



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Valtteri Lehtiranta

3D-skannerin hankinta ja käänteinen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

14.4.2021

Tekijä Otsikko	Valtteri Lehtiranta 3D-skannerin hankinta ja käänteinen suunnittelu
Sivumäärä Aika	44 sivua + 12 liitettä 14.4.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Toimitusjohtaja Kalle Sarlin, Sarlin Race Service Lehtori Tero Karttiala, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tässä opinnäytetyössä vertailtiin erilaisia 3D-skannereita yrityksen mahdollista investointia varten, joka helpottaa tietokoneella tapahtuvaa työlästä takaisinmallintamista. Työ tehtiin moottoriurheiluun erikoistuneelle yritykselle nimeltä Sarlin Race Service.</p> <p>Tavoitteena oli löytää yrityksen kriteereihin sopiva laite, joka helpottaisi vaivalloista takaisinmallintamista. Takaisinmallinnus on suuressa roolissa yrityksen toiminnassa, sillä mallinnettavat osat ovat erikoisia ja niitä tehdään vain pieni valmistuserä.</p> <p>Lopputuloksena saatiin kattava perusominaisuuksien vertailu kaappimallisista sekä kädessä pidettävistä 3D-skannereista. Lisäksi testattiin ja vertailtiin 3D-skannerien ohjelmien käyttöä esimerkikappaleella, josta valmistui raaka CAD-malli.</p> <p>Opinnäytetyössä esitellään 3D-skannaamisen teoriaperusta, vertaillaan erilaisia laitevaihtoehtoja, tutkitaan tietokoneen suorituskyvyn riittämistä suhteessa 3D-skannaamiseen, testataan erilaisia ohjelmia esimerkikappaleen mallintamisen avuksi sekä pohditaan yritykselle sopivaa ratkaisua takaisinmallintamisen helpottamiseksi.</p>	
Avainsanat	3D-skanneri, takaisinmallinnus, käänteinen suunnittelu

Author Title	Valtteri Lehtiranta Purchase of a 3D Scanner and Reverse Engineering
Number of Pages Date	44 pages + 12 appendices 14 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Kalle Sarlin, Managing Director, Sarlin Race Service Tero Karttiala, Senior Lecturer
<p>This thesis compared various 3D scanners for a possible investment by a company. The objective was to facilitate computer aided reverse engineering. The thesis was carried out for a motorsports company Sarlin Race Service.</p> <p>The goal was to find a 3D scanner device that fits the company's criteria and would make reverse engineering easier. Reverse engineering plays a major role in the company's operations as the modelling parts are special and are manufactured only in small batches.</p> <p>The result was a comprehensive comparison of the basic features from closet-like and hand-held 3D scanners. In addition, the use of 3D scanner programs was tested and compared with an example piece from which the raw CAD model was completed.</p> <p>The thesis presents the theoretical basis for 3D scanning, compares different device exchange conditions, and examines the sufficiency of computer performance in relation to 3D scanning. Furthermore, the thesis examines and tests various programs to help model the sample piece. Finally, an appropriate solution is suggested for the company to facilitate reverse engineering.</p>	
Keywords	3D Scanner, reverse engineering

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tavoite	1
1.2	Sarlin Race Service	1
2	3D-skannaustekniikan esittely	3
2.1	3D-skannauksen peruskäsitteet	4
2.2	3D-skannerien toimintaperiaatteet	6
2.2.1	Koskettavat menetelmät (Contact)	7
2.2.2	Ei-koskettavat menetelmät (Non contact)	9
2.2.3	Ei-koskettavat aktiiviset menetelmät	9
2.2.4	Ei-koskettavat passiiviset menetelmät	14
2.3	Erilaiset skannerimallit	15
3	Laitteiden vertailu, tietokone ja ohjelmat	20
3.1	3D-skannerit	20
3.2	Tietokone ja suorituskyky	27
3.3	Ohjelma	30
4	Skannattu kappale ja takaisinmallintaminen	34
5	Yhteenveto	39
	Lähteet	41

Liitteet

Liite 1. 3D-skannerien teknisten tietojen vertailu 1/2021

Liite 2. Tietokonemallien vertailu 1/2021

Liite 3. Solutionix C500 Teknisten tietojen esite

Liite 4. Solutionix D700 Teknisten tietojen esite

Liite 5. Artec Space Spider Teknisten tietojen esite

Liite 6. Artec Micro Teknisten tietojen esite

Liite 7. Artec Eva Teknisten tietojen esite

Liite 8. Artec Leo Teknisten tietojen esite

Liite 9. Creaform Go!SCAN Spark Teknisten tietojen esite

Liite 10. Creaform HandySCAN 300 ja 700 Teknisien tietojen esite

Liite 11. Creaform HandySCAN 307, 45 ja 55 Teknisien tietojen esite

Liite 12. ZEISS T-SCAN hawk Teknisten tietojen esite

Lyhenteet

3D	Three dimensional, Suom. kolmiulotteinen
3D-skannaus	Kolmiulotteista etäisyydenmittausta
3D-laserskannaus	Lasersäteen avulla tapahtuva kolmiulotteinen etäisyydenmittaus.
Baltic GT	Rata-autoilun kilpasarja
CAD	Computer Aided Design, Suom. Tietokoneavusteinen suunnittelu
Control X	CAD-mallinnusohjelma
Cross-section	Poikkileikkaus VxModel ohjelmassa
Design X	CAD-mallinnusohjelma
FIA	Federation Internationale De L'automobile
FIA NEZ	FIA North European Zone
Inventor	CAD-mallinnusohjelma
LED	Light-emitting Diode, Suom. Hohtodiodi, ledi on puolijohde, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta.
Sketch	CAD-ohjelmassa luonnos piirtotaso
Solidworks	CAD-mallinnusohjelma
Solid Edge	CAD-mallinnusohjelma

SSD	Solid-State Drive, Suom. Puolijohdelevy. Tietokoneen massamuisti, johon voi tallentaa tietoa. Nopeampi, kuin vanhat HDD-massamuistikiintolevyt.
Super Saloon	Rata-autoilun kilpasarja
Polygon	Monikulmio muoto
Polyworks Inspector	CAD-mallinnusohjelma
USB	Universal Serial Bus, Sarjaväyläarkkitehtuuri, Tapa kiinnittää oheislaitteita tietokoneisiin.
USB 3.0	Sarjaväyläarkkitehtuuri, jolla on entistä USB 2.0 yli kymmenen kertaa nopeampi tiedonsiirtonopeus. USB 3.0 sisältää kaksi tiedonsiirtoväylää, kun aiemmissa versioissa on vain yksi.
Vertex CAD	Suomalainen CAD-mallinnusohjelma
.STEP	CAD-ohjelmien yksinkertainen tiedostomuoto
.STL	3D-skannerien tuottama tiedostomuoto pistepilvälle, Stereolithography (STL)

1 Johdanto

Opinnäytetyö tehdään Sarlin Race Service Oy:lle, joka on erikoistunut kilpa-ajoneuvojen osien maahantuontiin, valmistukseen sekä myyntiin. Kilpa-ajoneuvoissa samoja osia kuuluu vain muutama kappale yhteen ajoneuvoon. Tästä syystä kappaleiden valmistussarjat ovat usein hyvin pieniä, ainoastaan 2 - 10kpl. Lisäksi kappaleet voivat olla muodoltaan erittäin haasteellisia.

1.1 Tavoite

Opinnäytetyössä tutkitaan 3D-skanneritekniikkaa ja erilaisia 3D-skanneri laitevaihtoehtoja. Tavoitteena on löytää yrityksen takaisinmallintamisen tueksi sopiva 3D-skanneri. Takaisinmallintaminen on työlästä ja 3D-skannerilla voidaan lievittää takaisinmallintamisen aiheuttamaa työkuormaa. Työssä selvitetään laite, joka on paras mahdollinen ratkaisu yrityksen tarpeisiin ominaisuuksiltaan ja hinta-laatusuhteeltaan. 3D-skannerit vaativat käytettävältä tietokoneelta suurta laskentatehoa. Työssä tutkitaan yrityksen olemassa olevan tietokoneen riittämistä 3D-skannaamiseen ja riittävyttä 3D-skannatun kappaleen työstämiseen. 3D-skannerien käytön tukena on laitteen valmistajan oma ohjelma. Tavoitteena on selvittää ohjelman toimivuus takaisinmallintamisen tukena. Eri ohjelmia ja niiden toimintoja vertaillaan testikappaleen avulla.

1.2 Sarlin Race Service

Sarlin Race Service on pieni ajoneuvojen varaosien ja erityisesti kilpaosien maahantuoja, myyjä sekä valmistaja. Yrityksen liikevaihto on yli miljoona euroa ja yritys työllistää 7 henkilöä Riihimäellä. Sarlin Race Team on perustettu vuonna 1985. Toiminta alkoi, kun Kalle Sarlinin (perustaja, toimitusjohtaja) oma kilpailu-ura oli alullaan. Alussa yrityksen toiminta kohdistui vain omaan kilpailutoimintaan liittyen. Omaan kilpa-autoon tarvittiin osia ulkomailta ja samalla tilattiin osia myös muille tahoille. Toiminta painottui autojen ja erityisesti kilpa-autojen rakentamisen ympärille. [1.]

Tärkeä vaihe SRT:in historiassa oli tiimin oman Ford Escort RS Cosworth rata-auton rakentaminen sekä sillä moniin kilpailuihin osallistuminen. Vuosina 1996 ja 1997 Super Saloon -luokkaan rakennettu kilpa-auto on edelleenkin osoitus tiimin vankkumattomasta teknisestä osaamisesta. Tällöin omaa kilpa-autoa rakennettaessa muodostui nykypäivänä tärkeät suhteet ulkomaisiin tavarantoimittajiin, joiden maahantuojana SRT toimii edelleen Suomessa. Pikkuhiljaa oman kilpa-auton rakentamisen ohella myyntitoiminta alkoi laajentua ammattimaiseksi osamyynniksi. Erinäisiin kilpailuihin osallistuttiin ja niitä voitettiin 2000-luvun alkupuolella. Mainittakoon merkittävimpinä saavutuksina FIA NEZ -mestaruus Baltic GT -luokassa kaudelta 2005. Samana vuonna voitettiin myös Viron ja Latvian mestaruus. Erinäiset mestaruudet itsessään ovat osoitus vahvasta teknisestä osaamisesta sekä tarkkuudesta omassa kilpa-autoilussa, joka näkyy myös yritystoiminnassa. Pikkuhiljaa osamyynti alkoi viedä yhä enemmän aikaa kilpa-autoilulta ja tiimi alkoi erkaantua. Vuonna 2008 yritys alkoi keskittyä pelkästään osien myyntiin, valmistamiseen ja muiden kilpa-autoilijoiden auttamiseen. Tällöin oma kilpa-autoilu-ura lopetettiin. Sarlin Race Team ja SRT ovat Sarlin Race Servicen virallisia aputoiminimiä. [1.]

2 3D-skannaustekniikan esittely

3D-skannaus tarkoittaa teknologiaa, jonka avulla voidaan analysoida jokin reaali maailman kohde kuten kappale, rakennus tai jopa kokonainen maastoalue. 3D-skannaus on nopea tapa mallintaa muodostaan riippumaton objekti reaali maailmasta 3D-malliksi tietokoneen näytölle. [2, 8.]

3D-skanneri on laite, jonka tehtävänä on analysoida reaali maailman kappaletta ja tuottaa digitaalista dataa sen muodosta, ulkonäöstä sekä värityksestä. Laite tallentaa laitteesta riippumatta suuren joukon skannatun kohteen pinnan pisteitä, joilla kaikilla on omat x-, y- ja z-koordinaattinsa. Nämä pisteet muodostavat pistepilven. Pistepilven pisteistä muodostuu kolmioverkosto, joka jäljittelee skannatun kohteen muotoa. Kolmioverkosta saadaan tarvittavien muokkauksien jälkeen muodostettua kokonainen kolmiulotteinen malli tietokoneohjelmalla. 3D-malli ei kuitenkaan ole suoraan valmis tarkka CAD-malli, vaan käyttökelpoisen sekä jatkojalostettavan CAD-mallin luominen vaatii lisää mallinnustyötä. [2.]

