma ilmoittaa, kun sauvan asentoa vaihdetaan. Ohjelmiston näkymässä vasemmanpuoleinen ruutu kertoo missä asennossa ja millä korkeudella sauvaa pidetään kädessä. Oikeanpuoleinen ruutu taas kertoo missä kohtaa huonetta tulee kalibroinnin tekijän seisoa. Kalibrointi etenee ruudun alareunassa näkyvän prosenttilaskurin mukaan ja on valmis, kun laskuri ilmoittaa 100 %. Tämän jälkeen tulee ikkuna, jossa laitteisto ilmoittaa kalibroinnin onnistumisen lukuarvona.

Skannerin kalibrointiin tarvitaan kalibrointiesine, joka yhdistetään Controlleriin johdolla. Kalibrointiesine tulee laittaa ohjelman ilmoittamaan paikkaan. Samoin kuin edellisessä kalibroinnissa niin tässäkin vasemmanpuoleinen ruutu määrittelee korkeuden ja oikeanpuoleinen ruutu paikan huoneessa. Kameran korkeutta ja kulmaa säätämällä voi vaikuttaa paikkaan. Ohjelma neuvoo eteenpäin kalibroinnissa. Lopuksi ohjelma ilmoittaa kalibroinnin onnistumisen lukuarvona.

Kalibrointia ei tarvitse suorittaa uudelleen, jos laitteistoa tai kameraa myöhemmin liikuttelee. Kalibrointi on voimassa aina viikon kerrallaan. Jos tilan lämpötila oleellisesti muuttuu kalibrointi hetkestä niin laitteisto pyytää uutta kalibrointia. Tämä kalibrointi pyyntö on luettavissa Controllerin omassa näytössä ja ohjelmistossa. Ohjelmistoon on tehty esto, että ilman voimassa olevaa kalibrointia ei skannausta voi suorittaa.

## 7.2 3D-skannauksen suorittaminen käytössä olevalla skannerilla

Skannattavan kohteen tulee olla vähintään 1,5 m päässä C-track -kamerayksiköstä. Skannattava kappale on aseteltava niin, ettei sen muoto muutu asettelun takia, mutta sen saa mahdollisimman hyvin kuvattua joka puolelta. Aivan välttämätöntä ei ole kuitenkaan saada jokaista pintaa kuvattua molemmilta puolilta. Mahdolliset reiät ja aukot on hyvä kuvata huolellisesti, koska yleensä niistä tarvitsee saada mittoja myöhemmässä mittausvaiheessa. Mitattavaan osaan tulee kiinnittää optiset heijastimet. Heijastimien avulla kamera osaa paikoittaa osan tilaan oikein, vaikka se liikkuisi skannauksen aikana. Isoja osia ei kuitenkaan voi liikuttaa skannauksen aikana niiden koon ja painon takia. Jossakin tilanteissa mitattava osa on hyvä kiinnittää tukevasti paikoilleen muodon muutoksien välttämiseksi. Tai jos osa on niin pieni, että siihen on itseensä vaikea kiinnittää riittävää määrää optisia heijastimia. Tällöin osan heijastimista voi kiinnittää pöytään.

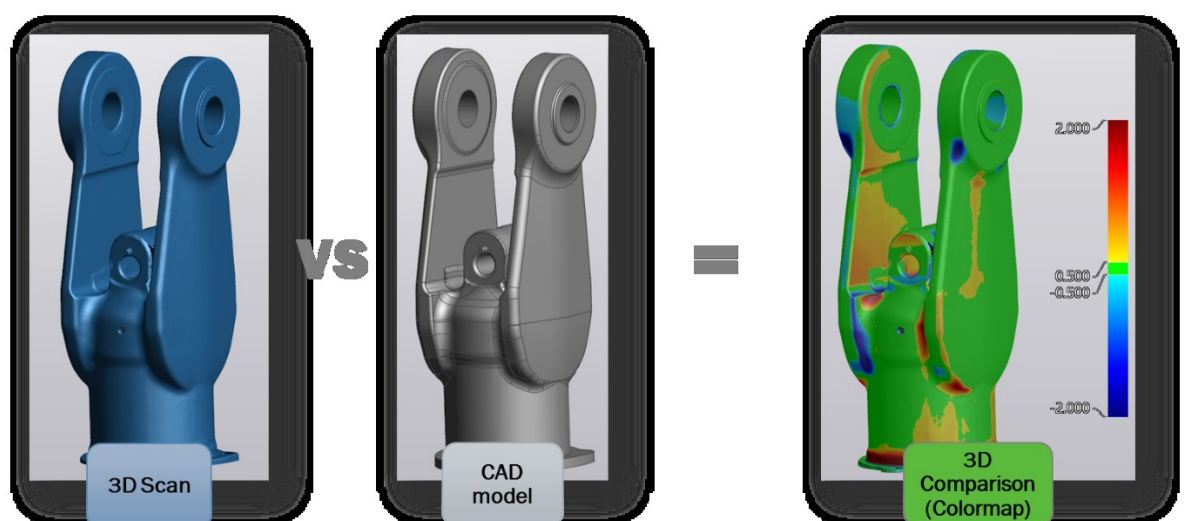
Sopiva skannaus etäisyys käsiskannerille on noin 35 cm. Skannerista lähtevät lasersäteet osuvat skannattavaan kohteeseen ja kohde alkaa piirtyä tietokoneen näytölle. Käsiskannerin näyttämät merkkivalot kertovat sopivan etäisyyden skannattavasta kohteesta.

- Sininen: Kuvattava kohde on liian kaukana.
- Vihreä: Sopiva etäisyys.
- Keltainen: Kuvattava kohde alkaa olla liian lähellä.
- Punainen: Kuvattava kohde on liian lähellä skannausta varten.

Kun kohde on halutulla tavalla skannattu, niin sen jälkeen skannausta voi käsitellä vielä VElements ohjelmassa. Jälkikäsitelyssä voi poistaa ylimääräistä dataa esimerkiksi mittauspöydän tai kiinnikkeitä jos osa on ollut kiinnitettynä mittausta varten. Tähän on kätevä työkalu esimerkiksi ohjelman lenkkityökalu, jolla voi maalata niitä osia mitä haluaa poistaa. Tiedosto tallennetaan etukäteen sovittuun kansioon stl-muotoon.

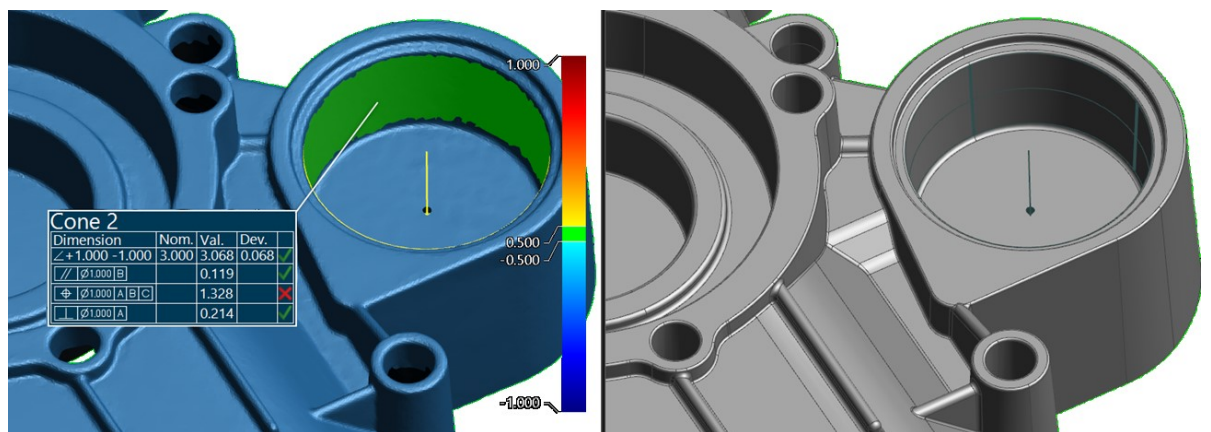
### 7.3 Mittausten suorittaminen skannauksen jälkeen

Kun haluttu kohde on skannattu, niin siitä saatu stl-tiedosto viedään erilliseen mittaushjelmaan Polyworks Inspectoriin. Koko mittaustapahtuma on siis kaksivaiheinen. Ensin haluttu kohde kuvataan skannerilla ja sen jälkeen mittaus on täysin erillinen toimenpide Polyworks Inspector -ohjelmassa. Polyworks inspector -ohjelmassa mittauksia voidaan tehdä monipuolisesti. Yleisin tapa mittaukseen on asettaa skannattu malli ja CAD-malli päällekkäin, jolloin niitä voidaan suoraan verrata toisiinsa. Tässä mittaustavassa CAD-malli toimii referenssinä mittaushjelmalle ja se vertaa skannausta siihen. Ohjelma laskee matemaattisesti mikä on CAD-mallin ja skannatun mallin välinen ero. Kuviossa 4 on nähtävissä skannatun mallin ja CAD-mallin vertailua päällekkäin. Oikealla on mittaushjelman antama värikarttavertailu, josta on hyvin nopeasti nähtävissä poikkeamat visuaalisesti.



Kuvio 4. Skannauksen ja CAD-mallin vertailu mittauksessa. (3D Scanning, 2018.)

Muita mahdollisia mittaustapoja Polyworks Inspectorissa on mitata kokonaan ilman referenssiosaa, käyttää referenssinä toista skannausta esimerkiksi mallikappaletta tuotteesta. Näissä muissa tavoissa kuitenkin työskentely mittaushjelmassa on paljon vaativampaa ja hitaampaa, eikä kaikkia toimintoja voida suorittaa. Myös mittauserrojen mahdollisuus kasvaa työskenneltäessä ilman CAD-mallia.



Kuvio 5. Ominaisuuden mittaus. (3D Scanning for Quality Control, 2018.)



















Kuviossa 5 on esitetty näkymä ominaisuuden mittaamisesta mittaushjelmassa. Tämä on yleisin mittaustapa mitata erilaisia reikiä, aukkoja ja kaaria. Myös kahden ominaisuuden välinen etäisyys on helposti mitattavissa luomalla ensin halutut ominaisuudet ja sitten vain antaa ohjelmalle komennon ilmoittaa niiden välimatka. Ohjelma ilmoittaa aina CAD-mallin nominaalimitan ja skannauksesta mitatun mitan sekä niiden erotuksen. Mittauspohjan referenssille voi tehdä valmiiksi jo ennen skannausta. Kun mittauspohja on valmiina, siihen voidaan lisätä useita skannauksia samaa mittauspohjaan käyttäen. Jokainen skannaus näkyy ohjelmassa omana kappaleena. Näin kaikkea työtä ei aina tarvitse tehdä uudestaan alusta lähtien.

## Mittauksien raportointi

Mittausohjelmassa saaduista tuloksista luodaan raportti. Raporttia voidaan käyttää sisäisesti tai se voidaan myös lähettää asiakkaalle mittauspöytäkirjana. Raportin kansilehteen kirjataan yrityksen nimi, päivämäärä, käytetty mittalaite, osan nimike, osan piirustusnumero ja raportin laatijan nimi.

### Caliper Table

Units Millimeters  
 Coordinate Systems world  
 Data Alignments best-fit to ref 1

Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
 caliper 1	Length	530,000	528,580	±1,500	-1,420	Pass	
 caliper 2	Length	130,000	126,603	±1,000	-3,397	Fail	-2,397
 caliper 3	Length	10,000	10,009	±0,800	0,009	Pass	
 caliper 4	Length	10,000	9,876	±0,800	-0,124	Pass	
 caliper 5	Length	130,000	129,662	±1,000	-0,338	Pass	
 caliper 6	Length	750,000	746,792	±1,500	-3,208	Fail	-1,708
 caliper 7	Length	90,000	89,911	±0,800	-0,089	Pass	
 caliper 8	Length	198,865	200,228	±1,000	1,363	Fail	0,363
 caliper 9	Length	199,367	200,592	±1,000	1,225	Fail	0,225
 caliper 10	Length	300,000	298,962	±1,000	-1,038	Fail	-0,038
 caliper 11	Length	254,500	254,636	±1,000	0,136	Pass	
 caliper 12	Length	42,500	41,998	±0,800	-0,502	Pass	
 caliper 13	Length	436,000	436,267	±1,500	0,267	Pass	
 caliper 14	Length	345,000	344,787	±1,500	-0,213	Pass	
 caliper 15	Length	290,000	289,584	±1,000	-0,416	Pass	
 caliper 16	Length	12,000	12,061	±0,800	0,061	Pass	
 caliper 17	Length	27,500	27,486	±0,800	-0,014	Pass	
 caliper 18	Length	27,500	27,691	±0,800	0,191	Pass	

Kuvio 6. Mittausraportin tulostaulukko

Kuviossa 6 on esimerkki mittausraportissa olevasta tulostaulukosta. Tässä haluttuja mittoja on haettu käyttämällä virtuaalista työntömittaa. Raportista on nopeasti nähtävissä, jos jokin mitta ei ole sille asetetulla toleranssialueella. Raporttiin liitetään yleensä myös hyvin havainnollistava värikarttakuva mittauksesta. Värikartasta näkee nopeasti missä on suurimmat poikkeamat. Lisäksi raporttiin on helppo liittää kuva-kaappauksia mittausohjelmasta ja tarvittaessa valokuvia havainnollistamaan mittauksia. Lopuksi voidaan tallentaa valmis raportti pdf-tiedostoksi ja tarvittaessa tulostaa.

## 8 3D-skannauksen koulutus

### 8.1 Sisäisen ohjeen luonti

Sisäisen ohjeen luonti aloitettiin tutkimalla eri lähteistä ja pohtimalla minkälainen olisi hyvä ohje. Sisäistä ohjeen (liite 7.) on tarkoitus toimia työntekijälle tukimateriaalina koulutuksen jälkeen. Jos skannaus ei kuulu jokapäiväiseen työhön niin voi helposti unohtua sen käyttöön liittyvät toimenpiteet. Sisäisestä ohjeesta on kuitenkin helppo katsoa ja kerrata unohtuneet asiat. Sisäisen ohjeen luonnissa käytettiin apuna mm. käyttöohjeiden laatimisen standardia SFS-EN 82079-1 ja artikkelia ”ohjeita ohjeiden tekijöille”. Artikkelissa esitettiin mm. seuraavanlaisia ajatuksia hyvien ohjeiden luomisesta.

Ohjeet tulisi esittää helposti hahmotettavassa muodossa. Ohjeessa on hyvä käyttää selkeää kieltä ja selkeitä ohjeita kuten käskyjä tehdä jotain toimintoja. Ohjetta luotaessa tulisi kiinnittää huomiota eri vaiheisiin ja esittää asiat järkevissä järjestyksessä. (Ohjeita ohjeiden tekijöille, N.d.)

