

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

MUU RAPORTTI - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

3D-SKANNAUS

Aikawa Fiber Technologies tuotesuunnittelu

TEKIJÄ Lari Vartiainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Lari Vartiainen	
Työn nimi 3D-skannaus	
Päiväys 9.5.2022	Sivumäärä/Liitteet 43
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Aikawa Fiber Technologies, Jarkko Naumanen, Customer Service Manager	
<p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, olisiko 3D-skannauksesta apua AFT:n tuotesuunnittelussa käänteiseen suunnitteluun. Perinteisesti korjaukseen ja tarkastukseen tulleet rummut, roottorit ja ruuvit mitataan käsin perinteisillä mittauslaitteilla ja 3D-mallinnus tehdään näiden mittausten perusteella. Opinnäytetyön tilasi Aikawa Fiber Technologiesin tuotesuunnittelutiimi. Ajatuksena oli, että mittaukset voitaisiin jättää osittain tai kokonaan pois, ja skannauksesta saisi 3D-mallin suoraan. Tähän malliin suunnittelija tekisi tarvittavat lisäykset ja sopiva malli saataisiin nopeammin ilman perinteistä takaisinsuunnittelua.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia 3D-skannauksen menetelmiä ja niistä valittiin sopivimmat vaihtoehdot. Näistä valituista menetelmistä valittiin skannerit, joita tutkittiin tarkemmin. Teoriatason tutkimus tehtiin tutustumalla saatavilla oleviin artikkeleihin ja verkkosivuihin. 3D-skannauksen ja skannaustulosten käsittelyn verkko-oppitunteja tutkittiin osittain. Verkko-oppitunnit antoivat vain esimerkkejä näiden ohjelmien käytöstä. Laittevalmistajien edustajien laite esittelyt lisäsivät tietoisuutta 3D-skannauksesta. Käytännön tietoa saatiin parhaiten näistä laitetoimittajien laite esittelyistä ja laitetoimittajien edustajien haastattelut antoivat paljon tietoa laitteiden käytettävyydestä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin paljon tietoa 3D-skannauksesta ja siitä, miten siitä olisi hyötyä AFT:n tuotesuunnittelussa ja mahdollisesti myös muussa liiketoiminnassa. Taloudellisten hyötyjen tutkimus teoreettisella tasolla on selvästi merkityksellinen investoinnin kannalta. Tämän opinnäytetyön perusteella suositellaan AFT:ia investoimaan 3D-skanneriin.</p> <p>Käytetyistä ohjelmistoista voitaisiin tehdä lisäselvennyksiä.</p>	
Avainsanat 3D-skannaus, mittaus, tarkastus, 3D-malli, mallinnus, tuotesuunnittelu, takaisinsuunnittelu	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Lari Vartiainen	
Title of Thesis 3D Scanning	
Date 9 May 2022	Pages/Appendices 43
Client Organisation /Partners Aikawa Fiber Technologies, Jarkko Naumanen, Customer Service Manager	
<p>The aim of the study was to find out whether 3D scanning would be helpful for AFT´s product design in a way of reverse engineering. Traditionally, drums, rotors and screws for repair and inspection are measured by hand using traditional measuring instruments and 3D modeling is made based on measurements. The thesis was commissioned by the product design team at Aikawa Fiber Technologies. The idea was that the measurements could be partially or completely excluded, and the scan would get a 3D model directly. To this model the designer would make the necessary additions and thus obtain a suitable model for the work without traditional measurement and modeling.</p> <p>In the thesis, various methods of 3D scanning were studied and among them the most suitable options were chosen. Of these selected methods, scanners were selected for further study. Theory level research was done by familiarizing with the available articles and web pages. Online lessons on 3D scanning and scanning results modifications were partly explored. Online lessons gave only examples of how to use these programs. Demonstrations of devices by representatives of device manufacturers increased the awareness of 3D scanning. Practical information was best obtained from device demonstrations and also interviews with representatives of equipment vendors provided a lot of information about the usability of the devices.</p> <p>As a result of the thesis a lot of information about 3D scanning was gained and how it would be useful for AFT's product design and possibly other business as well. A study of economic benefits at the theoretical level is clearly relevant for the investment. Based on this thesis, investment in a 3D scanner for AFT is recommended.</p> <p>Additional clarification could be done about the software used.</p>	
Keywords 3D scanning, measurement, inspection, 3D model, modeling, product design, reverse engineering	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	AIKAWA FIBER TECHNOLOGIES OY.....	7
2.1	SEULALEVY TEOLLISUUDEN HISTORIAA.....	8
2.2	TUOTTEET.....	9
2.2.1	Poratut levyt.....	9
2.2.2	Poratut rummut.....	10
2.2.3	Lankasihtirummut.....	11
2.2.4	Roottorit.....	12
2.2.5	Lajittimet.....	13
3	SELVITYSTYÖ.....	14
4	3D-SKANNAUS.....	15
4.1	Teoria.....	15
4.2	3D-skanneri.....	16
4.3	Digitaalisuus.....	16
4.4	Skannausteknologiat.....	16
4.5	Koskettavat menetelmät.....	17
4.5.1	Koordinaattimittauskone.....	18
4.5.2	Käsivarsimittauskone.....	18
4.6	Ei-koskettavat menetelmät.....	19
4.7	Ei-koskettavat aktiiviset menetelmät.....	19
4.7.1	Kolmiomittaus.....	19
4.7.2	Pulssilaser.....	20
4.8	Skannaus strukturoidulla valolla.....	21
4.9	Laservaloskannerit suuremmille kohteille ja kokonaisille kohtauksille.....	21
4.10	Passiiviset menetelmät.....	22
5	KÄÄNTEINEN SUUNNITTELU (REVERSE ENGINEERING).....	23
5.1	Kohteen valmistelu skannausta varten.....	23
5.2	Objektin 3D-skannaus.....	23
5.3	Skannauskäsittely, CAD-suunnittelu ja lisäävä valmistus.....	24
5.4	CAD-suunnittelutyöt.....	25
5.5	Pistepilvi.....	25

5.6	3D-mallin luonti.....	26
6	SKANNAUSTAVAN VALINTA.....	27
7.1	Creaform HandySCAN Black	28
7.2	Esittely	28
8	AIPWORKS	33
8.1	Artec Leo	33
8.2	Esittely	34
9	TAKAISINMAKSU	39
10	YHTEENVETO	40

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	AIKAWA FIBER TECHNOLOGIES OY.....	7
3	SELVITYSTYÖ	14
4	3D-SKANNAUS.....	15
5	KÄÄNTEINEN SUUNNITTELU (REVERSE ENGINEERING).....	23
6	SKANNAUSTAVAN VALINTA.....	27
8	AIPWORKS	33
9	TAKAISINMAKSU	39
10	YHTEENVETO	40

1 JOHDANTO

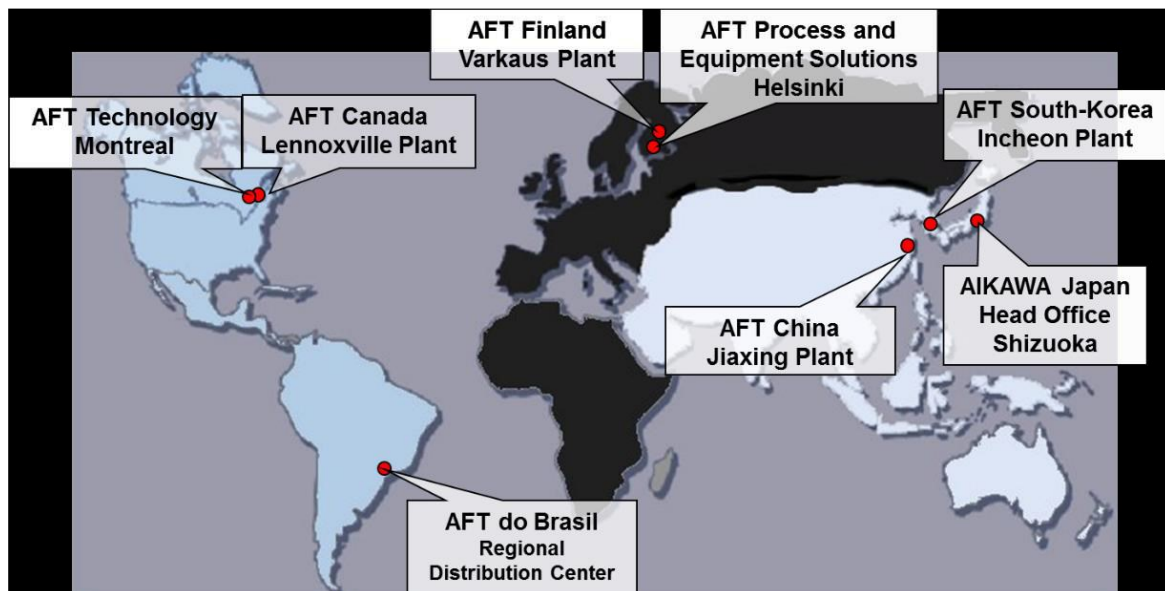
Aikawa Fiber Technologiesin tuotesuunnittelutiimi halusi selvittää olisiko 3D-skannauksesta apua tuotesuunnittelulle. Korjattavaksi ja tarkastettavaksi tulevat rummut, roottorit ja ruuvit mitataan käsin käyttäen perinteisiä mittalaitteita ja mittausten perusteella tehdään 3D-mallit. Mittausten ja mallinnuksen hitaus sai meidät miettimään olisiko 3D-skannauksesta apua suunnittelutyöhömmme. Mittaus jäisi ainakin osittain tai jopa kokonaan pois ja skannauksesta saisi suoraan 3D-mallin. Tähän malliin sitten tarvittaessa suunnittelija tekisi tarvittavat lisäykset ja näin saataisiin työhön soveltuva malli ilman mittausta ja mallinnusta.

Asiakaskäynnit hoidetaan myös samalla tavalla mittaamalla ja mallintamalla. Mietimme olisiko 3D-skannauksen tuottamasta mallista tähän apua ja nopeuttaisiko se asiakkaan luona tehtävään käyntiä. Asiakkaamme kuitenkin haluaa työhönsä mahdollisimman lyhyen pysäytyksen heidän toiminta prosessiin. Tämän selvittämiseksi tarvitsemme laitetestausta ja vertailua eri laitteiden välille. Laitteen käytettävyys tulee asiakaskäynneillä tärkeäksi asiaksi, jolloin langattomuus ja pienempi koko ovat merkittäviä tekijöitä.

Skannausta voisi myös käyttää tarkastamiseen liittämällä piirretty 3D-malli ja skannattu tuotteen malli päällekkäin ohjelmistossa, ja ohjelmisto kertoisi mitkä mitat ovat virheelliset ja kuinka paljon. Tällä tavoin myös saataisiin selville esimerkiksi tuotteidemme, rummut ja roottorit, muotovirheet esimerkiksi lieriömäisyys ja pyöreys. Muotovirheiden selvittäminen kertoisi meille paljon sovituserongelmien syistä.

2 AIKAWA FIBER TECHNOLOGIES OY

Aikawa Fiber Technologies (AFT) Oy, jonka omistaja Aikawa Iron Works on perheyrittys, joka valmistaa paperiteollisuudelle laitteita ja varaosia. Aikawa Fiber Technologies on laite- ja varaosavalmistaja, jolla on tuotantolaitoksia Lennoxvillessä Kanadassa, Varkaudessa Suomessa, Incheonissa Koreassa ja Jiaxinissa Kiinassa. Tuotantolaitosten sijainti on esitetty kuvassa 1



Kuva 1. Aikawa Fiber Technologies- konsernin yksiköt. (Ikäheimonen, 2019)

