



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

3D- SKANNAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖOHJEET

Stera Technologies Oy

TEKIJÄ: Juho Hiltunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Juho Hiltunen	
Työn nimi 3D-skannausjärjestelmän käyttöohjeet	
Päiväys 9.5.2019	Sivumäärä/Liitteet 20/24 (+64)
Ohjaaja(t) lehtori Anssi Suhonen ja valmistuspäällikkö Jari Laakso	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Stera Technologies Oy, Kaavi	
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä kirjoitettiin käyttö- ja kuvausohjeet ATOS Compact Scan 12M 3D-skannerille sekä käyttöohjeet ATOS Professional –ohjelmalle Stera Technologies Oy:n tarpeisiin. Työn asiakas oli Stera Technologies Oy:n Kaavin yksikkö. Ohjeiden kirjoittamisella pyrittiin yhtenäistämään skannausjärjestelmän käyttäjien työmenetelmät, ettei skannaustulosten analysointi olisi käyttäjästä riippuvaista. Ohjeet kirjoitettiin riittävän kattavaksi, että skannausjärjestelmän käyttökoulutuksen saanut, mutta ei jatkuvasti käyttävä henkilö pystyy suorittamaan normaalin tuotannon mukaisen kappaleen kuvaamisen ja analysoinnin ohjeiden avulla.</p> <p>Ohjeiden kirjoittaminen aloitettiin suorittamalla jokaisen ohjeen sisältöön kuuluvat työvaiheet ja dokumentoimalla prosessi kuvaamalla sekä kirjoittamalla muistinpanoja. Tehtyjen muistinpanojen pohjalta muodostettiin ohjeiden runko. Runko tarkastettiin suorittamalla sama prosessi uudestaan ja korjaamalla havaitut puutteet. Korjauksien jälkeen ohjeet viimeisteltiin julkaistavaan ulkoasuun. Ohjeet muotoiltiin mahdollisimman visuaaliseksi käyttämällä runsaasti kuvia ja lisäksi pyrittiin ohjeissa perustelemaan miksi tietyt asiat tehdään tietyllä tavalla.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena Stera Technologies Oy sai käyttöönsä kolme erillistä työohjetta. Ohjeet on jaettu kameran käyttöönottoon kuvauspaikalla, kuvauksen suorittamiseen sekä skannauksen analysointiin ATOS Professional –ohjelmalla. Ohjeiden avulla Stera Technologies Oy voi yhtenäistää käyttäjien työmenetelmät. Lisäksi ohjeet helpottavat huomattavasti skannausjärjestelmän käytön opastusta uusille käyttäjille.</p>	
Avainsanat Käyttöohjeet, 3D, 3D-skannaus, ATOS, Compact Scan	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Juho Hiltunen			
Title of Thesis Operating instructions for 3D scanning system			
Date	May 9, 2019	Pages/Appendices	20/24 (+64)
Supervisor(s) Mr Anssi Suhonen, Lecturer and Mr Jari Laakso, Manufacturing Manager			
Client Organisation /Partners Stera Technologies Oy, Kaavi			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to create the operating instructions for ATOS Compact Scan 12M 3D scanner and ATOS Professional program for the needs of Stera Technologies Oy. The work was commissioned by Stera Technologies Ltd's Kaavi's department. The goal of the instructions was to unite the working methods between system operators so that analyzing the final results wouldn't depend on the user. The instructions were written extensive enough to make operating the system possible for users that have been taught to use the system, but have not been using the system regularly.</p> <p>Writing the instructions was started by documenting workflow of the process. The basis of the instructions was formed by following the documentation. The basis was inspected by repeating the process and fixing all the faults that were detected. After the corrections the instructions were finished to final layout. The instructions were designed as visual as possible by applying pictures. In addition it was aimed to justify why certain steps should be done in particular way.</p> <p>The final result of this thesis is three separate instructions for 3D scanning system for Stera Technologies Ltd. The instructions have been divided to setting up the scanner, performing the scanning and analyzing the scanning results with the ATOS Professional program. With the instructions Stera Technologies Oy is able to unite working methods of the system operators. In addition, training new operators will be simpler with the instructions.</p>			
Keywords Instruction, 3D scanner, 3D scanning, ATOS, Compact Scan			
Public			

Esipuhe

Kiitos pitkäaikaiselle työnantajalleni Stera Technologies Oy:lle sekä valmistuspäällikkö Jari Laaksolle opinnäytetyön suorittamisen mahdollistamisesta työpaikallani. Lisäksi haluan kiittää Stera Technologies Oy Kaavin yksikön 3D-skannausjärjestelmän muita pääkäyttäjiä Jari Toivasta sekä Janne Kervistä avusta ja ohjauksesta opinnäytetyön suorittamisessa. Kiitokset myös ohjaavalle opettajalle Anssi Suhoselle.

Kaavilla 9.5.2019

Juho Hiltunen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	7
1.2	Yhteistyökumppanit ja tekijänoikeuksien haltijat tai muut tahot	7
2	3D- SKANNAUS YLEISESTI	8
2.1	Työohjeiden sisältö	10
2.2	Ohjeiden kirjoittaminen	11
3	TARKKUUS JA VIRHEET	11
4	OPTINEN MITTAUS VAI PERINTEISET MITTAUSTEKNIIKAT	13
4.1	Mittaustesti.....	14
4.1.1	Case: Koneistettu holkki	14
4.1.2	Case: Särmätty levyleike.....	15
5	MENETELMIEN KEHITTÄMINEN	16
5.1	Mittauksen valmistelu.....	16
5.2	Referenssipisteet	16
5.3	Kierteiden sijainnin mittaus.....	17
6	LOPPUPÄÄTELMÄT	19
7	LÄHTEET	20
8	LIITTEET	21

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä koostettiin 3D-skannerin käyttöohjeet Stera Technologies Oy:n käyttöön ATOS Compact Scan 12M -skannerille ja ATOS Professional -ohjelmistolle. Työohjeiden ensisijaisena tavoitteena oli yhtenäistää skannausjärjestelmän käyttäjien työmenetelmät, jolloin mittauksien analysointi ei ole käyttäjästä riippuvaista. Ohjeiden kattavuudeksi määritettiin, että skannausjärjestelmän käyttökoulutuksen saanut, mutta ei jatkuvasti käyttävä henkilö pystyy suorittamaan normaalin Steran Technologies Oy:n tuotannon mukaisen tuotteen skannauksen ja analysoinnin itsenäisesti ohjeiden avulla. Koska työohjeita ei julkisteta, niiden ollessa Stera Technologies Oy:n omaisuutta, päätettiin julkisen opinnäytetyön sisällössä kehittää skannerin käyttämiseen yksinkertaisia mittauksia helpottavia menetelmiä ja pohtia missä tilanteissa optista 3D-skannausta kannattaa käyttää perinteisten mittaustekniikoiden sijasta.

Työnaihe saatiin suoraan asiakkaalta. Pian skannerin käyttöönoton jälkeen huomattiin, että skannerin käyttöön liittyy useita vaiheita, joissa käyttäjä voi omilla työtavoillaan ja menetelmillään vaikuttaa lopputulokseen. Lisäksi Stera Technologies Oy:llä on Suomessa toimipisteitä usealla paikkakunnalla ja 3D-skanneria siirretään tarpeen mukaan toimipisteiden välillä. Tällöin toimipisteiden käyttäjillä saattaa tulla pitkiäkin taukoja skannerin käytöstä, jolloin ohjeitus toimii muistin tukena käyttäjille.

Työn alussa tutustutaan opinnäytetyön pääaiheena muodostettujen työohjeiden sisältöön ohjeiden sisällysluetteloiden ja lyhyen kuvauksen avulla. Työohjeista ei julkisteta muuta kuin sisällysluettelot. 3D-skannausta yleisesti osiossa tutustutaan optisen mittauksen lähtökohtiin ja tekniikoihin pintapuolisesti ja lisäksi pohditaan skannauksen luotettavaa tarkkuutta. Tarkkuus osio perustuu käyttäjäkokemukseen, eikä todellisiin laskennallisiin tarkkuuksiin. Työn loppupuolella pohditaan optisen mittauksen käyttöä perinteisten mittaustekniikoiden sijasta tai rinnalla.