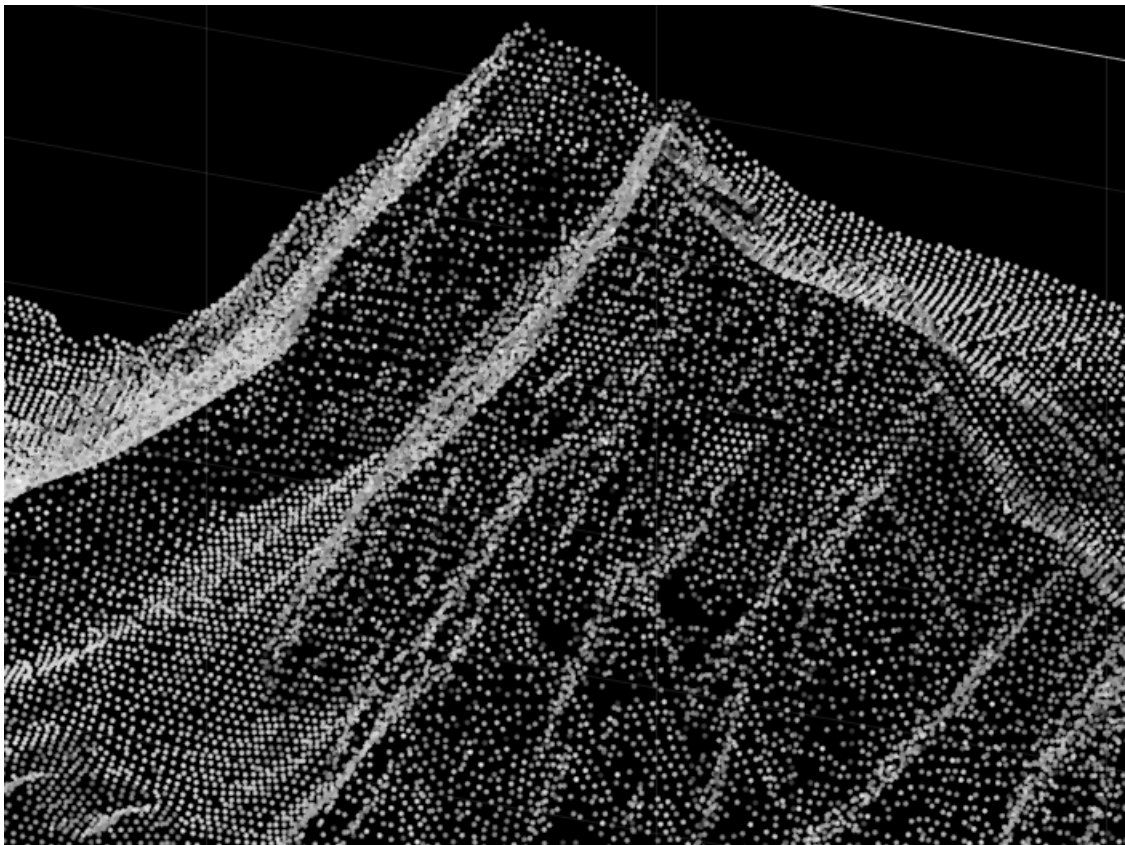
Yleisimmin 3D-skannerit koostuvat kahdesta pääosasta säteilylähteestä ja kamerasta. Säteilylähde lähettää säteilyä kappaleen pinnalle, jolloin kamera rekisteröi palaavan säteilyn muodostaen kolmiulotteisen mallin. Useat 3D-skannerit tarvitsevat näiden osien lisäksi tietokoneen ja ohjelmiston skannausdatan käsittelyyn. [2.]

Käyttökohteita laitteille ovat esimerkiksi: Teollisuuden suunnittelutyössä, prototyyppien luonti, erilaisten proteesien tuotanto, laaduntarkkailu, viihdeteollisuudessa elokuvien ja pelien tuotannossa sekä takaisinmallinnuksessa (Eng. Reverse Engineering). Tässä insinööriyössä esitellään peruseriaatteet 3D-skannereista ja keskitytään ainoastaan yrityksen tarpeen kannalta keskeisimpään sovellukseen eli takaisinmallinnuksessa 3D-skannaamisen hyödyntämiseen. [3, 4, 8.]

2.1 3D-skannauksen peruskäsitteet

Pistepilvi

Pistepilvi on suuri joukko 3D-skannerilla analysoidun kohteen pinnan mittapisteitä, joilla kaikilla on omat x-, y- ja z-koordinaattinsa. Tämä suuri joukko mittapisteitä muodostavat kolmiulotteisen pistepilven. Kuvassa 1 nähdään Itävallan Alpeista skannattu pistepilvi. Työssä myöhemmin käsiteltävän testikappaleen mallin pistepilvi muodostuu 485 000 mittapisteestä ja käsittelyn jälkeen lähes 900 000 mittapisteestä. [7, 12.]



Kuva 1. Pistepilvi Itävallan Alpeilta ilmalaserkeilamalla skannattuna. [37]

Mesh, Kolmioverkko

Eng. Mesh eli kolmioverkko on verkosto pieniä kolmioita, jotka muodostavat skannatun pinnan muodon. Jokainen kolmio muodostuu analysoidun pinnan mittapisteistä. Kolmioverkko lisää pistepilven mittapisteiden välille viivat muodostaen kolmiot. Kuvassa 2 nähdään pistepilven perusteella muodostettu kolmioverkko Itävallan Alppien pinnan muodoista. Työssä myöhemmin käsiteltävän testikappaleen mallin kolmioverkko muodostuu 900 000 kolmiosta ja käsittelyn jälkeen lähes 1 800 000 kolmiosta. [7.]



Kuva 2. Itävallan Alppien pistepilven perusteella muodostettu mesh, kolmioverkko. [37]

Mesh-resoluutio

Mesh-resoluutio eli kolmioverkonresoluutio määrittää skannauksen mittapisteistä muodostuvan kolmion koon. Jos verkkoresoluutio on pieni se sisältää enemmän mittapisteistä muodostuvia kolmioita, jolloin skannausdata sisältää enemmän tietoa kappaleen yksityiskohdista. Verkkoresoluutio määrittää skannaustiedoston koon. Käyttäjä määrittelee sopivan verkkoresoluution ennen skannaamista, jolla voidaan määrittää, kuinka yksityiskohtainen skannatusta 3D-mallista tulee. [7.]

Mittausresoluutio

Mittausresoluutio tarkoittaa mittauspisteiden välimatkaa 3D-mallissa. Jos mittausresoluutio on pieni, se tallentaa enemmän yksityiskohtia skannattavasta kappaleesta. Esimerkkinä Artec Evan mittausresoluutio on 0.2 mm, jolloin mittapisteet ovat 0.2 mm välein skannausdatassa. [6.]

Volumetrinen tarkkuus

Volumetrinen tarkkuus tarkoittaa skannerin tarkkuutta mitta-alueen kasvaessa. Valmistaja ilmoittaa arvon yleensä $0,0x \text{ mm} + 0,xx \text{ mm/m}$. Artec Evan volumetrinen tarkkuus on $0.1 \text{ mm} + 0.3 \text{ mm/m}$. Mitä suurempaa kappaletta laitteella skannataan, sitä enemmän siihen tulee mittavirhettä, johtuen skannausetäisyyden kasvamisesta. [6.]

Tähystarra, paikoitustarra

Tähystarra on pieni ympyrän muotoinen heijastava teippi (kuva 3). Tähystarroja käytetään skannerien aseman kartoittamiseen. Skanneri analysoi kappaletta ja liittää paikoitukseen tähystarran sijainnin. Tavallisimmin tähystarra on reunoiltaan musta ja keskeltä valkoinen ympyrän muotoinen tarra. Tähytarrasta käytetään myös termiä paikoitustarra.



Kuva 3. Kappaleessa kiinni olevat tähystarrat.

2.2 3D-skannerien toimintaperiaatteet

3D-skannerit jaotellaan yleisesti kahteen pääluokkaan; koskettaviin (Contact) ja ei-koskettaviin skannereihin (Non contact). Ei-koskettavat skannerit jaotellaan edelleen kahteen pääluokkaan; aktiivisiin ja passiivisiin skannereihin. Riippuen laitteesta 3D-skanneri antaa yleisimmin datanaan etäisyysmittoja, koordinaattipisteitä tai kokonaisia pistepilviä. Tietokoneohjelma muodostaa kokonaiskuvan analysointidatasta, mutta osa laitteista suorittaa sen itsenäisesti. [2, 4.]

2.2.1 Koskettavat menetelmät (Contact)

Koskettavat 3D-skannerit toimivat kiinteällä alustalla ja sisältävät anturin, joka sijaitsee nivelletyn mekaanisen varren päässä. Tällaista skanneria voidaan ohjata manuaalisesti tai automaattisesti. Kun anturi koskettaa analysoitavan kappaleen pintaa, skanneri tallentaa anturin x-, y- ja z-sijainnin mitat kolmiulotteiseen avaruuteen. Nämä tallennetut pisteet muodostavat pistepilven, jota käytetään kolmioverkkojen (mesh) laskemiseen. Koskettava 3D-skannausmenetelmä on erittäin tarkka, mutta varjopuolenaan se on hidas. Herkästi rikkoutuvien kappaleiden analysointiin menetelmä ei sovellu, sillä fyysinen kosketus voi aiheuttaa muodonmuutoksia tai, jopa vaurioita skannattavan kappaleen pintaan. [4, 7.]

Koordinaattimittauskoneet (Coordination Measuring Machine, CMM)

Koordinaattimittauskoneet analysoivat kohdetta fyysisen kosketuksen avulla. Laitetta voidaan ohjata manuaalisesti tai automaattisesti tietokoneen avulla. Analysoitavan kappaleen mittaukset määritellään anturilla, joka on kiinnitetty mittakoneen liikkuvaan akseliin. Mittakoneessa on jokaiseen liikesuuntaan liikkuvat x-, y- ja z-akselit. Käytössä olevat anturit voivat olla mekaanisia, optisia, laser, tai strukturoitua valoa hyödyntäviä. [4, 5, 20.]

Koordinaattimittauskoneita käytetään yleisimmin tuotteiden valmistuksen tukena ja ne ovat erittäin tarkkoja. Laitteen hyvä sekä huono puoli on sen vaatima kosketus kappaleeseen. Tällöin saadaan erittäin tarkka koordinaattipiste analysoitavan kappaleen osasta, mutta jokaiseen koordinaattipisteeseen liikkuminen on hidasta. Koordinaattimittakoneista on kehitetty uusia versioita, joissa mittaaminen ei perustu enää yhden pisteen kerrallaan analysointiin. Uudemmissa versioissa mittapään anturi kulkee pintaa myöden ja kerää tietyn väliajoin koordinaattipisteitä. Tällainen menetelmä on tarkempi ja huomattavasti nopeampi, kuin perinteinen koordinaattimittakoneen menetelmä. [4, 5, 20.]

Koordinaattimittakone koostuu kolmesta pääkomponentista; Pääkoonpanosta, jossa on kolme liikkuvaa akselia, mittausjärjestelmästä, tiedonkeruu- ja vähennysjärjestelmästä, joka sisältää koneohjaimen, tietokoneen ja ohjelmiston. Kuvassa 4 on tyypillinen koordinaattimittauskone Axiom too. [4, 5.]



Kuva 4. Axiom too Koordinaattimittauskone, CMM. [44]

Mittavarsi

Mittavarsi 3D-skannerin tekniikka on samanlaista, kuin koordinaattimittauskoneenkin. Laitteisto on kiinnitettynä pöytään ja siinä olevan nivelletyn mittavarren päässä olevaa kosketuspäätä liikutetaan manuaalisesti käyttäjän toimesta. Etuja koordinaattimittalaitteistoon verraten on mahdollisuus liikuttaa laitteisto paikasta toiseen. Toinen olennainen etu on mahdollisuus skannata suurempia kappaleita, sillä laitteiston runko ei ole skannattavan kohteen koon määrittävänä tekijänä. Mittavarsilaitteistosta käytetään myös nimitystä mittausvarsi. [4, 5, 19.]

2.2.2 Ei-koskettavat menetelmät (Non contact)

Ei-koskettavat skannerityypit eivät nimensä mukaan kosketa analysoitavan kappaleen pintaa. Ne perustuvat aktiivisiin tai passiivisiin skannausmenetelmiin. Lopputuloksena on kuitenkin tarkka pistepilvi. [4.]

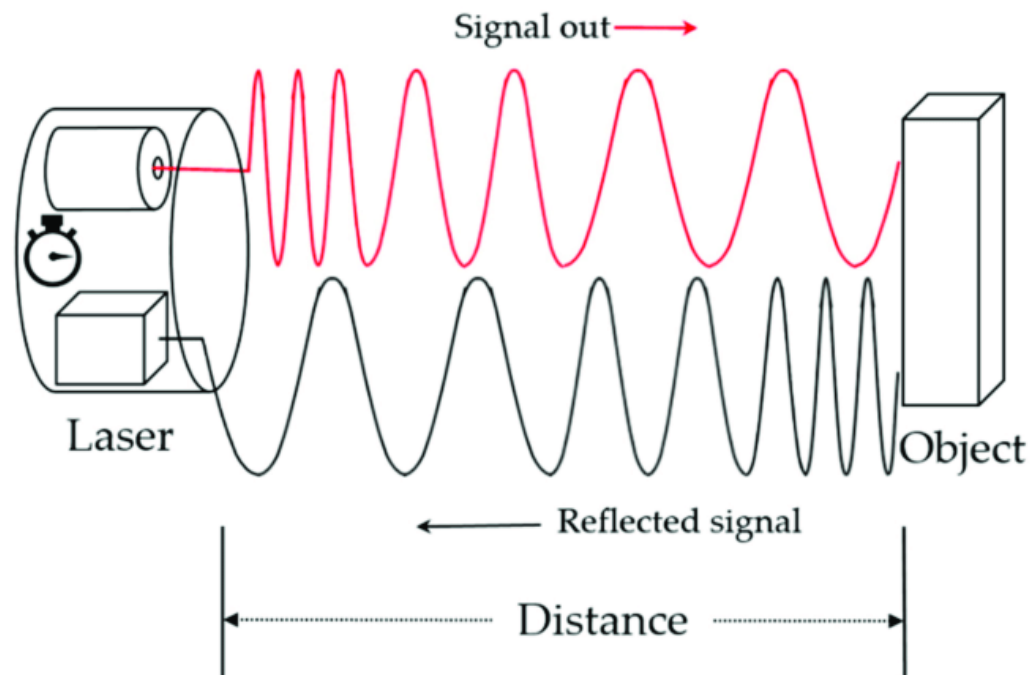
2.2.3 Ei-koskettavat aktiiviset menetelmät

Aktiivisien skannerien toiminta perustuu jonkinlaisen säteilyn lähettämiseen ja sen heijastuksen havainnointiin analysoitavan kohteen tai ympäristön tutkinnassa. Lähetettävä säteily voi olla valoa, ultraääntä tai röntgeniä. Laseriin perustuva 3D-laserskannaus voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, jotka ovat valon kulkunopeuteen eli lentoaikaan perustuvat menetelmät (TOF, Time of Flight), vaihe-ero (Phase Shift) ja kolmiomittaus (Triangulation). Näitä skannaustekniikoita käytetään yleensä itsenäisesti, mutta ne ovat yhdistettävissä muihin tapoihin, jolloin saadaan erilaisia hybriditekniikoita. Tässä työssä ei käsitellä kaikkia tekniikoita, vaan ainoastaan työn kannalta olennaisimmat ja yleisimmin käytössä olevat tekniikat. Muita tekniikoita ovat mm. Pulssilaser (Pulse based), Strukturoitu valo (Structured Light), Konoskooppinen holografia (Conoscopic Holography), Moduloitu valo (Modulated Light), Tilavuuteen perustuvat tekniikat (Volumetric Techniques), Tomografia (Tomography). [4.]