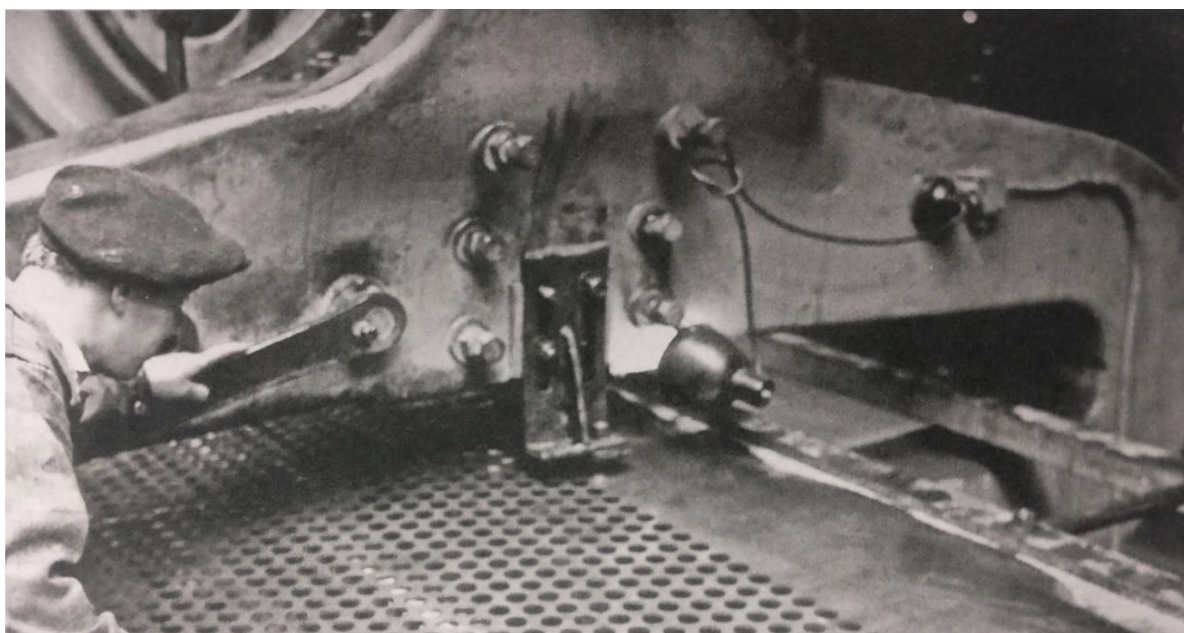
Varkauden AFT:n tehtaalla (kuva 2) valmistetaan Euroopan ja Aasian markkinoille seularumpuja ja roottoreita sekä osa lajittimista. Helsingissä oleva toimipiste hoitaa prosessi- ja laiteratkaisuja. Yhteensä Suomessa on noin 150 työntekijää, joista noin 90 on tuotannossa. AFT:n asiakkaita löytyy yli 40 maasta ja markkinaosuus valmistuksesta Euroopan ja Aasian alueilla on noin 35 %. Vuoden 2020 liikevaihto oli noin 36 miljoonaa euroa. (Asiakastieto, 2022)



Kuva 2. Aikawa Fiber Technologies Oy:n Varkauden yksikkö. (Ikäheimonen, 2019)

2.1 SEULALEVY TEOLLISUUDEN HISTORIAA

Seulalevyteollisuus sai alkunsa sotakorvausteollisuutena Ahlströmin konepajalla Varkaudessa Neuvostoliiton sotakorvausvaatimuksena. Seulalevyjä ei ollut koskaan aikaisemmin valmistettu Suomessa. Koneita ja koneiden käytön osaamista piti siis hankkia konkurssiin menneeltä Ruotsalaiselta Nordiska Armaturfabrikenin tehtaalta. Ruotsista ostettiin kaksi stanssauskonetta (Kuva3) ja viisi jyr-sinkonetta sekä liittyviä tarvikkeita ja piirustuksia. Yksi Nordiska Armaturfabrikenin asentaja tuli valvomaan käyttöönottoa lyhyeksi ajaksi aloitukseen. Ensimmäiset levyt stanssattiin vuonna 1945. (Vuorinen 2015, 7–8.)



Kuva 3. Varkauteen hankittu ensimmäinen stanssaus kone. (Vuorinen 2015, 8)

Pikkuhiljaa alkoi tulemaan valituksia, että stanssaamalla tehdyt reiät kuluivat nopeasti. Tästä syystä ensimmäinen monikaraporakone ostettiin ja otettiin käyttöön 1959. Ahlströmin konepaja ryhtyi valmistamaan reikälevyjä myös kartioporaamalla. Poraamalla reiät saatiin kestävämpiä levyjä. Seurauksena seulalevyjen suorituskyky parani. (Arnes 1995, 7.)

Varkauden Pirtinniemen tilojen käytyä pieniksi, alettiin vuonna 1985 selvittämään mahdollisuuksia uusiin tehdastiloihin. Uuden tehtaan rakentaminen aloitettiin 1986. Koneiden siirrot suoritettiin jo samana vuonna ja täysipainoinen tuotanto aloitettiin vuonna 1987. (Arnes 1995, 14.)

CAE Inc. osti 1992 A. Ahlström Oy:n seulalevyliiketoiminnan kokonaisuudessaan. Tästä muodostui maailman kattava viiden seulalevytehtaan kokonaisuus. Kaupan yhteydessä kaikki tehtaot yhtiöitettiin ja Varkauden yksiköstä tuli CAE Screenplates Oy. (Arnes 1995, 22.)

CAE:n vuosina uudistettiin päätuotteen rakennetta, ja omien valmistusmenetelmien kehittämiseen investoitiin merkittävästi. Vuonna 1998 julkistettu Macroflow-lankasihtirumpu korvasi osittain uudella kehitetyllä valmistusmenetelmällään aiempia reikärumpuja. (Vuorinen 2015, 21–22.)

Vuonna 2000 CAE myi seulalevyteollisuutensa kanadalaiselle pörssiyhtiölle Advanced Fiber Technologies, AFT. Uuden omistajan alaisuudessa tehtaan ja yhtiön näkymät heikkenivät nopeasti. Investointeja ei voitu tehdä. Neljässä vuodessa silloinen johto sai ajettua hyvän liiketoiminnan heikkoon kuntoon. (Vuorinen 2015, 23.)

Aikawa konserni osti AFT:n seulalevyteollisuuden itselleen vuonna 2006. Aikawa oli aiemmin toiminut pelkästään Japanissa. Japanilaiset olivat kiinnostuneita paitsi AFT:n valmistamista laadukkaista tuotteista, mutta myös AFT:n valmiista globaalista valmistus- ja myyntiverkostosta. (Vuorinen 2015, 25–26.)

Globaalin taloustilanteen heikkeneminen vuonna 2008 sai myös AFT:n ahtaalle. AFT:n globaali johto teki päätöksen toiminnan kustannusten leikkaamisesta merkittävästi, jotta konserni ei kaatuisi. Tämä tulisi tarkoittamaan yhden valmistusyksikön sulkemista. Yksiköt olivat Varkaudessa, Kanadan Lennoxvillessä sekä Etelä-Korean Incheonissa. Selkeästi pienempi Korean yksikkö ei olisi tuonut riittävästi säästöjä. Valinta jäi Varkauden ja Lennoxvillen yksiköiden välille. (Vuorinen 2015, 26–27.)

Konsernin talousjohto ilmoitti keväällä 2009 päättäneensä Varkauden yksikön sulkemisesta. Varkauden tehtaalle annettiin kuukausi aikaa tehdä vastaehdotus, kuinka tehdas ja koko Suomen AFT:n liiketoiminta saataisiin pelastettua. Kuukaudessa laadittu vastaehdotus piti sisällään Varkauden kaupungin AFT:n tehtaan kiinteistön ostamisen ja lisäksi ehdotettiin koko AFT:n tuotannon uudistaminen. Automaatioasteen nostamiseen alettiin varautua Varkaudessa ja Lennoxvillessä. Johdolle esiteltiin myös uudenlainen tuoterakenne, Macroflow 2. Vastaehdotuksen mukaisesti yhtään yksikköä ei suljettaisi vaan kustannuksia leikattaisiin tasapuolisesti kaikissa tuotantoyksiköissä. (Vuorinen 2015, 28.) Varkauden henkilöstön tekemä ehdotus koko AFT:n pelastamiseksi oli niin kaikessa mielessä paras vaihtoehto. Ehdotus hyväksyttiin ja tehtaan sulkemispäätös peruutettiin. Henkilöstöstä jouduttiin kuitenkin vähentämään noin 40 %. (Vuorinen 2015, 29–30.)

Macroflow 2 -rummun kehittämisen tavoitteena oli säästää työajassa ja raaka-aineessa 30 %. Työaika saatiin puolitettua ja materiaali kustannuksissa säästettiin vajaa 30 %. Suurin kehitys otettiin rakotarkkuudessa. (Vuorinen 2015, 32.)

Markkinoiden näkökulmasta AFT Oy:llä on hyvät tulevaisuuden näkymät. Vaikka paperin kysynnän arvioidaan koko ajan laskevan niin sellun ja kartongin kulutuksen ennustetaan kasvavan. Asiakkaat arvostavat moderneja arvoja, kuten energiatehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä. Näissä arvoissa AFT on hyvin vahva kilpailijoihin nähden. (Ikäheimonen 2019.)

2.2 TUOTTEET

2.2.1 Poratut levyt

Porattuja levyjä, kuvassa 4 oleva levy-ympyrä, käytetään paperimassojen puhdistukseen. Porattuja levyjä käytetään kartonki-, paperi- ja selluteollisuudessa ja myös elintarviketeollisuudessa. (Karppinen 2018.)

Porattujen tuotteiden reikien koot vaihtelevat Ø 0,5–15 mm välillä. Porauksen etuna lävistettyihin levytuotteisiin on parempi mittatarkkuus ja levyn kulutuksen kesto.



Kuva 4. Porattu levy-ympyrä (Ikäheimonen, 2019)

2.2.2 Poratut rummut

Porattuja rumpuja (kuva 5) käytetään kartonki-, paperi-, ja selluteollisuudessa kuitujen lajitteluun sekä massan sakeuttamiseen (Karppinen 2018).

Porattu levy taivutetaan ja siihen lisätään pääty- ja mahdolliset tukirenkaat prosessivaatimusten mukaan.



Kuva 5. Porattu rumpu (Ikäheimonen, 2019)

2.2.3 Lankasihtirummut

MacroFlow- ja MacroFlow2- lankasihtirumpuja käytetään kuitujen lajitteluun. Rummussa olevat seulonta raot mitoitetaan prosessin vaatimuksiin. Rakoa pienemmät kuidut läpäisevät seularummun ja jatkavat akseptina prosessissa, kun taas liian suuret kuitukimput poistuvat rejektinä. Rejektä käsitellään uudelleen ja palautetaan uudelleen prosessikiertoon. Lankarummulla saadaan massalle parempi puhtausaste. (Karppinen 2018.)

MacroFlow valmistuksessa tukilankoihin jysitään kiekkojysimellä uria, joihin profiililangat pujotetaan. Langat niitataan yhteen tukilankojen kanssa, jolloin muodostuu matto. Matto taivutetaan pyöreäksi ja liitetään hitsaamalla vaipaksi. Vaippaan lisätään tuki- ja päätyrenkaat. MacroFlow2-seularumpujen (Kuva 6) tukirenkaat valmistetaan laserleikkaamalla. Laserleikatun renkaan kehällä on urat profiililankojen pujotusta varten. Langat lukitaan paikoilleen renkaiden lämpökutistamisella. Tämä valmistustapa saa aikaan erittäin rakomittatarkan vaipan.



Kuva 6. MacroFlow2 (Ikäheimonen, 2019)

2.2.4 Roottorit

Roottori on rummun sisällä pyörivä impulsseja antava komponentti. Roottorin pinnassa olevat elementit aiheuttavat seularummun pintaan painepulsseja. Erilaisilla elementtityypeillä voidaan vaikuttaa painepulssien voimakkuuteen. Tehokkaampia roottoreita, kuten kuvassa 7 esitettyä GHC2-roottoria, käytetään kartongin ja sellun valmistuksen alkupäässä. Kuvassa 8 esitettyä hellävaraisempaa EPx-roottoria käytetään paperikoneilla, joissa liian tehokas roottori saattaa aiheuttaa näkyviä aaltoja paperin pintaan (Karppinen 2018).



Kuva 7. GHC2- roottori (Ikäheimonen, 2019)



Kuva 8. EPx- roottori (Ikäheimonen, 2019)

2.2.5 Lajittimet

Lajittimen sisällä on seularumpu sekä roottori kuitujen lajittelua varten. Lajittimeen syötetty lajiteltava massa kulkeutuu seularummulle, josta hyväksytty massa läpäisee seularummun raot ja jatkaa prosessissa eteenpäin akseptina. Rejektit palaa uudelleen käsittelyyn ja uudestaan seulottavaksi. Lajitin on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Lajitin (Ikäheimonen, 2019)

3 SELVITYSTYÖ

Tarkoitus selvittää 3D-skannauksen soveltuvuus pääasiassa tuotesuunnittelun käyttöön. Kustannushyötyä löytyisi suunnittelun mahdollisella nopeutumisella. Asiakaskäytien nopeutumisesta olisi kustannushyötyä sekä meidän toimintaamme, että myös asiakkaalle nopeamman prosessi pysäytyksen vuoksi. Kustannushyödyistä voisi laskea laitteelle takaisinmaksuajan teoreettisella tasolla, mikäli 3D-skanneri on soveltuva meidän tuotteisiimme.

Soveltuvuutta käyttöömme tulisi testata eri ympäristöissä. Toimipaikkamme tuotantotiloissa on hyvä valaistus, joka riittää valaisemaan kyllä tuotteen, mutta aiheuttaa samalla myös kiillotetusta teräksestä heijastumia. Heijastumat eivät saisi aiheuttaa ongelmaa skannerille vääristymien ja mittapätarkkuuksien välttämiseksi.

Skannerin olisi hyvä pystyä hyvään tarkkuuteen. Valmistamissamme painelajittimien sihtirummuissa on paljon joko reikiä tai lankasihdeissä rakoja. Poratuissa rummuissa saattaa olla vielä erilaisia profiileja, joissa on vinopintoja rummun lajittelupintaa kohden. Lankatuotteet valmistetaan teräksisistä profiililangoista, jotka ovat kiiltäviä jo itsessään ja ovat monimuotoisia. Langat muodostavat lajitinsihtirumpuun rakoja, jotka olisi hyvä päästä mittaamaan 3D-skannauksella.