1.1 Lyhenteet ja määritelmät

Actual = Todellinen. Skannattu data.

g3d = Atos ohjelmilla käytetty 3D-pintamallin tiedostomuoto.

Nominal = Nimellinen. Cad- malli.

Prealignment = Alustava linjaus. Best-fit periaate.

RPS = "Reference Point System". Elementteihin perustuva nominal ja actual mallin linjaus.

STL = "Standard Triangle Language". 3D-pintamallin tiedostomuoto.

3-2-1 = Yleinen asemointi periaate. Pienin tukipisteiden määrä liikkeiden lukitsemiseen.

1.2 Yhteistyökumppanit ja tekijänoikeuksien haltijat tai muut tahot

Opinnäytetyön asiakas on Stera Technologies Oy:n Kaavin yksikkö.

Asiakkaan yhteyshenkilönä: valmistuspäällikkö Jari Laakso

Ohjausryhmä:
1. ohjaaja Anssi Suhonen
2. ohjaaja Sami Ipatti

Työohjeiden tekijänoikeudet on luovutettu Stera Technologies Oy:n Kaavin yksikölle.

Stera Technologies Oy on kansainvälinen mekaniikan ja elektroniikan sopimusvalmistuskonserni. Yrityksellä on Suomessa sekä Virossa toimintaa kuudella paikkakunnalla ja se työllistää yli 800 henkeä. Konserni on erikoistunut sopimusvalmistukseen, mutta sillä on myös omia tuotteita, kuten Stera laite- ja jakokaapit, SteraLux LED-valaisinjärjestelmät sekä SteraSmart langattomat tuotantoympäristön seurantajärjestelmät (Stera, 2018). Stera Technologies Oy:n Kaavin yksikkö on erikoistunut raskaankaluston ja työkoneiden hydraulikka- ja polttoainesäiliöiden valmistukseen levyleikkeestä maalattuun ja kokoonpantuun kokonaisuuteen asti. Kaavin yksikköön kuuluu kaksi tehdasta, joista päätehtaalla tehdään levyosien valmistusta, hitsausta ja maalausta. Toisessa tehtaassa toimii koneistamo ja loppukokoonpano. Stera Technologies Oy Kaavi valmistaa itse lähes kaikki hitsattavat komponentit tuotteisiinsa. Lisäksi Kaavin yksikkö suunnittelee ja valmistaa itse suurimman osan omaan tuotantoonsa tarvittavista työkaluista, kuten hitsaus- ja koneistuskiinnittimet.

2 3D- SKANNAUS YLEISESTI

Optisen skannauksen juuret johtavat 1850-luvulle, kun kuumailmapalloista otettuja ilmakuvia ruvettiin käyttämään kartoittamiseen. Valokuvista laskettu kolmiulotteista mittausta kutsutaan fotogrammetriaksi, mihin myös 3D-skannaus perustuu (Haggrén, 2002, s. 1). Ensimmäisen optiset kameroihin perustuvat skannerit on kehitetty jo 1960-luvulla, mutta kappaleiden skannaukseen keskittyneet 3D-skannerit tulivat vasta vuonna 1985. Nämä järjestelmät perustuivat lasereihin ja heijastumien laskentaan. Nykyaikainen kahden kameran yhtäaikaiseen käyttöön perustuva optinen skannaus liikuteltavissa laitteissa yleistyi vasta 2000-luvun vaihteessa (Creaform, 2016).

Optisen skannauksen lisäksi on olemassa tietysti koskettavaan mittaukseen perustuvaa skannausta, jossa skannattavaa pintaa kosketaan mittavarren päässä olevalla työkalulla. Koskettava mittaus kuitenkin perustuu täysin eri periaatteeseen, eikä sitä käsitellä tässä opinnäytetyössä. Koskettavassa mittauksessa mittavarren asentoa ja työkalunkärjen koordinaatteja lasketaan skannerin mittavarressa olevien antureiden perusteella, josta saadaan laskettua mittauspään sijainti, minkä perusteella taas määritetään skannattavan pinnan muodot. (Santaluoto, 2012, s. 1.).



Kuva 1. Siera Technologies Oy:n Atos compact Scan 3D-skanneri (Hiltunen, 2019)

Stera Technologies Oy:n skanneri (kuva 1) on optinen kahden kameran konvergentti kuvaukseen perustuva mittalaite, jossa kameroiden ottamista kuvista lasketaan pistepilvi kohteen pintojen mukaisesti. Pinnan havaitsemisen parantamiseen skanneri käyttää kameroiden välissä olevalla projektorilla heijastettua strukturoitua valoa. Ohjelmisto etsii skannattavasta kappaleesta kahdella kameralla yhtäaikaan otetuista kuvista yhteneviä pintoja. Kun pinnat on tunnistettu riittävällä tarkkuudella, se muodostaa havaintojen mukaisen pistepilven, jonka jokaisen pisteen X-, Y- ja Z-koordinaatit ovat tiedossa. Pintamalli eli kolmioverkko muodostetaan pistepilven mukaisesti niin, että ohjelmisto muodostaa pieniä kolmioita pisteiden välille. Viereisten kolmion sivut linkittyvät viereisiin kolmioihin ja lopputuloksena syntyy yhtenäinen pinta (kuva 2). Jos alueella ei ole pistepilveä, ohjelmisto ei myöskään muodosta kolmioverkkoa, jolloin lopputulokseen jää aukkoja. (Abdel-Bary, 2015).



Kuva 2. 8mm reikään muodostettu kolmioverkko (Hiltunen, 2019)

Kuvassa erottuu, kuinka pintamalli muodostuu pienistä toisiinsa linkittyvistä kolmioista. Kuvan kohde on 8mm rei'än reuna, joka on suurennettu kolmioiden erottumiseksi. Kolmioverkkoon perustuva yleinen 3D-tiedosto on esimerkiksi STL, joka on varsinkin 3D-tulosteiden malleihin yleisesti käytetty tiedostomuoto. Atos professional käyttää tallentamiseen g3d-tiedostoa, joka pystyy sisältämään huomattavasti enemmän tietoa yleisiin 3D- pintamalli tiedostoihin nähden, kuten pintamallin muodostamiseen käytetyn pistepilven. (gom mbH, 2010, s. 3)

Koska optinen 3D-skannaus vaati kappaleen näkemisen molemmilla kameroilla, otetaan kappaleesta yleensä lukuisia kuvia eripuolilta kappaletta. Näiden kuvien keskinäinen linjaaminen hoidetaan kappaleeseen kiinnitettävillä referenssipisteillä sekä lisäksi pistepilven ominaisuuksien perusteella.

2.1 Työohjeiden sisältö

Opinnäytetyössä koostettiin kolme erillistä työohjetta Stera Technologies Oy:n käyttöön. Ohjeita ei julkisteta osana opinnäytetyötä, mutta ohjeiden sisällysluettelot esitetään. Lisäksi ohjeista julkaistaan alkuperäisen työsuunnitelman mukaiset kuvaukset, mitä ohjeiden sisällöksi sovittiin. Sisällysluetteloiden ja ohjeiden sisältöjen kuvauksen perusteella lukijalle jää kuva opinnäytetyön todellisista tuloksista. Sisällysluettelot löytyvät opinnäytetyön lopusta liite sivuilta. Skannausjärjestelmän käyttöohjeet jaettiin kolmeen osaan skannauksen työvaiheiden mukaisesti, jotta jokaista vaihetta koskevan tiedon hakeminen on helpompaa. Alla on esitetty ohjeiden sisällöt sellaisena kuin ne asiakkaan kanssa työsuunnitelmassa määritettiin:

Käyttöohje

Käyttöohjeeseen kirjoitettiin tehtävät työvaiheet kameraa käyttöönottaessa kuvauspaikalla. Käyttöönottoon sisältyy muunmuassa: Linssien sekä kameran rungon vaihto, kameran kytkentä sekä kalibrointi. Lisäksi käyttöohjeeseen kirjoitettiin käyttäjän tehtävissä olevista huolloista lyhyet ohjeistukset. Käyttäjän tehtävissä olevaa kameran huoltoa on kameran ulkopuolinen puhdistus sekä linssien tarkennuksen säätö.