Standardisoinnilla haetaan yhteisten toimintatapojen laatimista ja sen on tarkoituksenaan helpottaa ihmisten elämää. Standardisoinnin ansiosta palvelut, tuotteet ja menetelmät sopivat siihen käyttöön mihin ne on tarkoitettukin (Standardi tutuksi. N.d.). Käyttöohjeiden laatimisen standardissa kerrotaan, että käyttöohjeen suunnittelussa tulisi pitää mielessä kohderyhmää, jolle ohjetta suunnitellaan. Ohjeen tulee olla heidän tietämyksensä mukaan suunnattuna. Informaation yksityiskohtaisuus ja asioiden kuvailun määrän tulisi perustua kohderyhmän tietämykseen. Ohjeen tulee olla selkeä ja sisältää kaikki tarvittava informaatio kohderyhmän tarpeiden mukaisesti. Pitkät ja monimutkaiset ohjeet tulisi jaotella selkeästi. Pitkiin ohjeisiin on hyvä liittää hakemisto, josta voi hakea asiasanalla. Käyttöohjeen tulisi standardin mukaan, tarjota tietoa myös mahdollisista ongelmatilanteista ja riskeistä, minkä avulla vältetään vääränlainen ja mahdollisesti jopa vaarallinen toiminta. Digitaalisissa ohjekirjoissa lukijan tulisi voida seurata koko ajan missä kohtaa ohjetta hän on. Jos käyttöohjeissa on enem-



män kuin kaksi sivua tulisi sivut numeroida. Käyttöohjeen tulee sisältää tunnistamistietoja kuten esimerkiksi tunnusnumero, julkaisupäivämäärä, tuotteen tyyppi, tarvittaessa muutospäivämäärä ja ohjeen julkaisijan nimi. (SFS-EN 82079-1:2012)

Sisäisen ohjeen on tarkoitus toimia muistilistana 3D-skannerin käyttökoulutuksen käyneille. Ohjeen ei kannata olla liian laaja ja sen ei ole tarkoitus kattaa kaikkia mahdollisia tilanteita ja ongelmia. Materiaali jää käyttöön myös seuraaville skannausta opetteleville henkilöille. Täytyy myös muistaa, että kun olemme oppineet asioita ja tottuneet niihin, unohtamme usein varsin nopeasti, mikä niissä oli aluksi hankalaa ja mitä virheitä tuli tehtyä. Tämän takia tukimateriaali on tärkeää, että seuraavia koulutuskertoja varten on tukimateriaalia johon koulutuksen voi pohjata. Tukimateriaalia voi myös ajan kuluessa täydentää, jos ohjelmaan tulee päivityksiä ja jotkin toiminnallisuudet muuttuvat. Ohjeistuksessa on käytetty paljon ohjeen ymmärtämistä helpottavia kuvia, jotka voivat tarvita ajan myötä päivitystä. Lisäksi luotiin myös tuotannon henkilökuntaa varten pikaohje Polyworksiiin joka on liitteessä 8. Kyseessä on hyvin lyhyt ja yksinkertainen mittauksen pikaohje jolla voidaan viedä skannaus valmiiseen mittausprojektiin ja katsoa mittaustulokset.

## 8.2 Koulutustilaisuudet

Skannerin käyttökoulutus pidettiin kolmelle tuotannon työntekijälle. Työntekijöiden ammatilliset taustat olivat vaihtelevia ja kenelläkään ei ollut aikaisempaa kokemusta 3D-skannauksesta. Koulutukseen varattiin aikaa noin kolme tuntia henkilöä kohden. Koulutuksessa käytiin läpi skannerin kalibroinnin vaiheet ja miten kappaleen skannaus tehdään, sekä yleisimmät ongelmat mitä voi kohdata. Työntekijät saivat itse tehdä kaikki työvaiheet opastettuina. Koulutuksissa keskityttiin pelkästään skannauksen suorittamiseen ja datan keruuseen. Saatu skannausdata tulee vielä viedä mittausohjelmaan ja suorittaa erikseen mittaukset siellä. Mittausohjelma Polyworks Inspector esiteltiin päälisin puolin työntekijöille, mutta heidän ei ole tarkoitus alkaa analysoimaan mittaustuloksia vain kerätä dataa ylös omissa työvuoroissaan. Tulosten analysointi vaatii reilusti laajempaa koulutusta kuin mitä pystytään antamaan lyhy-

essä ajassa. Vääränlainen tuloksien analysointi voi johtaa turhiin ja vääränlaisiin toimenpiteisiin. Toistaiseksi mittausten analysointi hoidetaan erikseen mittausvastavan toimesta.

## 9 Tulokset

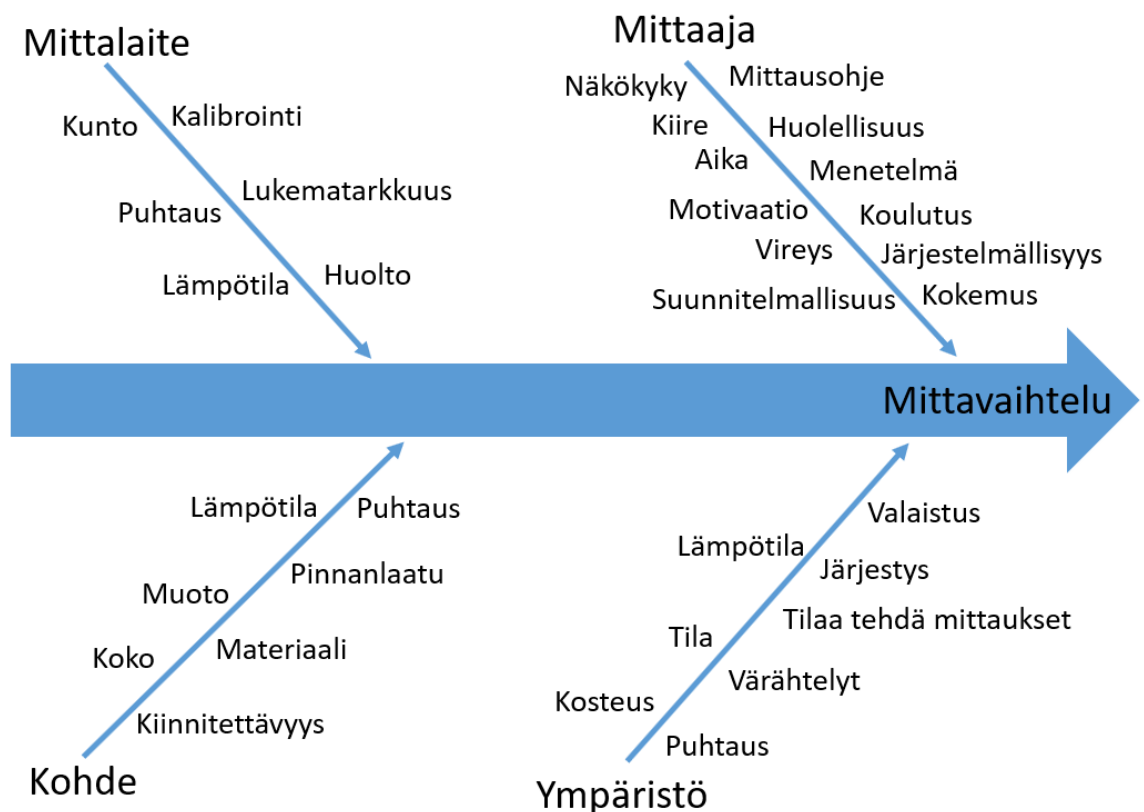
Syvävedettyjen ohutlevytuotteiden mittaaminen perinteisillä tavoilla voi olla haastavaa. Tuotteet ovat usein monimuotoisia ja muodot voivat olla hyvinkin haastavia. 3D-skannaus on hyvä menetelmä tallentaa fyysinen esine digitaaliseksi malliksi. Skannattua tuotetta voidaan sitten vertailla alkuperäiseen mallikappaleeseen tai CAD-malliin. Tämä nopeuttaa mahdollisten virheiden paikantamista. 3D-skannauksen avulla tehtävät mittaukset ovat hyvä keino jatkuvaan laadunvalvontaan Meconetin valmistamille ohutlevytuotteille.

Opinnäytetyön alkuperäinen idea jäi pitkälti käytännössä toteuttamatta, koska tuotannollisten kiireiden takia mittausjärjestelyä ei saatu aloitettua suunnitellusti. Kattavia tutkimustuloksia ei näin ollen saatu sen toimivuudesta.

### 9.1 Mittaamisen nykytila

Opinnäytetyötä tehdessä 3D-skannaamalla tehtävistä mittauksista vastaa yksi henkilö. Sama henkilö sekä skannaa kohteet, että analysoi niiden mittatulokset ja tekee mittausraportit. Tässäkin järjestelyssä on toki omat hyvät puolensa. Yhden ihmisen työaika on kuitenkin rajallinen ja koska tuotantoa on useissa vuoroissa myös ilt-, yö- ja viikonloppuaikaan niin olisi hyvä, että dataa voitaisiin kerätä muinakin aikoina. Useampi ihminen pystyisi tehokkaasti keräämään riittävästi dataa SPC-seurantaan varten. Mittausohjelma analysoi osien halutut mitat suoraan SPC-työkaluilla. Isonkaan datamäärän analysointi ei ole vaikeaa Polyworksin SPC-työkaluilla, joskin oman kokemukseni mukaan se saattaa olla hiukan hidasta ohjelman tai tietokoneen hitauden takia.

3D-mittaamiseenkin liittyy tiettyjä muuttujia ja epävarmuuksia, joita on kuvattu kuviossa 7. Mittauksessa tulisi muistaa hyvä etukäteissuunnittelu ja huolellisuus mitausta tehdessä. Laitteiston toimintakunnosta on huolehdittava ja mittaussympäristö on pidettävä puhtaana. 3D-skannausten suorittajalla on merkittävä rooli mittausten onnistumisen kannalta. Huolimattomasta tehdystä 3D-skannauksesta ei mittoja saa välttämättä otettua ollenkaan tai mittaustulos jää epävarmaksi. Muuttujat ja epävarmuudet huomioimalla ja niiden vaikutusta vähentämällä saadaan luotettavia mittaustuloksia.



Kuvio 7. 3D-mittauksen epävarmuuden syy-seuraus-diagrammi.

Tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa, jossa käytetään 3D-skanneria tulisi erityisesti kiinnittää huomiota mahdollisten epävarmuuksien minimointiin. Epävarmuuksia voidaan minimoida mm.

- Huolellisuudella.
- Pitämällä tilat puhtaina ja tavarat järjestyksessä.

- Mitattavat osat puhdistettu öljystä ja roskista.
- Vakioimalla mittaushuoneen olosuhteet niin pitkälle kuin mahdollista.
- Hyvällä ohjeistuksella.
- Huolehtimalla laitteen huollosta tarpeen mukaan.
- Vain nimetyt ja koulutuksen saaneet henkilöt tekevät skannauksia.
- Kiinnitykset tulee tehdä aina samalla tavalla.
- Osa ei saa muuttaa muotoaan kiinnityksien tai asettelun takia.
- Mittaukseen tulee varata riittävästi aikaa, että sen voi tehdä ilman kiirettä.
- Mittauksen tulokset Polyworks Inspectorilla analysoi henkilö joka on saanut riittävän koulutuksen siihen.

## 9.2 Gage R&R -menetelmän käyttö tulevaisuudessa

3D-mittaus lukeutuu automaattisiin mittausjärjestelmiin. Näin operaattorin vaikutus mittaustulokseen on olematon. Ainoastaan laitteen toistettavuus voidaan laskea Gage R&R -menetelmällä. R&R -menetelmää voidaan laajemmin hyödyntää käsin tehtävissä mittauksissa, joissa operaattorin vaikutus tulokseen on suurempi. Tulosten analysointiin tehtiin opinnäytetyön tuotteena erilaisia Excel-laskentapohjia, joista mallia on esitetty liitteissä 2-6. Tulosten analysointiin on olemassa myös siihen kehitettyjä ohjelmistoja kuten esimerkiksi Minitab.

Yleisesti tärkeitä asioita mitä tulisi Gage R&R -testiä tehdessä huomioida ovat

- Testi on etukäteen hyvin suunniteltu.
- Olosuhteet kaikilla mittaajilla on oltava samat: tila, lämpötila, kosteus ja valaistus.
- Tilassa ei saa esiintyä värähtelyitä.
- Mitattavat kappaleet etukäteen valittu ja kaikille samat.
- Kappaleet mitataan satunnaisessa järjestyksessä.
- Jos tarvitaan kappaleen kiinnitys mittausta varten, niin se tehdään aina samalla tavalla.

- Mitattavan kappaleen tulee olla puhdas.
- Laite on kalibroitu oikein ja saman kalibroinnin tulee olla voimassa kaikille testiin osallistujille.
- Mittalaite on ehjä ja puhdas.
- Mittaajalla on aikaa suorittaa työ huolellisesti.
- Testiä suorittavien operaattorien tulee olla kokeneita.

Lisäksi 3D-mittausta koskevat erityishuomiot

- Kaikki testin skannaukset olisi hyvä suorittaa samalla kalibroinnilla ja samana ajankohtana.
- Optisten heijastimien tulisi olla pelkästään mitattavassa osassa kiinni. Eli osan on oltava riittävän iso, että siihen saa vähintään kuusi optista heijastinta kiinni.
- Testiosassa tulisi olla erilaisia mittoja mitattavaksi: reikiä, aukkoja ja pituuksia. Testiin mitat on valittu etukäteen ja Polyworksin mittauspohja on kaikille sama.
- Kappaleiden mittausjärjestyksellä ei ole suurta merkitystä, koska mittaaja ei voi vaikuttaa tulokseen. Tulokset näkyvät vasta myöhemmin erillisestä mittausohjelmasta.

### 9.3 Jatkokehitys

Laadunvalvonnan parantamiseksi mittaamista tulisi laajentaa niin, että kohteiden 3D-skannaukseen osallistuisi useampi henkilö jolloin laajemman datan keruu olisi mahdollista. Mittaamisessa tulisi olla selkeä suunnitelma, että mitä osia mitataan ja kuinka usein. Tämä mahdollistaisi tehokkaan SPC-seurannan aloittamisen. Toiminnan aloittamiseksi tulisi perustaa projektityöryhmä jossa olisi vähintään laatuinsinööri, mittausvastaava ja työnjohdon edustaja. Toimivaan mittausjärjestelyyn liittyy paljon organisointia ainakin aluksi ja myös tähän tulisi eri tahojen varata aikaa. On myös ratkaistava ketkä henkilöt mittauksia tekevät ja kuka toimii vastuuhenkilönä tai koordinaattorina mittausjärjestelyissä. 3D-skannuksen useammalle työntekijälle

jakamiseksi tulisi asian koordinoijan tehdä saumatonta yhteistyötä työnjohdon ja tuotannon henkilökunnan kanssa. Työnjohdon tulisi myös miettiä miten nämä skannaukset käytännössä toteutetaan muun tuotantotyön lomassa eli tämän toteutukseen tulisi suunnitella työaika.

## 10 Pohdinta

Työn lopputuloksena syntyi kokemukseen perustuvaa tietoa, siitä mitä tulisi parantaa, että mittausjärjestely saataisiin toimimaan. Saadusta tiedosta kehitelin jatkokehitysideoita, mitä voitaisiin tehdä jatkossa paremmin ja mihin tulisi erityisesti kiinnittää huomiota. Alkuperäinen toimeksiantajalta saatua ideaa ei pystytty toteuttamaan ihan täysin sellaisenaan, joten työ muuttui ja kehittyi tekemisen aikana. Käytännön haasteeksi muodostui tuotannolliset kiireet ja se ettei tutkimuksen aikana skannausta saatu organisoitua osaksi päivittäistä tuotantotyötä. Se, että opinnäytetyön idea voitaisiin toteuttaa vaatisi useiden henkilöiden panostusta asiaan ja yhteistä tahtotilaa saada uusi mittausjärjestely toimimaan. Yrityksellä on kuitenkin keväällä 2020 edessä muutto uusiin toimivimpiin toimitiloihin. Todennäköisesti muutto tulee pitämään henkilökunnan niin kiireisenä, että mittauksen kehittämiseen päästään palaamaan vasta muuton jälkeen uudestaan.