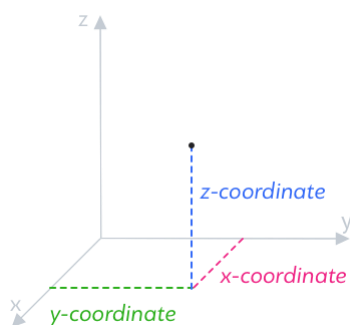
Asiakaskäynneillä otamme pinta jäljennökset lajittelupinnoista muovailtavalla kumilla. Tämä jäisi pois, mikäli skannerin tarkkuus pystyy mittaamaan poratuiden rumpujen reiät ja lankatuotteiden raot.

3D-skannerin investoimiseksi, täytyy ensin tehdä tutkimusta, onko laite edes soveltuva meidän työhömme ja tuotteillemme. Markkinoilla vielä lisäksi on valtava määrä laitteita ja niiden vertaileminen käyttöömme ja investointia varten tulee suorittaa.

4 3D-SKANNAUS

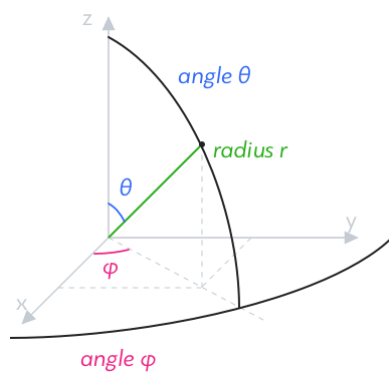
4.1 Teoria

3D-maailma tarkoittaa, että ympärillämme olevalla avaruudella on kolme ulottuvuutta ja että minkä tahansa sijainti voidaan kuvata kolmella numerolla, joita kutsutaan myös parametreiksi tai koordinaateiksi, jotka on esitetty kuvassa 10. Nämä kolme parametria voidaan määrittää useilla eri tavoilla, ja niitä koskevat säännöt tunnetaan koordinaattijärjestelmänä.

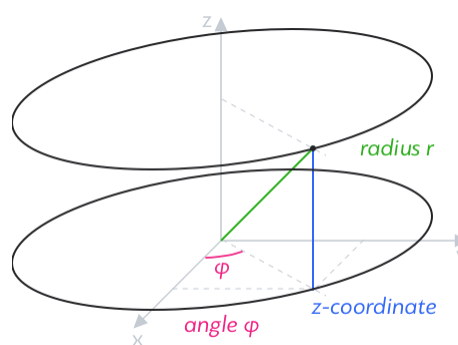


Kuva 10 X-, Y- ja Z-akselit

ympärillämme olevien asioiden leveydestä, korkeudesta ja syvyydestä, käytämme karteesisen koordinaattijärjestelmän termejä – joka voi olla joko oikeanpuoleinen järjestelmä (RHS) tai vasemmanpuoleinen järjestelmä (LHS). Ainoa ero näiden kahden välillä on z-akselin suunta, se, joka viittaa jonkin syvyyteen.



kuva 11

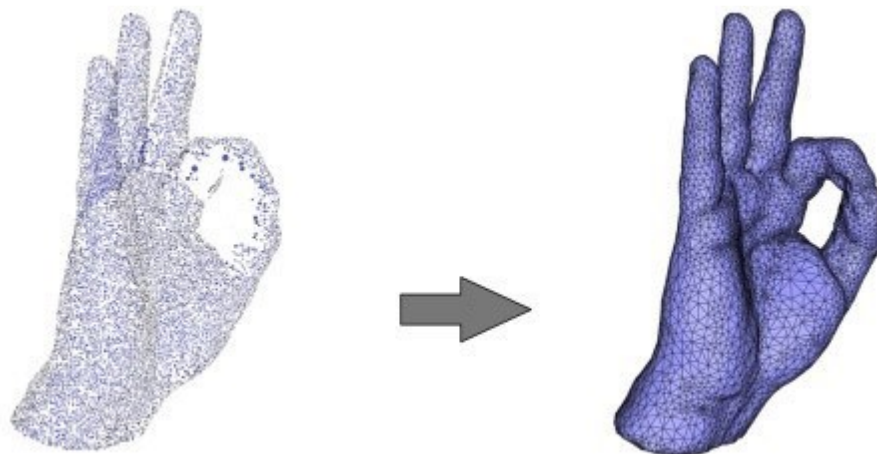


kuva 12

On olemassa muutamia muita koordinaattijärjestelmiä, mukaan lukien pallomainen koordinaattijärjestelmä kuvassa 11 ja sylinterimäinen koordinaattijärjestelmä kuvassa 12.

Kaikille 3D-koordinaattijärjestelmille yhteistä on se, että niillä on kolme itsenäistä parametria, jotka kuvaavat selvästi minkä tahansa pisteen sijaintia avaruudessa. Tämä vaikuttaa riittävän yksinkertaiselta, mutta mitä tulee 3D-skannereihin ja skannaukseen, tämän kaltaiset peruseräatteen auttavat ymmärtämään paremmin tätä tekniikkaa ja työskentelemään sen kanssa onnistuneesti.

3D-skannaus tarkoittaa objektin pinnanmuotojen ja sijainnin pisteiden koordinaattien keräämistä. Kerätystä datasta voidaan muodostaa digitaalinen 3D-malli. Kerätty data muodostuu tuhansista, ellei jopa miljoonista yksittäisistä pisteistä, joilla kaikilla on omat kolmiulotteiset koordinaatit. Näiden pisteiden avulla muodostetaan kolmioverkko, jonka avulla pystytään muodostamaan 3D-malli, kuva 13. (Wikipedia, 2022)



Kuva 13 Pistepilvestä Mesh-verkko (CGAL Poisson Surface Reconstruction, n.d.)

4.2 3D-skanneri

3D-skannerilla kerätään fyysisen objektin koordinaattipisteitä. 3D-skannerissa ja normaalissa kamerassa on toiminta tavassa paljon samankaltaisuutta. Kamera vangitsee ainoastaan sen näkökentällä olevilta pinnoilta väri-informaation, kun taas 3D-skanneri muodostaa datan sen näkökentällä näkyvistä pinnoista. Tässä datassa on skannatun kappaleen paikkatietoja suhteessa skannerin sijaintiin. Jokaisella pisteellä on oma havaittu ja määritetty sijainti pistepilven muodostamassa pisteavaruudessa. (Stella, 2017)

4.3 Digitaalisuus

3D-skannereilla voidaan tuottaa 2D-kuvia sekä pistepilvidataa, jotka voidaan muuntaa yhtenäiseksi tiedostoksi. Saatua dataa voidaan käyttää 3D-suunnitteluohjelmissa tai 3D-tulostimissa. 3D-skannerit vaihtelevat kooltaan automaattisista pöytäskannereista pienille kohteille, kädessä pidettävistä strukturoiduista valoskannereista pienille ja keskikokoisille kohteille ja 3D-laserskannereille suurille ja jopa massiivisille kohteille. Näillä skannereilla luotujen 3D-mallien kokoa voidaan puolestaan muuttaa tarpeen mukaan CAD-suunnitteluohjelmiston avulla. (Artec, Natalia Kivolyya, 5.2.2020)

4.4 Skannausteknologiat

Skannausteknologioita on kaksi eri pääluokkaa, ei-koskettavat ja koskettavat menetelmät. Ei-koskettavat menetelmät jaetaan vielä sekä passiivisiin että aktiivisiin skannereihin.

Koskettavilla skannausmenetelmillä mittaaminen suoritetaan koskettamalla skannauksen kohteena olevan pintaa mitta-anturilla ja kosketuksesta saatu mittapiste tallennetaan koordinaatistoon.

Ei-koskettavissa menetelmissä aktiiviset skannerit tuottavat säteilyä itse, jonka takaisinheijastuman havainnon avulla skannauslaitteisto muodostaa pistepilven kohteesta. Teollisuudessa käytetään yleensä aktiivisia 3D-skannereita, jotka skannaavat laserskannausteknologiaa hyödyntäen. Passiiviset 3D-skannerit hyödyntävät jonkun muun lähteen muodostamaa säteilyä. Passiivisia skannereita ei voida käyttää tarkkuutta vaativiin mittauksiin, eivätkä ne oikein tältä osin sovellu käänteiseen suunnitteluun. (Mostafa, 2015)

4.5 Koskettavat menetelmät

Koskettavamenetelmässä skannattavaa objektia kosketetaan mittapäällä, josta laitteisto rekisteröi mittapään kosketuskärjen aseman juuri kosketushetkellä. Kosketuksesta saadut pisteet muodostavat pisteverkon. (Mostafa, 2015)

Koskettavien laitteiden suurin etu on jopa muutaman mikrometrin mittaustarkkuus. Hankintahinnat näissä koskettavissa mittalaitteissa ovat kuitenkin muita laitteita suurempia. Koskettavia 3D-skannereita eivät sovellu elastisten, pehmeiden, hauraiden eikä vaarallisten kohteiden mittaamiseen. Skannattavien objektien kokoa rajoittaa laitteiston mittaus alueen kapasiteetti. Suurien kohteiden mittauksessa käytetään yleensä koordinaatti- ja käsivarsimittauskoneen yhdistelmää, kuva 14. (Mostafa, 2015; EMS, n.d.)

CMM-koneiden tiedetään tarjoavan poikkeuksellista tarkkuutta sekä tarkastuksessa että käänteisessä suunnittelussa. Koneet käyttävät esiohjelmoitua tai käyttäjän ohjaamaa anturia tallentaakseen pistekoordinaatteja skannattavasta objektista, mistä rakentaa pistepilvi.



Kuva 14 CMM-koneella tarkastetaan koneen osan

Usein CMM koneet ovat suuria ja raskaita laitteita, jotka on asennettu paikoilleen ja näin ollen mahdoton kuljettaa mukana. Tämä sulkee pois mahdollisuuden suorittaa skannauksia asiakkaiden luona tai ottaa skanneria mukaan lennolle.

4.5.1 Koordinaattimittauskone

Koordinaattimittauskone (CMM), kuva 15, on tyypillisin koskettavassa menetelmässä käytettävä laitteisto. CMM-laitteessa mitta-anturi liikkuu kolmen toisiaan kohtisuorassa olevan akselin avulla.



Kuva 15 Koordinaattimittauskone, Strato-Apex (Mitutoyo, n.d.)

Rakenteeltaan koordinaattimittauskoneet ovat yleensä isoja ja raskaita. Tämän takia myös erittäin tarkkoja. CMM-laitteita käytetään yleensä erityistä tarkkuutta vaativiin mittauksiin. Perinteiset koordinaattimittauskoneet ovat mittalaitteina tarkimpia, jonka takia niitä ei yleensä käytetä varsinaisesti skannaamiseen vaan erilaisiin mittaamisiin ja tarkistamiseen. (EMS, n.d.)

4.5.2 Käsivarsimittauskone

Käsivarrella toimiva mittauskone on toinen koskettavan menetelmän omaava mittalaite, kuva 16. Käsivarsimittauskoneen varren nivelissä on sensorit, jotka mittaavat varren liikettä. Varren päässä

on myös nivelletty mittapää. Mittapään nivel pyörii myös oman akselinsa ympäri, jotta mittakärjellä voidaan mitata myös hankalista paikoista. Käsivarsimittauskonetta on huomattavasti nopeampi käyttää kuin perinteisiä koskettavia mittalaitteita. Käsivarsimittauskoneella pystytään suorittamaan tasomaisia skannauksia liikuttamalla mittakärkeä mitattavan objektin pinnalla. (Wikipedia, 2022)



Kuva 16 Käsivarsimittauskone (Lead-Sail, n.d.)