Kuvausohje

Kuvausohjeisiin kirjoitetaan skannausprosessin osa-alueet ja huomioon otettavia asioita. Tällaisia ovat muunmuassa: Referenssitarrojen käyttö, kuvauksen teoria, kuvausasetuksien säätö sekä kuvausolosuhteet. Lisäksi kuvausohjeessa kerrotaan proben käyttäminen sekä probe työkalun luominen.

Atos Professional- ohje

Atos Professional ohjeeseen kirjoitettiin perusohjeet mittausdatan analysointiin kuten: skannaustuloksen käsittely Atos Professional- ohjelmassa, pintamallin "puhdistus" sekä erilaisten kappaleen asemointi työkalujen käyttö (3-2-1, RPS, Prealignment). Lisäksi ohjeessa käsitellään yleisimmät skannaustuloksesta tehtävät mittaukset. Yleisimpiä analysoinnissa käytettäviä toimintoja ovat: Värivertailu, elementtien luonti sekä mittaustyökalujen luonti.

2.2 Ohjeiden kirjoittaminen

Käyttöohjeet kirjoitettiin pääasiassa käyttökokemuksen perusteella kirjaamalla ylös skannauksen aikana suoritettavat vaiheet. Lähdeaineistona ohjeisiin käytettiin ainoastaan gom:n online- ohjeita. Työohjeet kirjoitettiin Stera Technologies Oy:n ulkoasun mukaisesti.

Työsuunnitelman mukaisesti opinnäytetyössä kirjoitetut ohjeet toteutettiin dokumentoimalla skannausprosessin vaiheet kameran käyttöön otosta tulosten analysointiin asti. Dokumentointi tehtiin normaalin tuotannon laadunvalvonnan yhteydessä, jotta tilanne olisi mahdollisimman tarkkaan todellista vastaava. Muistiinpanojen pohjalta kirjoitettiin ohjeiden runko, joka seuraa pääasiassa työvaiheiden suoritus järjestystä. Järjestystä muutettiin paikoitellen ohjeiden sisällössä, koska skannaukseen sisältyy paljon muutakin kuin itse kuvauksen suorittaminen. Esimerkiksi huomioon otettavia asioita ovat skannauksen suunnittelu ja kuvausolosuhteiden huomioon ottaminen. Kuvaukseen vaikuttavat osa-alueet on tärkeää ymmärtää, ennen kuin kuvausta suoritetaan. Prosessin aikana pyrittiin miettimään myös mahdollisia ongelmatilanteita ja niiden ratkaisuja tilanteisiin joita skannausjärjestelmän peruskäytössä voi esiintyä.

Ohjeiden tarkastamiseksi ensimmäisen version kirjoittamisen jälkeen sama prosessi suoritettiin uudestaan ja suorittamisen vaiheita verrattiin jo kirjoitettuihin ohjeisiin. Havaittujen muutoksien jälkeen ohjeet täydennettiin puutteiden osalta.

Lopullinen tarkastus tarkoitettiin tehtäväksi niin, että käyttökoulutuksen saanut, mutta ei skanneria aktiivisesti käyttävä henkilö suorittaa kuvauksen itsenäisesti. Lopullista tarkastusta ei kuitenkaan ole tehty, koska tarkastukselle ei ole löytynyt sopivaa aikaa.

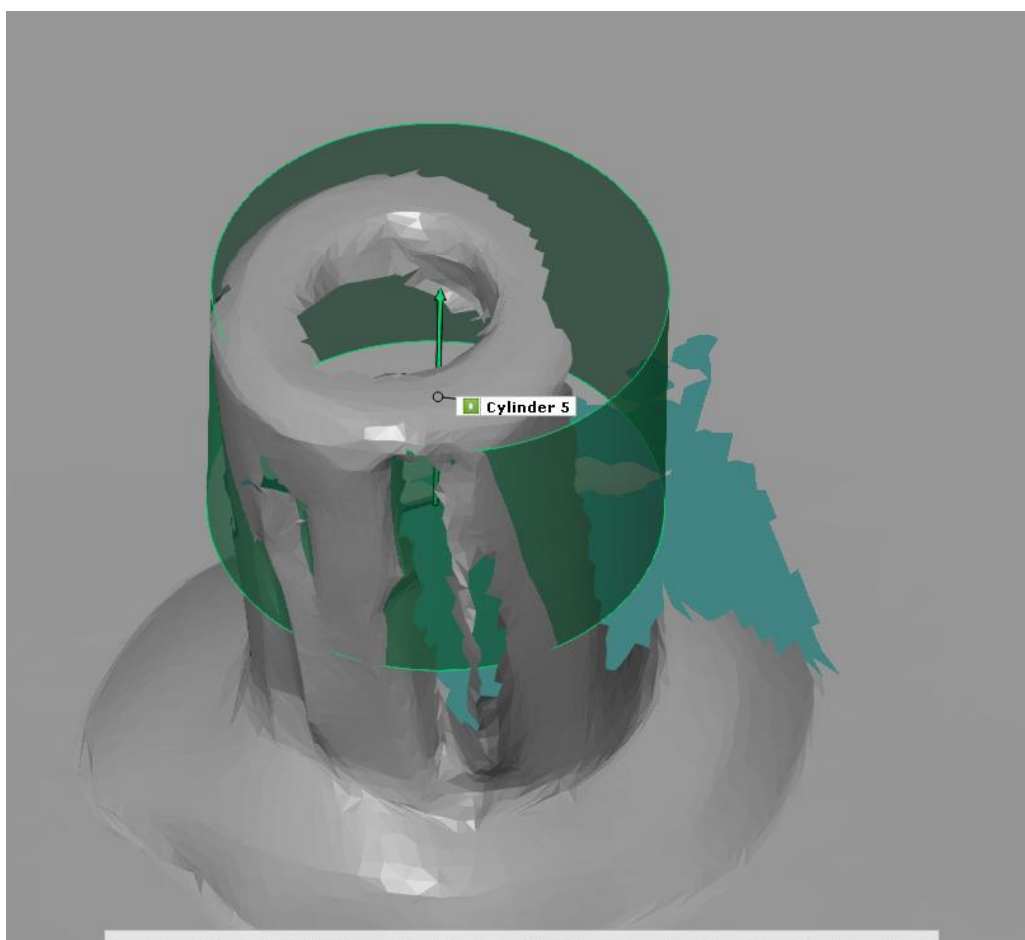
3 TARKKUUS JA VIRHEET

Tämän osion tarkkuuden käsittely perustuu pelkästään käyttäjäkokemuksiin. Tarkkuuden käsittely ei koske nimenomaisesti Atos compact scan laitteita, eikä mitään muutakaan optista 3D-skanneria. Osio ei myöskään sisällä mitään todellisia numeroita optisen skannauksen tarkkuudesta, koska yhtä oikeaa vastausta lopputuloksen tarkkuuteen ole. Skannaustuloksen tarkkuus on lopulta monen tekijän summa, jonka osa-alueita käsitellään tässä osiossa. Tarkkuuden käsittelyn päätavoite on herättää lukija ajattelemaan optista skannausta mittausvälineenä ja mitä sillä oikeasti voidaan saavuttaa ja milloin tuloksia kannattaa kyseenalaistaa.

Vaikka esimerkiksi Stera Technologies Oy:n skanneri havaitsee sadasosa- tai jopa tuhannesosamillimetrin tarkkuudella pistepilven sijainnin, ei se kuitenkaan tarkoita että skannerin lopullinen tarkkuus on kuvaustarkkuutta vastaava. Tarkkuus muodostuu niin kuvaustapahtuman suorittamisesta kuin myös tulosten analysoinnista tehtävistä elementtien sijoittamisesta.