Lentoaikaan perustuvat menetelmät (Time of Flight, TOF)

Lentoaikaan eli valonkulkunopeuteen perustuva laserskanneri käyttää laservaloa kohteen analysoimiseen (kuva 5). Sensori havaitsee pinnan etäisyyden ajoittamalla valopulssin edestakaisen ajan. Laseria käytetään valopulssin lähettämiseen. Aika, joka kuluu valopulssin havainnointiin sensorilla määrittää tämän etäisyyden. Valon nopeus on tiedossa, joten edestakainen aika määrittää valon matkaetäisyyden, joka on kaksinkertainen skannerin ja pinnan väliseen etäisyyteen nähden, sillä valo kulkee kohteeseen ja takaisin. Tällaisen laserskannerin tarkkuus riippuu todella paljon siitä, kuinka tarkasti ajan pystyy mittaamaan. Sensori havaitsee vain yhden mittapisteen kerrallaan. Skanneri analysoi kuitenkin koko näkökenttensä ja vaihtaa suuntaansa kaikkien pisteiden skannaamiseksi. Näkymä suuntasensorissa voidaan muuttaa, joko kiertämällä itse sensoria tai käyttämällä pyörivien peilien järjestelmää. Pyörivien peilien järjestelmä on yleisempi,

sillä peilit ovat kevyempiä ja niitä pystytään kiertämään nopeammin sekä tarkemmin. Tämän tyyppiset laserskannerit voivat mitata noin 10 000–100 000 pistettä sekunnissa. TOF-menetelmä tunnetaan myös nimellä aikaeromenetelmä. [2, 4.]

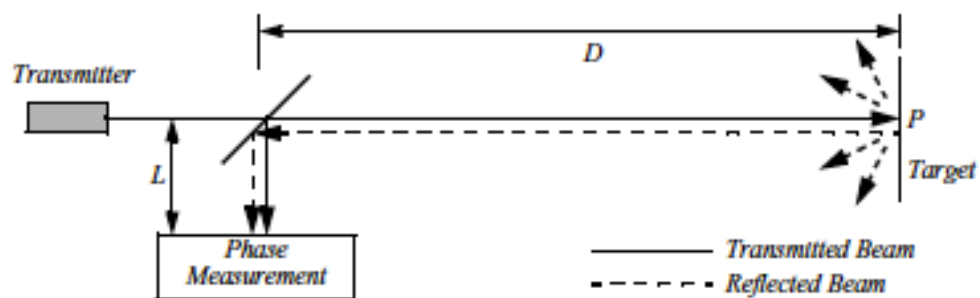


Kuva 5. Time of Flight, TOF toimintaperiaate. [40]

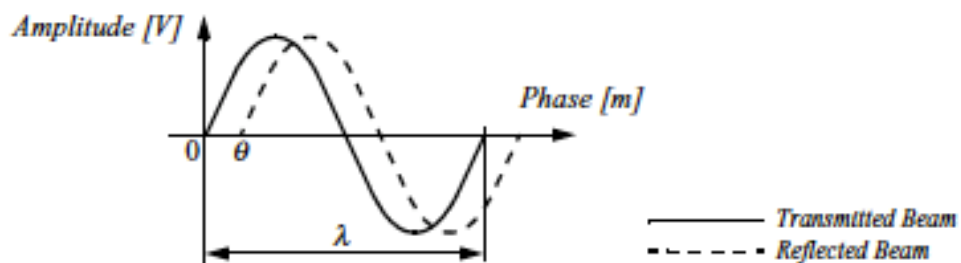
Lentoaikaan perustuvien skannereiden etuna on suuri käyttöetäisyys, joka voi olla jopa muutaman kilometrin. Skannerit soveltuvat hyvin isojen kokonaisuuksien skannaamiseen, kuten rakennuksien tai maaston skannaamiseen. Huonona puolena on epätarkkuus, sillä mitä pidemmältä laserkeilaa käytetään, sitä enemmän se levenee ja keilan tarkkuus huononee. Tarkkuudessa päästään vain millimetrien tarkkuuteen. [2, 4.]

Vaihe-ero (Phase Shift)

Vaihe-ero laserskannerit toimivat vertaamalla heijastuneen signaalin vaihe-eroa tietyllä aallonpituudella (kuva 6). Signaalia moduloidaan siniaallolla tai useampia kanta-aallonpituuksia sisältävällä signaalilla. Kohteen etäisyys saadaan mittaamalla kohteeseen lähetetyn ja kohteesta heijastetun signaalin vaihe-ero. Lähetetty säde on jatkuvaa signaalia. Mitä pidemmäksi etäisyys menee, sitä pidemmäksi lähetetyn signaalin aallonpituus kasvaa. Tämä heikentää mittaustuloksen tarkkuutta. Tällaisen tavan käyttöetäisyys on korkeintaan 300 m. Mittausetäisyydessä määrittävinä tekijöinä pidetään lähetystehoä sekä kanta-aallon modulaatiota. [2, 4, 5, 9, 45.]



Schematic of laser ranging by phase-shift measurement.

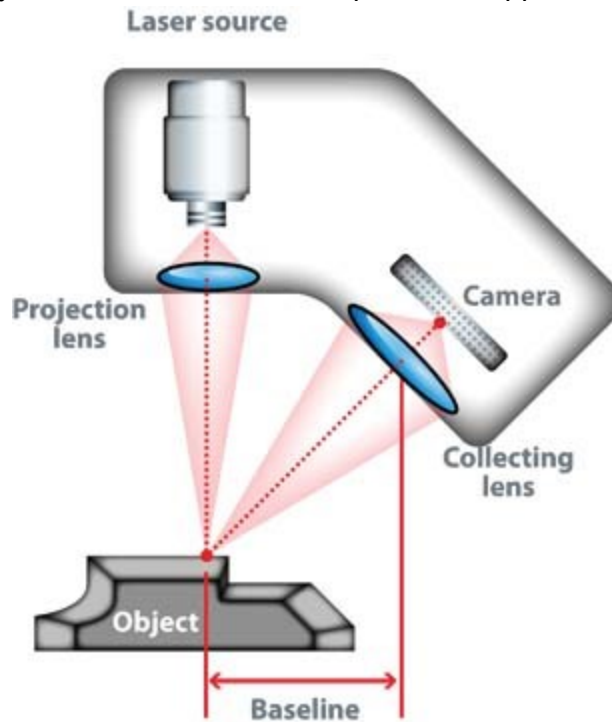


Range estimation by measuring the phase shift between transmitted and received signals.

Kuva 6. Vaihe-ero menetelmän toimintaperiaate. [39]

Kolmiomittaus (Triangulation)

Kolmiomittaukseen perustuvat laserskannerit lähettävät lasersäteen analysoitavaan kohteeseen ja ne käyttävät kameraa havainnoimaan laserpisteen sijainnin (kuva 7). Laserpiste näkyy kameras näkökentällä eri paikoissa riippuen lasersäteen osumakohdasta



Kuva 7. Kolmiomittauksen toimintaperiaate. [38]

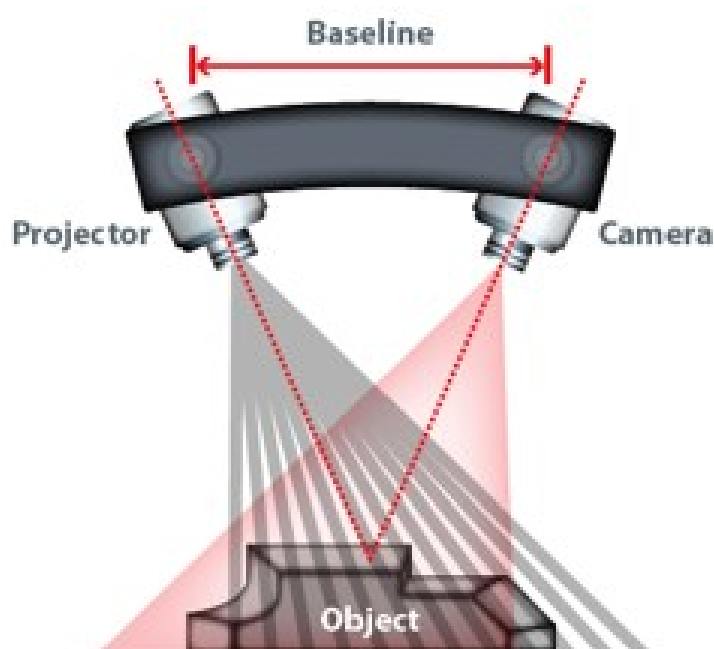
kappaleeseen. Menetelmän kolmiomittausnimitys tulee siitä, että laserpiste, kamera ja laserlähtetin muodostavat kolmiomuodon. Kolmion toisen kyljen pituus, laserlähtetimen kulma sekä kameras ja lähtetimen välinen etäisyys ovat tunnettuja. Kamerakulma määritetään sen mukaan, missä kohdassa kameras näkökenttää laserpiste sijaitsee. Näiden tietojen avulla voidaan määrittää täydellisen kolmion muoto ja koko. Useimmissa kolmiomittaukseen perustuvissa skannereissa käytetään laserpisteen sijasta kokonaista laserserviivaa nopeuttaakseen skannaustoimintaa. Tällöin skannattavia koordinaattipisteitä saadaan useita samalla kertaa, jolloin laitteella ikään kuin maalataan skannattavan kohteen pintaa. Kolmiomittaukseen perustuvien skannerien etuna on todella hyvä tarkkuus, mutta puolestaan skannerien käyttöetäisyys on erittäin rajallinen ollessaan vain muutamia metrejä. [4.]

Pulssilaser (Pulse based)

Pulssilaserin toiminta perustuu laser- tai infrapunavalon säteen lähettämiseen pulsseitain kohteen pinnalle. Lähetetyt säteet heijastuvat pinnalta takaisin skanneriin muodostaen skannattavan kappaleen muodon. Tällaisella menetelmällä voidaan skannata yhden metrin tai, jopa muutaman kilometrin pituisia matkoja. Pulssilaserin nopeus on sidottu sen etäisyyteen skannattavaan kohteeseen. Lähetetyn pulssin tulee palata takaisin laitteen sensoriin ennen, kuin toinen uusi pulssi voidaan lähettää skannattavan kohteen pinnalle. Tällöin etäisyyteen vaikuttaa pulssin lähetysteho sekä toistotaajuuden määrittämä säteen enimmäiskulku-aika. [5, 9.]

Strukturoitu valo (Structured light)

Strukturoituun valoon perustuvat 3D-skannerit heijastavat raidallisen valokuvion kohteeseen ja tarkastelevat kuvion raitojen muodonmuutosta (kuva 8). Tällainen kuvio voi olla joko yksiulotteinen tai kaksiulotteinen. Yksiulotteinen kuvio on yksinkertainen viiva. Viiva heijastetaan kohteeseen sinisellä tai valkoisella LED-valolla. Kuviota analysoimassa on kamera, joka tarkastelee viivan muotoa. Kamera laskee viivan jokaisen pisteen etäisyyden vastaavalla periaatteella, kuin kolmiomittauksessa. Kaksiulotteinen kuvio voi olla pe-



Kuva 8. Strukturoidun valon toimintaperiaate. [38]

räkkäisiä viivoja tai ruudukko. Tässä tilanteessa kamera tarkastelee kuvion muodonmuutosta, jolloin monimutkaisen algoritmin perusteella lasketaan pisteiden etäisyys kuviosta. [2, 4, 9.]

Strukturoidun valon etuna on sen prosessointinopeus. Strukturoituun valoon perustuvat skannerit skannaavat useita pisteitä samanaikaisesti tai jopa kokonaisen näkökenttensä kerrallaan. Nopea skannausnopeus vähentää liikevääristymien muodostumista. Skannausnopeus voi jopa poistaa liikkuvien kohteiden, kuten ihmisen itsensä, skannattavuuden ongelman. Puolestaan strukturoidun valon haittapuolena on huono skannaamisen tarkkuus haastavissa paikoissa. Jos kohde sisältää reikiä, tukoksia tai äkkinäisiä syvyyden muutoksia, lähetetty kuvio saattaa hajota. Tällöin viivat ovat piilossa ja saattavat näyttää vaihtavan järjestystään, mikä johtaa viivan epäselvyyteen ja huonoon tarkkuuteen skannaustuloksessa. Ongelma voidaan ratkaista käyttämällä sopivia monimutkaisempia algoritmeja, muttei se poistu täysin. [2, 4, 5, 9.]