4.6 Ei-koskettavat menetelmät

Havaittavan skannauksessa käytettävän säteilyn perusteella, ei-koskettavat menetelmät voidaan jakaa kahteen eri menetelmään, aktiivisiin ja passiivisiin skannauksiin. Aktiiviset skannerit käyttävät itse tuottamaansa säteilyä ja passiiviset skannerit hyödyntävät ympäristön ja muun laitteen tuottamaa säteilyä. (Antti Pihkamäki, 3D-tulostuksen käyttö teollisuuden varaosien valmistuksessa, 2019)

4.7 Ei-koskettavat aktiiviset menetelmät

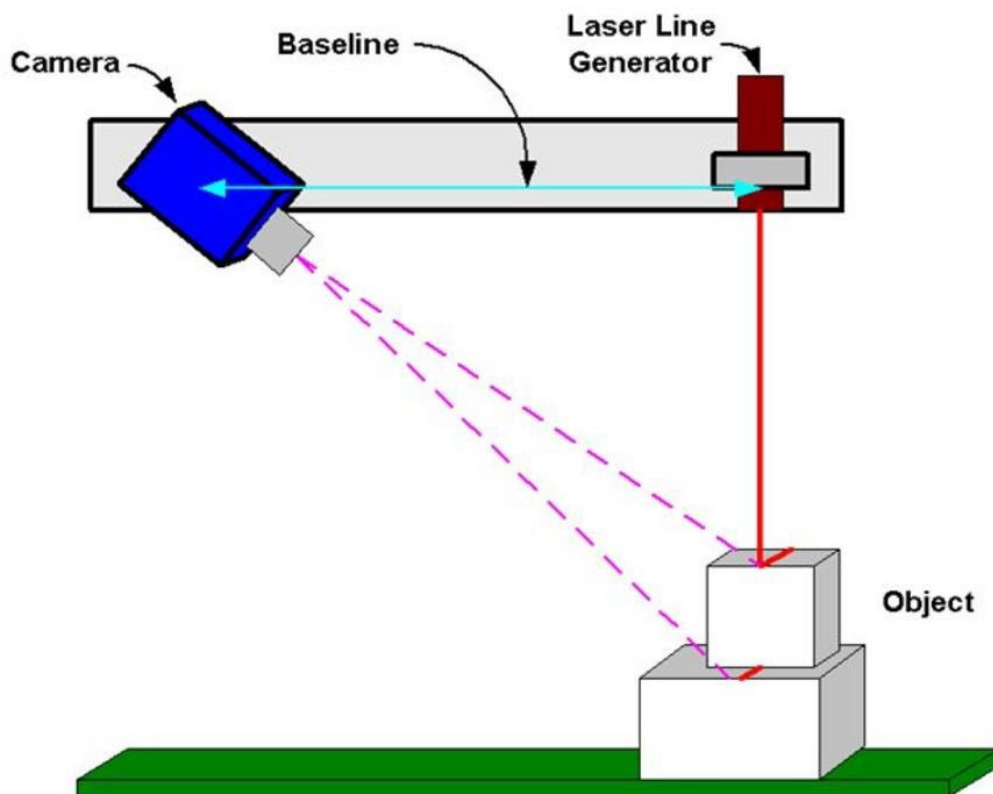
Aktiiviset skannausmenetelmät jaotellaan viiteen eri ryhmään, valo- ja laserskannaus, pulssi- ja vaihe-eroskannaukseen sekä eri teknologioiden yhdistelmiin.

Aktiiviset menetelmät perustuvat säteen lentoajan mittaukseen, ToF eli Time of Flight. Aktiivisia skannausmenetelmiä käytetään pääsääntöisesti itsenäisesti, mutta joissakin tapauksissa niitä voidaan myös käyttää muiden teknologioiden kanssa. Lisäksi on olemassa skannausteknologioita, jotka muodostavat yhdistelmiä toisten teknologioiden kanssa. Esimerkkinä tällaisesta fotogrammetrian ja strukturoidun valon yhdistelmästä tutkittu Artec Leo skanneri. (Twindom, 2018)

4.7.1 Kolmiomittaus

Kolmiomittauksessa käytetään lasersädettä, strukturoitua tai moduloitua valoa. Skannattavana olevan objektin pinnanmuodot skannataan projisoitavan valon tai valokuvion avulla. 3D-skanneri heijas-

taa objektin säteen pistemäisenä tai viivana. Säteen heijastuessa takaisin kappaleen pinnalta skannerissa oleva sensori havaitsee takaisin heijastuvan valon. Sensori havaitsee takaisin heijastuvan valon kulman muutoksen verrattuna alkuperäisen valon kulman välillä, kuva 17. Trigonometrialla skanneri laskee jokaisen yksittäisen pisteen etäisyyden skanneriin nähden ja tallentaa sen koordinaatistoon. (Mostafa, 2015)



Kuva 17 Kolmiomittaus skanneri (Wright, 2016)

Strukturoitua valoa käyttävät skannerit käyttävät laserin sijaan pystysuoraa mustavalko valokuvioita. Kameraan objektista heijastuvan kuvion muutoksesta voidaan määrittellä skannauksen kohteena olevan objektin pinnamuodot. Valokuviona on mustista ja valkoisista viivoista pystysuoraan muodostettu viivakuvio. Strukturoidun valon teknologiassa käytettäviä laitteita kutsutaan valko- tai sinivaloskannereiksi. (Mostafa, 2015)

Näissä skannausmenetelmissä voidaan käyttää myös moduloitua valoa. Moduloitua valoa käytettäessä kohteeseen heijastetaan tasaisella syklillä muuttuvaan värillistä valoa. Skannerin anturi havaitsee takaisin heijastuvan valon ja sen voimakkuuden. Takaisin heijastuneen valon määrällä sekä valokuvion perusteella voidaan laskea valon kulkema etäisyys ja määrittää siitä piste. (Mostafa, 2015)

4.7.2 Pulssilaser

Pulssilaserilla skannaamisen toimintaperiaate perustuu myös laserin lentoajan mittaamiseen, ToF eli Time of Flight. Pulssilaser lähettää katkonaista sädettä kohteeseen ja mittaa objektista takaisin heijastuvan säteen lentoajan. Skannerin ja mittauksen kohteen välisen etäisyyden pystyy selvittämään valonnopeuden ja pulssin lentoajan avulla ja tästä selviää määritettävä piste. (3D Scanco, 2018)

Pulssilaserskanneri soveltuu pääsääntöisesti parhaiten suurten kohteiden skannaukseen. Pulssilaserin skannausetäisyys objektiin voi olla erittäin pitkä. Pitkien mittaetäisyyksien heikkoutena on, että pienikin muutos skannausolosuhteissa vaikuttaa mittaustulokseen negatiivisesti. Mittausetäisyys määrittyy laserin pulssin lähetystehon ja toistotaajuuden määräämän enimmäiskulkuajan mukaan. Pulssilaserin toistotaajuus rajoittuu yleensä muutamaan tuhanteen mittaukseen sekunnissa. (Moftafa, 2015)

4.8 Skannaus strukturoidulla valolla

Strukturoidut kevyet 3D-skannerit vangitsevat esineitä säteilemällä ensin välkkyvää valokuviota kuvaamansa kohteen pinnoille. Kun valo pomppaa takaisin skannerin antureille, kohteen rakenteiden aiheuttamat vääristymät havaitaan ja ne muunnetaan kohteen tarkaksi digitaaliseksi esitykseksi skannerin ohjelmistossa. Tätä digitaalista kopiota, joka on 3D-monikulmioverkko, voidaan sitten käyttää luomaan CAD-malli.

Yksi strukturoitujen kevyiden 3D-skannerien käytön tärkeimmistä eduista on niiden sieppausnopeus. Toisin kuin CMM-koneet tai fotogrammetria, uusimmat ammattimaiset strukturoidut 3D-skannerit pystyvät tallentamaan suuriakin kohteita muutamassa minuutissa kymmenysoamillimetrin tarkkuudella ilman, että kontaktia tarvita. Riippuen skannerista, kun pyyhkäiset sen valonsäteiden skannattavan kohteen yli, tallennat 1 miljoonasta 3 miljoonaan pistettä sekunnissa. (Artec, Matthew McMillion 2.7.2021)

Strukturoidun kevyen 3D-skannerin avulla saat välittömän palautteen kannettavan tietokoneen tai skannerin näytöltä, että olet tallentanut jokaisen osan skannattavasta kohteesta tai alueesta. Jos jokin kohta jäi huomaamatta, olet vain yhden aallon päässä skannerista, jotta voit tallentaa sen kokonaan.

Viimeisenä, mutta ei vähäisimpänä, strukturoidut kevyet 3D-skannerit ovat täysin turvallisia käyttää, ei vain skannaaville henkilöille, vaan myös katsojille ja skannaaville. (Artec, Matthew McMillion 2.7.2021)

4.9 Laservaloskannerit suuremmille kohteille ja kokonaisille kohtauksille

Jalustalle asennetut 3D-laser (LiDAR) -skannerit voidaan ryhmitellä kahteen eri luokkaan: lentoaika ja vaihesiirto. Lentoaika (Time of Flight, ToF) LiDAR-skannerit toimivat säteilemällä laservaloa kohteeseen tai alueelle, joko sisällä tai ulkona, ja laskemalla sitten tarkan etäisyyden siihen mittaamalla ajan, joka kuluu valon palautumiseen skannerin anturiin, joka havaitsee myös vastaanotetun valon voimakkuuden.

Vaihevaihteiset LiDAR-skannerit puolestaan lähettävät tasaista lasersädettä useissa eri vaiheissa. Kun laservalo pomppaa takaisin skannerin anturiin, valon siirtymät analysoidaan erityisillä käsittelyalgoritmeilla ja niitä käytetään määrittämään tarkka etäisyys skannerin ja kuvattavan kohteen ja/tai näkymän välillä.

Vastaanotetusta tiedosta luodaan kohteen tai alueen digitaalinen renderöinti korkearesoluutioisen pistepilven muodossa. Nämä pistepilvet voidaan sitten muuttaa monikulmioiksi verkoiksi skannausohjelmistolla. Tämän jälkeen verkkoja voidaan käyttää useisiin tarkoituksiin, mukaan lukien CAD-mallien luomiseen käänteissuunnittelua, virtuaalisia läpivientejä, rakennuksen pohjapiirroksia jne.

Laserpohjaisilla pitkän kantaman 3D-skannereilla voidaan helposti kaapata suuria tai todella massiivisia kohteita ja kohtauksia uskomattomalla tarkkuudella. Parhailla tämän tyyppisillä skannereilla on työskentelyetäisyys metristä yli 100 metriin, ja niitä on käytetty metrologialuokan 3D-mallien luomiseen autoista, suihkukoneista, superjahdeista ja jopa kokonaisista tehtaan kerroksista.

Vankan 3D-skannausohjelmiston avulla pitkän kantaman laserskannerin skannaustiedot voidaan helposti yhdistää kädessä pidettävien 3D-skannerien tietoihin ja luoda yhtenäinen 3D-malli, joka kattaa kohteen tai näkymän kaikki mahdolliset geometriat ja pinnat. Joitakin esimerkkejä tästä ovat nykykaisen matkustajakoneen käänteissuunnittelu käyttämällä pitkän kantaman laserskanneria koneen koko arkkitehtuurin tallentamiseen, samalla kun käytetään kädessä pidettävää 3D-skanneria kojepaneeleissa ja monimutkaisia yksityiskohtia ohjaamossa ja matkustamossa. (Artec, Matthew McMillion

2.7.2021)

4.10 Passiiviset menetelmät

Passiivisella menetelmällä toimivat 3D-skannerit käyttävät kameraa tai useampaa kameraa skannaamiseen. Käytettäessä yhden kameran tekniikkaa, skannattavasta objektista otetaan useita kuvia eri suunnista. Kuvista muodostetaan ohjelmallisesti skannatun objektin 3D-malli. Tätä tekniikkaa kutsutaan fotogrammetriaksi.

5 KÄÄNTEINEN SUUNNITTELU (REVERSE ENGINEERING)

5.1 Kohteen valmistelu skannausta varten

Jos esineessäsi on kirkkaita tai voimakkaasti heijastavia osia, saatat joutua suihkuttamaan ne hienorakeisella, mattapintaisella skannaussuihkeella ennen skannauksen aloittamista. Tämä parantaa tarkkuutta ja voi merkittävästi lyhentää skannauksen käsittelyaikaa. Skannausprojektiisi pituuden mukaan voit valita joko haihtuvan suihkeen, joka haihtuu tunneissa jättämättä jälkiä, tai ei-pysyvän suihkeen pitkäaikaisia projekteja varten, jotka on sitten pestävä pois käsin. (Artec, Matthew McMillion 2.7.2021)

3D-skannaaminen noudattaa yleiseensä seuraavaa prosessikaaviota. Skannatusta datasta saatava pistepilvi muutetaan mesh-verkoksi, jonka jälkeen mesh-verkko tuodaan CAD-ohjelmistoon. CAD-ohjelmistossa malliin luodaan pintoja ohjelmiston työkaluilla. Muodostettua 3D-mallia vertailemalla mesh-verkoston varmistetaan oikea kappaleen geometria.

Nyt on myös aika sijoittaa esine skannausta varten. Pienemmille kohteille tämä voi tarkoittaa kohteen asettamista levysoittimelle tai pöytätietokoneen 3D-skannerin tapauksessa kohteen kiinnittämistä skannausalustalle, mahdollisesti liimamateriaalilla, kuten sinitarralla. Ellei sinulla ole langatonta kädessä pidettävää skanneria käsilläsi, varmista, että kohteen ympärillä on tarpeeksi tilaa liikkua skannauksen aikana ilman, että kaapelit tai muut laitteet rajoittavat liikkumistasi.