Skannerilla otetaan mitattavasta kohteesta aina useita kuvia eripuolilta kappaletta, että koko kappale saadaan kuvattua. Tällöin otetut kuvat täytyy kohdistaa toisiinsa jollain periaatteella. Yleensä linjauksessa käytetään valmistajan määrittämiä referenssipisteitä, joita kiinnitetään kappaleeseen riittävä määrä, Gomin laitteilla kolme pistettä riittää linjaukseen. Lisäksi linjaus tehdään myös kappaleen pistepilven ominaisuuksien perusteella. Referenssipisteen sijainti voidaan määrittää alle pikselin tarkkuudella (Hornborg, s. 22), mutta siitä huolimatta kuvien linjaukseen tulee aina virhettä ja mitä pitemmäksi ”ketju” kasvaa, sen suuremmaksi virhe kertyy.

Toinen virheiden aiheuttaja on mittausten suorittamiseen vaadittavien elementtien sijoittaminen. Kolmioverkko ei sisällä vielä käytännössä mitään tietoa mitä yleensä halutaan tuotteista mitata, kuten sylinterien halkaisijat, ympyröiden keskipisteet tai vaikka tasopintojen tasomaisuudet. Jotta tämä tieto saadaan ulos, pitää pintamalliin muodostaa elementit, jotka erilaisia laskusääntöjä noudattaen määritetään skannattuun dataan. Juuri nämä laskusäännöt elementtien sijoittamiseen vaikuttavat luonnollisesti myös mittaustulokseen. Otetaan esimerkiksi sylinterin halkaisijan laskenta. Käytännössä koskaan skannaustulos ei ole täydellinen, vaan siinä on lähes aina puuttuvia pintoja tai heijastumien aiheuttamia virheitä. Lasketaanko siis elementin sijainti mittaustuloksen seinämien antaman keskiarvon perusteella vai sijoitetaanko mitattuun sylinteriin vain sen kokoinen elementti, mikä siihen oikeasti mahtuu? Kuvassa on esimerkki pahimmista tilanteista, miten elementti voi sijoittua väärin (kuva 3).



Kuva 3. Väärin sijoittunut elementti (Hiltunen, 2019)

Kuvassa 3 olevasta kierreholkista puuttuu skannausdata toiselta reunalta ja lisäksi kappaleen pintaan on muodostunut pahoja heijastumia kiiltävästä koneistetusta pinnasta. Tilannetta on dramatisoitu, mutta tämän tyylinen elementin sijoitusvirhe huomattavasti vähäisempänäkin voi vääristää mittaustuloksen. Jos vastaava virhe tapahtuu kappaleen linjaukseen käytettävän RPS-pisteen sijainnissa, voi muutaman kymmenesosa millimetrin virhe kertautua suurissa kappaleissa moninkertaisesti ja lopputuloksena skannaustuloksen perusteella kaikki muut mittaustulokset ovat pielessä. Tästä syystä jokaisen elementin sijoittuminen kannattaa varmistaa manuaalisesti analysointia tehdessä. Seuraava huomioon otettava asia on todellisen (actual) eli skannatun mallin ja (nominal) eli cad-mallin keskinäisen linjauksen tarkkuus. Todellinen kappale ei koskaan ole yhtä absoluuttinen mitoiltaan kuin cad-malli, jolloin kappaleiden linjaaminen aiheuttaa aina tietyn määrän virhettä. Skannattuun tulokseen ei esimerkiksi tietenkään muodostu koordinaatistoa skannauksen aikana, vaan koordinaatisto tuodaan nominal- mallista kappaleiden linjauksessa. Jos halutaan mitata koordinaatiston akseleiden suuntaisesti, riippuu mittauksen tarkkuus taas kappaleiden linjaustarkkuudesta. Atos Professional –ohjelmiston prealignment toiminto etsii kappaleista yhteneviä piirteitä ja keskittää actual- ja nominal- mallit toisiinsa niin, että poikkeamat mallien välillä on jaettu mahdollisimman tasaisesti. Aiemminkin mainittu RPS- linjaus on taas actual- ja nominal- elementtien sijoittamiseen pohjautuva linjaus, jolloin kappaleiden keskenäinen linjaus on täysin elementtien sijoitus tarkkuuden ja valittujen ominaisuuksien mukainen.

4 OPTINEN MITTAUS VAI PERINTEISET MITTAUSTEKNIIKAT

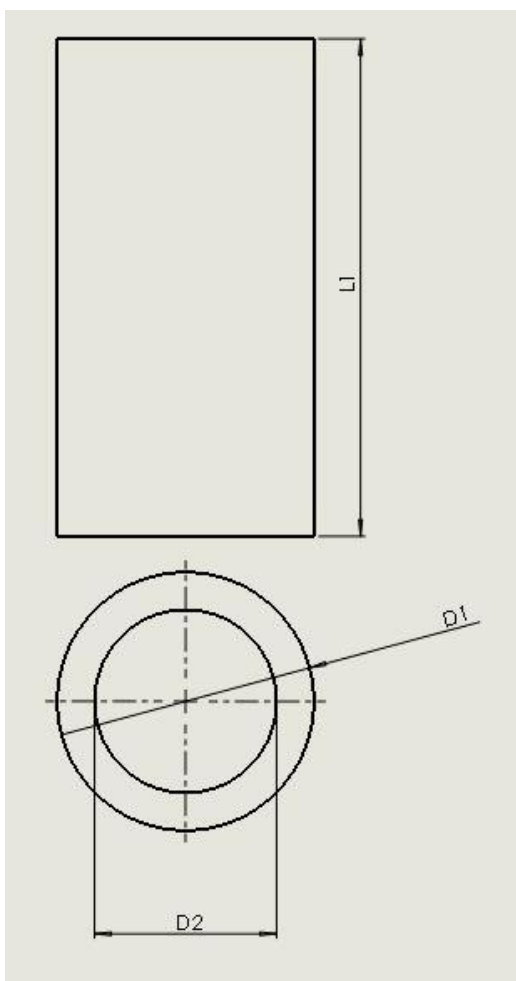
Optisen mittaamisen ja perinteisten mittaustekniikoiden vertailu ja parhaiten käytettävän menetelmän valitseminen riippuu täysin tuotteen ominaisuuksista. Käyttäjä kokemuksen perusteella normaalissa konepajateollisuudessa lähtökohtana perinteisen ja optisen mittauksen valinnassa voidaan pitää seuraavaa sääntöä: Aina kun mittaus on mahdollista suorittaa käytössä olevilla perinteisillä mittausten menetelmillä, se kannattaa myös niillä suorittaa. Normaalissa sisäisessä laadunvalvonnassa 3D-mittauksella ei saavuteta mitään lisäarvoa mittauksiin, jotka voidaan suorittaa myös perinteisen mittausten menetelmin. Tämä väittämä perustuu opinnäytetyössä käsitellyn skannerin kaltaisiin manuaalisesti käytettäviin laitteisiin, eikä automaattisesti toteutettuun laadunvalvontaan, mitä esimerkiksi autoteollisuus käyttää. Perinteiset mittausten menetelmät käsittävät esimerkiksi työntömitat, mikrometrit tai rullamitat ja näillä tehtäviä mittauksia ovat esimerkiksi sylintereiden halkaisijat, reikien välimitat tai särmätyn kappaleen kulmamittaukset. Tietenkin tällaiset mitat pystyy mittaamaan myös skannaamalla, mutta mittaustavallista valittaessa pitää aina miettiä mitä lisäarvoa optisella mittauksella saavutetaan perinteisiin menetelmiin verrattuna.

Optisen mittaamisen vahvuus on selkeästi pinnanmuotojen tutkimisessa tai kun valmistetusta kappaleesta halutaan simuloida miten se käyttäytyy tosielämässä, ennen kuin kappaletta tosiasiaassa asennetaan. Tietenkin skannauksella tuotettu pintamalli ja sen vertaaminen cad-malliin mahdollistaa monien piirustuksien mukaisen mittaamisen koordinaatiston suuntaisesti, joka on usein perinteisillä mittaustavallilla mahdonta. Tällainen tilanne tulee vastaan varsinkin jos mitattavat kohteet eivät ole samansuuntaisia tai yhteydessä toisiinsa.