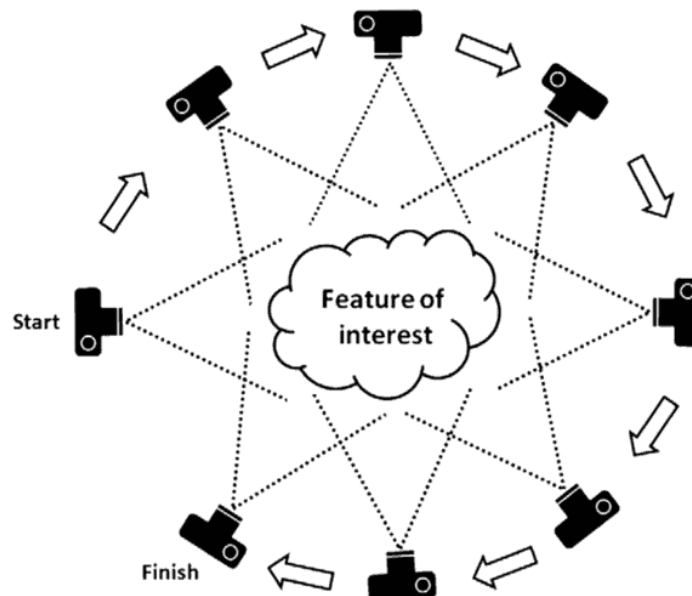
2.2.4 Ei-koskettavat passiiviset menetelmät

Passiiviset skannerit eivät itse säteile minkäänlaista säteilyä, vaan perustuvat muun ympäristön heijastavan säteilyn havainnointiin. Useat tällaiset skannerit havaitsevat näkyvän valon, joka on helposti saatavilla olevaa säteilyä ympäristössä. Passiiviset skannerit ovat usein edullisia, sillä niiden toiminta on enemmän digitaalikameran tyyppistä. Tällaisia skannereita ovat esimerkiksi; Stereoskooppiset videoskannerit, fotometriset skannerit, siluettiskannerit ja kuvapohjaiset mallinnusskannerit. [4.]

Aktiiviset skannerit toimivat lähettiminä ja vastaanottimina omalle säteilylleen, joka voi olla röntgen, ultraääni tai valo. 3D-laserskannerin toiminta perustuu yleisimmin valon kulunopeuteen, laserin vaihe-eroon tai kolmiomittaukseen. Passiiviset skannerit eivät itse lähetä säteilyä tai valoa, vaan ainoastaan havaitsevat säteilyä, kuten auringonvaloa tai infrapunasäteilyn heijastumista. Passiivinen skanneri on tekniikaltaan yksinkertaisin ja usein tällaiset skannerit ovat edullisempia kuin aktiivisiin menetelmiin perustuvat mallit. [4.]

Fotogrammetria (Photogrammetry)

Fotogrammetria tarkoittaa kohteen kolmiulotteista kuvaamista kohteesta otetuilla valokuvilla. 3D-mallintamisessa voidaan hyödyntää digitaalikameralla otettuja valokuvia. Fotogrammetriassa kameralla otetaan kuvia eri kuvakulmista kappaleen ympäriltä, kuten kuvassa 9 on havainnollistettu. On tärkeää, että kappale on asetettuna valkoiselle taustalle, ettei taustan väritys häiritse jatkotoimenpiteitä. Kuvattava kohde kuvataan tarkasti kokonaan ympäri 10–15 asteen välein. Tämän lisäksi kohde kuvataan ylhäältä ja alhaalta päin. Kaikki otetut kuvat asetetaan ohjelmassa oikeille tasoilleen. Kuvien perusteella pystytään leikkaamaan toisia kuvia ja saamaan oikeat muodot mallista esille. Fotogrammetriassa on erittäin tarkkaa, että kuva otetaan kohtisuoraan, ettei siihen tule toleranssiheittoa. Valokuvien käsittelyyn on omia itsenäisiä ohjelmia, mutta jotkin CAD-mallin-
 nusohjelmat tukevat suoraan fotogrammetriaa. [9, 10, 14, 41.]



Kuva 9. Fotogrammetriassa kappale kuvataan monesta eri suunnasta kappaleen hahmottamiseksi. [41]

2.3 Erilaiset skannerimallit

3D-skannerit voidaan jaotella niiden käytettävyyden perusteella alalajeihin: Kädessä pidettäviin skannereihin, nivelvarsiskannereihin, kaappimallisiin skannereihin sekä laserkeilaimiin. [11.]

Kädessä pidettävät skannerit

Kädessä pidettävä skannerimalli ei automaattisesti tarkoita täysin johdotonta skannerimallia. Skanneri yhdistetään usein tietokoneeseen ja, tai virtalähteeseen, laitetta käytetään. Skannerilla osoitetaan skannattavaa kappaletta erikulmista, jotta voidaan analysoida kappale jokaisesta suunnasta. Näiden 3D-skannerien toiminta perustuu usein kolmiomittausmenetelmään. Skannerissa on yksi tai useampi kamera analysoimassa kappaletta. Analysoidut mittapisteet tallennetaan skannerin sisäiseen koordinaatistoon. Skanneri määrittää asemansa, joko referenssipisteiden, joihin useimmin käytetään tähystarroja tai ulkoisen koordinaatiston avulla. Ulkoisen koordinaatiston määrittämiseksi voidaan käyttää kalibrointikuvioita, tähystarroja tai lisänä ulkoista lähetinvastaanotinta, joka tunnistaa skannerin sensorin sijainnin ja asennon analysoitavaan kappaleeseen nähden. Yleisimmin skannereita käytetään teollisuudessa, jossa niitä tarvitaan mallintamisessa ja laadunvalvonnassa. Kuvassa 10 on teollisuudessa paljon käytetty Creafom Handyscan 300/700. [11, 13.]



Kuva 10. Kädessä pidettävä vuonna 2014 markkinoille tullut Creafom HandySCAN 700-skanneri. Skanneri voitti muotoilullaan reddot palkinnon vuonna 2015. [42]

Kädessä pidettävät skannerit ovat usein helpoimpia käyttää ja säilyttää. Ne toimivat monissa eriolosuhteissa, eivätkä ole sidottuina paikkaan, jossa skannaus tehdään. Skannerin voi halutessaan ottaa mukaan työmatkalle, jossa skannaus tehdään yhdessä kannettavan tietokoneen kanssa. Kädessä pidettävät skannerit ovat kevyitä ja pieniä kooltaan.

Nivelvarsiskannerit

Nivelvarsiskannereita on kahdenlaisia, kappaleeseen koskettavia ja ei-koskettavia. Kun verrataan ei-koskettavaa nivelvarsiskanneria kädessä pidettävään skanneriin, suurin eroavaisuus on nivelvarsiskannerin koordinaatistossa, joka perustuu nivelien sensorien tuottamaan paikkatietoon. Paikkatiedon perusteella skanneri asemoi itsensä skannattavaan kohteeseen nähden. [11, 13, 19.]

Nivelvarsiskanneriin voidaan liittää erikseen kosketuspää, jolloin mallista saadaan toiminnaltaan kannettava koordinaattimittauskone eli kappaleeseen koskettava mittavarsikone. Hyvä esimerkki tällaisesta laitteesta on Kreon Ace -tuoteperhe (kuva 11). Kreon Ace -laitteissa on kosketuspää oletuksena ja laitteeseen voidaan liittää lisäksi 3D-skanneri.



Kuva 11. Kreon Ace mittavarsikone, Kreon Ace mittavarsikoneeseen liitetty Skyline 3D-laserskanneri sekä lähikuva Kreon Skyline 3D-laserskannerista. [19]

neri. Koskettava mittavarsiskanneri on ei-koskettavaa mallia tarkempi, mutta datan muoto muuttuu vastaavaksi, kuin tavanomaisen koordinaattimittakoneen tuottama data.

Ei-koskettavan nivelvarsiskannerin suurin etu on sen helppokäyttöisyys verrattuna koordinaattimittakoneeseen. Nivelvarsiskannerin heikkous ja vahvuus on sen yhteneväisyys koordinaattimittakoneen kanssa. Nivelvarsiskannerista voidaan käyttää myös nimitystä käsivarsiskanneri. [11, 13, 19.]

Kaappimalliset skannerit

Kaappimalliset 3D-skannerit ovat yleensä täysin automatisoituja. Kaappimallisen skannerin toiminta perustuu kääntöpöydälle asetetun kappaleen pyörittämisestä, jolloin kaapin katossa olevat sensorit ja kamerat ovat paikallaan. Täyden kierroksen pyörineestä kappaleesta muodostuu valmis 3D-malli. Kaapin koko asettaa skannattavalle kohteelle rajoitteita, kuten kuvasta 12 käy ilmi. Kaappimalliset skannerit ovat yleensä kooltaan pieniä, jolloin skannerilla voi skannata vain pieniä kappaleita. Etuna on käytettävyyden yksinkertaisuus ja vaivattomuus. Kaappimalliset skannerit ovat usein hyvin tarkkoja ja niitä suositellaan käyttämään pienien kappaleiden usein toistuvassa analysoimisessa. Kaappimallinen skanneri on käyttövalmis heti, eikä se vaadi erikseen aseman kalibrointia. Tämän takia skanneri on nopea työssään verraten muihin skannerimalleihin. Kuitenkaan tämän mallinen skanneri ei ole helposti mukaan otettava, vaan se on tarkoitettu kiinteässä työpisteessä käytettäväksi. [11, 13.]



Kuva 12. Kaappimallinen Artec Micro 3D-skanneri, jonka kääntöpöydälle asetettu skannattavaksi harmaa malliosa. [30]

Laserkeilaimet

Laserkeilaimia käytetään suurien kokonaisuuksien analysoimiseen (kuva 13). Yleisimmin laserkeilaimia käytetään maanmittauksessa. Niillä voidaan skannata alueita, rakennuksia ja isoja objekteja kohtalaisella tarkkuudella. Laserkeilain kiinnitetään yleensä kolmijalkaan, joka on tasapainossa. Skannerin aseman tasapaino ja suoruus tarkistetaan vesivaa'alla. Laserkeilainta voidaan käyttää lentokoneeseen tai helikopteriin kiinnitettynä, jolloin analysoidaan maastoa ja sen muotoja. Laserkeilain skannaa automaattisesti etäisyyksiä ja suuntia. Laserkeilaimen toiminta perustuu yleensä valon kulku aikaan tai kolmiomittaukseen riippuen siitä, millaiseen käyttöön keilain on tarkoitettu. Kolmiomittauksella toimivat keilaimet ovat tarkoitettu lyhyille mittausetäisyyksille. Kolmiomittauksen mittaustarkkuus soveltuu parhaiten rakennuksien sisätilojen skannaamiseen. Valon kulku aikaan perustuvat laserkeilaimet ovat tarkoitettu pidemmille mittausetäisyyksille, jolloin tällaiset laserkeilaimet soveltuvat parhaiten ulkoilmamittauksiin, kuten rakennusten ja maastonmallinnukseen. [12, 13, 15, 45.]



Kuva 13. Laserkeilain Leica RTC360 käytössä rakennustyömaalla. [43]

3 Laitteiden vertailu, tietokone ja ohjelmat

Yrityksen tarve 3D-skannauslaitteelle on vähentää paljon vaivaa ja aikaa vievää takaisinmallintamista, Eng. Reverse Engineering. Toimiva budjettiin sopiva laite vähentäisi merkittävästi työläistä osuutta takaisinmallintamisessa. Kysymys on silti aina olemassa, ovatko 3D-skannerit hinnoittelultaan ja hyödyiltään tarpeeksi hyödyllisiä, jotta laite kannattaa investoida yritykselle itselleen. Yrityksen toisena vaihtoehtona on jatkaa vaikeimpien takaisinmallinnettavien osien 3D-skannaamista alihankintana ja jättää oma laite investoimatta. Missä kohtaa laite on riittävä sekä kohtuullisen hintainen tähän tarkoitukseen? Tähän kysymykseen selvitetään vastausta.

Aloituspalaverissa määritettiin tarkoin, mitä laitteelta halutaan ja miksi. Laitteelle asetettiin budjetti noin 20-30k€ + mahdollinen tarvittavan tietokoneen investointilisä 10k€. Tietokone on monikäyttöinen ja voi soveltua muihin yrityksen tehtäviin, joten tämän vuoksi se on budjetissa lisänä. Yrityksellä on käytössään Suomalainen Vertex Systemsin mallinnusohjelma Vertex CAD. Tavoitteena on saada skannattu kappale Vertex CAD:iin käsiteltäväksi. Yritys on jo entuudestaan kokeillut ja nähnyt erilaisia 3D-skannereita ja niiden tuottamia 3D-mallikuvia. Kriteerinä oli, että ympyrämuodot tulisivat oikeina ympyröinä, eivätkä epämääräisinä useiden viivojen viivanpätkinä. Muutamia vuosia sitten tavatut 3D-skannerien muodostamat skannaustiedostot ovat olleet kohtuuttoman suuria ja hankalia käsitellä, joten nykyisiltä laitteilta ja ohjelmilta toivottiin parannusta tähän ongelmaan. Osa skannereista ei osaa käsitellä kiiltäviä pintoja ja tämän takia skannattu 3D-malli on ollut erittäin epätarkka ja osakseen epämuodostunut 3D-malli. Ongelma on voitu välttää käsittelemällä kappaleen pinta mattasävytteisellä maalilla ja se ei ole ollut ongelma laitteen käytettävyydessä yritykselle. Laitteen tulisi päästä 0.01 mm:n tarkkuuteen, mutta myös erilaiset tarkkuusalueet eivät häiritse tässä tapauksessa. Skannatun kappaleen jokaisessa kohdassa ei tarvita samaa tarkkuutta.

3.1 3D-skannerit

3D-skannerien vertailuun valikoitui useita erilaisia skannereita. Laserkeilaimet voitiin jättää vertailusta jo alussa pois, sillä laserkeilain on suunniteltu huomattavasti tarvetta suurempien kokonaisuuksien skannaamista varten huomattavasti suuremmalla tarkkuudella kuin tässä ta-

pauksessa tarvitaan. 3D-skannerien vertailuun ei valikoitunut myöskään yhtään nivelvarsiskanneria, sillä yrityksen kriteerien takia tämän tyyppinen skanneri rajattiin pois. Yrityksen tarpeeseen tällainen skannerimalli on liian epäkäytännöllinen ja vie liikaa tilaa. Nivelvarsiskanneri on aina sidottu jonkin verran sen käyttöpaikkaan ja sitä on vaivalloista siirtää, vaikka se on siirrettävissä. Nivelvarsiskanneri on liian samantapainen, kuin oikea mittalaite käytettävyydeltään ja toiminnoiltaan tähän tarkoitukseen. Jäljelle jäävät kaappimalliset skannerit ja kädessä pidettävät skannerit. Suomessa eniten 3D-skannereita toimittavat Rensi Finland Oy ja MLT Machine & Laser Technology Oy. Rensi edustaa Suomessa Artecin sekä Solutionixin tuotteita ja MLT Creaformin tuotteita.