Skannauskoulutukset sinänsä olivat ihan onnistuneita tapahtumia. Tässä mielestäni onnistuttiin hyvin. Koulutettavissa oli potentiaalia skannausten suorittamiseen ja en näe mitään syytä miksi tällaista järjestelyä ei voitaisi saada toimimaan tehokkaasti. Työntekijöiden itsenäinen jatkoharjoittelu tukimateriaalin kanssa jäi puuttumaan joten tutkimustuloksia jatkoharjoittelun onnistumisesta ei saatu.

Opinnäytetyö jää vain esiselvitykseksi mittauksen laajentamisesta tuotannon henkilökunnan työtehtäviksi. Näen aivan mahdollisena, että jonain päivänä tämä voitaisiin vielä saada käyttöön yrityksessä. Tärkeintä on, että skannaamiselle järjestetään aikaa muiden työtehtävien lomassa ja siihen saadaan tarpeeksi sitoutuneita ja motivoitu-

neita henkilöitä mukaan. Kun tehdas saa uudet toimitilat keväällä 2020 on tämän jälkeen aloitettava kartoittamaan R&R -menetelmän tarpeellisuutta ja käyttöönottoa uudestaan.

## Lähteet

3D Scanning for Quality Control. 2018. Creaform Academia. Laitevalmistajan koulutusmateriaali.

3D Scanning. 2018. Creaform Academia. Laitevalmistajan koulutusmateriaali.

3D Scanning. N.d. Viitattu 12.10.2019. <https://matterandform.net>

Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työvälinetekniikat. Porvoo: WSOY.

Barrentine, L. 2002. Concepts for R&R Studies. ASQ Quality Press.

Bernier, S., Reinhard, T. & Luyt, B. 2015. Design for 3D printing: scanning, creating, editing, remixing and making in three dimensions. San Francisco, CA.: Maker Media.

Gage Repeatability and Reproducibility. N.d. Viitattu 1.3.2020. [https://els-mar.com/pdf\\_files/Calibration/GageR&R.pdf](https://els-mar.com/pdf_files/Calibration/GageR&R.pdf)

Handheld Optical CMM 3D Scanner: MetraSCAN 3D. N.d. Viitattu 1.6.2019. <https://www.creaform3d.com/en/optical-3d-scanner-metrascan#gref>

Karjalainen, T., Karjalainen, E. 1999. Laatujohtamisoppien soveltaminen pk-yritykseen: SPC, systeemiteoria, TOC-teoria. Hollola: Quality Knowhow Karjalainen.

Katainen, H. Mäkinen, A. 1989. Muovaava ja leikkaava työstö. Porvoo: WSOY.

Konepajan mittaustekniikka. 1987. Suomen Metalliteollisuuden Keskusliitto. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Levynmuovauksen teemapäivä – Steel forum 2017. 2018. Ohutlevy. 2018, 1, 15. Teknologiainfo Teknova. Lahti: Painotalo plus digital Oy / PPD Studio.

Meconet. 2019. Yrityksen www sivut. Viitattu 1.4.2019. <https://www.meconet.net/fi/>

Meconet Group –Syväveto. 2019. Yrityksen intra sivut.

Meconet Group –Yritysesittely. 2019. Yrityksen intra sivut.

Mittaaminen. N.d. Viitattu 15.1.2020. [http://www04.edu.fi/kaytannonfysiikka/mittaaminen\\_virheet.asp](http://www04.edu.fi/kaytannonfysiikka/mittaaminen_virheet.asp)

Mittausvirheistä. 2019. Viitattu. 15.2.2020. <https://www.jyu.fi/science/fi/fysiikka/opiskelu/tyoosasto/mittausvirheista>.

Mäki-Mantila, J. 2001. Ohutlevyjen taivutus ja muovaus. Metalliteollisuuden Keskusliitto, Tekninen tiedotus 11/2001. Metalliteollisuuden Kustannus, Helsinki.



Niemitalo, V. 2013. Laatu järjestelmäopas. Sisä-Savon seutuyhtymä. Elinkeino ja kehittämisspalvelut.

Ohjeita ohjeiden tekijälle. N.d. Kotimaisten kielten keskus. Viitattu 5.6.2019.  
[https://www.kotus.fi/ohjeet/virkakieli/ohjeita/ohjeita\\_ohjeiden\\_tekijoille](https://www.kotus.fi/ohjeet/virkakieli/ohjeita/ohjeita_ohjeiden_tekijoille)

Quality's greatest hits : classic wisdom from the leaders of quality. 2002. Milwaukee: ASQ Quality Press.

Salomäki, R. 1999. Suorituskykyiset prosessit -Hyödynnä SPC. MET nro 9/1999, 2. uudistettu painos. Metalliteollisuuden Kustannus.

SFS-EN 82079-1:2012. Käyttöohjeiden laatiminen. Jäsentäminen, sisältö ja esittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet ja yksityiskohtaiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 29.10.2012. Viitattu 1.7.2019.  
<https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Standardi tutuksi. N.d. SFS Suomen standardisoimisliitto. Viitattu 8.8.2019.  
[https://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/standardi\\_tutuksi](https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi)

Quality control. N.d. Viitattu 4.6.2019.  
<https://www.techopedia.com/definition/12191/quality-control-qc>

## Liitteet

Liite 1. Laskentakaavoja Gage R&R -testiä varten

<b>Repeatability</b>	
Equipment variation (EV) = 99 % range	
EV =	$\bar{R} \times K_1$
$\sigma_{EV} =$	$\bar{R} / d_2 = EV / 5,15$
<b>Repeatability and Reproducibility</b>	
R&R = 99% range	
$R\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$	
$\sigma_{R\&R} = \frac{R\&R}{5,15}$	
<b>Reproducibility</b>	
Appraiser variation (AV) = 99 % range	
$AV = \sqrt{(\bar{x}diff \times K_2)^2 - ((EV)^2 / (n \times r))}$	
n = number of samples	$\sigma_{AV} = \frac{AV}{5,15}$
r = number of trials	
<b>Measurement Capability Index 1 As a Percentage of Process Variation</b>	
% Repeatability =	$100 \cdot \frac{\sigma_{EV}}{\sigma_t}$
% Reproducibility =	$100 \cdot \frac{\sigma_{AV}}{\sigma_t}$
% R & R =	$100 \cdot \frac{\sigma_{R\&R}}{\sigma_t}$

## Liite 2. Malli Gage R&amp;R -testin laskentataulukosta

Repeatability and Reproducibility Report														
Product Characteristic								Date						
Upper Specification Limit								Performed By						
Lower Specification Limit								Gage						
Process Sigma								Gage Number						
Number of Operators														
Oper	a				b				c					
Sample #	1st Trial	2nd Trial	3rd Trial	Range	1st Trial	2nd Trial	3rd Trial	Range	1st Trial	2nd Trial	3rd Trial	Range	Part average	Average A
1	0,57	0,57	0,56	0,01	0,57	0,57	0,56	0,01	0,57	0,57	0,56	0,01	0,567	0,585333333
2	0,62	0,62	0,58	0,04	0,62	0,62	0,58	0,04	0,62	0,62	0,58	0,04	0,607	
3	0,56	0,56	0,6	0,04	0,56	0,56	0,6	0,04	0,6	0,56	0,6	0,04	0,578	Average B
4	0,58	0,58	0,6	0,02	0,58	0,58	0,6	0,02	0,58	0,58	0,6	0,02	0,587	0,584
5	0,6	0,6	0,56	0,04	0,6	0,6	0,56	0,04	0,6	0,6	0,56	0,04	0,587	
6	0,6	0,6	0,58	0,02	0,6	0,6	0,58	0,02	0,6	0,6	0,6	0	0,596	Average C
7	0,6	0,6	0,6	0	0,6	0,6	0,6	0	0,6	0,6	0,6	0	0,600	0,586
8	0,59	0,59	0,6	0,01	0,59	0,59	0,6	0,01	0,59	0,59	0,6	0,01	0,593	
9	0,6	0,56	0,6	0,04	0,56	0,56	0,6	0,04	0,56	0,56	0,6	0,04	0,578	
10	0,56	0,56	0,56	0	0,56	0,56	0,56	0	0,56	0,56	0,56	0	0,560	
Average	0,588	0,584	0,584	0,022	0,584	0,584	0,584	0,022	0,588	0,584	0,586	0,02		
Totals	5,88	5,84	5,84	0,22	5,84	5,84	5,84	0,22	5,88	5,84	5,86	0,2	Part average	Average range
	5,88		0,022		5,84		5,84	0,022	5,88		5,86		0,02	0,585
	5,84		$\bar{R}_a$		5,84		$\bar{R}_b$		5,86		$\bar{R}_c$			$\bar{R}$
SUM a	17,56				SUM b	17,52			SUM c	17,58				
$\bar{X}_a$	0,585333				$\bar{X}_b$	0,584			$\bar{X}_c$	0,586				
$\bar{R}_a$	0,022		# Trials	$D_4$	$d_2$				$\bar{R}$	0,021333				
$\bar{R}_b$	0,022		2	3,27	1,13				$D_4$	3,27				
$\bar{R}_c$	0,02		3	2,58	1,69				UCL <sup>R</sup>	0,06976				
SUM	0,064		4	2,28	2,06				UCL <sup>R</sup> = $D_4 \times \bar{R}$					
$\bar{R}$	0,021333													
									Fill in					
									10 n=number of samples					
									3 r=number of trials					
<b>EV Equipment Variation (Toistettavuus)</b>														
K1	3,041937	EV%	k1 = 5,15 / d <sub>2</sub>											
EV	0,064895	64,77166	EV = $\bar{R} \times K_1$											
<b>AV Appraiser Variation (Uusittavuus)</b>														
K2	2,696335	AV %	k2 = 5,15 / d <sub>2</sub> *											
AV	0,01055	10,52971												
<b>R&amp;R Repeatability &amp; Reproducibility (Mittausepävarmuus)</b>														
R&R	0,065747	R&R %	$R\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$											
		65,62196												
<b>PV Part Variation (Näytevaihtelu)</b>														
K3	1,620006	PV %	k3 = 5,15 / d <sub>2</sub> *											
PV	0,0756	75,45699	PV = Rp * K3											
<b>TV Total Variation (Kokonaisvaihtelu)</b>														
TV	0,10019													

## Liite 3. Malli Gage R&amp;R testistä 3D-mittausta varten

Short R&R -test							
Part	1	2	3	4	5	Range	Part average
1	124,820	124,820	124,820	124,822	124,820	0,002	124,820
2	124,820	124,820	124,820	124,820	124,821	0,001	124,820
3	124,820	124,820	124,820	124,821	124,820	0,001	124,820
4	124,820	124,821	124,820	124,820	124,820	0,001	124,820
5	124,820	124,820	124,820	124,820	124,820	0,000	124,820
6	124,820	124,820	124,821	124,820	124,820	0,001	124,820
7	124,820	124,820	124,820	124,823	124,820	0,003	124,821
8	124,820	124,820	124,824	124,820	124,820	0,004	124,821
9	124,820	124,820	124,820	124,820	124,821	0,001	124,820
10	124,820	124,820	124,820	124,820	124,820	0,000	124,820
11	124,820	124,820	124,820	124,820	124,820	0,000	124,820
12	124,820	124,820	124,822	124,820	124,820	0,002	124,820
13	124,820	124,820	124,820	124,820	124,822	0,002	124,820
14	124,820	124,820	124,821	124,820	124,821	0,001	124,820
15	124,822	124,820	124,820	124,820	124,821	0,002	124,821
Average Range		0,001					
<b>Repeatability (Toistettavuus)</b>							
K1	2,2036799	R%	$Repeatability \% = \frac{5,15\sigma_{ev} \cdot 100}{tolerance}$				
EV	0,0030998	79,82096					
<b>PV Part Variation (Näytevaihtelu)</b>							
K3	1,4494793	PV %					
PV	0,0011596	5,797917					
Tolerance $T = USL - LSL$							
USL	0,010	USL Upper Specification Limit (Upper Tolerance limit)					
LSL	-0,010	LSL Lower Specification Limit (Lower Tolerance limit)					
	<b>0,020</b>						
<b>Range (part averages)</b>							
Max	124,82080						
Min	124,82000						
Rp	0,0008						

## Liite 4. Malli lyhyestä Gage R&amp;R testistä kahdelle mittaajalle

Short R&R -test			
Part	Appraiser 1	Appraiser 2	Range
1	0,0571	0,0568	0,0003
2	0,0620	0,0610	0,001
3	0,0560	0,0556	0,0004
4	0,0581	0,0584	0,0003
5	0,0600	0,0602	0,0002
6	0,0610	0,0600	0,001
7	0,0600	0,0585	0,0015
8	0,0590	0,0578	0,0012
9	0,0560	0,0555	0,0005
10	0,0560	0,0565	0,0005
Average Range			0,00069
Measurement system uncertainties			
	R&R 99%	0,0031	Kerroin $d_2^*$ taulukosta
	R&R 95%	0,002	
Uncertainty: percentage of tolerance			
	R&R 99 %	30,6 %	
	R&R 95%	23,8 %	
Tolerance $T = USL - LSL$			
USL	1,000	USL Upper Specification Limit (Upper Tolerance limit)	
LSL	0,000	LSL Lower Specification Limit (Lower Tolerance limit)	
	<b>1,000</b>		

## Liite 5. Malli lyhyestä Gage R&amp;R testistä yhdelle mittajaalle

Short R&R -test						
Part	1	2	3	4	5	Range
1	0,0571	0,0568	0,0568	0,0568	0,0568	0,0003
2	0,0620	0,0610	0,0610	0,0610	0,0610	0,001
3	0,0560	0,0556	0,0556	0,0556	0,0556	0,0004
4	0,0581	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0003
5	0,0600	0,0602	0,0602	0,0602	0,0602	0,0002
6	0,0610	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,001
7	0,0600	0,0585	0,0585	0,0585	0,0585	0,0015
8	0,0590	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0012
9	0,0560	0,0555	0,0555	0,0555	0,0555	0,0005
10	0,0560	0,0565	0,0565	0,0565	0,0565	0,0005
Average Range			0,00069			
Measurement system uncertainties						
	R&R 99%	0,0031		Kerroin $d_2^*$ taulukosta		
	R&R 95%	0,002				
Uncertainty: percentage of tolerance						
	R&R 99 %	30,6 %				
	R&R 95%	23,8 %				
Tolerance $T = USL - LSL$						
USL	1,000	USL Upper Specification Limit (Upper Tolerance limit)				
LSL	0,000	LSL Lower Specification Limit (Lower Tolerance limit)				
	<b>1,000</b>					