4.1 Mittaustesti

3D-skannauksen käyttöä testattiin yksinkertaisella testillä, jossa valmistettiin kaksi metallikappaletta. Toinen kappale valmistettiin koneistamalla ja toinen laserleikkaamalla ja särmäämällä (kuvat 7 ja 8). Valmistetut kappaleet mitattiin perinteisillä mittaustekniikoilla ja 3D-skannaamalla. Mittavälineet valittiin sen mukaan, miten kappaleet normaalisti tuotannon aikana mitattaisiin. Mittaustulosten poikkeavuus antaa vertailukohtaan, kuinka paljon elementtien sijoitus vaikuttaa skannaamalla saatuun tulokseen. Molemmat testikappaleet skannattiin kaksi kertaa: Ensimmäisellä kerralla suoraan valmistuksen jälkeen, jolloin pinnat olivat kiiltäviä ja puhtaita metallipintoja sekä toisen kerran käsiteltynä hitsauksen tunkeumaneste tarkastukseen käytettävällä kehitteellä, joka jättää valkean mattamaisen pinnan. Valkoinen mattapinta on skannerille helppo kohde rekisteröitäväksi, jolloin skannausdatasta tulee yhtenäinen eikä pintoihin muodostu heijastumia. Molempien kappaleiden skannaukseen käytettiin 600x500 millimetrin mittausrakennetta, jotta saavutettiin suurempi resoluutio ja mittaustarkkuus, kuin suuremmalla 1200x1000 millimetrin mittausrakennella. Molempien skannaus tulosten analysointiin käytetyt elementit ja mittaukset on toteutettu samoilla laskentasaäntöillä.

4.1.1 Case: Koneistettu holkki



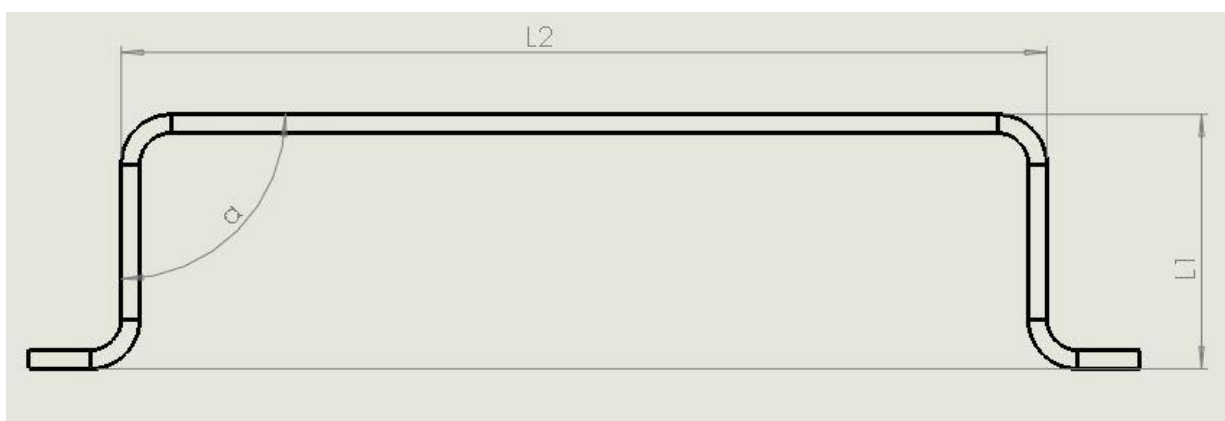
Ulkopuolen ja pituuden mittaaminen suoritettiin kaarimikrometrillä, jonka tarkkuus oli $\pm 0,01\text{mm}$. Sisäpuoli mitattiin kolmipistemikrometrillä, jonka tarkkuus oli $\pm 0,01\text{mm}$. Kappaleesta saadut tulokset ovat esitetty taulukossa 1. Mittoja vertaillessa pitää ottaa huomioon, että kaarimikrometri mittaa vain kahden mittauspisteen välistä etäisyyttä, kun skannauksesta muodostettu elementti ottaa huomioon kaiken elementin alueella olevan datan ja laskee elementin mitat käytettyjen laskentasaäntöjen perusteella. Tärkeintä on keskittyä skannaamalla saatujen mittaustulosten eroihin ja siihen, että peitattu pinta on pääsääntöisesti lähempänä perinteisiä mittaustekniikoita. Peitattujen pinnan ansiosta skannausdata on ehjempi sekä heijastumat vähäisempiä, jolloin myös laskettu elementti on tarkempi. Kehitteen vaikutusta kappaleen mittoihin ei ollut havaittavissa perinteisillä mittausrakennilla.

Kuva 4. Koneistettu holkki (Hiltunen, 2019)

Taulukko 1. Koneistetun holkin mittaustulosten vertailu.

	Perinteiset mittavälineet [mm]	3D- Skannaus (koneistettu pinta) [mm]	3D- Skannaus (peitetty pinta) [mm]
L1	105.87	106.217	106.036
D1	54.90	54.951	54.908
D2	38.94	38.989	38.991

4.1.2 Case: Särmätty levyleike



Kuva 5. Särmätty levyleike (Hiltunen, 2019)

Ulkomittojen mittaaminen suoritettiin työntömitalla, jonka tarkkuus oli $\pm 0,05\text{mm}$. Kulmamitta mitattiin astemitalla, jonka tarkkuus oli $\pm 0,5^\circ$. Kappaleesta saadut mittaustulokset ovat esillä taulukossa 2.

Mittoja vertaillessa pitää ottaa huomioon, että työntömitta mittaa vain kahden mittauskärjen välistä etäisyyttä, kun taas skannauksesta muodostettu elementti ottaa huomioon kaiken elementin alueella olevan datan tai vastaavasti vain pistemäisen tiedon, riippuen käytetystä työkalusta. Tällöin todellinen mittaaminen voi muodostua eripisteiden välille, kuin perinteisillä mittavälineillä. Tärkeintä on keskittyä kehittyneellä käsitellyn ja puhtaan metallipinnan mittauseroihin ja siihen kuinka käsitelty pinta on myös särmätyssä kappaleessa lähempänä perinteisiä mittaustekniikoita.

Taulukko 2. Särmätyn levyleikkeen mittaustulosten vertailu

	Perinteiset mittavälineet [mm]	3D- Skannaus (metalli pinta) [mm]	3D- Skannaus (peitattu pinta) [mm]
L1	76.99	75.897	76.131
L2	299.15	299.215	299.161
α	90°	90.11°	90.08°

5 MENETELMIEN KEHITTÄMINEN

Kuvauksen kehittäminen on käsitelty lähes saman sisältöisenä Stera Technologies Oy:lle koostetuissa työhjeissa, mutta menetelmien kehittäminen kirjoitetaan myös tähän opinnäytetyöhön. Menetelmien kehittämisosion tärkein tavoite on herättää skannausta suorittava henkilö ajattalemaan skannausta mittaus menetelmänä ja miten ongelmat voidaan kiertää helpoiten samalla parantaen mittaustarkkuutta.