Solutionix C500

Solutionix yleisesti tarjoaa 3D-skanneri ratkaisuja pienille ja keskikokoisille kappaleille. Skannerit ovat suunnattu helppokäyttöisiksi kaikille käyttäjille. C500-mallin toiminta perustuu siniseen LED-valoon. Siinä on kaksi 5.0MP kameraa ja mittausalue on säädettävissä 90–500 mm:n kokoisille kappaleille. Tarkkuus vaihtelee mittausalueen mukaan 0.028–0.157 mm. Liitäntä tietokoneeseen tapahtuu USB 3.0 B-typellä. Laitteessa on 3-akselin kääntöpöytä ja sininen LED-valo sekä kamerat ovat paikallaan. Laitteessa kääntöpöytä pyörittää kappaletta ja skanneri kuvaa paikallaan pyörivää kappaletta. Laite poikkeaa muista vertailuun valituista skannereista siten, että laite on ns. avonainen kaappimallinen skanneri. [27.]

Solutionix D700

Solutionix D700 on tyypillinen kaappimallinen 3D-skanneri. D700 on D500 mallin tarkempi isovelji ja soveltuu pienten monimutkaisten kappaleiden tarkempaan yksityiskohdalliseen skannaamiseen. Laitteen toiminta perustuu strukturoituun siniseen LED-valoon ja siinä on kaksi 6.4MP kameraa. Mittausalue on 100 mm ja tarkkuus 0.029 mm. Liitäntä tietokoneeseen tapahtuu USB 3.0 B-typellä. Laitteessa skanneri on kiinteä osa kaapin yläosassa ja skannattava kappale asetetaan kaapin sisälle kääntöpöydälle. Laitetta suositellaan erityisesti koruvalmistajille ja muiden pienten kappaleiden valmistajille sekä pienten kappaleiden laaduntarkkailun avuksi. Solutionix-laitteille on tukena oma ohjelmansa EzScan 2017. [28.]

Artec Space Spider

Artec Space Spider 3D-skanneri on suunniteltu pieniä kappaleita ja tarkkoja yksityiskoh-
tia huomioivaksi. Space Spider on pieni ja kevyt 0,85 kg:n painoinen käsikäyttöinen skan-
neri. Skanneri soveltuu valmistajansa mukaan nopeaan ja tarkkaan pienten kappaleiden
skannaamiseen. Space Spider on strukturoidulla sinisellä LED-valolla toimiva skanneri
varustettuna viidellä kameralla. Laite soveltuu 90–180 mm:n kokoisien kappaleiden
skannaamiseen. Skannattujen pisteiden tarkkuus on 0.050 mm ja resoluutio 0.100 mm
[29.]

Artec Micro

Artec Micro on kaappimallinen skanneri. Se on tarkoitettu erittäin pienten kappaleiden
skannaamiseen ja suurin mahdollinen kaappiin mahtuva kappale on mitoiltaan 90 mm x
60 mm x 60 mm. Laitteen toiminta perustuu strukturoituun siniseen LED-valoon. Laitteen
tarkkuus on 0.010 mm ja resoluutio 0.029 mm. Laitetta suositellaan pienien koneiden
osille, koruille ja hammaslääketieteelle sekä laadunvalvontaan. Laite on täysin automa-
tisoitu ja käynnistyspainikkeen painalluksella laite muodostaa kaappiin asetetun kappaleen
3D-mallin kokonaan. Laite on heti käyttövalmis ilman kalibrointia kaappimallisuus-
tensa takia. Se on kooltaan pieni työpisteen pöydälle asetettava laite. Laite tuottaa mal-
lin, jonka voi suoraan viedä Solidworksiin, Polyworks inpectoriiin, Control X tai Desing X
jatkokäsittelyä varten. [30.]

Artec Eva

Artec Eva on yleisin ja myydyin Artecin käsikäyttöinen 3D-skanneri. Skanneri on tarkoi-
tettu keskikokoisten kappaleiden skannaamiseen. Eva:lla pystyy tallentamaan kappaleen
muodon ja värin. Skanneri soveltuu yleispätevästi kaikkiin 3D-skannerien tarkoituk-
siin. Eva:lla voidaan skannata esimerkiksi kokonainen auto 3D-malliksi. Laite on kevyt
0,85 kg painava ja helppokäyttöinen. Laitteen tarkkuus on 0.100 mm ja resoluutio 0.200
mm. [17, 18, 31.]

Artec Leo

Artec Leo on käsikäyttöinen 3D-laserskanneri. Sen käyttäminen on vastaavanlaista, kuin videokuvaaminen. Skannatessa kappaletta samanaikaisesti rakentuu 3D-kopio Leon omalle kosketusnäytölle. Kosketusnäytöltä voi tarkastella mallia ja todeta onko jokin paikka skannattu riittämättömästi ja skannata sen uudelleen, jotta mallista saadaan mahdollisimman täydellinen ilman tietokoneen apuohjelmia. Skannerissa on zoomaustoiminto, jolla voi tarkentaa yksityiskohtaisempia alueita skannattavasta kappaleesta. Toiminto toimii vastaavasti, kuin videokameralla. Leo eroaa muista kädessä pidettävistä skannereista sen johdottomuudellaan. Laitteeseen ei tarvitse kytkeä mitään johtoja käyttöä varten, vaan skannausdata kerätään laitteen omaan sisäiseen muistiin. Laite toimii akulla, jolloin virtajohtoa ei tarvitse kytkeä kiinni käyttääkseen laitetta. Johdottomuus antaa laitteelle aivan toisen vapausasteen verraten muihin laitteisiin. Tämän takia laite on hyvä suurempien kokonaisuuksien skannaamiseen, kuten maaston tai rakennuksen, eikä ainoastaan yhden tietyn kappaleen skannaukseen. Akku on vaihdettavissa, jolloin laitteella voi skannata päivän ajan. Leossa on sisäänrakennettu tietokone ja järjestelmä, jonka avulla skanneri ymmärtää sijaintinsa ja ympäristönsä. Leon skannaustekniikka perustuu hybridi geometria- ja tekstuuriseurantaan. Se mahdollistaa referenssitarrojen pois jättämisen, joka nopeuttaa työtä. Skannerilla saadaan skannattua muodon lisäksi värillistä kuvaa. Laitteella pystyy skannaamaan todella isoja kokonaisuuksia, kuin myös pieniä yksittäisiä kappaleita. Laitteen tarkkuus on 0.100 mm ja resoluutio 0.200 mm. Laite on suunniteltu teolliseen valmistukseen, laaduntarkkailuun, virtuaalitodellisuuteen, terveydenhoitoon, kulttuuriperinnön tallennukseen ja erityisesti rikospaikkatutkintaa varten. [32.]

Creaform Go!SCAN Spark

Go!SCAN Spark on käsikäyttöinen 3D-skanneri. Skanneri analysoi kappaleen muodon ja värityksen. Skanneri soveltuu keskikokoisten ja pienien kappaleiden skannaamiseen. Skanneri ei vaadi referenssitarroja toimiakseen. Laite paikoittaa itsensä hyödyntäen kappaleen geometriaa sekä värejä. Skannerin tekniikka perustuu strukturoituun valoon ja se mahdollistaa korkean skannausnopeuden. Laitteen tarkkuus on 0.050 mm ja resoluutio 0.100 mm. Skanneri on kehittyneempi versio 2014 julkaistusta Go!SCAN 3D -skannerista. [22, 33.]

Creaform HandySCAN-tuoteperhe

HandySCAN-tuoteperhe on saanut alkunsa jo vuonna 2005. 2014 markkinoille tulivat mallit 300 ja 700. 700 oli näistä kahdesta parempi ja arvokkaampi versio. 2019 tulivat uudet mallit 307, joka on 700 malliin perustuva uusi versio, sekä Black 45 ja Black 55 "Elite". Jokainen HandySCAN-tuoteperheen tuote on käsikäyttöinen ja kevyt 3D-laser-skanneri. Ulkoisia eroja laitteilla ei ole juurikaan, laitteet muistuttavat hyvin paljon toisiinsa. Paremmat Black-mallit ovat väriltään mustia ja linjakkaampia, verraten vanhempiin malleihin. Jokainen HandySCAN-tuoteperheen skanneri on optimoitu toimimaan laitevalmistajan VxElements-ohjelman kanssa. [23, 24, 34, 35.]

HandySCAN 300

300-malli on edullisin ja tarkkuudeltaan huonoin malli tuoteperheestä, joita tällä hetkellä myydään. 300-mallin tekniikka perustuu kolmeen punaiseen laseriin. Se pystyy tarkkuudeltaan vain 0.040 mm tarkkuuteen. 300-mallin resoluutio on 0.100 mm. Laite on paremman 700 isoveljensä edullisempi malli. Laite soveltuisi tarkkuudeltaan grafiikan tekemiseen virtuaaliseen todellisuuteen tai elokuva- ja peliteollisuuteen. Takaisinmallinnukseen laitteen tarkkuus ei riitä. [23, 34.]

HandySCAN 307/700

307-malli on toiminnaltaan vanhaan 700-malliin perustuva malli. 307-malli on edullisin kolmesta 2019 markkinoille tulleista uusista HandySCAN skannereista. Erot kaikkien

HandySCAN mallien välillä tulevat niiden tarkkuudesta. 307- ja 700-mallien toiminta perustuu seitsemään punaiseen laseriin. 700-mallin tarkkuus on 0.030 mm, kun uudemman 307-mallin 0.040 mm. Mallien resoluutioissa on myös eroja. Vanhemman 700-mallin mittausresoluutio on 0.050 mm, kun 307-mallin on 0.100 mm. Eroa on myös mesh-resoluutiossa, kun 700-mallin arvo on 0.050 mm ja uuden 307-mallin arvo on huonompi 0.200 mm. 307-malli on halvin uusista 2019 markkinoille tulleista malleista ja sen hinta on 30k€. 700-mallia myydään edelleen uuden kolmikön rinnalla. [23, 24, 34, 35.]

HandySCAN Black 45

Black 45 toiminta perustuu seitsemään siniseen laseriin. Sininen laser on tarkempi, kuin punainen laser ja laitteella päästään parempaan tarkkuuteen, kuin 307-mallilla. Sinisen ja punaisen laserin tarkkuus perustuu niiden laserien eri aallonpituuteen. Laitteen tarkkuus on 0.035 mm ja kolmioverkon resoluutio 0.100 mm sekä mittaus resoluutio on 0.025 mm. [16, 24, 35]

HandySCAN Black 55

Black 55 "Elite" on mallisarjansa paras ja tarkoin laite. Sen tekniikka perustuu yhteentoista siniseen laseriin, jolla päästään entistä tarkempaan skannaustulokseen. Laitteen tarkkuus on 0.025 mm, mutta kummatkin resoluutiot ovat vastaavat (mesh 0.100 mm ja measurement 0.025 mm), kuin Black 45-mallilla. [16, 24, 35]

Laittevertailun tulokset

Laittevertailussa ei kiinnitetty erityisesti huomiota skannerien muodostamaan tiedostotyyppiin. Jokaisella vertailuun päätyneellä skannerilla oli mahdollista tuottaa samoja yleisimmin käytettyjä tiedostotyyppisiä, kuten .STL. Perustuen 3D-skannerien teknisten tietojen vertailuun 1/2021 (liite 1) voitiin todeta, että Solutionixin 3D-skannerit eivät sovellu yrityksen tarpeeseen. Solutionix skannerien tarkkuus on ilmoitettu täysin eri tavalla, kuin muiden valmistajien laitteissa. Lisäksi Solutionix ei ilmoita laitteidensa skannausnopeutta. Valon lähteen perusteella voitiin päätellä laitteiden tarkkuuden olevan riittämätön yrityksen käyttöön. Yleisesti kaappimallisten skannerien suurin ongelma on niiden riittämättömän pieni koko. Markkinoilta ei löytynyt kovin suuria kaappimallisia skannereita,

vaan kaappimalliset skannerit on suunniteltu erityisesti todella pienien kappaleiden skannaamiseen. Tämän takia tarkkuudeltaan hyvä Artec Micro 3D-skanneri poistettiin vaihtoehtoista. Jäljelle jäi pelkästään mallityypiltään kädessä pidettäviä 3D-skannereita.

Tässä kohtaa on hyvä muistaa perimmäinen ja tärkein skannerin ominaisuus yrityksen kannalta. Skannerin käyttötarkoitus tulee olemaan käänteisessä suunnittelussa, eli takaisinmallinnuksessa. Tällöin tarkkuus on kaikkein tärkein ominaisuus. Yrityksen tarve skannerin käytölle ei ole jokapäiväistä, joten nopeus ei ole merkittävä tekijä. Liitteen 1 vertailun perusteella voidaan todeta, että tarkimmat skannerit perustuvat aina jonkinlaiseen lasertyyppiseen skannausmenetelmään. Nopeammat skannerit perustuvat muunlaiseen valotyyppiin kuin laser, esimerkiksi strukturoituun valoon. Strukturoituun valoon perustuvien skannerien tarkkuus ei ole riittävää yrityksen tarkoitukseen. Vaihtoehtoiksi vertailuun jää HandySCAN-tuoteperhe, Artec Leo ja ZEISS T-SCAN hawk.