## Liite 6. Malli Gage R&amp;R testistä 3D-mittaukseen

Short R&R -test							
Part	1	2	3	4	5	Range	Part average
1	124,820	124,820	124,820	124,822	124,820	0,002	124,820
2	124,820	124,820	124,820	124,820	124,821	0,001	124,820
3	124,820	124,820	124,820	124,821	124,820	0,001	124,820
4	124,820	124,821	124,820	124,820	124,820	0,001	124,820
5	124,820	124,820	124,820	124,820	124,820	0,000	124,820
6	124,820	124,820	124,821	124,820	124,820	0,001	124,820
7	124,820	124,820	124,820	124,823	124,820	0,003	124,821
8	124,820	124,820	124,824	124,820	124,820	0,004	124,821
9	124,820	124,820	124,820	124,820	124,821	0,001	124,820
10	124,820	124,820	124,820	124,820	124,820	0,000	124,820
11	124,820	124,820	124,820	124,820	124,820	0,000	124,820
12	124,820	124,820	124,822	124,820	124,820	0,002	124,820
13	124,820	124,820	124,820	124,820	124,822	0,002	124,820
14	124,820	124,820	124,821	124,820	124,821	0,001	124,820
15	124,822	124,820	124,820	124,820	124,821	0,002	124,821
Average Range		0,001					
<b>Repeatability (Toistettavuus)</b>							
K1	2,2036799	R%	$Repeatability \% = \frac{5,15\sigma_{ev} \cdot 100}{tolerance}$				
EV	0,0030998	79,82096					
<b>PV Part Variation (Näytevaihtelu)</b>							
K3	1,4494793	PV %					
PV	0,0011596	5,797917					
Tolerance $T = USL - LSL$							
USL	0,010	USL Upper Specification Limit (Upper Tolerance limit)					
LSL	-0,010	LSL Lower Specification Limit (Lower Tolerance limit)					
	<b>0,020</b>						
<b>Range (part averages)</b>							
Max	124,82080						
Min	124,82000						
Rp	0,0008						

## Liite 7. Sisäinen ohje 3D-skannaukseen



Sisäinen ohje  
Versio 1.1  
3/2020

**Metrascan 750**  
**3D-skannerin käyttöohjeet**

meconet



TÄRKEÄÄ  
LUE HUOLELLISESTI ENNEN KÄYTTÖÄ  
SÄILYÄ TALLESSA MYÖHEMPÄÄ KÄYTTÖÄ VARTEN

|

Tekijä Henrika Matula

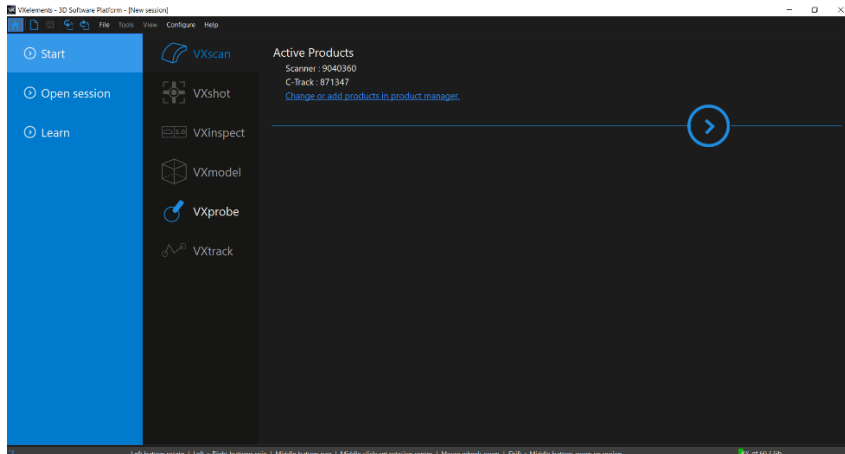
# meconet

## Sisältö

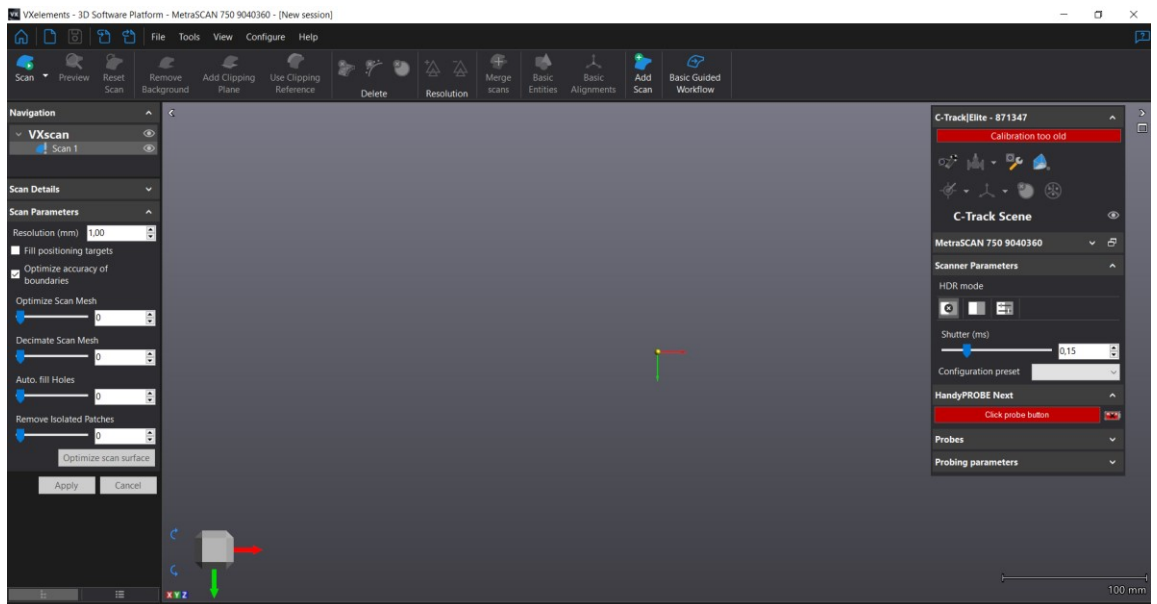
<b>1</b>	<b>Aloitus</b> .....
<b>2</b>	<b>Skannaus</b> .....
2.1	Skannauksen aloittaminen.....
2.2	Skannerin konfigurointi.....
2.2.1	HDR -mode .....
2.3	Skannerin parametrit.....
2.4	Targettien valinta.....
2.5	Skannauksessa huomioitavaa .....
2.6	Skannauksen editointi.....
2.7	Tiedostojen tallennus.....
<b>3</b>	<b>Laitteiston kalibrointi</b> .....
3.1	Kalibrointi C-Track.....
3.2	Käsiskannerin kalibrointi.....
3.3	Kalibrointi koskettava mittapää .....
<b>4</b>	<b>Yleisimmät ongelmatilanteet</b> .....

# 1 Aloitus

Aloita käynnistämällä tietokone ja controller. Jos laitteisto on ollut virraton niin controllerin lämpeneminen voi kestää noin 15 minuuttia. Käynnistä tietokoneelta VXelements -ohjelma. Valitse VXscan ja paina sinistä nuolta.



Tämän jälkeen aukeaa perusnäky. Jos laitteen kalibrointi on voimassa niin oikealla palaa vihreä ruutu joka ilmoittaa milloin laite on viimeksi kalibroitu. Laitteisto ilmoittaa aina myös kalibroinnin tarpeesta kyseisessä ruudussa.



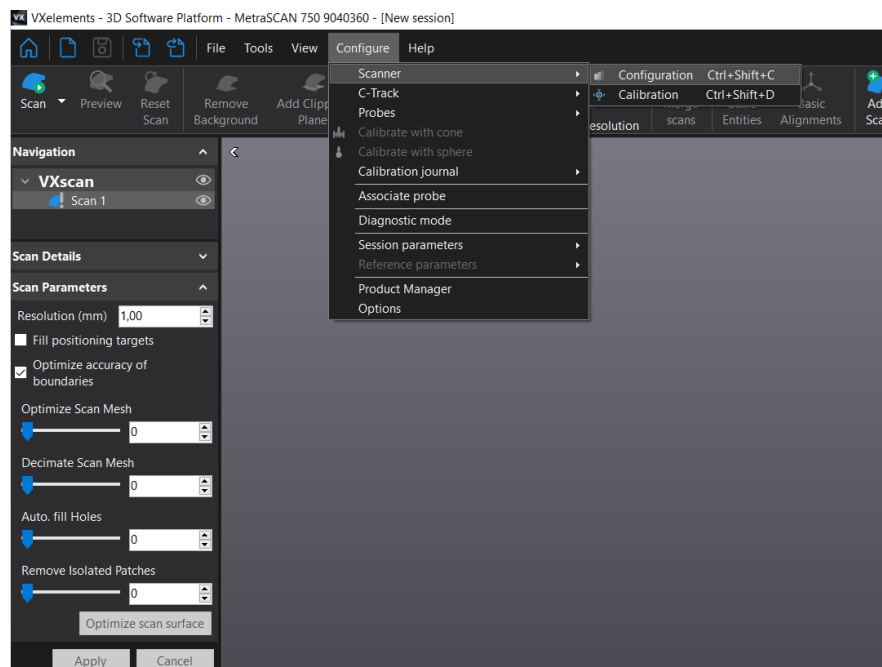
Jos VXelements ja controller ilmoittaa, että "calibration too old" siirry ohjeessa lukuun 3. laitteiston kalibrointi.

## 2 Skannaus

### 2.1 Skannauksen aloittaminen

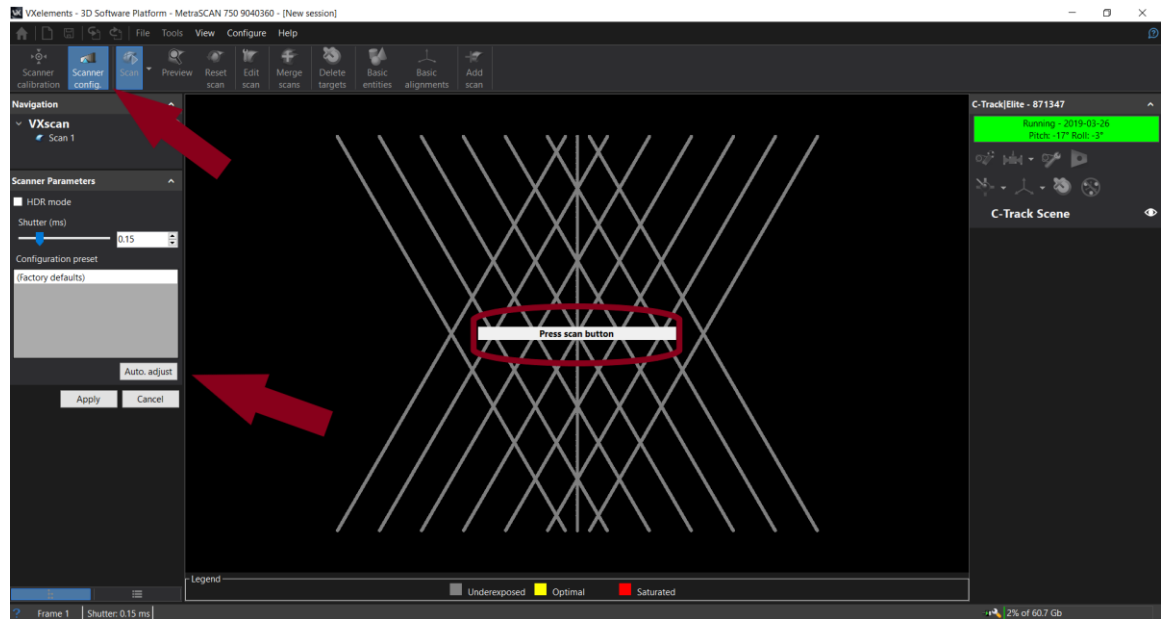
Skannattavan kohteen tulee olla vähintään 1,5 metrin päässä kamerayksiköstä. Asettele skannattava kappale niin ettei sen muoto muutu epäedullisesti asettelun takia, mutta saat sen mahdollisimman hyvin kuvattua joka puolelta. Aivan välttämätöntä ei ole kuitenkaan saada jokaista pintaa kuvattua molemmilta puolilta. Asettele targetit kiinni kappaleeseen niin, että kamerayksikkö näkee ne suoraan. Hyvä määrä targetteja on kuusi kappaletta. Isommissa kappaleissa voi käyttää suurempaakin määrä targetteja. Jos skannattava kappale on pieni etkä saa kaikki targetteja kiinni siihen niin kiinnitä kappale tukevasti esim. magneettien avulla, ettei se pääse liikkumaan skannauksen aikana. Kun kappale on tukevasti paikallaan voit kiinnittää targetteja esimerkiksi skannauspöytään.

### 2.2 Skannerin konfigurointi



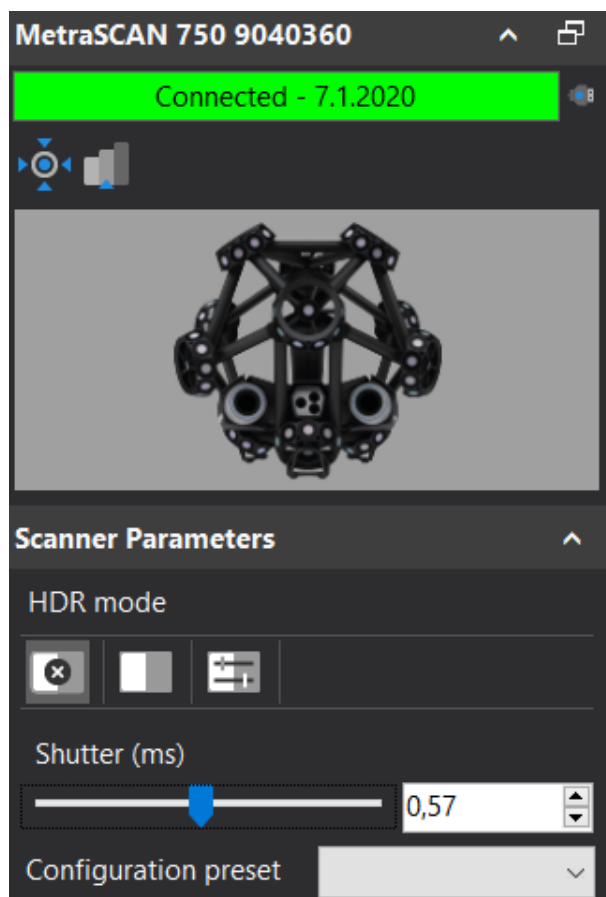
Valitse yläreunan Configure-palkista Scanner ja Configuration. Tässä toiminnossa valitaan shutterin arvo automaattisesti.

Saat seuraavanlaisen näkymän.

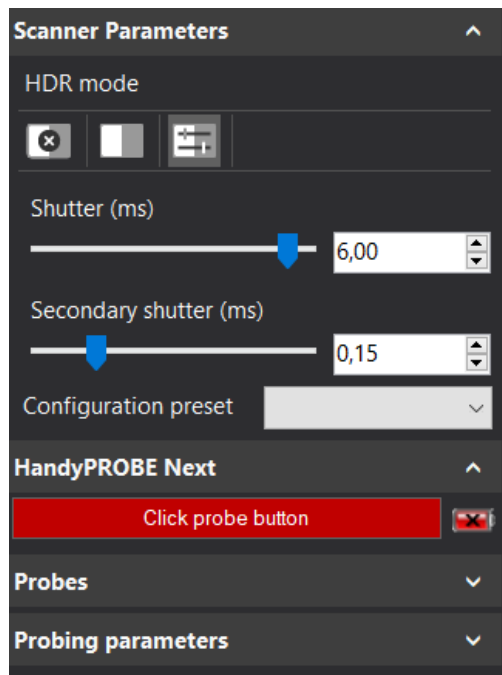


Valitse auto. adjust. Tämän jälkeen ota skanneri käteen. Skannerin liipaisimesta saat skannuksen päälle. Skanna mittattavaa kohdetta normaalilta etäisyydeltä kunnes kuulet merkkiään. Ohjelma ilmoittaa merkkiään kuuluessa, että "Scanner parameters have been optimized."