Suurien ja erittäin suurien kohteiden tallentaminen vaatii todennäköisesti pitkän kantaman laserskannerin käyttöä. Siinä tapauksessa kyse on skannerin sijoittamisesta siepattavaan kohteeseen tai alueeseen nähden. Varmista, että sijoitat skannerin uusiin näköalakohtiin, jotka mahdollistavat riittävän päällekkäisyyden skannaustiedoissa ja täyden peiton. Tarkastelemalla skannausiasi skannausohjelmistossa ollessasi vielä paikan päällä, voit helposti tunnistaa ja skannata uudelleen paikat, joita ei ole tallennettu kokonaan, koska esineessäsi tai kohtauksessasi oli upotettuja tai tukkeutuneita pintoja. (Artec, Matthew McMillion 2.7.2021)

5.2 Objektin 3D-skannaus

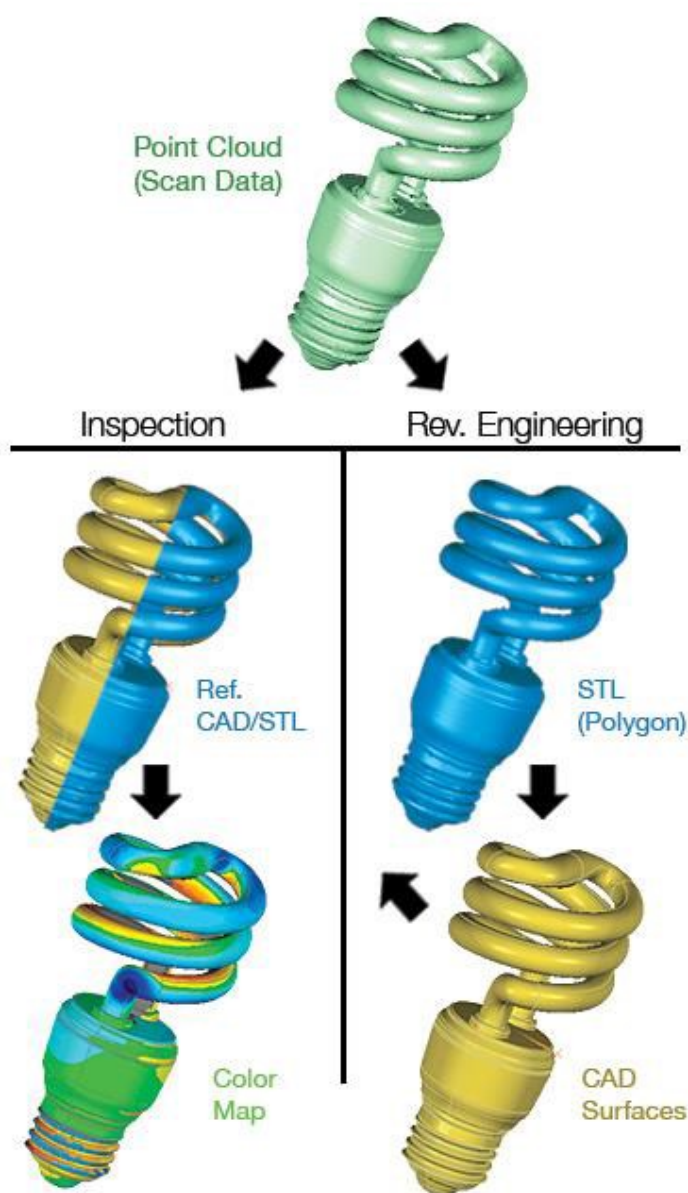
Objektin kaappaaminen voi kestää muutamasta sekunnista yli tuntiin riippuen 3D-skannerisi ominaisuuksista ja skannattavan kohteen koosta/monimutkaisuudesta. Yksi skanneri ei voi olla paras ratkaisu kaikkiin mahdollisiin käännteissuunnitteluprojekteihin.

Pienten kappaleiden vangitseminen kädessä pidettävällä 3D-skannerilla voi olla mahdollista, varsinkin sellaisen, joka tuottaa tarkkoja tuloksia, mutta useamman kappaleen skannaaminen saattaa olla parempi pienellä työpöytä 3D-skannerilla, joka on suunniteltu kaappaamaan hyvin pieniä kohteita.

Suurille ja pyörityllyille kappaleille tarvitaan 3D-skanneri, jolla on laajempi näkökenttä ja nopeampi kaappausnopeus ja laite, jonka avulla voit liikkua helposti, mieluiten ilman kaapeleita tai muita laitteita, jotka vain sotkeutuvat. (Artec, Matthew McMillion 2.7.2021)

5.3 Skannauskäsittely, CAD-suunnittelu ja lisäävä valmistus

Skannauksen jälkeen saadaan muutaman napsautuksen ja valinnan jälkeen puhdas, erittäin tarkka monikulmioverkko valmiina seuraavaan vaiheeseen 3D-skannaustietojen kääntämistä CAD-malliksi, kuva 18.



Kuva 18. 3D-skannaamisen prosessikaavio

Skannausohjelmiston tarjoama skannaus-CAD-ominaisuudella, voi sijoittaa 3D-mallin tarkasti ja sovittaa se CAD-primitiivien kanssa. Nämä primitiivit ovat CAD-valmiita muotoja, jotka sopivat saumattomasti 3D-mallin mittoihin ja geometrioihin. (Artec, Matthew McMillion 2.7.2021)

5.4 CAD-suunnittelutyöt

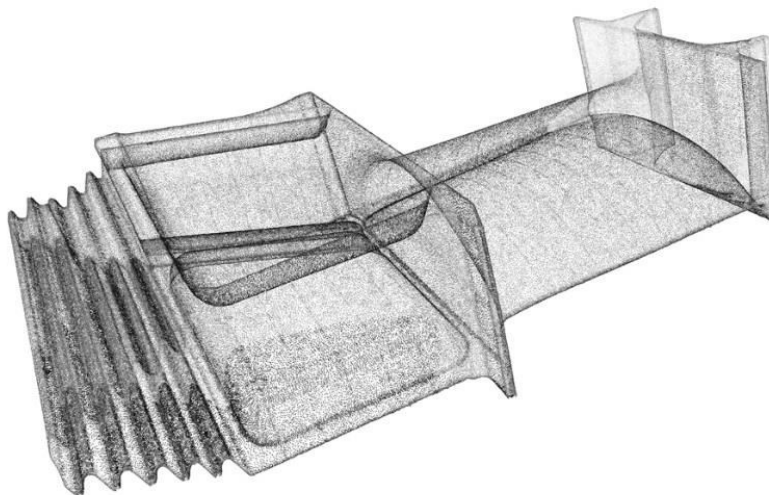
Skannauksen käsittely vaiheen jälkeen voidaan 3D-malli viedä käänteissuunnitteluun CAD-ohjelmaan. Ohjelmiston avulla voidaan tehdä 3D-mallinnos, jossa käytetään 3D-mallia referenssinä CAD-mallin piirtämiseen.

CAD-järjestelmässä voidaan analysoida olemassa olevaa mallia ja muokata sitä. Tämä sisältää epäsymmetrisyyksien, epämuodostumien tai muiden hienovaraisten epäsäännöllisyyksien havaitsemisen alkuperäisessä objektissa ja sitten CAD-mallin muokkaamisen näiden ongelmien ratkaisemiseksi. Uusia ominaisuuksia voidaan lisätä, ja koko mallia voidaan skaalata isommaksi tai pienemmäksi muuttamatta muotoa. (Artec, Matthew McMillion 2.7.2021)

5.5 Pistepilvi

Pistepilvestä muodostetaan skannatusta objektista kolmiulotteinen malli. Pistepilvi (Kuva 19) muodostuu miljoonista kolmiulotteisessa koordinaatistossa olevista yksittäisistä pisteistä.

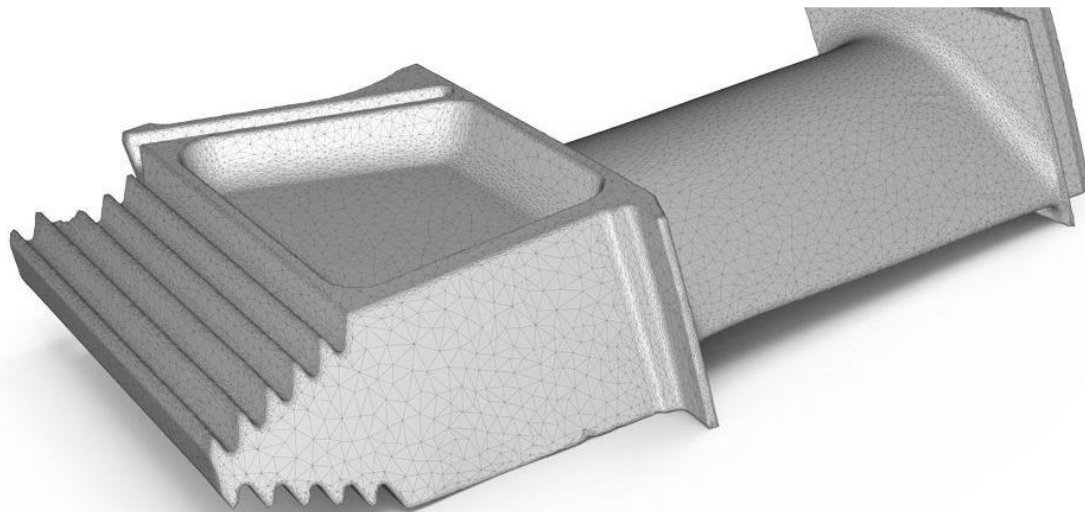
Yleisesti ottaen pistepilven tarkkuus on heikointa terävien reunojen ja terävien kulmien kohdalla. Näissä kohdissa mitattava datamäärä on korkea. Tästä aiheutuu lopullisessa 3D-mallissa terävien yksityiskohtien puuttumista. (Sitnik & Karaszewski 2008.)



Kuva 19. Skannattu pistepilvi (Europac3d 2019).

5.6 3D-mallin luonti

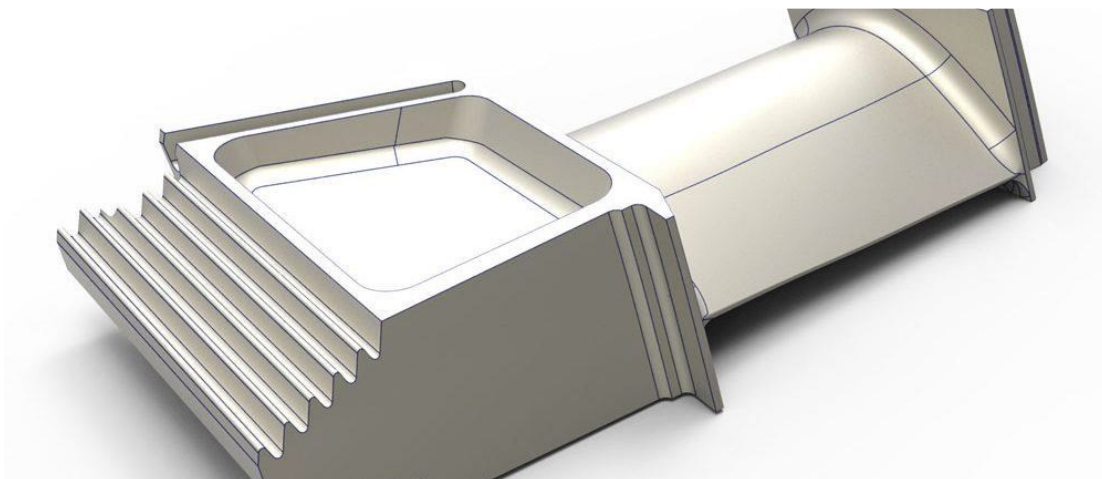
Pistepilvestä muodostetaan mesh-verkko eli pintamalli skannatulle kappaleelle, josta objektin muoto jo ilmenee. Mesh-verkko muodostetaan algoritmeja käyttävällä ohjelmalla. Mesh-verkko on yleisimmin helpoiten muokattavissa olevan kolmioverkon muotoinen (Kuva 20. (Guo, Ding, Jia & Yan 2018.)



Kuva 20. Kolmioverkoista muodostettu mesh-verkko. (Europac3d 2019).

Parametrinen malli (Kuva 21) muodostetaan CAD-ohjelmistolla mesh-verkkoa hyödyntäen (Europac3d 2019).

Suunnittelutyöstä saadaan täydellinen malli, josta voidaan tehdä 2D-piirustukset, valmistuspiirustukset ja kokoonpanopiirustukset (Europac3d 2019).



Kuva 21. Parametrinen 3D-malli (Europac3d 2019).

6 SKANNAUSTAVAN VALINTA

Alusta lähtien oli selvää, että tarvitsemme laitteen, joka on helppokäyttöinen ja helposti siirrettävä. Tämä lähtökohta sulki pois koskettavan menetelmän laitteet ja laserkeilauslaitteet, koska skannattavat tuotteet eivät ole suuria. Tämän kaltaiset tuotteet poistettumme valinnoista, jäljelle jäi käsi skannerit. Käsiskannereita meille kävi esittelemässä MLT Machine & Laser Technology Oy ja laitteena oli Creaformin Handyscan Black. Siitä saatu kokemus laittoi ajattelemaan laitteen käytettävyyttä ja hakemaan hieman toisen tyyppistä laitetta, joka sopisi meidän tarpeisiimme paremmin.

Laitte vaatimuksina pidimme nopeutta, helppokäyttöisyyttä, pientä kokoa ja tarkkuutta.