ZEISS T-SCAN hawk -skannerille ei löydy vielä maahantuontia Suomeen, joten sille ei löydy koulutusta tai kouluttajaa Suomesta. Tämä hankaloittaisi mallin käyttöönottoa ja opettelua, sillä tukiverkoston Suomessa ei vielä mallille ole. Artec Leo on edellä mainituista laseriin perustuvista vaihtoehtoista huonoin tarkkuudeltaan. Sen etu ja erikoisuus on johdottomassa käytettävyydessä. Sitä voi vaivattomasti käyttää missä vain. Yrityksen tarkoituksen kannalta tästä ominaisuudesta ei ole suurta hyötyä, jolloin tämän mallin voi poistaa vaihtoehtoista. [32, 36.]

Viimeisimpänä vertailussa vaihtoehtoissa on jäljellä HandySCAN-tuoteperhe. 300-mallia maahantuoja ei myy enää, vaan sen hankinta tulisi suorittaa ulkomailta. 300-mallin tarkkuus on heikoin HandySCAN-laitteista. 300- ja 700-mallit ovat 3D-skannereita tarkasteltaessa hyvin vanhoja. Parhaaksi kolmikoksi jäävät mallit; 307, Black 45 ja Black 55 "Elite". Näiden kolmen suurimmat erot ovat tarkkuudessa, nopeudessa ja hinnassa. Skannereita tarkastellaan hyötysuhteeltaan parhaimman mukaan. 307-malli on halvin ja huonoin tarkkuudeltaan. Verraten kaikkiin laitevertailun laitteisiin tarkkuus on silti huipuluokkaa. Mallin hinta 30k€ on keskitasoa. Malli perustuu vanhempaan punaiseen lasertekniikkaan. Black 45 ja 55-mallit perustuvat uudempaan siniseen lasertekniikkaan, jolla päästään tarkempaan lopputulokseen nopeammin. Parempien mallien hintaerot ovat suuria. Black 45 maksaa 307-malliin verrattuna 15k€ enemmän. Black 55 "Elite" ylittää hintaluokaltaan alkuperäiset kriteerit roimasti. Black 55 "Elite" on hinnaltaan 55k€.

Se lähes tuplaa alkujaan määritetyn budjetin (25k€-30k€) ja suhteessa sen tarjoamiin hyötyihin hintalaatusuhde on liian huono.

3.2 Tietokone ja suorituskyky

3D-skannaus vaatii suorituskyvyltään hyvän tietokoneen. Tässä opinnäytetyössä käsitellään tarvittavia tietokoneiden komponentteja, muttei avata niitä tarkemmin tai tehdä suurta laitteistoverailua, sillä se ei ole olennaista yrityksen laitevalinnan kannalta. 3D-skannaustekniikka on tällä hetkellä vielä hyvin uutta. Tekniikka kehittyy koko ajan ja se vaatii suurta laskentatehoa käytettävältä tietokoneelta. Yleisimpien 3D-skannerien mukana tulee valmistajan oma ohjelmisto suorituskykyasetuksineen.

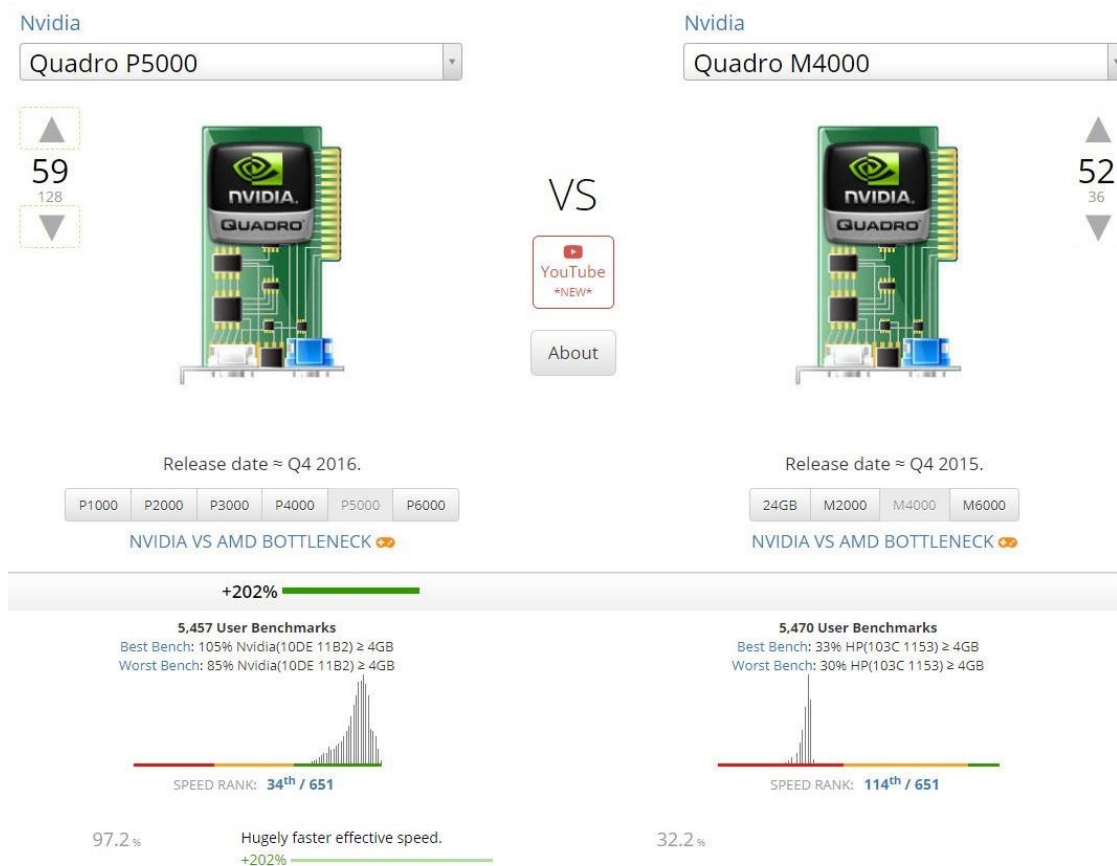
Yrityksellä oli käytössään koneistamiseen tarvittavien ohjelmien käyttämisessä HP Z640 Workstation vuodelta 2014. Tarkoituksena olisi käyttää 3D-skanneria samassa työpisteessä, jossa koneistaminen tapahtuu. Tähän tarkoitukseen sopiva skannerimalli on käsiikäyttöinen 3D-skanneri, sillä se vie vähän tilaa. Kun 3D-skanneria käytetään samassa työpisteessä, missä koneistaminen tapahtuu, pystytään hyödyntämään käytössä olevaa tietokonetta enemmän ja saadaan kustannukset suhteessa hyötyyn paremmaksi.

Userbenchmark.com

Yksi tapa tietokoneosien suorituskyvyn vertailuun on hyödyntää <https://www.userbenchmark.com/> -sivustoa. Sivuston keräämä suorituskykydata perustuu käyttäjien suorittamiin suorituskykytesteihin. Sivustolta ladataan tietokoneelle ohjelma, joka suorittaa perustestit tietokoneen jokaiselle suorituskykyyn vaikuttavalle komponentille. Suoritettu tulos osoittaa komponenttien suorituskyvyn verrattuna muihin samantyyppisiin komponentteihin. Eri valmistajien saman mallinen osa voi olla suorituskyvyltään merkittävästi parempi tai huonompi, johtuen esimerkiksi erilaisista jäähdytysmenetelmistä, joka mahdollistaa eri kellotaajuuksien käyttämisen komponentilla. Sivustolla on merkittävä määrä erilaisia suorituskykytestituloksia. Näihin tuloksiin nojaten voidaan vertailla vaadittua ja yrityksen käytössä olevaa komponenttia 3D-skannaamista varten.

Komponenttien vertailu

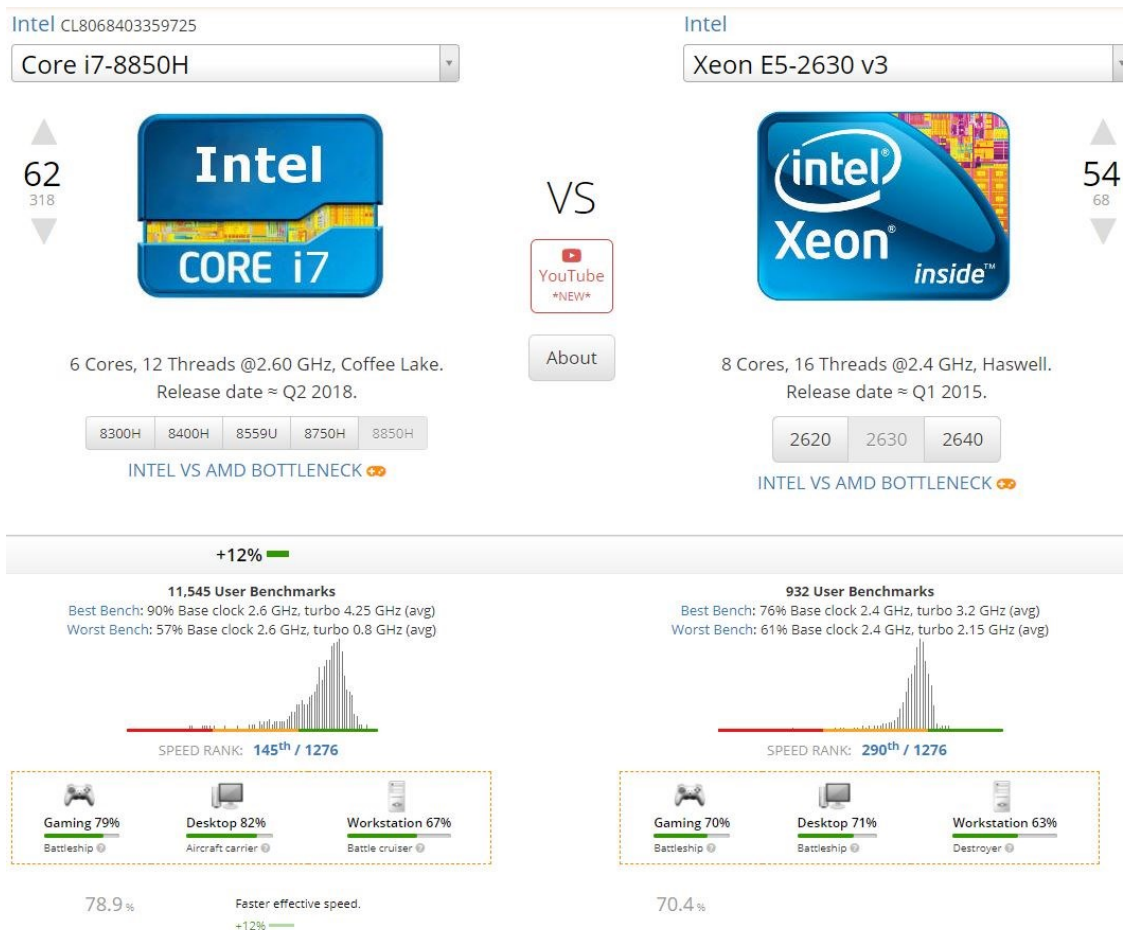
Käytössä olevassa tietokoneessa oli näyttöohjaimena Nvidia Quadro M4000. Creaformin VxElements -ohjelmiston vaatimuksena on Nvidia Quadro P5000. Näiden näyttöohjaimien tehoeroa sivuston testitulosten mukaan on 202 %, joka on merkittävä ero komponenttien suorituskyvyssä (kuva 14).



Kuva 14. Näyttöohjaimien vertailu. Vasemmalla vaadittu ja oikealla yrityksen käytössä oleva malli. [25]

Tietokoneen prosessorina oli Xeon E5-2630 v3 ja vaatimuksena Core i7-8850H. Näiden prosessorien tehoeroa oli vertailun mukaan vain 12 %, joka ei ole merkittävän suuri ero (kuva 15). Keskusmuistia vaaditaan ohjelmistolta 32Gb ja tältä osin laitteistovaatimus täyttyy. Tämä tietokone ei tulisi riittämään näyttöohjaimen puolesta skannaustarkoitukseen ilman komponenttien päivitystä. Näyttöohjain on vaihdettavissa, joten tällä muutoksella tietokone voisi soveltua 3D-skannaamiseen. Ohjelmisto vaatii toimiakseen 200Gb SSD-kiintolevytallennustilaa tilaa, joten näyttöohjainpäivityksen lisäksi tulisi koneeseen investoida lisää SSD-kiintolevyä. Laitteiston liittämistä varten tietokoneessa tulee olla USB 3.0 B-type-liitäntä, joka löytyy tietokoneesta. Käytössä oleva tietokone voi riittää ohjelmiston suorittamiseen näyttöohjaimen ja kiintolevyn päivityksen avulla. Lopullinen

prosessorin riittävyys selviää kokeilemalla. Pienet 10–20 % erot eivät ole aina merkittäviä käytön kannalta. Vaaditun ja olemassa olevan prosessorin tekniikka perustuu eri asioihin. Olemassa oleva Xeon-prosessori voi olla vertailutuloksesta huolimatta riittävä tai jopa keskinkertainen valinta ohjelmiston käyttämiselle. Näytönohjaimilla testituloksia oli kummastakin mallista lähes yhtä paljon, mutta prosessoreilla Xeon-prosessorien testejä on huomattavan paljon vähemmän. Tämä voi näkyä vertailun tuloksessa. Hieman vajaa 1000 testiä on silti vertailukelpoinen määrä. Yli 10 000 testiä on vakiintunut määritelmä. [21, 25, 26.]