Shutterin arvo näkyy näytössä oikealla olevassa palkissa.

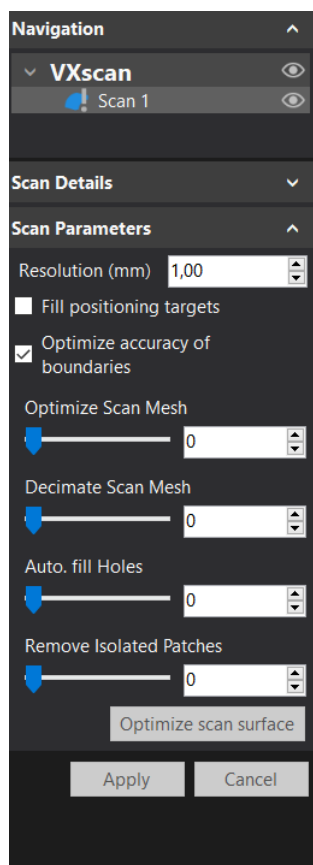


### 2.2.1 HDR -mode



HDR -mode on kätevä toiminto, jos kappale on eri värinen eri kohdista tai kiiltää eri tavalla. HDR -mode on vetovalikossa oikealla. Voit valita toisen valotusajan kappaleelle, jolloin saat myös vaaleampia tai tummempia kohtia kuvattua. Käytä auto adjustia haluttujen alueiden valotusajan selvittämiseksi ja kirjaa arvot lopulta käsin ruutuihin. Isompi arvo ylempään ruutuun ja pienempi alempaan. Paina lopuksi "Apply".

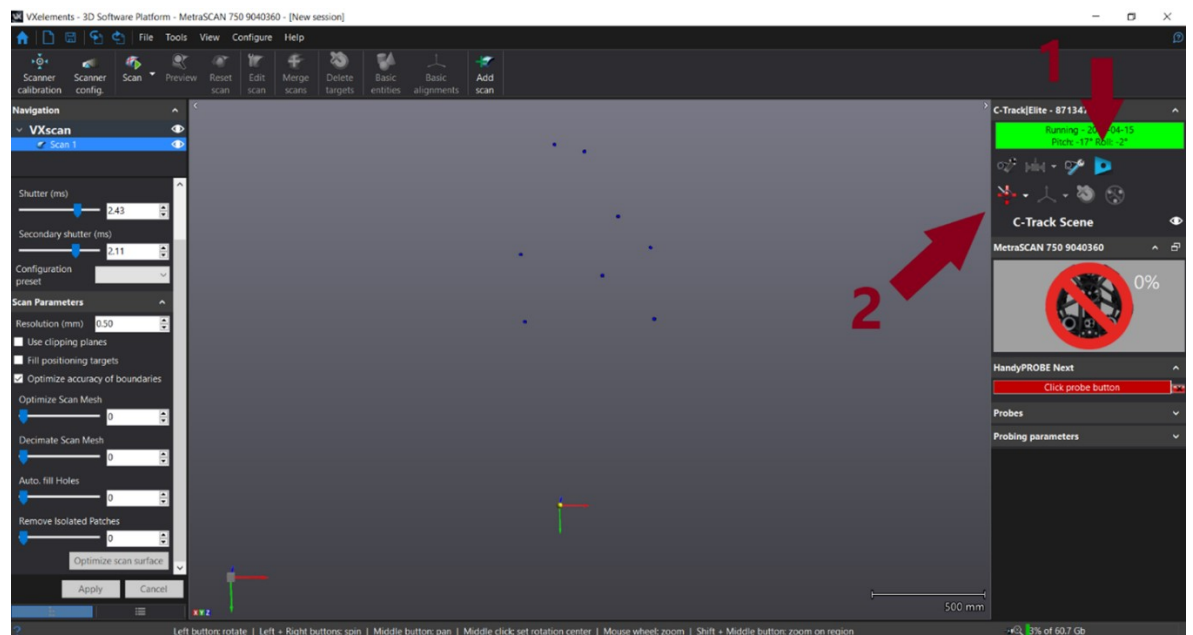
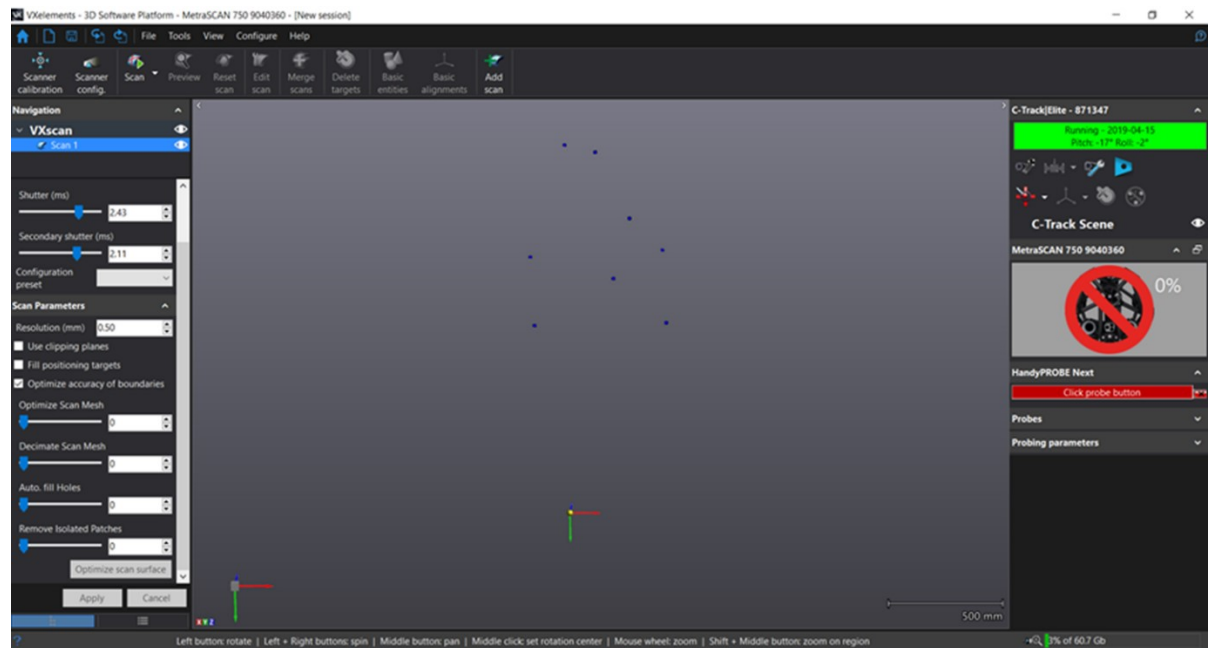
### 2.3 Skannerin parametrit



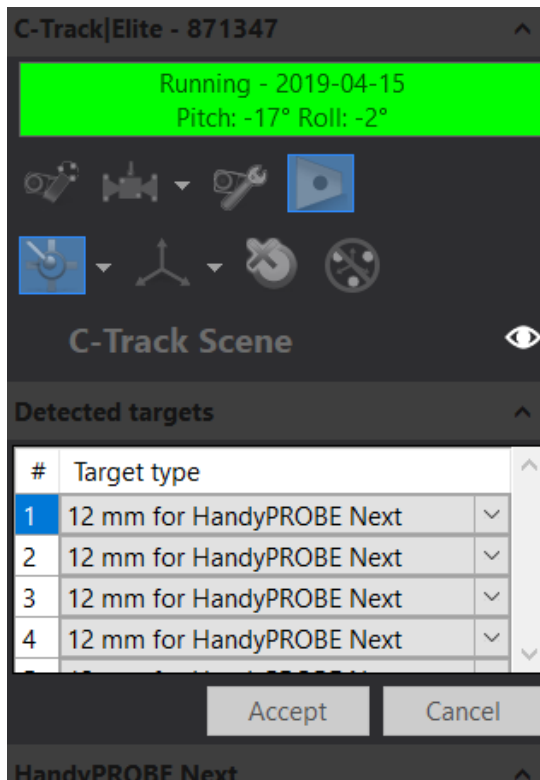
Valitse resoluutio materiaalin paksuuden mukaan. 0,4mm on hyvä 2 mm paksulle materiaalille. Jos mitattava osa on iso ja hyvin yksinkertainen voidaan käyttää isompaakin resoluutiota. Resoluution valinta vaikuttaa skannauksen tarkkuuteen ja tiedoston kokoon. Katso että "Optimize accuracy of boundaries" on valittuna ruksilla. Paina lopuksi Apply.

## 2.4 Targettien valinta

Kun targetit on aseteltu haluttuihin kohtiin, niin ne näkyvät näytöllä sinisinä täplinä.



Tämän jälkeen valitse tilavuudennäyttö, josta voit katsoa ovatko targetit hyvin kuvausalueen sisällä. Tämän jälkeen aloita valitsemaan targetteja painamalla punaista valintaikonia. Paina control pohjaan ja hiiren oikealla painikkeella maalaa riittävän iso alue, että saat kaikki targetit valittua.



Sen jälkeen hyväksy ne painamalla "Accept". Jos haluat käyttää kääntyviä targetteja ja käännellä niitä skannattaessa niin valitse vetovalikoista "swivel" muussa tapauksessa ei alavetovalikkoihin tarvitse mennä ollenkaan vaan oletus valinta käy.

## 2.5 Skannauksessa huomioitavaa

Skannus aloitetaan yläpalkin "Scan" painikkeesta ja skannaus myös lopetaan samasta painikkeesta. Reiät ja reunat on hyvä kuvata huolellisesti. Sopiva skannaus etäisyys on noin 35 senttiä. Skannerin värit kertovat sopivan kuvausetäisyyden. Värit näkyvät käsiskannerissa ja myös tietokoneen näytöllä.

**Sininen:** Kuvattava kohde on liian kaukana.

**Vihreä:** Sopiva etäisyys.

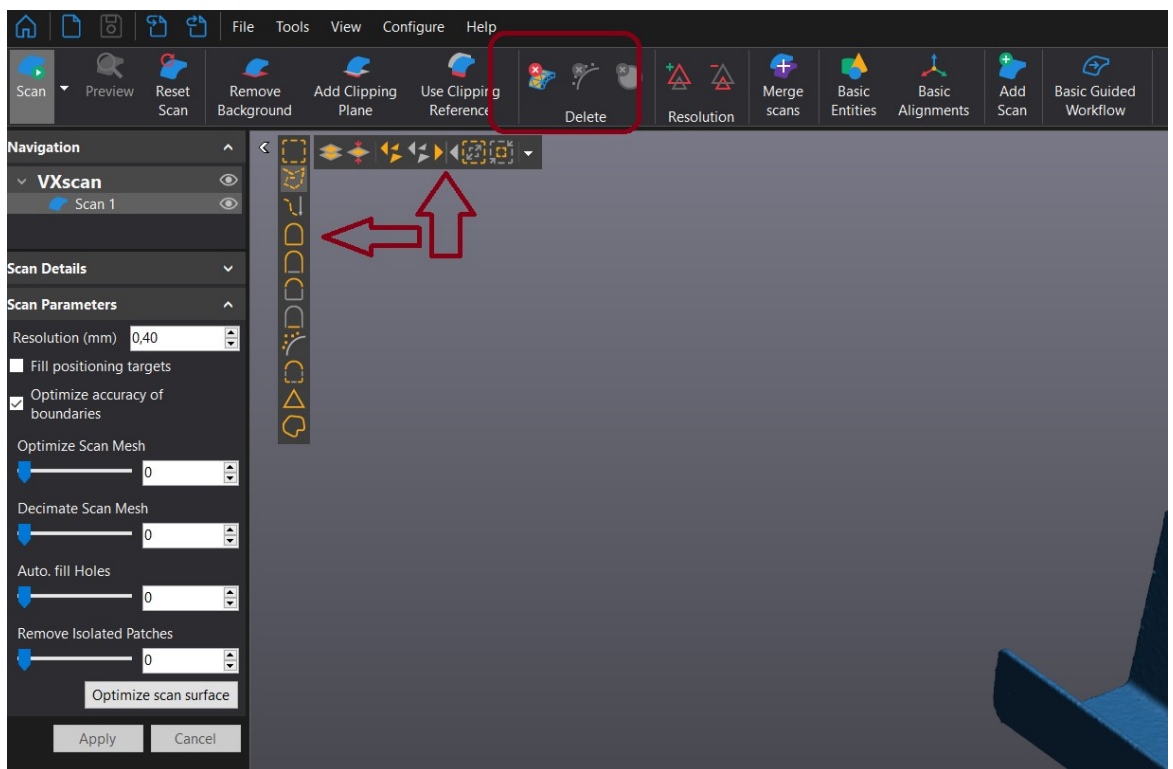
**Keltainen:** Kuvattava kohde alkaa olla liian lähellä.

**Punainen:** Kuvattava kohde on liian lähellä skannausta varten.



## 2.6 Skannauksen editointi

Skannauksessa tulee usein skannattua ylimääräisiä kohteita kuten esimerkiksi skannauksessa alustana käytettävää pöytää tai kappaleen kiinnityksiä. Nämä kannattaa poistaa Edit scan -toiminnolla johon pääsee skannauksen loputtua. Skannauksen siivoaminen ylimääräisestä datasta pienentää tiedoston kokoa. Toiminto myös helpottaa Polyworksissa skannauksen ja CAD-mallin yhdistämistä. Käytä lenkkityökalua. Valitse osa painamalla control ja klikkaamalla hiiren oikeaa painiketta. Jos käy hyvä tuuri niin ainoastaan haluttu osa tulee valituksi. Paina reverse selection ja tämän jälkeen delete. Huomaa, että keltaiset osat häviää ja tehtyä poistoa ei voi perua.



## 2.7 Tiedostojen tallennus

Tiedostot tallennetaan polygonimallina. Polygoniverkko (polygon mesh) on useista polygoneista koostuva kappale kolmiulotteisessa grafiikassa. Älä tallenna Vxelements in työtilaa, pelkkä mesh riittää. Tallenna skannaus File → Export → Mesh.