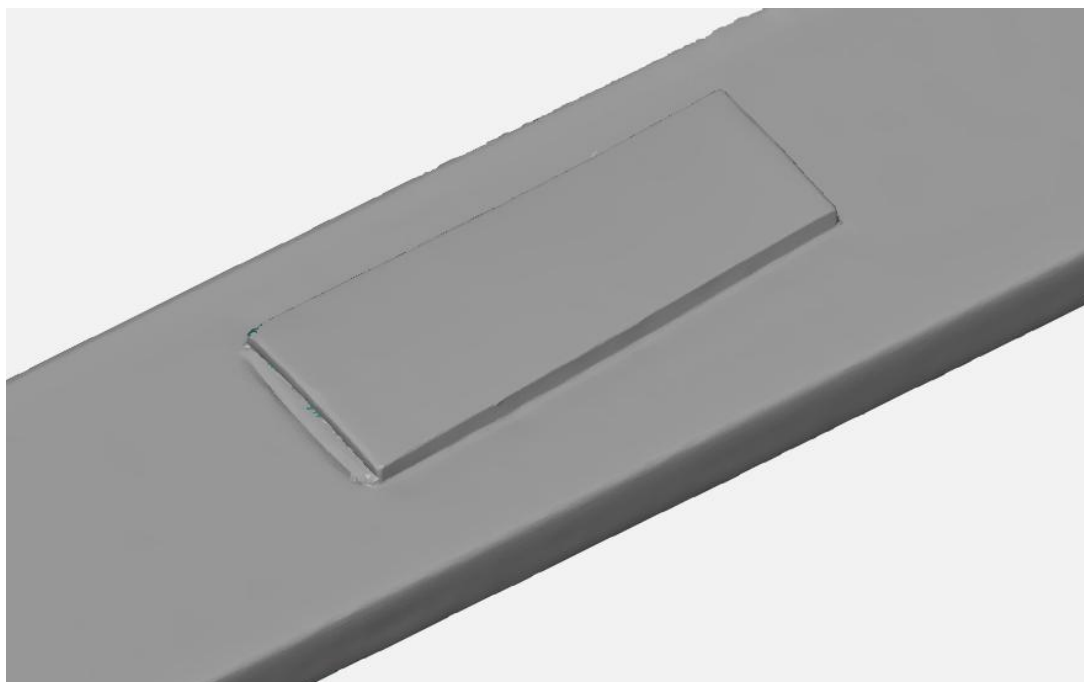
5.1 Mittauksen valmistelu

Kuvauksen suunnittelussa kannattaa aina miettiä onko skannattavia kohteita vain yksi vai onko tarkoitus kuvata useamman kappaleen sarja. Sarjakuvauksissa kappaleiden valmistelu ja kuvaolosuhteiden parantaminen vaikuttaavat kuvauksen tehokkuuteen huomattavasti. Strukturoitua valoa käyttävä optinen skanneri toimii parhaiten hämärässä tai jopa täysin pimeässä, jolloin ainut valonlähde on kameran oma projektori. Mitä kirkkaampi valaistus, sen huonommin skanneri erottaa yksityiskohtia kappaleesta. Varsinkin suora auringonvalo tai kirkas LED-valaistus tekevät kuvauksesta jopa lähes mahdotonta.

Skannauksen laadun parantamiseksi ja skannaamisen helpottamiseksi osat kannattaa valmistella huolellisesti. Puhdas teräspinta on usein niin heijastava, että skannerin on hankala rekisteröidä pintaa luotettavasti, mikä aiheuttaa tuloksiin heijastumia tai puuttuvia alueita. Hiekka- tai teräskuulapuhallettu teräs on skannerille helposti tunnistettava pinta, mutta ylivoimaisesti paras skannattava on tunkeumaneste tarkastukseen käytettävällä valkoisella kehitteellä käsitelty pinta. Kehitetä käytettäessä kannattaa valita mahdollisimman hienojakoinen aine, joka ei sisällä sidosaineita. Tällöin kappaleen putsaus on helpompaa, eikä kehitte itsestään aiheuta mittoihin muutoksia. Varsinkin kaikki koneistetut pinnat sekä pinnat jotka ovat normaalia kiiltävämmät kannattaa käsitellä heijastuksien vähentämiseksi.

5.2 Referenssipisteet

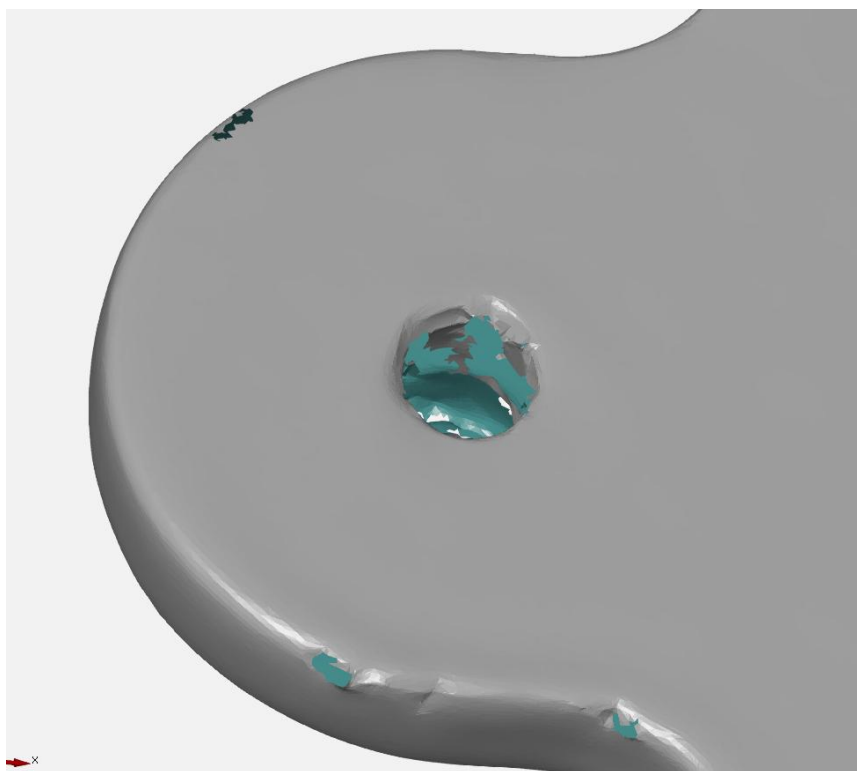
Skannauksen valmistelussa eniten aikaa vievä työvaihe on referenssitarrojen liimaaminen ja niiden poistaminen. Helpoin tapa välttää liimattavien tarrojen käyttöä skannatessa on käyttää magneetteja, joiden pintaan on liimattu referenssipiste. Magneetin huonoja puolia verrattuna tarraan on, että magneetti voi liikkua helpommin tärähdyksien takia ja lisäksi magneetti näkyy valmiissa skannauksessa (Kuva 4), joka voi aiheuttaa ongelmia skannauksen analysoinnissa. Magneetteja käytettäessä pitää siis olla tarkka, ettei niitä lisää minkään mitattavan kohteen alueelle. Pelkkää referenssitarraa käyttäessä, ATOS Professional -ohjelma osaa kompensoida tarran pienen kohouman pois, jolloin lopputulokseen ei jää mitään jälkeä pisteen alueelle. Kuvassa olevan magneettinauhan referenssipisteet on kompensoitu pois, eikä niitä ole havaittavissa pintamallin muodostumisen jälkeen.



Kuva 6. Referenssitarramagneetti kappaleen pinnassa (Hiltunen, 2019)