Kuva 15. Prosessorien vertailu. Vasemmalla vaadittu ja oikealla yrityksen käytössä oleva malli. [26]

Jos päädytään päivittämään uudempaan tietokoneeseen, on syytä miettiä, kumpi on parempi ratkaisu, pöytätietokone vai kannettava tietokone? Useimmat 3D-skannerien myyjät tarjoavat skannerien tueksi kannettavia tietokoneita, mutta yrityksellä on tarkoituksena käyttää tietokonetta, myös muihin tarkoituksiin, eikä pelkästään skannaamiseen. Tätä varten tehtiin lyhyt vertailu yleisesti tietokonetyyppien ominaisuuksista. Oletetaan,

että vertailussa on suorituskyvyltään samanlaisista osista koostuvat tietokoneet. Kannettavassa tietokoneessa on mobile-mallin vastaavat komponentit, jotka ovat lähtökohtaisesti suorituskyvyltään hieman heikompia kuin pöytätietokonemallien komponentit. Liitteen 2 vertailun tuloksesta voidaan päätellä yrityksen tarpeeseen olevan pöytätietokoneen parempi vaihtoehto, kuin 3D-skannerien kanssa tarjottu kannettavatietokone.

3.3 Ohjelma

Yritys oli teettänyt alihankintatyönä esimerkkiskannaustiedostot eräällä laitevertailun laitteella. Näiden tiedostojen pohjalta suoritettiin muutaman ohjelman vertailu. Ohjelmaverailussa oli tarkoituksena selvittää, onko laitteen oma ohjelma toimiva verrattuna muihin ohjelmiin. Skannatussa mallikappaleessa oli reikiä, jotka tulee täyttää. Reikiä jää usein kappaleen kohtiin, jotka ovat onkaloita tai vaikean kulman takana. Tällaisissa kohdissa 3D-skannerin sensorit eivät ole saaneet skannattua kaikkea. Kappaleelle suoritetaan ohjelmalla täyttötoiminto. Täytön jälkeen tehdään kappaleen rungon kolmioverkon eli meshin tarkistus. Mesh-tarkitus suoritetaan, jotta voidaan varmistua, ettei kappaleeseen ole jäänyt epämääräisiä muotoja. Tämä operaatio varmistaa, että kappaleen voi kääntää (Eng. Convert) CAD-mallinnusohjelmaan ilman ongelmia. Seuraavaksi kappaleeseen asetetaan origo ja x-, y-, z-tasopinnat. Näiden toimintojen jälkeen kappaleeseen määritetään tasot, joista siirretään jokaisen tason poikkileikkaukset mallinnusohjelmaan. Poikkileikkauksien pohjalta kappaletta voidaan ruveta mallintamaan. Poikkileikkaus siirtää kaiken geometrian määritetystä kohdasta CAD-mallinnusohjelmaan. Näitä perustoimintoja vertailtiin muutamalla eri ohjelmalla. Ohjelmiksi valikoitui täysin ilmainen ohjelma, toisen laitevalmistajan ohjelma ja esimerkki kappaleen skannaamiseen käytetyn laitteen oma ohjelma.

MeshLab

MeshLab on yleispätevä ilmaisohjelma, jolla skannaustiedostot saatiin avattua. Kaikilla ilmaisohjelmilla skannaustiedostojen avaaminen ei onnistunut, joten nämä ohjelmat jäivät vertailusta pois. MeshLab on maailmanlaajuisesti vähän käytetty ja uusi ohjelma. Esimerkiksi Youtubesta siihen ei löytynyt montaa apuvideota. Ohjelman toiminnot olivat hyvin sekavia ja huonosti ohjeistettuja. Muutaman yrityksen jälkeen reikien täyttötoiminto

saatiin onnistumaan. Se ei kuitenkaan onnistunut toivotulla tavalla ja reikien täyttö tapahtui epämääräisillä suorilla viivoilla ja todella karkeilla polygon-kuvioilla. Skannattu malli oli muokkaamisen jälkeen enemmän rikki kuin ennen täytön suorittamista. Tästä huolimatta seuraavaksi tuli suorittaa mesh-tarkistus. Tarkistus onnistui, mutta tätä pidemmälle ohjelmalla ei jatkettu, sillä reikien paikkaaminen rikkoi mallia liikaa, jotta siitä olisi voinut lähteä työstämään kelvollista CAD-mallia.

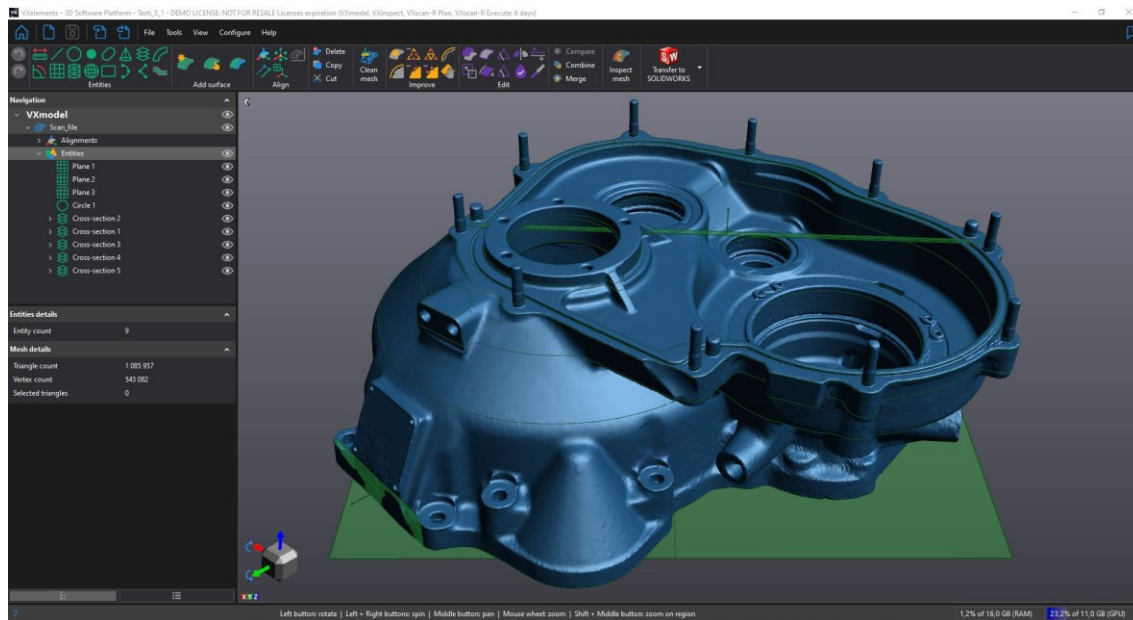
EzScan 2017

Solutionix skannereiden tueksi on EzScan 2017 -ohjelma. Ohjelmassa on samat toiminnot kuin muissakin vastaavissa ohjelmissa. Ohjelmaan ei ole saatavilla opetusvideoita ilmaiseksi internetistä. Ohjelman käyttö on yksinkertaista ja se on huomattavasti toimivampi kuin täysin ilmainen MeshLab. Ohjelmalla reikien täyttötoiminto suoriutui kohtalaisella tarkkuudella ja mallista tuli sulavamman muotoinen. Muutamia reikiä jäi jäljelle, mutta ne eivät olleet kriittisissä paikoissa, joilla olisi ollut merkitystä mallintamisen kannalta. Mesh-tarkistus onnistui vaivatta. Origon ja poikkileikkaustasojen paikoilleen saaminen ei enää onnistunut helposti tällä ohjelmalla. Ohjeiden puute oli osasyynä epäonnistumiseen. Kunnollisen koulutuksen tai opetusvideoiden jälkeen ohjelma olisi oletusarvoisesti käyttökelpoinen skannausmallin kääntämisessä CAD-mallinnusohjelmaan.

VxElements, VxModel

VxElements on Creaformin itsekehittämä ohjelmisto laitevertailussa esiteltujen HandySCANin ja GO!SCAN SPARKin tueksi. Tästä ohjelmistosta käytössä oli VxModel -ohjelmaosuus. Tällä ohjelmalla skannatun mallin reikien täyttöoperaation tekeminen toimi, jopa odotettua paremmin. Edelliset vertailussa olleet ohjelmat eivät jättäneet odotuksia korkealle tämän ominaisuuden suhteen. Opetusvideoita tähänkään ohjelmaan ei ole vielä montaa, mutta ohjelman laskenta-algoritmit toimivat huomattavasti paremmin kuin tarjolla olevien ilmaisohjelmien. Mallista tuli siisti, sulavan muotoinen sekä täysin reiätön täyttöoperaation jälkeen. Kappaleeseen määritettiin origo ja x-, y-, z-tasopinnat paikoilleen. Mesh-tarkistus toimi toivotulla tavalla ja kappale oli valmis muodoltaan tärkeiden poikkileikkaustasojen asettamiselle. Poikkileikkauksien asettamisen jälkeen malli on valmiina CAD-ohjelmaan käännettäväksi (kuva 16). Ohjelmassa on suoraan tuki, jolla

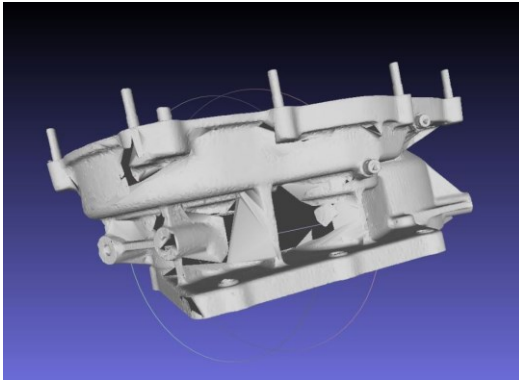
edellä määritetyt operaatiot saa käännettyä Inventoriin, Solidworksiin ja Solid Edge-ohjelmaan. Ohjelman merkittävänä etuna oli, että sillä pystyy vielä jälkikäteen tuomaan lisää tarvittavia poikkileikkaustasopintoja mallinnusohjelmaan, jos jotakin on unohtunut tai jäänyt huomioimatta edellisissä vaiheissa. Tämän ominaisuuden avulla päästään huomattavasti tarkempaan lopputulokseen vaivattomammin.



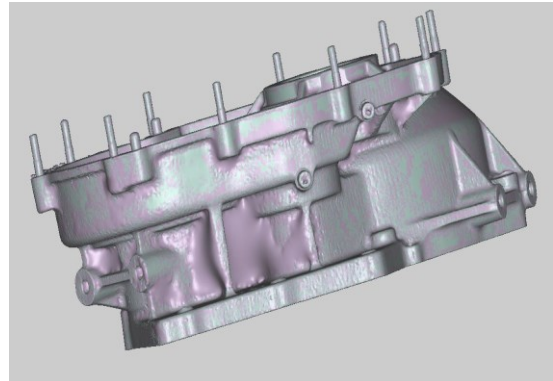
Kuva 16. VxModel-ohjelmassa skannattuun 3D-malliin on lisätty poikkileikkaus tasot, sekä x-,y- ja z-tasopinnat.

Täyttöoperaation vertailu

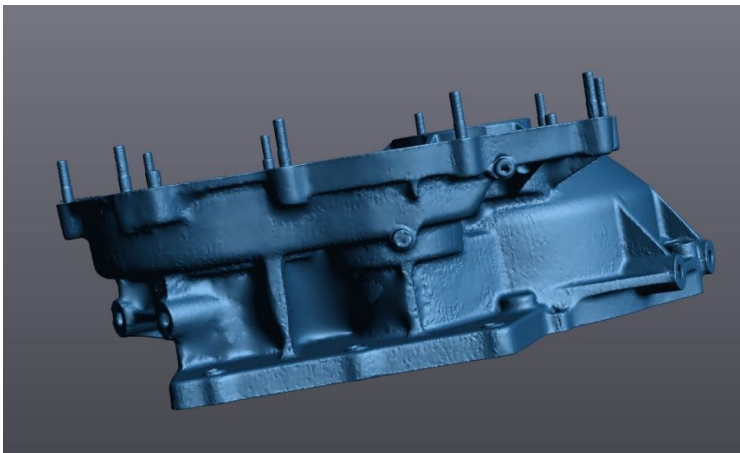
Tarkasteltaessa kuvia 17–19 nähdään selkeät erot ensimmäisen verrattavan operaation tuloksessa, joka oli täyttöoperaatio. Meshlabilla tehty täyttöoperaatio kuvassa 17 on rikkonut mallin muodon täysin. Mallissa olleet reiät ovat täyttyneet epämääräisillä muodoilla. Operaatio toistettiin useampaan kertaan, eikä yhdelläkään yrityksellä saatu ehjää täyttöä aikaiseksi. Malli ei ole kelvollinen jatkojalostamiseen epämääräisen muotoisena. EzScan 2017 -ohjelmalla tehdyssä mallissa kuvassa 18 olevat haasteelliset onkaloiden reiät ovat korjaantuneet. Kappaleeseen on jäänyt reikiä, muttei kriittisiin paikkoihin takaisinmallintamisen kannalta. VxModelilla suoritettu operaatio on toiminut parhaiten ja malli on muihin malleihin verraten parhaiten jatkojalostettavissa kuvassa 19. Kuvassa 20 on täyttöoperaation lähtökohta, jossa punaisen väriset alueet ovat kappaleen skannauksessa jääneitä reikiä. Kappaleessa on poikkeuksellisen paljon reikiä, sillä testiskannauksen tarkoituksena on selvittää ohjelmien toiminnan eroja.



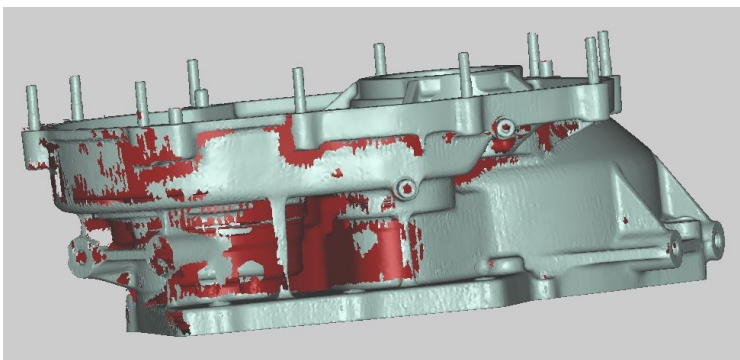
Kuva 17. Meshlab, täyttöoperaatio.