Käytössä laite tulisi olla melko nopea käyttää. Tehtaalla tehtävät skannaukset, entisiin perinteisiin mittaustapoihin nähden, ovat joka tapauksessa melko nopeita toimittaa. Nopeudesta perinteisiin mittaustapoihin verrattuna saadaan jo melkoinen kustannushyöty. Asiakkaiden luona tehtävät skannaukset ovat myös paljon nopeampi tehdä kuin perinteisillä mittaustavoilla tehdyt mittaukset. Nopeudesta hyötyy näin ollen myös asiakkaat, koska meidän mittauksiimme varten prosessinpysäytys on nopeampi. Toiseksi asiakas käynnit tulisivat tästä syystä nopeutumaan, josta on AFT:lle kustannushyötyä.

Helppokäyttöisyydeltä vaatimuksena on laitteen nopea käyttökoulutus ja laitteen käytön helppous. Käytön helppous taas lisää laitteen käyttöä ja vähentää tarvetta käyttää perinteisiä mittaustapoja.

Pienestä koosta vaatimuksena on laitteen mukaan otto lentokoneeseen ja laitteen paino ei saa olla kovin suuri, että sitä myös halutaan käyttää.

7 MLT Machine & Laser Technology Oy

MLT kävi marraskuussa 2021 esittelemässä AFT:n väelle 3D-skannausta. Tämä oli ensi kosketus 3D-skannaukseen ja esittelystä saimme paljon tietoa ja uusia ajatuksia mihin tätä teknologiaa voisi käyttää AFT:lla. Skannaus esittelyyn valitsimme mahdollisimman laajan tuotevalikoiman eripinnanlaaduilla. Esittely oli onnistunut ja ajatuksia jäi meille hautumaan talven kiireiksi.

Esittelyn jälkeen jäimme pohtimaan esittelyn skannerin käytettävyyttä ja pohdimme, olisiko jokin käytännöllisempi laite meille parempi vaihtoehto. Asiat, jotka jäivät meitä mietityttämään, oli referenssi tarrojen liimailu kappaleeseen ja niiden poisto skannauksen jälkeen sekä skannerin yhdistäminen johdoilla aina tietokoneeseen, joka toimii laskentaprosessorina. Asiakaskäynneillä ei välttämättä ole aikaa alkaa liimailemaan tarroja skannattavaan kohteeseen eikä myöskään poistamaan niitä. Tarrojen liimailu vie melko paljon aikaa eikä ole miellyttävä työvaihe. Tämä jäi mietityttämään jäisikö skanneri silloin ottamatta mukaan, jos sen käyttöä ei mielletä helpoksi ja vaivattomaksi.

Laitteen yhdistäminen tietokoneeseen ei ole myöskään käytettävyyden kannalta meille paras vaihtoehto, koska skannauksen aikana kappaleen ympärillä täytyy päästä liikkumaan ja näin ollen johdot

voisivat hankaloittaa liikkumista. Johtojen makaaminen lattiatasolla jäi myös mietityttämään, koska asiakaskohteissa paperiteollisuuden olosuhteissa lattiapinnoilla saattaa olla erilaisia kemikaaleja, jotka voisivat vahingoittaa johtoja tai ainakin liata niitä paljon. (MLT Machine & Laser Technology Oy, Markus Kähkönen, Keskustelut ja esittely 1.11.2021)

7.1 Creaform HandySCAN Black

HandySCAN BLACK on kannettava 3D-skanneri ja se on optimoitu vastaamaan suunnittelun, valmistuksen, laatuosaston ja metrologian ammattilaisten tarpeita, jotka etsivät tehokasta ja luotettavaa tapaa hankkia tarkkoja 3D-mittauksia fyysisistä kohteista erittäin nopeasti.

Tämä skanneri on helppokäyttöinen ja tuottaa erittäin tarkkoja ja toistettavia tuloksia jopa vaikeissa ympäristöissä, monimutkaisilla ja mustilla sekä kiiltävillä pinnoilla.

Skanneri soveltuu niin pienille kuin isoillekin kappaleille sekä vaativille yksityiskohdille. Resoluutio jopa 0,025 mm ja mittaustarkkuus 0,025 mm.

Mittausnopeus on jopa 1,3 miljoonaa mittausta sekunnissa. Mittausnopeus ja tarkkuus ovat skannerin vahvimmat puolet.

Skanneri on yksinkertainen ja nopea käyttää sekä se on melko kevyt kannettava skanneri, joka painaa alle 1 kg. Tässä ilmoitetussa painossa on tosin ilmoitettu vain kädessä pidettävän laitteen paino. Lisäksi massaan tulee kannettava tietokone, jota voi joutua kannattelemaan skannauksen aikana sekä skannerin tietokoneeseen yhdistämistä varten tarkoitettu johto ja laitteen virtajohto.

22 sinistä laseria mittaa jopa 1,3 miljoonaa mittausta/sekunnissa. Lasereiden ansiosta mustien ja kiiltävien kappaleiden skannaus onnistuu helposti ilman skannauskehikettä. (MLT verkkosivut, <https://www.mltfinland.fi/handyscan-black/>)

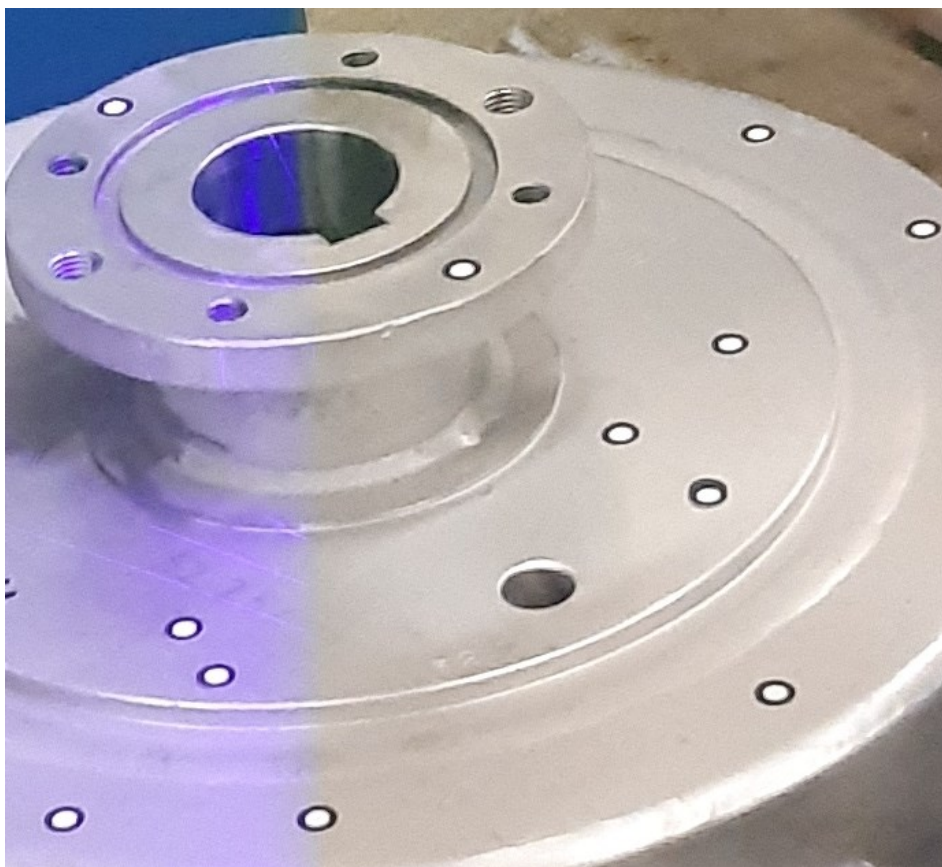
7.2 Esittely

Aloitimme esittelyn valitsemalla tuotteista mahdollisimman ison skaalan, joita tulisimme skannaamaan. Ensimmäiseksi tutustuimme hieman laitteeseen ja sen kokoon ja keveyteen. (kuva 22)



Kuva 22. Creafom HandySCAN Black (Vartiainen 2021, CC BY-NC)

Seuraavaksi aloitimme referenssi tarrojen liimailun skannattavaan kappaleeseen, jotta skanneri osaa lukea skannattavaa pintaa. (Kuva 23)



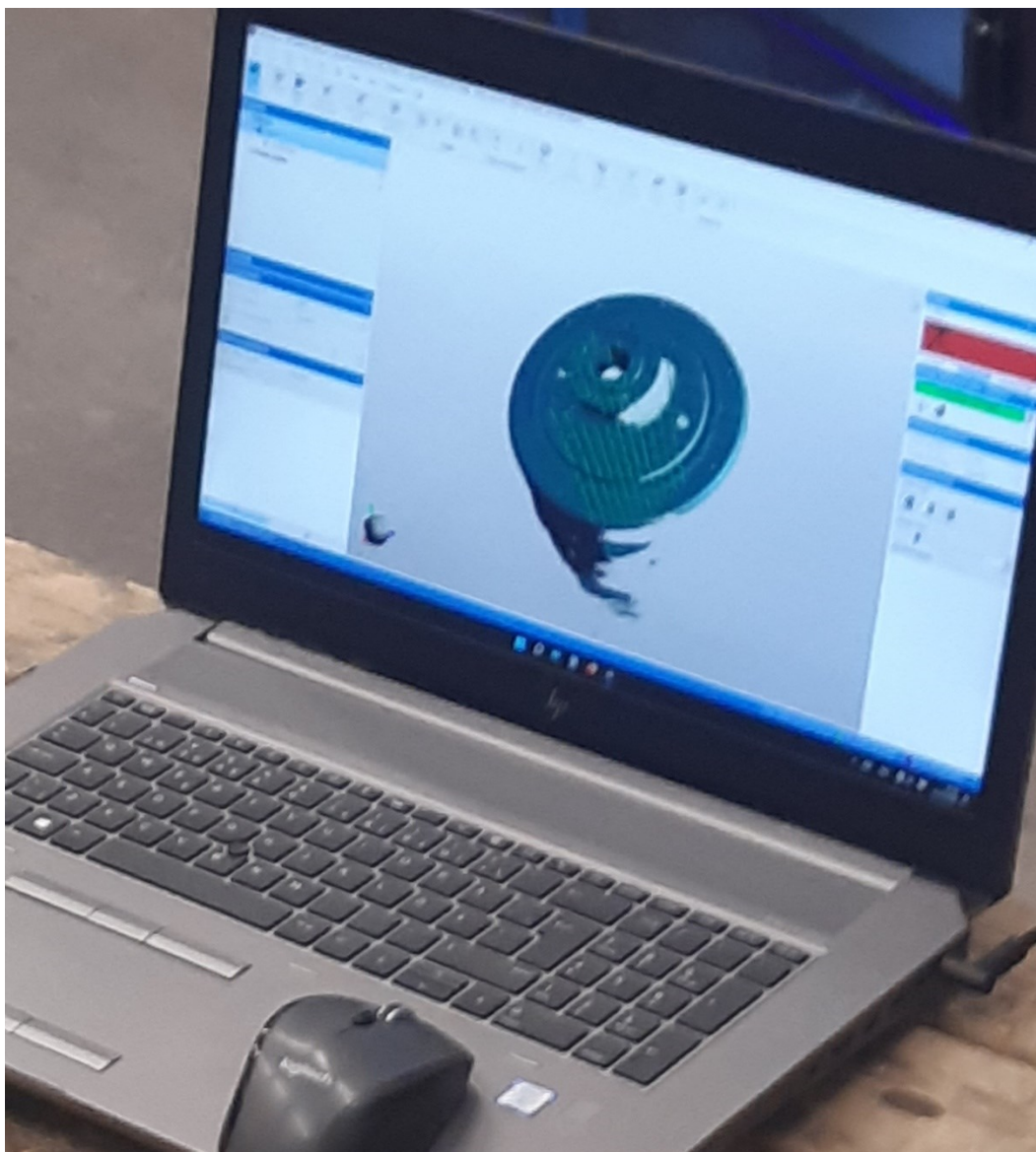
Kuva 23, referenssitarrat skannattavan tuotteen pinnalla. (Vartiainen 2021, CC BY-NC)

Tarrojen liimauksen jälkeen tuote skannattiin ensin pintapuolelta ja kyseessä oli ontto kappale niin pintaskannauksen jälkeen kappale käännettiin, liimattiin referenssitarrat sisäpuolelle ja skannattiin sisäpuoli. Skannaus tapahtumaa on esitetty kuvassa 24



Kuva 24. Skannaus Creaform HandySCAN Blackillä (Vartiainen 2021, CC BY-NC)