5.3 Kierteiden sijainnin mittaus

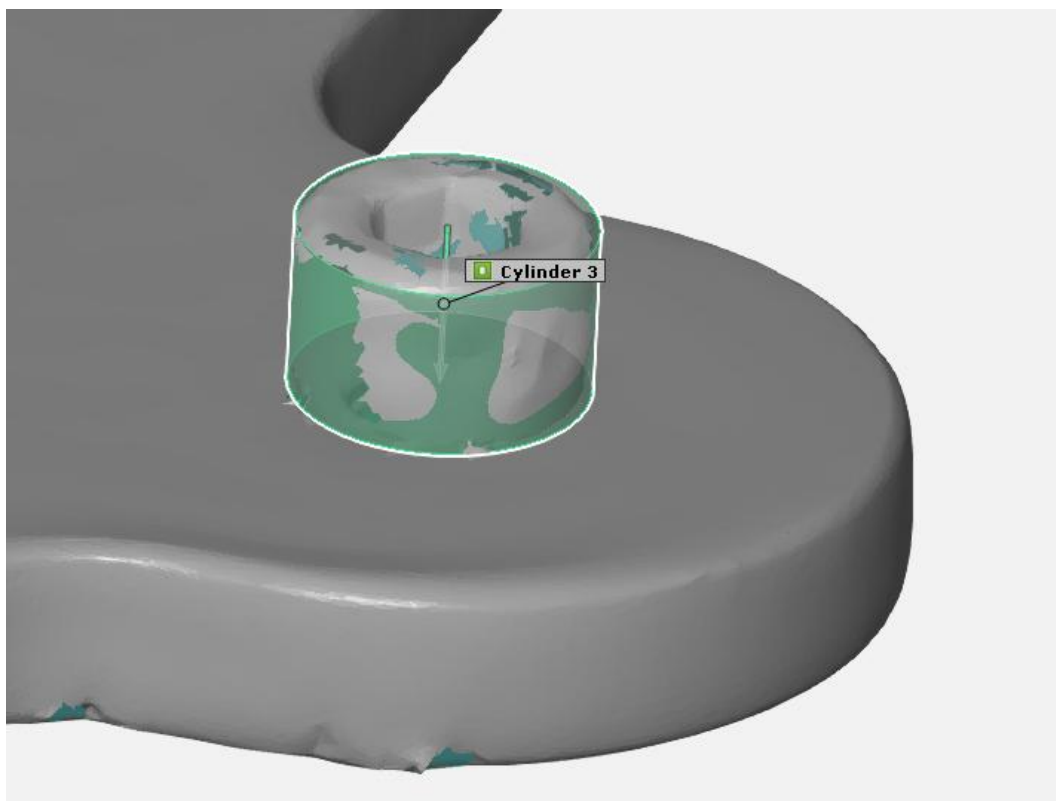
Koneistettujen kierrereikien tarkka mittaaminen on yksi haaste optisessa mittauksessa. Kierrereiät ovat usein koneistuksen jäljiltä kiiltäviä ja lisäksi molempien kameroiden pitää nähdä skannattava pinta, jolloin kierteestä rekisteröitävät pinnat voivat jäädä kuvan 7 kaltaisiksi.



Kuva 7. M8 kierteen skannaus (Hiltunen, 2019)

Vaikka kuvan 7 mukainen skannaus tulos edelleenkin riittää mittaukseen vaadittavan elementin paikoitukseen, saattaa elementtien joutua sijoittamaan kokonaan manuaalisesti skannattua pintaa valitsemalla tai vähintään korjaamaan elementin sijaintia. Ojelmisto ei todennäköisesti löydä riittävästi dataa elementin sijoittamiseen luotettavasti.

Yksinkertainen ja yleensä riittävän hyvä menetelmä skannauksen helpottamiseen on asentaa kierteeseen kuusiokolopultti, jolloin pultin kanta on huomattavasti helpompi kohde skannata ja antaa varmasti riittävästi pintaa elementin sijoittamiseen (kuva 6).



Kuva 8. Elementti pultin kannassa (Hiltunen, 2019)

Kuusiokolopultit toimivat yleensä riittävän hyvin kierteiden sijainnin määrittämiseen. Ainut virhe elementin sijoittamiseen pultteja käyttäessä voi tulla pultinkannan ulkopinnasta, joka ei usein ole täydellinen suorasuvinen lieriö vaan hieman kupera. Lisäksi pultinkanta ei välttämättä ole tismalleen saman keskeinen kierteen kanssa. Tarkkuuden parantamiseksi voi käyttää esimerkiksi liitteen 1 mukaista kierreholkkisarjaa, jotka asennetaan paikalleen pinnapulttien avulla. Kierreholkeissa on huomattavasti enemmän lieriöpintaa skannerille rekisteröitäväksi ja sorvatussa kappaleessa kierre on varmasti keskeinen holkin ulkopintaan nähden. Vaihtoehtoisesti holkissa voi olla jo valmiiksi sorvatut ulkokierteet.

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tämän opinnäytetyön aikana muodostettiin käyttö- ja työohjeet Stera Technologies Oy:n ATOS Compact Scan 12M 3D-skannerille ja ATOS Professional -ohjelmalle. Ohjeita valmistui kolme erillistä kokonaisuutta, joista jokainen toimii omana kokonaisuutetaan suoritettavan työvaiheen sisällön mukaisesti.

Työohjeet on jaettu kolmen ohjeen välillä seuraavasti:

1. Käyttöohje sisältää ohjeistuksen kameran käyttööottoon kuvauspaikalla ja käyttäjän tehtävissä olevien huollot.
2. Kuvausohje sisältää skannauksen mahdollisen hyvään onnistumiseen vaikuttavien asioiden käsittelyn sekä kuvaamisen suorittamisen käytännössä.
3. ATOS Professional -ohje sisältää ohjeet skannaustuloksen analysointiin tarvittavien työkalujen käytön opastuksen ohjelmassa ja analysoinnissa mahdollisesti tulevien virheiden huomioon ottamisen.

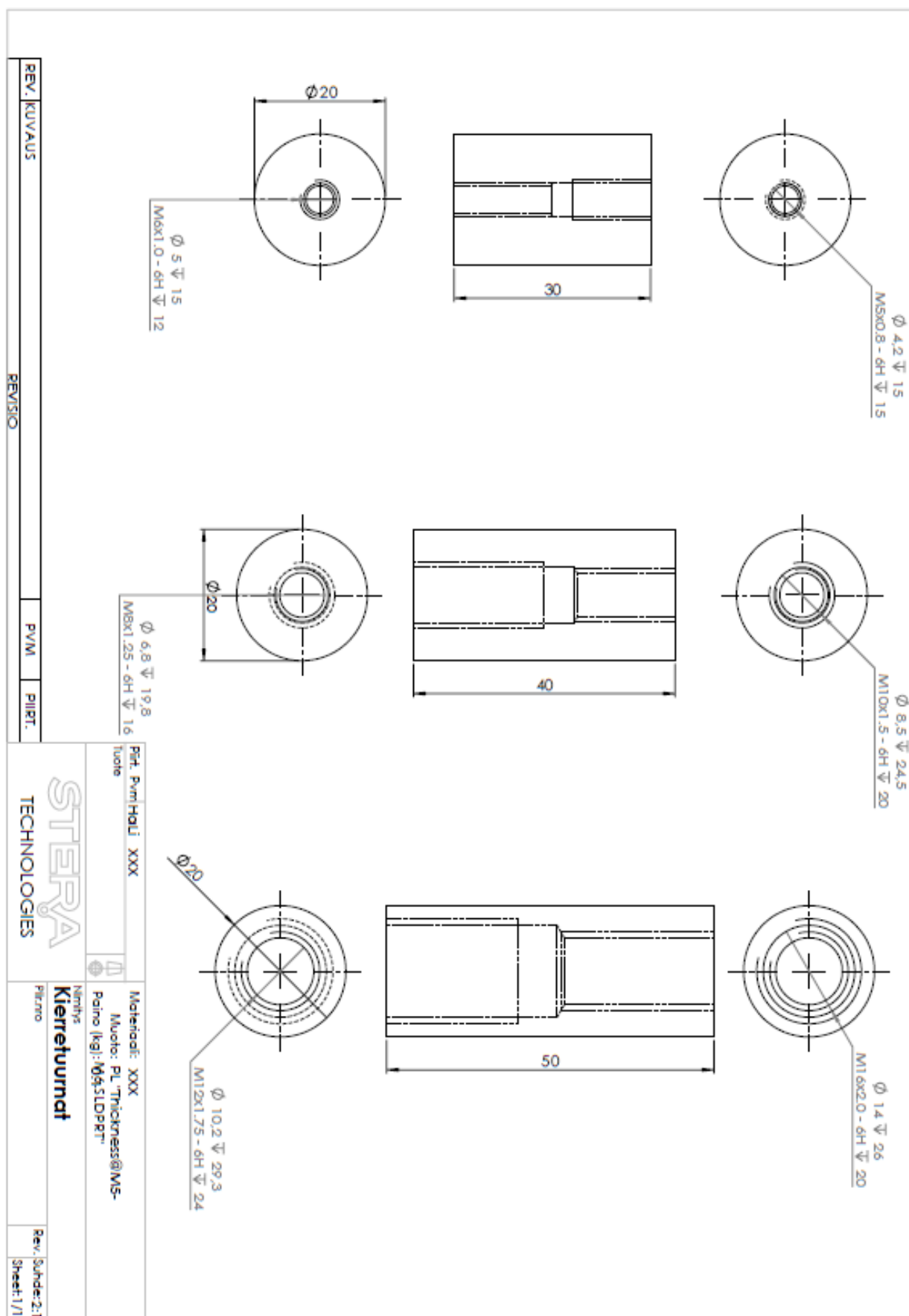
Nämä kolme opinnäytetyössä valmistetut ohjetta sisältävät kaikki projektin alussa sovitut osa-alueet ja niihin on myös lisätty projektin aikana esille tulleet huomioon otettavat asiat. Ohjeiden sisällössä pyrittiin perustelemaan miksi työvaiheet kannattaa tehdä tietyillä menetelmillä, eikä vain tyydytty kirjoittamaan listaa työvaiheista. Työohjeiden avulla skannausjärjestelmän käyttökoulutuksen saanut henkilö pystyy suorittamaan kuvauksen ja analysoinnin itsenäisesti.