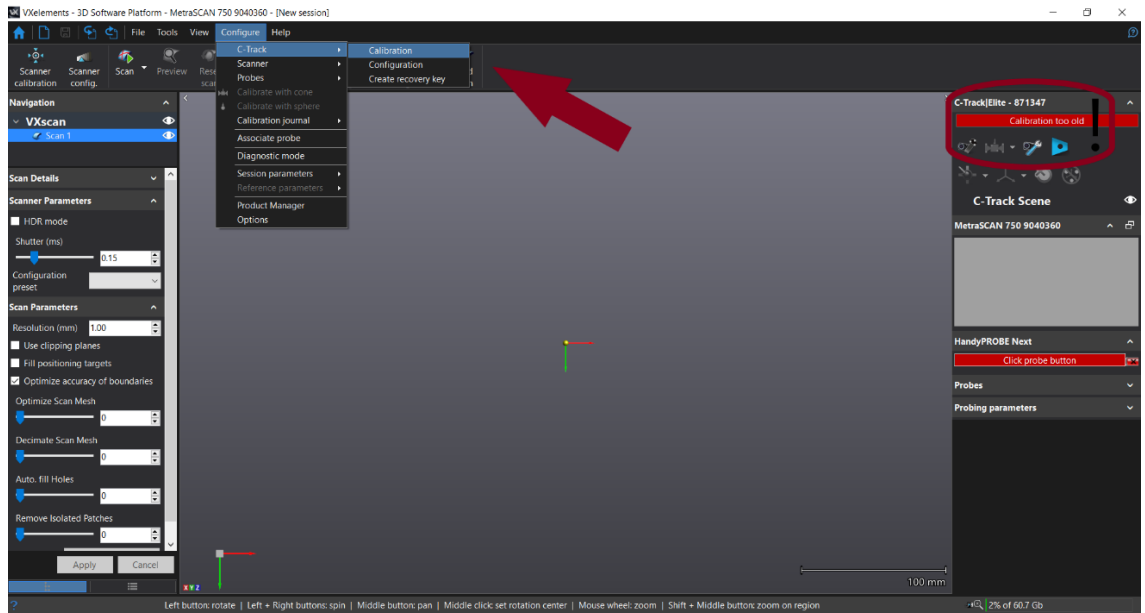
Tallenna tiedostot muotoon vuosi-kuukausi-päivämäärä\_tunniste. Esim. 20190431\_xxx012. Tallenna tiedosto oikeaan polkuun joko piirustusarkistoon tai projektin alle.

### **3 Laitteiston kalibrointi**

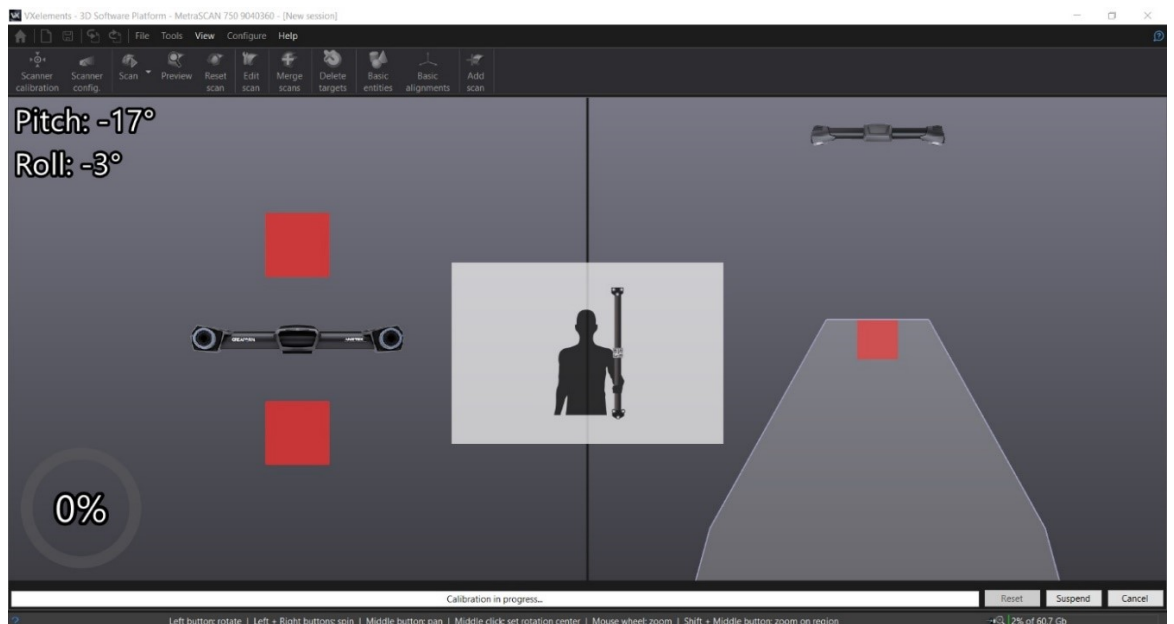
Kalibroinnin ollessa voimassa viimeisin kalibrointi päivämäärä on nähtävissä perusnäkyvässä oikealla olevassa vihreässä laatikossa. Laitteisto ilmoittaa, kun kalibrointi on mennyt vanhaksi tai jos huoneen lämpötila on muuttunut liikaa viime kalibroinnin jälkeen ja kalibrointi tulee suorittaa uudestaan. Laitteisto tulee normaalisti kalibroida kerran viikossa. C-Track ja käsiskanneri molemmat kalibroidaan samalla kertaa. Kalibroinnit suoritetaan järjestyksessä niin, että ensin kalibroidaan C-Track ja sitten käsiskanneri sekä tarvittaessa koskettava mittapää. Kalibrointia ei tarvitse suorittaa uudestaan, jos kameraa liikutetaan kuvausajana tai kuvausten välillä. Koskettava mittapää voidaan kalibroida käytön yhteydessä tarpeen mukaan eli sitä ei tarvitse kalibroida viikoittain, jos sitä ei tarvitse.

#### **3.1 Kalibrointi C-Track**

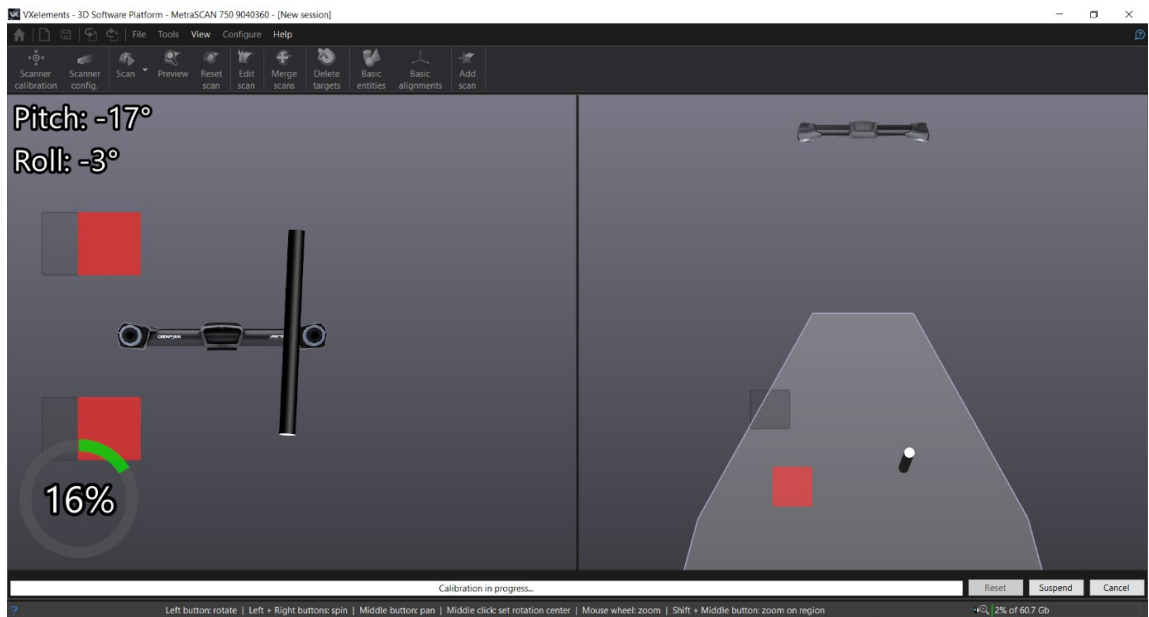
C-Trackin kalibrointiin tarvitaan pitkää kalibrointisauvaa, jota säilytetään isossa kuljetuslaukussa. Ota sauva laatikosta ja aloita kalibrointi valitsemalla ylävalikosta Configure → C-Track → Calibration



Valinnan jälkeen ohjelmisto alkaa neuvoa eteenpäin kalibroinnin teossa ja tulee seuraavanlainen näkymä.



Laitteisto ohjaa koko ajan eteenpäin kalibroinnin suorittamisessa. Kalibrointisauvaa pidetään kädessä neljällä eri tavalla. Ohjelma ilmoittaa, kun sauvan asentoa vaihdetaan. Kameran tulee nähdä sauvan molemmissa päissä olevat targetit.

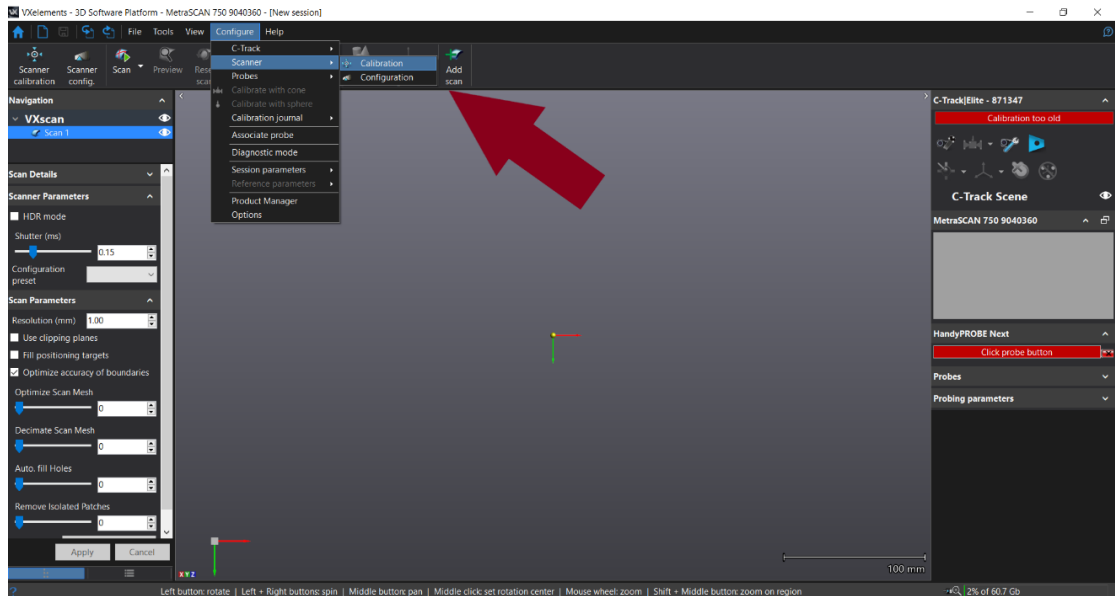


Vasemmanpuoleinen ruutu kertoo missä asennossa ja millä korkeudella sauvaa pidetään kädessä. Oikeanpuoleinen ruutu taas kertoo missä kohtaa huonetta tulee kalibroinnin tekijän seisoa. Kun ohjelma hyväksyy sauvan sijainnin ja asennon ruudut muuttuvat vihreäksi. Tämän jälkeen ohjelma osoittaa seuraavan paikan sauvalle. Kalibrointi etenee ruudun alareunassa näkyvän prosenttilaskurin mukaan ja on valmis, kun laskuri ilmoittaa 100%. Tämän jälkeen tulee ikkuna, jossa laitteisto ilmoittaa kalibroinnin arvon. Arvon tulee olla alle **0,035**. Jos arvo ylittää tämän lukeman yritä uudelleen ja jos edelleenkin lukema ylittyy, täytyy ottaa yhteyttä laitteiston huoltoon (laitteiston myyjä / valmistaja). Hyväksy ja tallenna kalibrointi painamalla lopuksi "Yes".

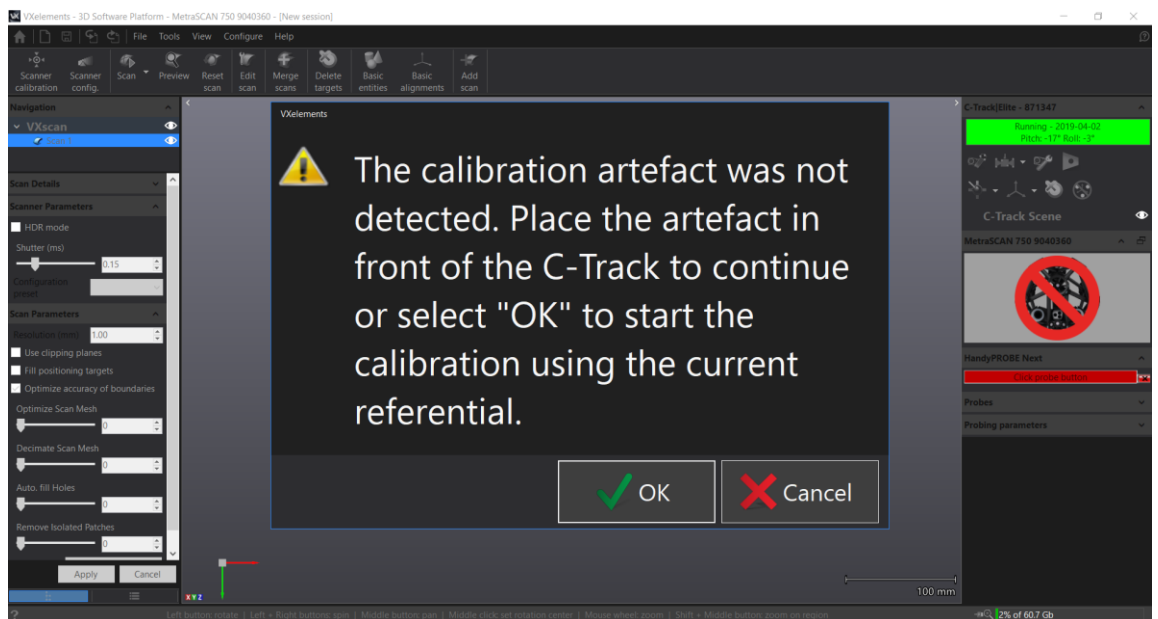
### 3.2 Käsiskannerin kalibrointi

Käsiskannerin kalibrointiin tarvitaan laatikkomainen kalibrointiesine, joka yhdistetään Controlleriin johdolla. Skannerin kalibrointiesinettä säilytetään Controllerin lähellä hyllyssä. Poista kansi kalibrointiesineestä ennen käyttöä.