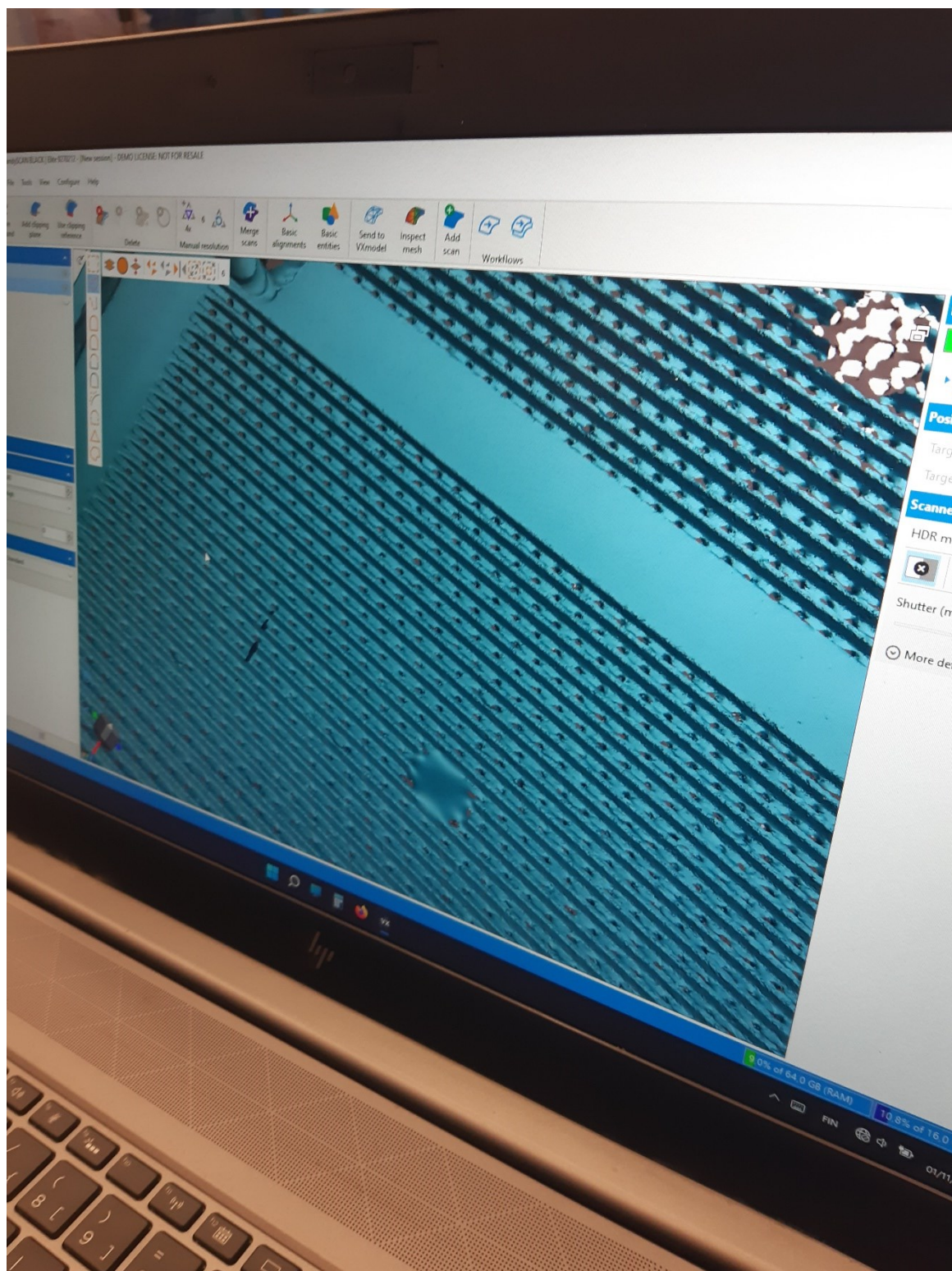
Skannauksesta sai tietokoneelle muodot, jotka näkyvät kuvassa 25.



Kuva 25. skannaus tietokoneella. (Vartiainen 2021, CC BY-NC)

Skannaustulosta täytyy vielä muokata tietokoneella, jotta saadaan poistettua ylimääräiset muodot esimerkiksi tasopinta, jonka päällä skannattava tuote on. Myös, jos skanneri ei ole saanut kaikkea pintaa skannattua, täytyy aukot täyttää ja saada kappaleesta niin sanottu vesitiivis malli.

Skannauksesta saimme hyvää mitattavaa pintamallia, joka oli hyvin yksityiskohtaista. Emme kuitenkaan mitanneet skannerin tarkkuutta vertailemalla absoluuttista suunnittelumallin arvoa skannauksesta saatuun arvoon vaan luotimme skannerin tarkkuuteen pelkkien yksityiskohtien vuoksi, kuva 26.



Kuva 26, Skannattu yksityiskohta tuotteesta. (Vartiainen 2021, CC BY-NC)

Skannauksesta saadaan ulos MESH-pintamalli, joka on muutettavissa kiinteäksi malliksi tai sitä voidaan käyttää takaisinmallinnuksen apuna hyödyntäen siitä saatavia mittoja. Takaisin mallinnus on se pääasiallinen käyttö mihin AFT:lla tulnaisiin käyttämään 3D-skannausta. (MLT Machine & Laser Technology Oy, Markus Kähkönen, Keskustelut ja esittely 1.11.2021)

8 AIPWORKS

Toinen esittely tuli aiheelliseksi kevään puolella vierailemalla AIPWoksillä Porvoossa, joka maahan-tuo Artec:n skannereita. Kysely laitevalmistaja Artecilta laitteista johti, että he ehdottivat käymään tutustumassa laitteeseen AIPWorksillä, koska Artec:n mielestä heillä on paras tietotaito Leo skannerista.

Tutustuminen tähän laitteeseen tuli, kun aloimme miettimään mitä kaikkea tarvitsisimme laitteelta ja löytyi Artec Leo, joka vastaisi tarpeitamme käytettävyyden ja kannettavuuden asioissa.

Esittelyyn valitsin kaksi rumpua ja yhden esittelyroottorin, joka ei sinällään ole mikään meidän valmistettava tuote vaan sisältää kaksi puolikasta roottoria messuesittelyjä varten. Esittely meni mukavasti ja sain itsekin käsitellä laitetta ja skannata yhden rumpun. Laite tuntui hyvin helppokäyttöiseltä ja käytettävyys oli myös hyvä, vaikka painaa hieman enemmän kuin muut laitteet, koska sisältää prosessorit ja akun. Paino onkin verrattuna muihin yhdistelmiin eli skanneriin ja tietokoneeseen ehkä jopa hieman pienempi. Leoa on ainakin helpompi käyttää sen oman prosessoinnin vuoksi. Ei tarvitse liittää johtoja tietokoneeseen eikä myöskään tarvitse virtajohtoa. (AIPWorks, Antti Pellinen

Keskustelut ja esittely 16.3.2022)

8.1 Artec Leo

Artec Leo on 3D skanneri, joka tarjoaa laitteessa itsessään olevan tehokkaan automaattisen prosessoinnin. Skannerilla skannaaminen on melkein yhtä helppoa kuin videon ottaminen. Skannattaessa näkee reaaliaikaisesti 3D kopion rakentuvan laitteen kosketusnäytössä. Näytössä skannattua 3D-mallia voi pyörittää ja tarkistaa onko kaikki alueet skannattu ja uudelleen skannata alueet, jotka mahdollisesti jäivät piiloon.

Skannauksen vauhti tekee Leosta nopeimman ammattikäyttöön tarkoitetun kädessä pidettävän 3D-skannerin. Leolla pystyy skannaamaan hyvinkin suuria objekteja. Tarkempi yksityiskohtia skannattaessa, skanneria voi siirtää lähelle skannauksen kohdetta ja saada siitä yksityiskohtaisempaa dataa.

Artec Leo Sisältää sisäänrakennetun tehokkaan prosessorin ja akun. Sitä ei ole tarvetta kytkeä tietokoneeseen tai virtaan. Leolla skannatessa liikkuminen on vapaata ja sillä pystyy skannaamaan objekteja ilman johtojen tuomia rajoituksia. Akun voi vaihtaa, jos skannaus kestää pitkään tai olosuhteet ovat akkua normaalia nopeammin kuluttavia.

Laite painaa hieman enemmän kuin muut sen sisältämän sisäisen prosessorin ja akun vuoksi, mutta on käyttäjän käsiteltävissä vielä ollen noin 2,6 kg.

Leo käyttää tehokasta hybridi geometria ja tekstuuri seurantaa, tarkoittaen että skannerilla voi vain osoittaa kappaleeseen ja skannata. Ei ole mitään tarvetta liimailla tarra lappuja sinne tänne objektiin ja poistaa niitä skannauksen jälkeen. (Artec ja AIPWorks, 2022)

8.2 Esittely

Laitte-esittely pidettiin AIPWorksin tiloissa Porvoossa. Sinne kuljetettiin aikaisemmin mainitut mallikappaleet skannausta varten.

Tuotteiden skannauksen aloitimme tutustumalla ensin Artec Leo skanneriin, kuvassa 27.



Kuva 27, Artec Leo (Vartiainen 2022, CC BY-NC)

Tämän jälkeen aloitimme skannauksen ja melkein heti huomasimme, että kiiltävien metallipintojen skannaus kyllä onnistuu, mutta heijastumien takia skannattavasta kohteesta jäi osia puuttumaan, kuten kuva 28 näyttää.



Kuva 28, Skannauksen yritys ilman pinnalle suihkutettua kehitettä (Vartiainen 2022, CC BY-NC)

Joten jatkoimme skannaamista suihkuttamalla ensin skannattavan tuotteen pinnalle Aesubin itse-haihtuvaa skannauskehittettä, kuvassa 29, joka tekee pinnasta heijastamattoman.



Kuva 29, Aesub itsehaihtuva skannauskehite (Vartiainen 2021, CC BY-NC)

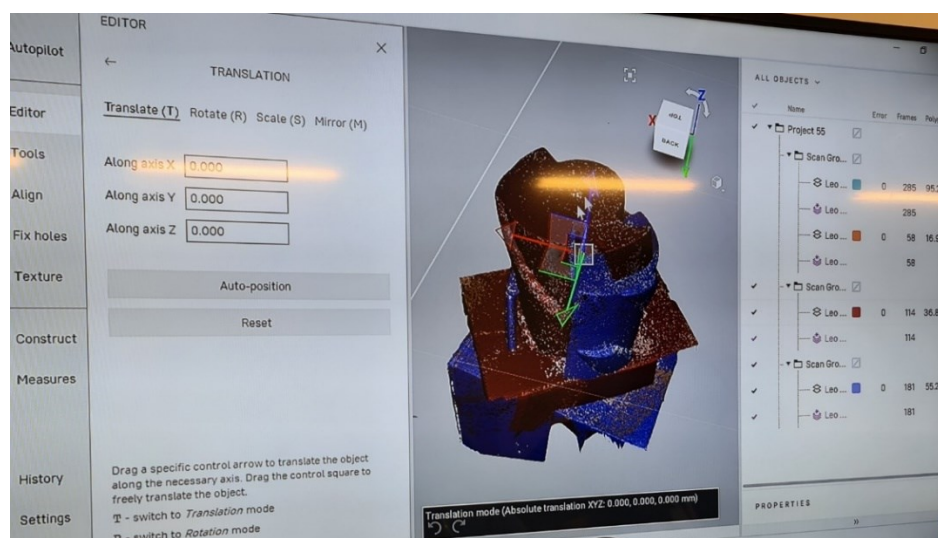
Kehitteen ansiosta skannaus oli sen jälkeen vaivatonta ja jo pakattaessa skannattuja tuotteita pois-
lähdössä, huomasimme kehitteen jo melkein kokonaan haihtuneen. Kehite muodostaa pinnalle hei-
jastamattoman matan pinnan. Kehitteellä pinnoitettu pinta kuvassa 30.



Kuva 30, Kehitteellä aikaan saatu matta pinta (Vartiainen 2022, CC BY-NC)

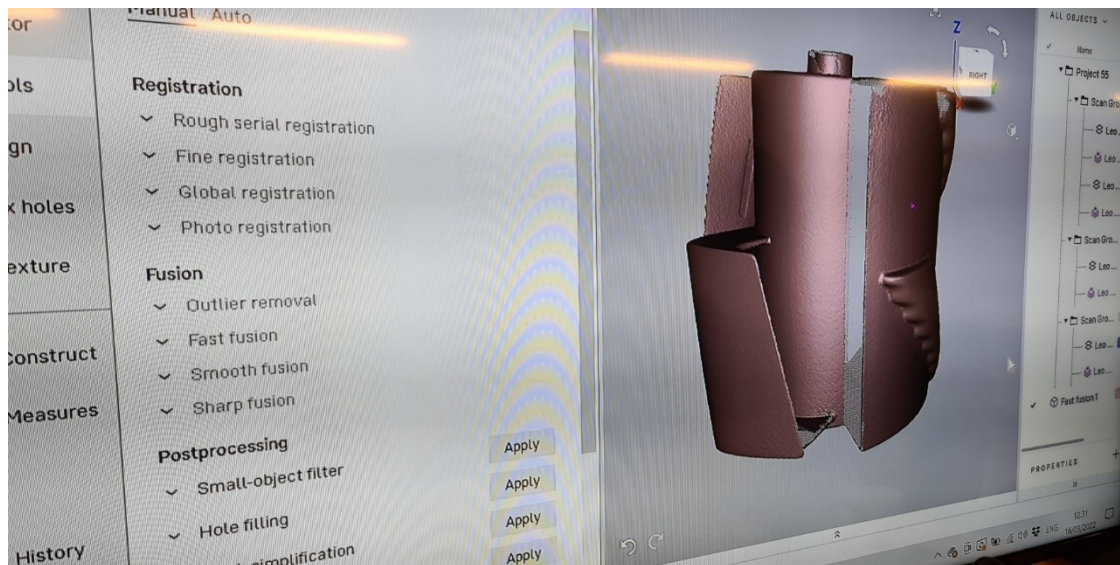
Esittely sisälsi myös hyvän näytön ohjelmistosta, jolla saadaan muokattua skannaukset kokonaisiksi mitattaviksi pintamalleiksi. Käytössä oli Artec Studio 16, johon en tässä selvityksessä paneutunut muuten kuin saamalla esittelyyn.