Työohjeet kirjoitettiin Stera Technologies Oy:n skannausjärjestelmän pääkäyttäjien tähän mennessä parhaimmiksi havaittujen menetelmien mukaisesti ja lisäksi olemassa olevia menetelmiä kehitettiin mahdollisuuksien mukaan opinnäytetyön aikana esille tulleiden haasteiden mukaan. Esimerkiksi kierteiden sijainnin mittaukseen suunniteltiin kierreholkkisarja, jonka avulla tarkasti toleroitujen kierreerikien sijainnin mittaus onnistuu huomattavasti luotettavammin kuin käyttämällä aiemmin käytössä olleita kuusiokolopultteja.

7 LÄHTEET

- Abdel-Bary, M. (2015, 10). *3D Laser Scanners' Techniques Overview*. (International Journal of Science and Research (IJSR)) Retrieved 5, 16, 2019, from ijsr.net:
<https://pdfs.semanticscholar.org/1565/dbd5fae9b785989a41d849248f3500c83628.pdf>
- Creaform. (2016, 10 25). *THE HISTORY OF METROLOGY FROM GALILEO TO OPTICAL SYSTEMS*. (Creaform) Retrieved 5, 6, 2019, from Creaform3d: <https://www.creaform3d.com/blog/the-history-of-metrology-from-galileo-to-optical-systems/>
- gom mbH. (2010, 6). Retrieved 5, 7, 2019, from www.gom.com:
https://www.gom.com/fileadmin/user_upload/software/g3d-format-en.pdf
- Haggrén, H. (2002, 10 11). *Fotogrammetrian yleiskurssi*. (Aalto University) Retrieved 5, 6, 2019, from foto.aalto.fi:
<https://foto.aalto.fi/opetus/301/luennot/1/1.html#Fotogrammetrian%20opintojaksot>
- Hiltunen, J. 2019. *Valokuvat 1-8*. Sijainti: oma arkisto.
- Hornborg, M. (n.d.). *Suomen valimotekninen yhdistys*. (Cascade) Retrieved 5, 8, 2019, from <http://www.svy.info/sites/default/files/3D%20kamerakuvauksen%20tekniikat%20ja%20sovelluskohde.pdf>
- Santaluoto, O. (2012, 4 20). *theseus*. (Metropolia) Retrieved 5, 6, 2019, from <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45691/3D-skannaukseen+perehtyminen.pdf?sequence=1>
- Stera. (2018). *Stera Technologies*. Retrieved 5, 8, 2019, from Yritysesittely: <https://www.stera.com/yritys/yritysesittely/>

8 LIITTEET



1. KIERREHOLKKISARJA KIIRTEIDEN SIJAINNIN MITTAUKSEEN

2. KÄYTTÖOHJEEN SISÄLLYSLUETTELO

1.	OHJEISIIN TEHDYT MUOKKAUKSET	3
2.	OHJEEN JAKAMINEN	4
3.	SKANNAUSJÄRJESTELMÄ	4
4.	JÄRJESTELMÄN OSAT	4
	4.1 Kalibrointi levyt	4
	4.2 Studiojalka	5
	4.3 Pyörityspöytä.....	5
	4.4 Kameralaatikko.....	5
	4.5 Tietokonesalkku	6
5.	KÄYTTÖÖNOTTO	7
	5.1 Kameran kiinnittäminen jalustaa.....	7
	5.2 Johtojen kytkentä.....	8
	5.4 Mittausalueen vaihtaminen	9
	5.4.1 Kameroiden ja rungon irroitus ja kiinnitys	10
	5.4.2 Linssien vaihto.....	12
	5.4.3 Kameroiden uudelleen kohdistaminen	15
	5.5 Kalibrointi.....	17
	5.6 Linssien tarkennus	19
	5.7 Lämmitys.....	21
6.	KÄYTTÄJÄN TEKEMÄT HUOLLOT.....	22
	6.1 Linssien puhdistus.....	22
	6.2 Kalibrointi levyn puhdistus.....	22
	6.3 Kameran puhdistus	22
7.	PYÖRITYSPÖYTÄ	23

3. KUVAUSOHJEEN SISÄLLYSLUETTELO

OHJEISIIN TEHDYT MUOKKAUKSET	3
1. OHJEEN JAKAMINEN	4
2. OPTISEN 3D-SKANNAUKSEN LYHYT TEORIA	4
3. KUVAUS OLOSUHTEET.....	5
3.1 Tärähdykset.....	5
3.2 Valaistus.....	5
3.3 Lämpötila	6
3.4 Skannattava pinta	6
4. KAPPALEEN VALMISTELU.....	6
4.1 Referenssipisteet	7
4.3 Magneettillistat ja napit.....	8
4.4 Referenssialustan käyttö	8
4.5 Kiiltävien pintojen valmistelu.....	9
4.6 Muut yksityiskohdat.....	9
5. KUVAUSALUEET JA KÄYTTÖKOHTEET	9
6. KUVAUS ASETUKSET	10
6.1 Skannauksen valotusaika.....	10
6.2 Referenssitarrojen valotusaika.....	12
6.3 High Quality vs. More Points.....	13
7. KUVAUKSEN SUUNNITTELU	14
7.1 Kiertojärjestys.....	15
7.2 Tehokkuus	16
8. SKANNAUS.....	16
8.1 New Measurement Series	17
8.2 Cut Out Points	17
8.3 Transform By Common Ref. Points.....	18
8.4 Measure With Rotation Table	19
8.5 Polygonize and Recalculate	20
9. PROBE.....	20
9.1 Proben käyttö.....	21

4.	Atos Professional- käyttöohje	
1.	OHJEISIIN TEHDYT MUOKKAUKSET	3
2.	OHJEEN JAKAMINEN	4
3.	KÄSITTEET JA KÄÄNNÖKSET	4
4.	ATOS PROFESSIONAL.....	5
5.	TIEDOSTOJEN TUONTI PROJEKTIIN.....	5
	5.1 Nominal	5
	5.2 Actual	6
	5.3 Tiedostojen vienti projektista.....	6
6.	PINTAMALLIN SIIVOAMINEN.....	7
7.	MALLIEN LINJAUS.....	7
	7.1 Prealignent	7
	7.2 RPS	9
	7.3 3-2-1 linjaus	9
8.	PINTAVERTAILU	11
9.	ELEMENTIT	12
	9.1 Taso	13
	9.2 Sylinteri, kartio ja pallo	14
	9.3 Poikkileikkaus.....	15
	9.4 Ympyrät	16
	9.5 Viivat.....	16
	9.6 Pisteet	17
10.	ELEMENTTIEN KORJAAMINEN ACTUAL ELEMENTISSÄ.....	18
11.	MITTAUSTYÖKALUT	19
	11.1 2-point distance ja projected point distance	19
	11.2 Inner ja Outer Caliber	20
	11.3 Sijainti origoon nähden.....	21
	11.4 Kulmamitat	22
12.	GEOMETRISET MITAT JA TOLERANSSIT (GD&T)	23