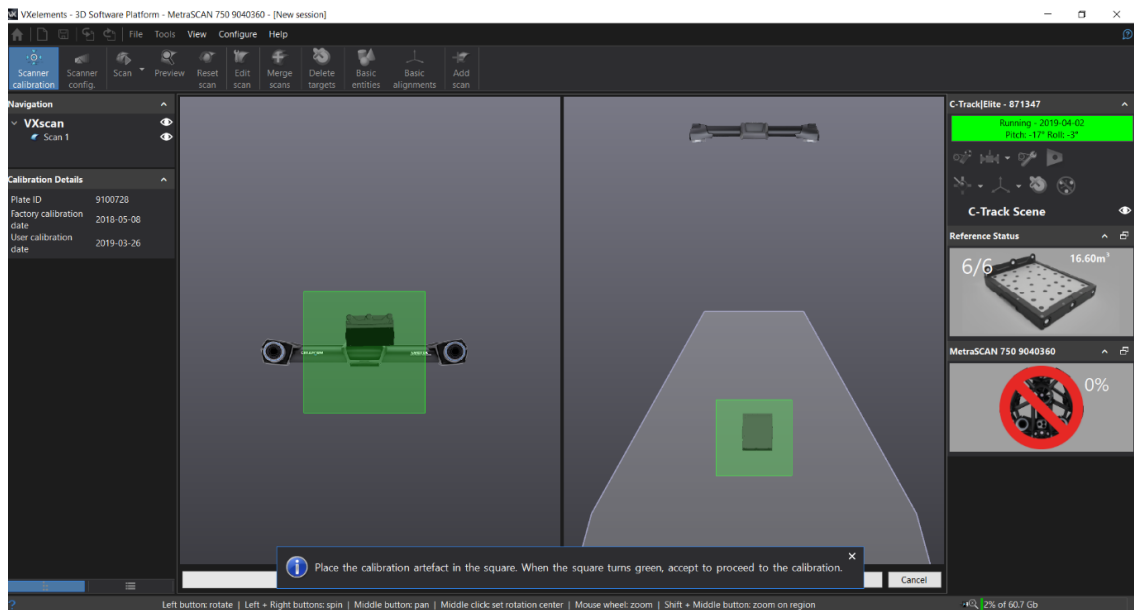
Valitse ylävalikosta Configure → Scanner → Calibration.



Jos et ole yhdistänyt johtoa ennen kalibroinnin valintaa niin saat seuraavan ilmoituksen.



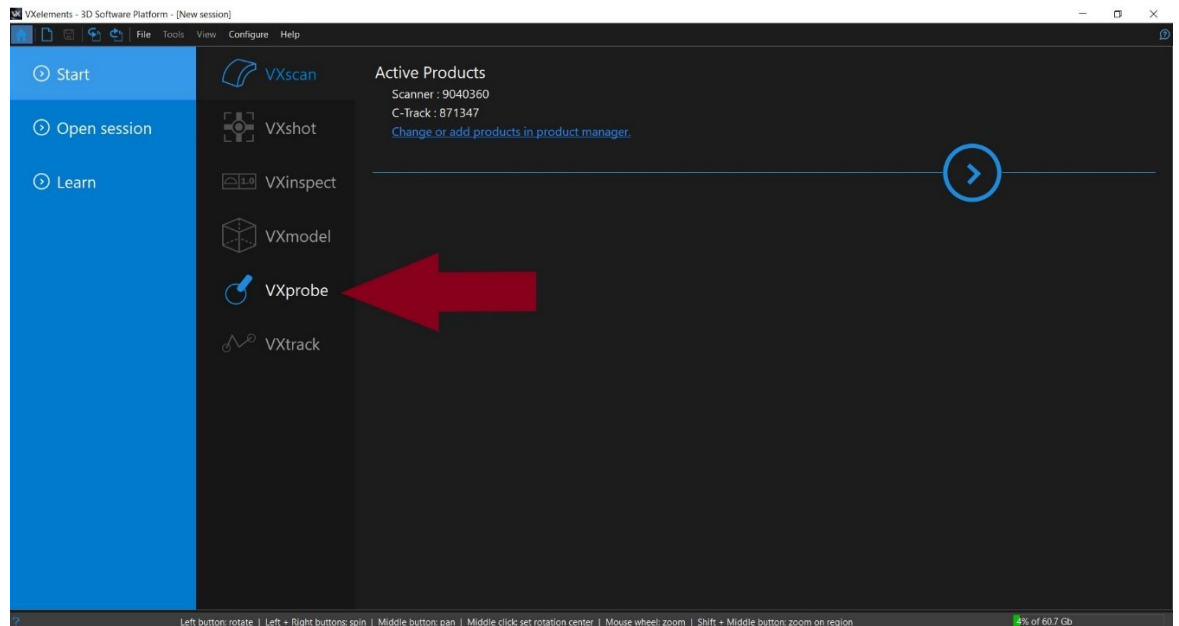
Asettele kalibrointiesine skannauspöydälle ja yhdistä Controllerista tuleva johto kalibrointi esineen oikealla puolella olevaan porttiin. Kalibrointiesine tulee laittaa ohjelman ilmoittamaan paikkaan.



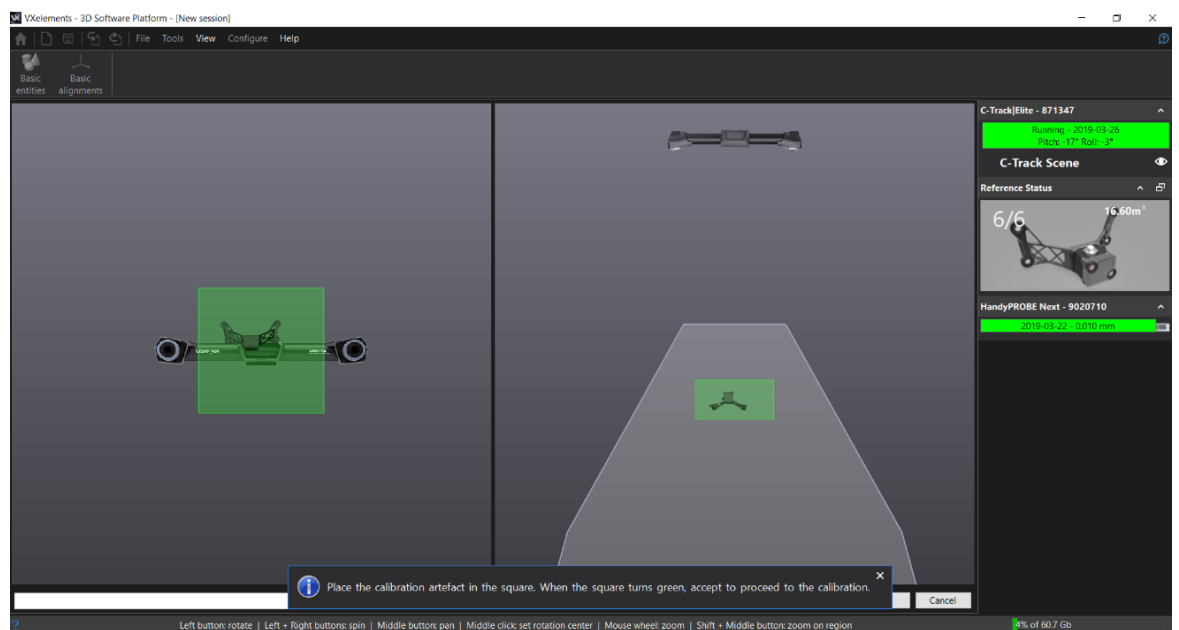
Samoin kuin edellisessä kalibroinnissa niin tässäkin vasemmanpuoleinen ruutu määrittelee korkeuden ja oikeanpuoleinen ruutu paikan huoneessa. Kameran korkeutta ja kulmaa säätämällä voi vaikuttaa paikkaan. Kalibroinnissa on tarkoitus asettaa skannerin "haamukuva" ja skanneri päällekkäin tietokoneen ruudulla tämän jälkeen skanneria suunnataan sopivaan kulmaan ja korkeuteen niin, että ohjelmisto hyväksyy skannerin olevan oikeassa paikassa. Alareunassa on laskuri, jonka pitää mennä 100% asti, sitten ohjelma antaa uuden paikan johon skanneri tulee liikuttaa. Ohjelma neuvoo koko ajan eteenpäin kalibroinnissa. Lopuksi ohjelma ilmoittaa kalibroinnin arvon. Arvon tulee olla alle **0,11** jos arvo ylittyy, yritä uudestaan ja jos edelleenkin ylittyy, niin ota yhteyttä laitteiston huoltoon (laitteiston myyjä / valmistaja). Hyväksy ja tallenna kalibrointi painamalla "Yes". Irrota lopuksi kalibrointiesineen johto. Laita kalibrointiesine hyllyyn ja peitä kannella.

### 3.3 Kalibrointi koskettava mittapää

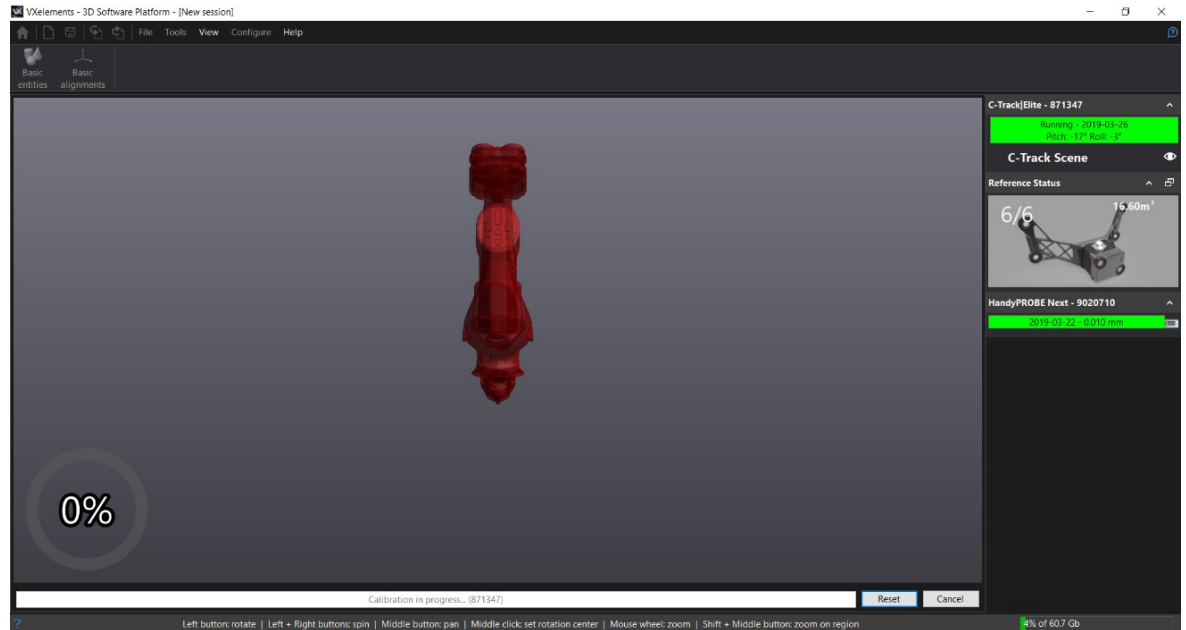
Valitse aloitusikkunassa VXprobe ja paina sinistä nuolta.



Valitse Configure → Probe → Calibrate with cone. Koskettavan mittapään kalibrointiin on oma kalibrointiesine. Kalibrointiesineessä on kytkimellä toimiva magneetti, jolla se voidaan lukita pöytään tukevasti. Kuten edellisenkin kalibroinnin kanssa tulee tässäkin esine laittaa ohjelman osoittamaan paikkaan.



Itse kalibrointi on helppo ja nopea suorittaa.



Koskettava mittapää asetetaan kartion pohjaan. Ohjelma neuvoo mihin asentoon ohjainta liikutetaan. Kalibrointi etenee ruudun alareunassa näkyvän prosenttilaskurin mukaan ja on valmis, kun laskuri ilmoittaa 100%. Tämän jälkeen tulee ikkuna, jossa laitteisto ilmoittaa kalibroinnin arvon. Arvon tulee olla alle **0,025**. Jos arvo ylittää tämän lukeman yritä uudelleen ja jos edelleenkin lukema ylittyy, täytyy ottaa yhteyttä laitteiston huoltoon (laitteiston myyjä / valmistaja). Hyväksy ja tallenna kalibrointi painamalla lopuksi "Yes".



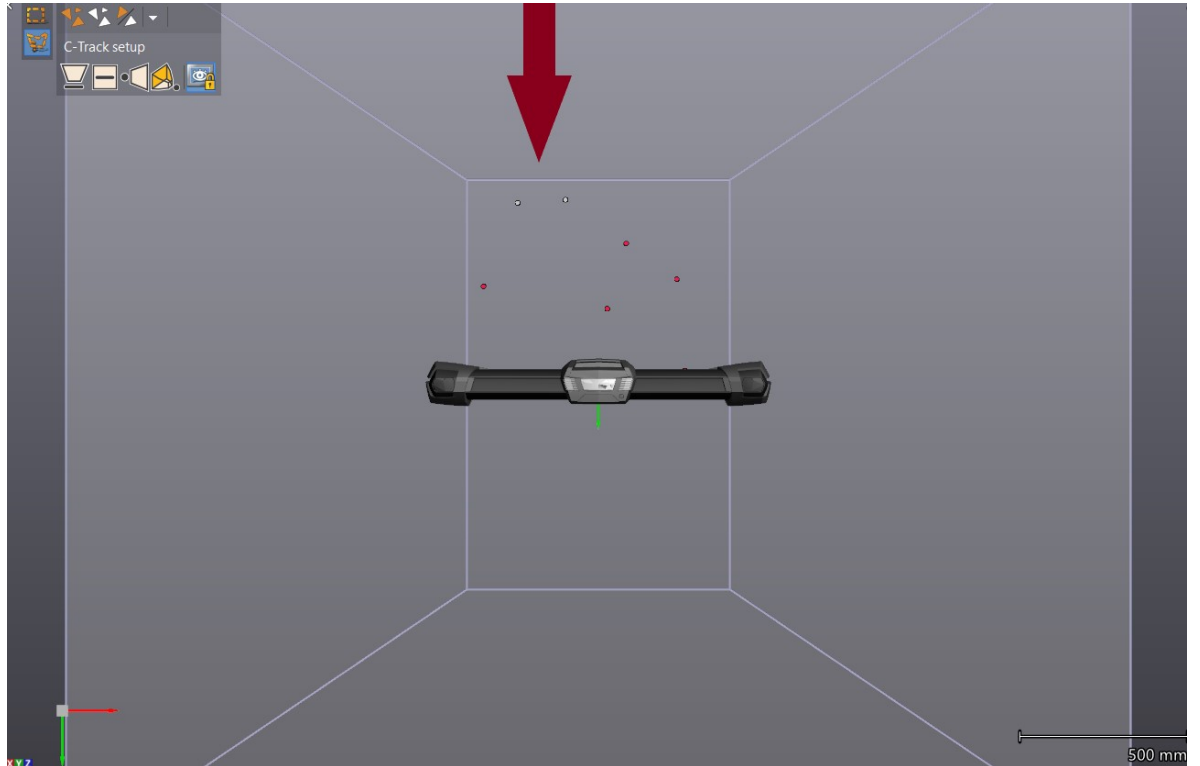
## 4 Yleisimmät ongelmatilanteet

Ohjelma antaa virheilmoituksen käynnistettäessä

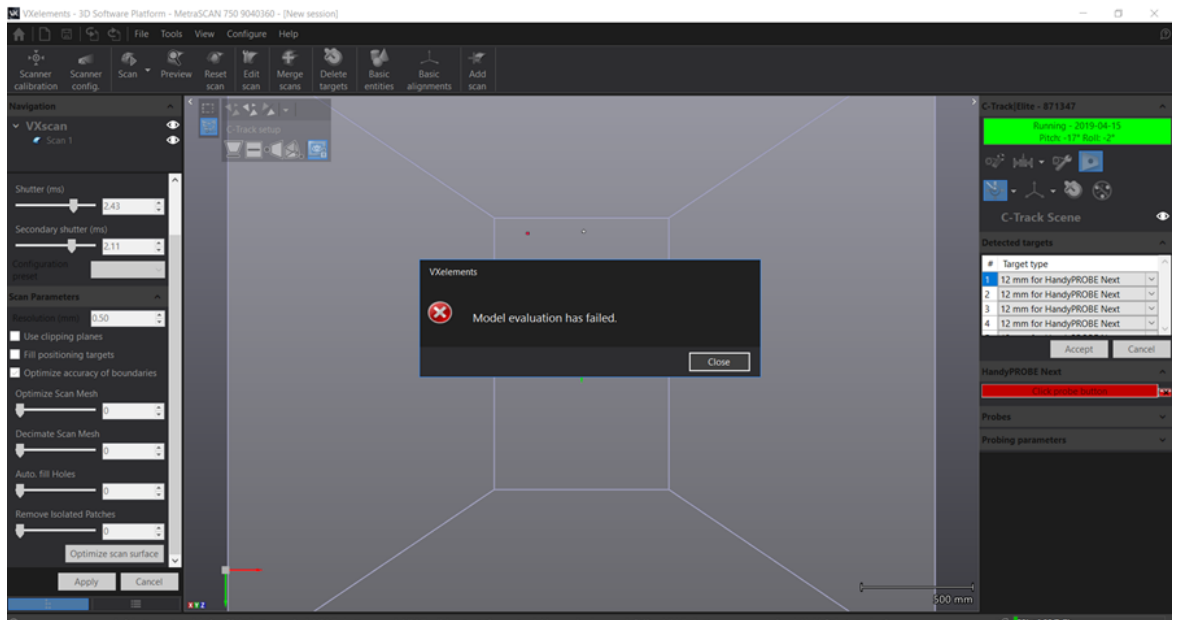


Ohjelma ilmoittaa käynnistettäessä, että edellinen skannaus on päättynyt odottamatta. Paina "No" ja jatka normaalisti.