Ohjelmassa useaan kertaan skannatut pinnat kohdistetaan tietokoneen laskennan avulla yhdeksi kappaleeksi antamalla sille ensin muutamia kohdistus pisteitä, kuvassa 32. Laskenta osaa hakea skannauksista samankaltaisuuksia pinnanmuotojen ja tekstuuriin avulla ja yhdistää eri skannaukset toisiinsa.



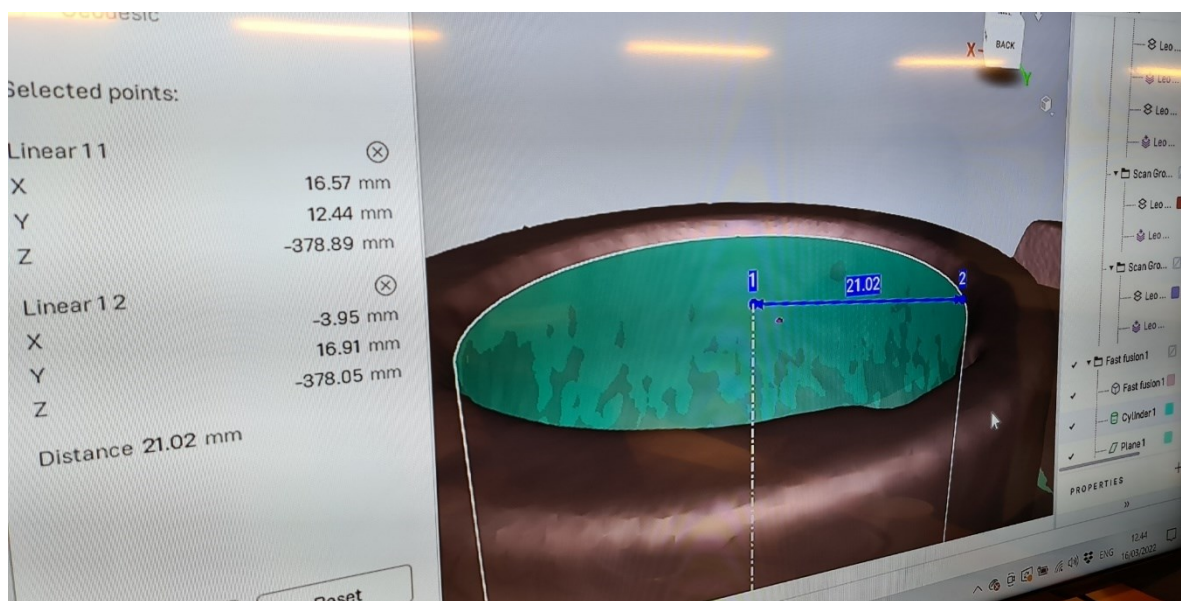
Kuva 31, Skannausten aseointi yhdeksi kappaleeksi. (Vartiainen 2022, CC BY-NC)

Asemoinnin jälkeen kolot sai täytettyä aika pitkälti tekoälyn avulla, joka tunnisti automaattisesti puuttuvia pintoja. Osa aukoista piti näyttää erikseen, että nämä täytyy täyttää ja näin saimme täysin vesitiiviin mallin, kuvassa 32.



Kuva 32, Vesitiivis pintamalli. (Vartiainen 2022, CC BY-NC)

Skannauksen tarkkuutta halusimme mitata saadusta mallista ja tarkastus mitaksi valitsin akselireiän, koska se on aina tarkkuudeltaan hyvin tarkka. Kysyin työpaikalta olevalta juuri tämän tuotteen suunnittelijalta absoluuttisen akselireiän mitan, joka sattui olemaan halkaisijaltaan 42 mm. Tehdystä pinta mallista otimme tarkasteluun akselireiän ja mittasimme siitä säteeksi 21,02 mm, kuva 33.



Kuva 33, Skannauksen tarkkuus Artec Leo skannerilla (Vartiainen 2022, CC BY-NC)

9 TAKAISINMAKSU

Kun alkaa miettimään skannauksen nopeutta verrattuna perinteisin mittausmenetelmin tehtyihin malleihin, ei voi kuin todeta, että skannerista on hyötyä myös taloudellisesti. Tarkastelen seuraavaksi teoreettisella tasolla, kuinka skanneri voisi maksaa itsensä takaisin ja mitä taloudellista hyötyä skannerista saisi. Tämä tarkastelu on tehty yleisellä tasolla käyttäen mielikuvia ei-koskettavaa menetelmää ajatellen.

Otetaan esimerkiksi suunnittelumalliksi tulleet suuret tuotteet, josta tämän opinnäytetyön ajatuksen alkoivat. Ensin yhtä tuotetta mitattiin perinteisillä mittatyökaluilla eli rullamitta, erikokoiset työntömitat, halkaisijamittanauha (sirkometri) ja erikokoisia mikrometrejä usean tunnin ajan samalla piirtäen lyijykynällä vihkoon hahmotelmaa tuotteesta mittojen kanssa. Mittausten jälkeen vihkoon saatuja mittoja ja piirteitä muutettiin 3D-malliksi Autodesk Inventorilla muutamien työpäivien ajan. Tähän tuli siis käytettyä kolmesta neljään työpäivää eli vajaa 30 tuntia yhteensä, että saatiin pintamalli tulleet tuotteesta mittaamalla ja mallintamalla. Eikä kaikkia muotoja saatu edes mallinnettu, koska suunnittelu ohjelma ei vaan pysty tuottamaan sellaisia muotoja.

Teoriassa tuotteen skannaukseen olisi mennyt alle tunti. Skannausten muuttaminen ohjelmistolla pinta malliksi noin 4 tuntia. Pintamallin muuttaminen täysin toimivaksi malliksi noin 8 tuntia. Yhteensä olisi siis samaan pisteeseen päässyt teoriassa noin 13 tunnilla 30 tunnin sijaan.

Tästä erotuksesta voidaan laskea syntyvät säästöt, mutta niitä en ala tässä työssä esittelemään.

Myös nopeutuvat asiakas käynnit toisivat säästöä työhömme ja parempaa palvelua asiakkaillemme.

Toki molempien menetelmien tarkkuus on poikkeava absoluuttisista mitoista, mutta skannauksen tarkkuus on niin hyvä, että myös siihen voidaan luottaa.

10 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli perehtyä 3D-skannaukseen, 3D-skannereihin ja takaisinmallinnukseen. Näiltä osin selvitystyössä onnistuin. Heti ensimmäisen ajatuksen myötä saimme visioita kuinka paljon 3D-skanneri helpottaisi työskentelyä ja kuinka paljon siitä mahdollisesti olisi hyötyä myös taloudellisesti.

Tutkimalla eri skannaustapoja opin paljon näistä menetelmistä ja pystyin rajaamaan skannaustavan AFT:n käyttöön. Poissuljetut tavat ovat myös hyviä skannaustapoja, mutta niissä on muutamia rajoitteita käytettävyyden kannalta. Isot koskettavat menetelmät ovat hankalia matkustustyössä ja laserkeilaimet ovat tarkoitettu suurempia kappaleita varten kuin mitä meidän tuotteemme ovat. Pienet skannerit ovat taas liian pieniä.

Skannaus tavan rajoittaminen ei-koskettaviin menetelmiin ja laitteiden rajoittaminen kädessä pidettäviin tuki tätä selvitystyötä. Ensimmäisen käsiskanneri esittelyn jälkeen tuli käsitys siitä mitä rajoituksia tulisi tehdä käytettävyyden lisäämiseksi ja tarkastelun suunta kääntyi Artec Leo skanneriin. Leon nopeus ja helppokäyttöisyys ovat mielestäni niitä asioita, joita tarvitsemaltamme skannerilta haemme.

Skannauksen nopeus, helppokäyttöisyys ja laitteiden tarkkuus on tullut sille tasolle, että voin suositella skannerin investointia tuotesuunnittelun tarpeisiin. Toki laitteesta on hyötyä muussakin toiminnassa kuin pelkästään tuotesuunnittelun käytössä. Yksi näistä käytettävistä kohteista voisi olla asiakkaiden luona tehtävät mittaukset meille tehtäviksi tulevista tuotteista sekä tiedon saanti skannamalla lajitinrunkoja. Lajitinrungoista saisimme tietää tarkat mitat, kuinka sihtirummut asettuvan lajittimeen ja se auttaisi paljon tuotteiden suunnittelussa.

3D-skanneri tulisi siis lisäämään tuotesuunnittelun työkaluja perinteisten työkalujen lisäksi. Se voisi tuoda paljon uutta tietoa AFT:lle.

LÄHTEET

Aikawa Fiber Technologies henkilökunta

Keskustelut ja ideoinnit. Ei tarkkoja aikoja.

Aikawa Fiber Technologies, Piironen Ville

<https://www.theseus.fi/handle/10024/158116>. Viitattu 26.2.2022.

AIPWorks, Antti Pellinen

Keskustelut ja esittely 16.3.2022

AIPWorks, verkkosivut, 3D-skannaus ja 3D-tulostus etäkoulutus

<https://aipworks.fi/koulutus/3d-skannaus-3d-tulostus/>. Ei tarkkaa aikaa.

Antti Pihkamäki, 3D-tulostuksen käyttö teollisuuden varaosien

valmistuksessa, 2019

<https://www.theseus.fi/handle/10024/160167>. Viitattu 26.2.2022.

ARNES, Juhani 1995.

Historiikki. Seulalevytehdas 50 vuotta. Varkaus

Artec verkkosivut, Learning center

https://www-arte3d-com.translate.goog/learning-center?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=fi&_x_tr_hl=fi&_x_tr_pto=op,wapp. Viitattu 7.3.2022.

Artec, Natalia Kivolya, 5.2.2020, How does 3D scanning technology work?

https://www-arte3d-com.translate.goog/learning-center/3d-scanning-technology?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=fi&_x_tr_hl=fi&_x_tr_pto=op,wapp. Viitattu 7.3.2022.

Artec, Matthew McMillion, 2.7.2021, What is reverse engineering?

<https://www.arte3d.com/learning-center/what-reverse-engineering>. Viitattu 7.3.2022.

Asiakastieto, verkkosivut

<https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/aikawa-fiber-technologies-oy/17306284/taloustiedot>. Viitattu 22.4.2022.

EMS. n.d. Scanning technologies.

<https://www.ems-usa.com/tech-papers/3D%20Scanning%20Technologies%20.pdf>. Viitattu 15.2.2022.

Europac3d. Polygonal mesh.

<https://europac3d.com/products/polygonalmesh/>. Viitattu 16.4.2022.

Guo, J.: Ding, F.: Jia, X. & Yan, D-M. 2018. Automatic and high-quality surface mesh generation for CAD models.

https://jianweiguu.net/publications/papers/2019_CAD_CADMeshing.pdf. Viitattu 16.4.2022.

Ikäheimonen, K. (7. 1 2016). PowerPoint esitys. AFT Varkaus Presentation

MLT Machine & Laser Technology Oy, Markus Kähkönen

Keskustelut ja esittely 1.11.2021

Mostafa, A. (2015). 3D-Laser Scanners' Techniques Overview.

<https://pdfs.semanticscholar.org/1565/dbd5fae9b785989a41d849248f3500c83628.pdf>. Viitattu 16.4.2022.

Rensi, Artec Leo verkkosivu

<https://www.rensi.fi/tuotteet/mittauskoneet/artec-3d-skannerit/artec-leo-3d-skanneri/>. Viitattu 7.3.2022.

3D Scanco. (2018) 3D Scanning Technical Information.

<https://www.3dscanco.com/3d-scanning-technical-information/>. Viitattu 7.3.2022.

Sitnik, R. & Karaszewski, M. 2008. Optimized point cloud triangulation for 3D scanning systems.

https://www.researchgate.net/publication/229838769_Optimized_point_cloud_triangulation_for_3D_scanning_systems. Viitattu 5.3.2022.

Stella. (2017). How do 3D Scanners Work?

<https://matterandform.net/blog/how-do-3d-scanners-work>. Viitattu 20.1.2022.

Twindom. n.d. 3D scanning technologies.

<https://web.twindom.com/3d-scanning-technologies-hybrid-systems/> Viitattu 5.3.2022.

Vartiainen, valokuvat 2021–2022

VUORINEN, Samuli 2015.

Historiikki. Selviytyjä- Varkauden seulalevytehdas 70 vuotta. Kuopio

Wright, I. (2016). Quality basics: How does 3D laser scanning work?

<https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12390/QualityBasics-How-Does-3D-Laser-Scanning-Work.aspx>. Viitattu 22.1.2022