## Ohjelma antaa virheilmoituksen ”Model evaluation has failed”

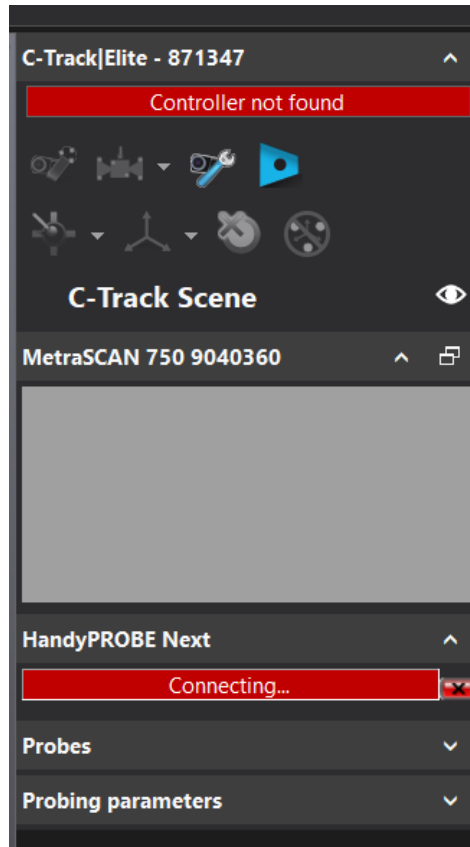


Osa targeteista on valkoisena. Kameralla ei ole suoraa tai tarpeeksi hyvää näkyvyyttä niihin. Saat seuraavanlaisen virheilmoituksen ”Model evaluation has failed”.



Ratkaisu: Korjaa targettien asentoa niin, että kamera näkee ne kunnolla. Toista targettien valinta normaalisti.

## VXelements ilmoittaa, ettei löydä Controlleria



Mahdollisia ratkaisuja:

- Controller ei ole päällä.
- Jokin johdoista on irti. Tarkista kytkennät.
- Tarvittaessa irrota Controller verkkovirrasta ja kytke uudelleen verkkovirtaan. Tämän jälkeen voi olla, että Controller lämpenee noin 15 minuuttia ennen kuin on käytettävissä.

## Käsiskannerin johto on kierteellä

Irrota johdot käsiskannerista ja suorista johto. Kytke johdot takaisin.

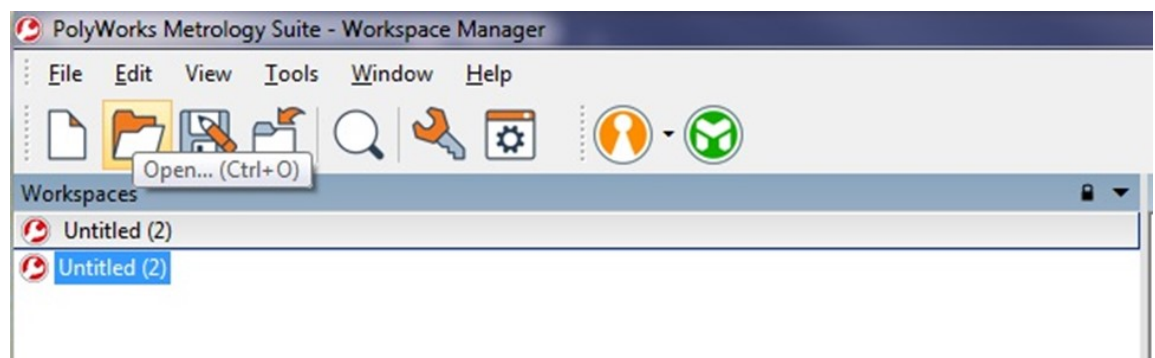
## Liite 8. Polyworks pikaohje

Ohjeesta on poistettu tuotekuvia ja nimiä.

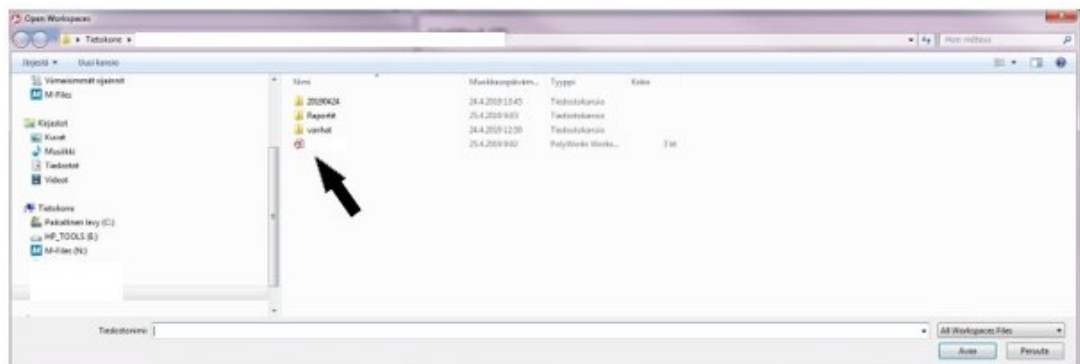
### Polyworks pikaohje

#### Skannauksen tuominen jo olemassa olevaan projektiin

Valitse Open ja etsi haluttu työtila.



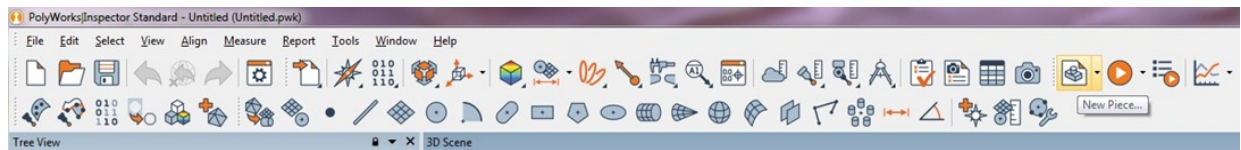
Työtilat ovat punaisella logolla näkyviä.



Tämän jälkeen avaa puusta haluttu projekti. Huom. saman työtilan alla voi olla useampia projekteja.



Projekti aukeaa omaan ikkunaansa. Sen jälkeen paina "New Piece"



Seuraavainlainen ikkuna aukeaa

New Piece
?
X

Source piece:

Current piece

Piece template:

**Piece properties** ^

Property	Value
Piece name	piece 2
Date	26.4.2019 <span style="float: right;">▼</span>
Time	7:33:16
Serial number	
Order number	
Operator name	
E-Mail address	
Device	

**Fixed alignment setup** v

**Options** ^

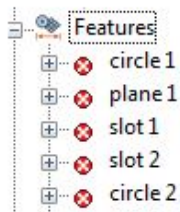
Launch Play Inspection:  ▼

Paina "Create" ja valitse haluttu tiedosto.

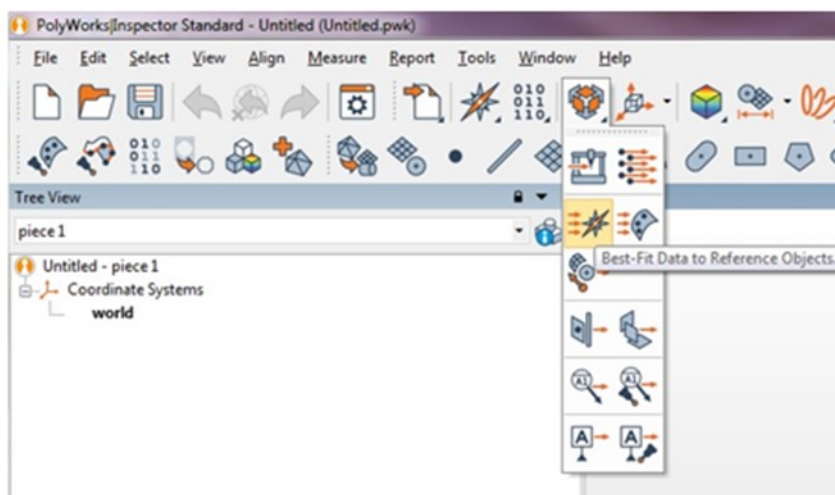


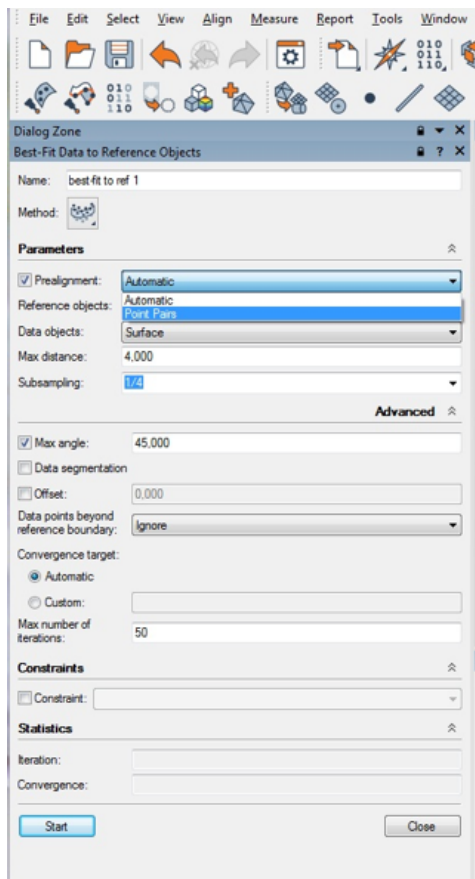
Jos ohjelma kysyy tämän jälkeen mittauksista paina stop tai skip kunnes menee eteenpäin.

Jos mittaus ei onnistunut ja saat virheilmoituksia Features puuhun. mahdollinen ongelma on, ettei CAD -mallin ja polygonal -mallin välinen kohdistus onnistunut oikein.



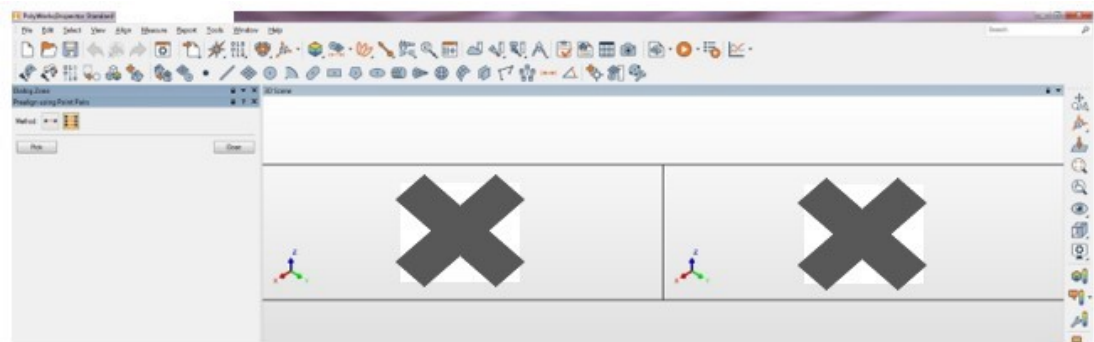
Voit korjata kohdistusta valitsemalla Best-Fit Data to Reference Objects.



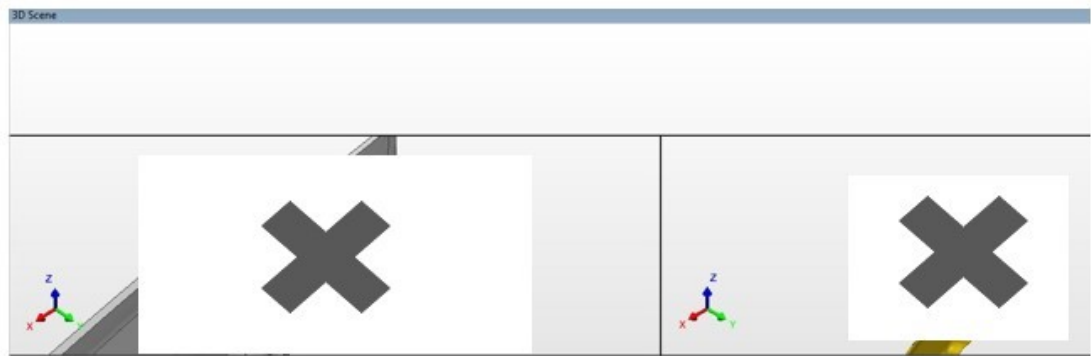


Alasvetovalikosta Point Pairs ja "Start".

Saat seuraavanlaisen näkymän. Kääntelee osat omissa laatikoissaan suurin piirtein samoin päin ja samaan kohtaan laatikoissaan. Hiiren oikea nappi pohjaan niin osa pyörii ja rullalla voit zoomata. Sen jälkeen paina "Pick".



Valitse pinnat mitkä haluat yhteen.



Valitse vuorotellen pisteitä kummastakin. Muutama piste riittää (vähintään 3 pistettä). Paina hiiren oikeaa painiketta niin ohjelma suorittaa kohdistuksen.

Jos ei hakenut kaikkia mittauksia niin Features -puun päällä klikkaa hiiren oikeaa niin aukeaa valikko ja sieltä "Extract All Measured".

Jos Features -puussa on edelleen seuraavanlaisia virheilmoituksia niin Polyworks ei ole mitannut kyseisiä kohtia.

Syynä voi olla, että kohta ei ole skannautunut tarpeeksi hyvin. Esim. reiän reunaa ei ole tarpeeksi, että ohjelma saisi mitattua sen. Myös suuri poikkeavuus paikassa voi aiheuttaa sen, että ohjelma ei osaa sitä automaattisesti mitata. Tuplaklikkaamalla halutun Featuren päällä saat auki näkymän, jossa voit muokata mittaasetuksia. Valitse välilehti Measurement.