Kuva 18. EzScan2017, täyttöoperaatio.



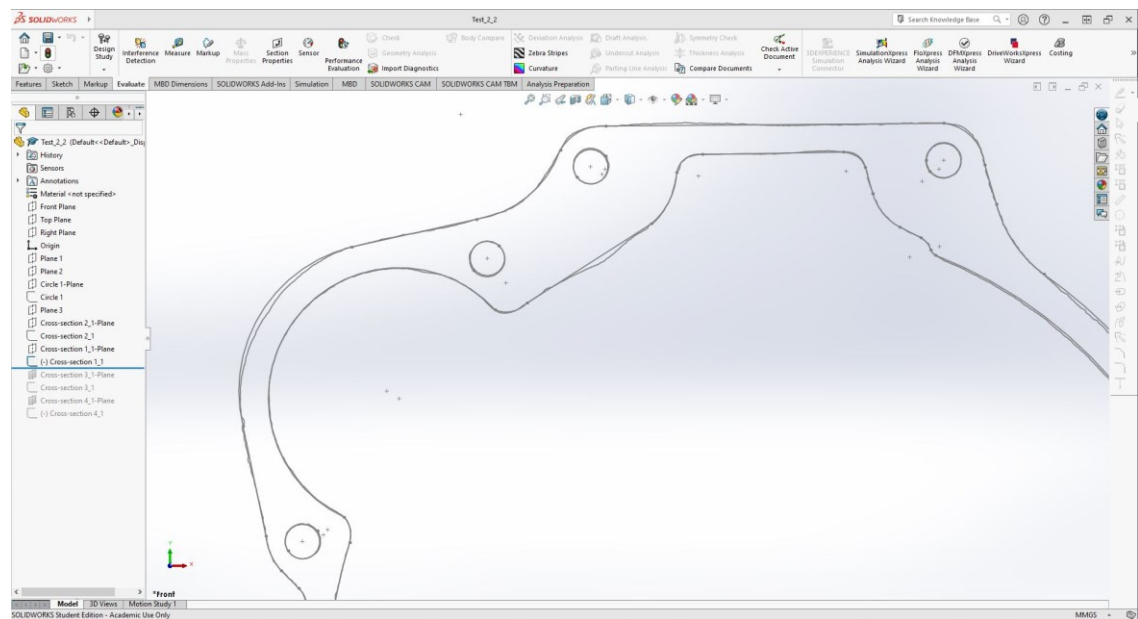
Kuva 19. VxModel, täyttöoperaatio.



Kuva 20. Testikappaleen kolmioverkko, joka on suoraan avattu .STL-tiedostosta. Punaisella värillä olevat kohdat ovat kappaleen skannauksessa jääneitä reikiä.

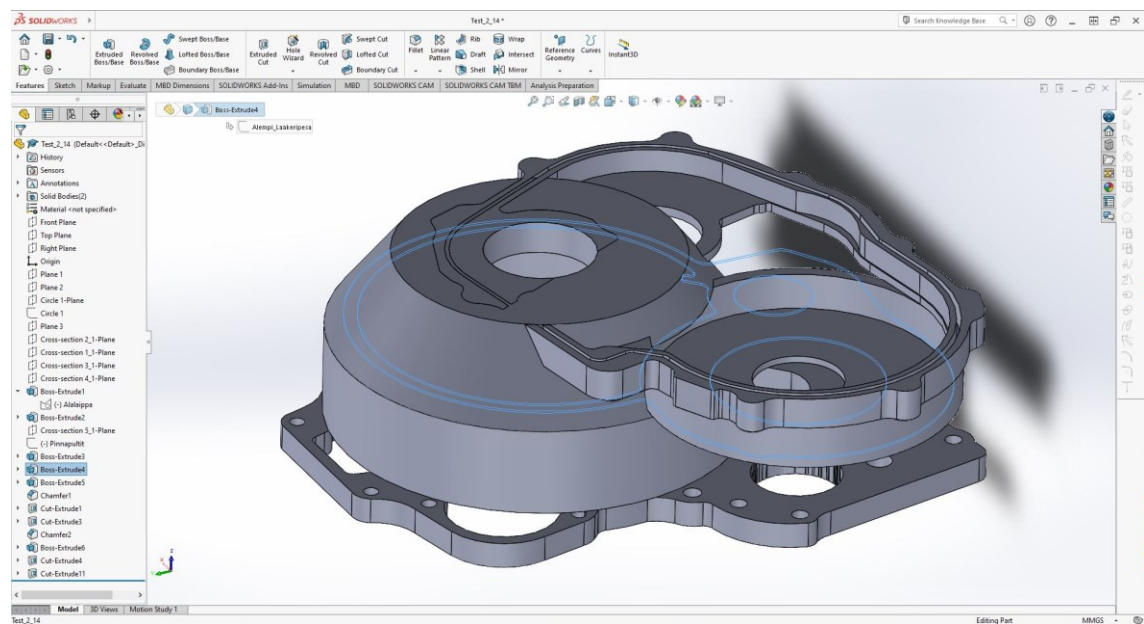
4 Skannattu kappale ja takaisinmallintaminen

3D-skannaamisen tarkoituksena on nopeuttaa ja helpottaa monimutkaisten komponenttien käänteisen suunnittelun takaisinmallintamista. 3D-skannauksen ohjelmavertailussa mainitut perusoperaatiot suoritettiin, jonka jälkeen siirryttiin mallinnusohjelmaan kappaleen tarkkaan takaisinmallintamiseen. Mallinnusohjelmana käytettiin Solidworks-ohjelmaa. Operaatiot käännettiin Solidworks-ohjelmaan. VxModelissa määritetyt tasopinnat ja niissä olevat muodot sekä reiät mallintuvat epämääräisenä suttuviivana Solidworksiin. Kääntäminen VxModelista mallinnusohjelmaan vaatii paljon laskentatehoa. Tässä vaiheessa ohjelma takkusi hyvin paljon, vaikka käytössä oli suorituskyvyltään erittäin riittävä tietokone. Aluksi siirrettiin viisi poikkileikkausta, eli VxModelin nimityksenä cross-sectionia. Mallinnustyö käynnistyi siten, että Solidworksissä tasojen poikkileikkaus cross-sectionit muutettiin sketch:iksi ja mallinnettiin ns. paperin läpi piirtäen tason kaikki muodot, niin kuin ne olivat skannatussa mallissa (kuva 21). Kun viivojen, kaarien sekä reikien paikat oli saatu piirrettyä, voitiin poistaa alkuperäinen poikkileikkauksen epämääräinen viivoitus.



Kuva 21. Poikkileikkauksen avulla läpipiirretty ulko- ja sisäkuori alalaipasta Solidworksin sketch-tasolla.

Kappaleen tärkeimmät kaksi poikkileikkaustasoa piirrettiin valmiiksi sketchiksi. Tämän jälkeen ne pursotettiin, jolloin saatiin kappaleen määrittävät ylä- ja alalaipat kohdalleen. Seuraavaksi tehtiin välissä olevat kaksi tasoa samalla menetelmällä kuin edelliset kaksi tasoa. Välissä olevat pinnat ovat ohuempia ja ne ovat ainoastaan apuna hahmottamassa muiden akselien ja laakerien paikkoja koko kappaleen mittasuhteessa. Kappaleen kannalta on erittäin tärkeää, että akselit ja laakerit ovat suhteessa täysin oikeassa kulmassa toisiinsa nähden. Jos näin ei olisi, 3D-mallin perusteella valmistettu käyttöön päätynyt kappale rikkoituisi erittäin nopeasti ja olisi käyttökelvoton. Ylä- ja alalaippa sekä välitasot olivat valmiina, jonka jälkeen täytettiin niiden väliset alueet. Nopeasti tarkasteltuna monimutkainenkin kappale voidaan jakaa erilaisiin osioihin niiden muotojen perusteella. Ensin keskitytään suurimpiin osiin ja helpompiin pyöreisiin muotoihin. Suurimpien osien ollessa paikallaan, kappale alkaa hahmottamaan alkuperäistä malliaan, joka voidaan havaita kuvasta 22. Osio kerrallaan siirrytään pienempien yksityiskohtien mallintamiseen. Ylimpänä kappaleessa oli vielä viides taso, joka määrittää pinnapulttien paikan. Ylimmän tason mallintaminen jätettiin viimeiseksi, sillä se olisi ollut sekoittamassa muuta mallinustyötä aikaisemmissa vaiheissa.



Kuva 22. Ylä- ja alalaipat sekä isoimmat selkeät muodot mallinnettuna.

Kappaleen mallintamisessa käytettiin skannauksesta saatujen tasojen poikkileikkauksien lisäksi perinteisiä takaisinmallinnus-menetelmiä. Mitat otettiin kappaleesta mittatyökaluilla, kuten digitaalisella työntömitalla sellaisista paikoista, jotka ovat tarkimmin mallintuneet skannauksessa. Tässä tapauksessa skannatun kappaleen tarkimmin mallintuneet kohdat ovat reiät sekä niiden paikat ja koko. Mikään muu ominaisuus ei mallinnu yhtä tarkasti skannatusta kappaleesta, kuin kappaleen reiät. Siihen tietoon koko valmis 3D-malli tukee itsensä. Reikien paikkoihin perustuen pystyy tekemään tarkkoja paikoituksia sekä kulmien määrityksiä muille kappaleen mallinnettaville komponenteille. Kappaleen ulkopinnat voivat poiketa alkuperäisestä. Ne eivät ole määrittäviä osia kappaleen tarkoitusta tarkasteltaessa. Ylä- tai alalaidassa saa olla vain tarkkuusluokaltaan millin sadasosia heittoa. Se tarkastetaan tekemällä laipoista laserleikkeet, joita sovitetaan alkuperäiseen kappaleeseen. Tällöin nähdään, onko laippa sopiva valmistamatta kokonaista kappaletta. Kappaleen aihio on suuri ja koneistaessa siitä jää jäljellä vain noin 12 % alkuperäisestä aihioista. Ei ole kannattavaa koneistaa kokonaista kappaletta, jos laipassa on heittoa. Kappaleen aihio on suuren kokonsa takia erittäin arvokas, mikä käy ilmi kuvasta 23.

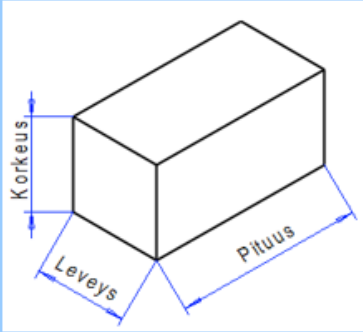
Materiaalien painot ja hinnat

Syötä mitat ja kilohinta alv0%

Alumiini

▼

	mm	€/kg	
Korkeus	160	10	
Leveys	480		
Pituus	435		
	kg	€	
Paino	91,872	918,72	

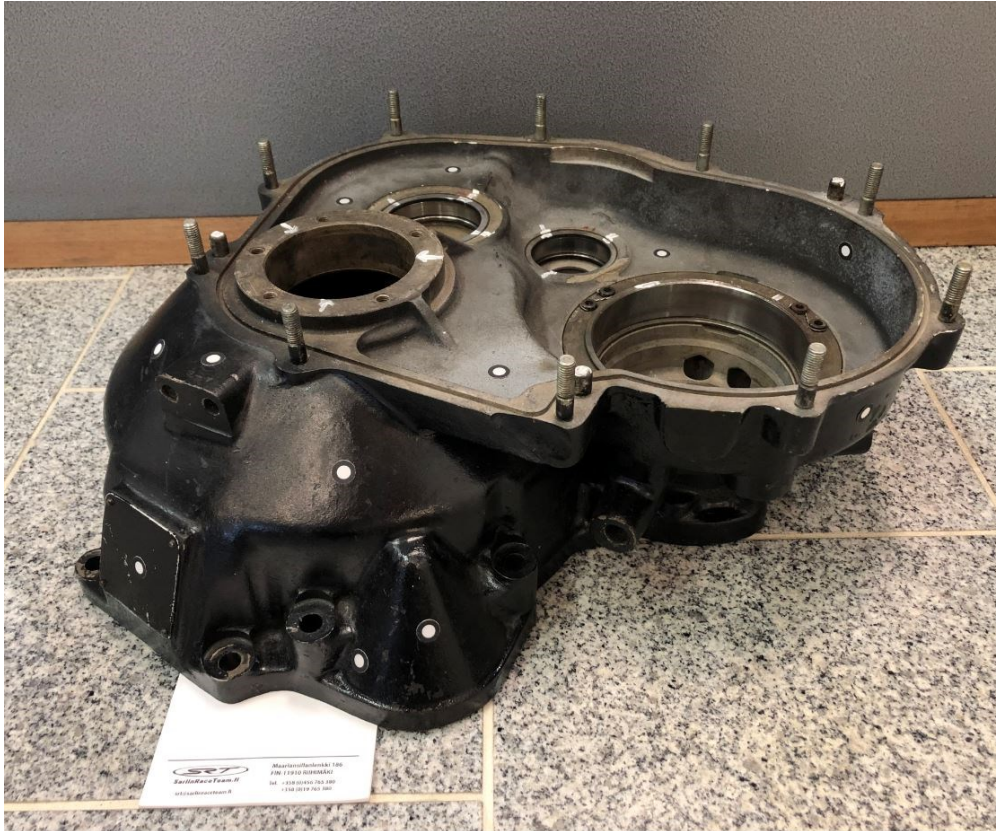


Kuva 23. Aihion massa sekä arvio aihion hinnasta.

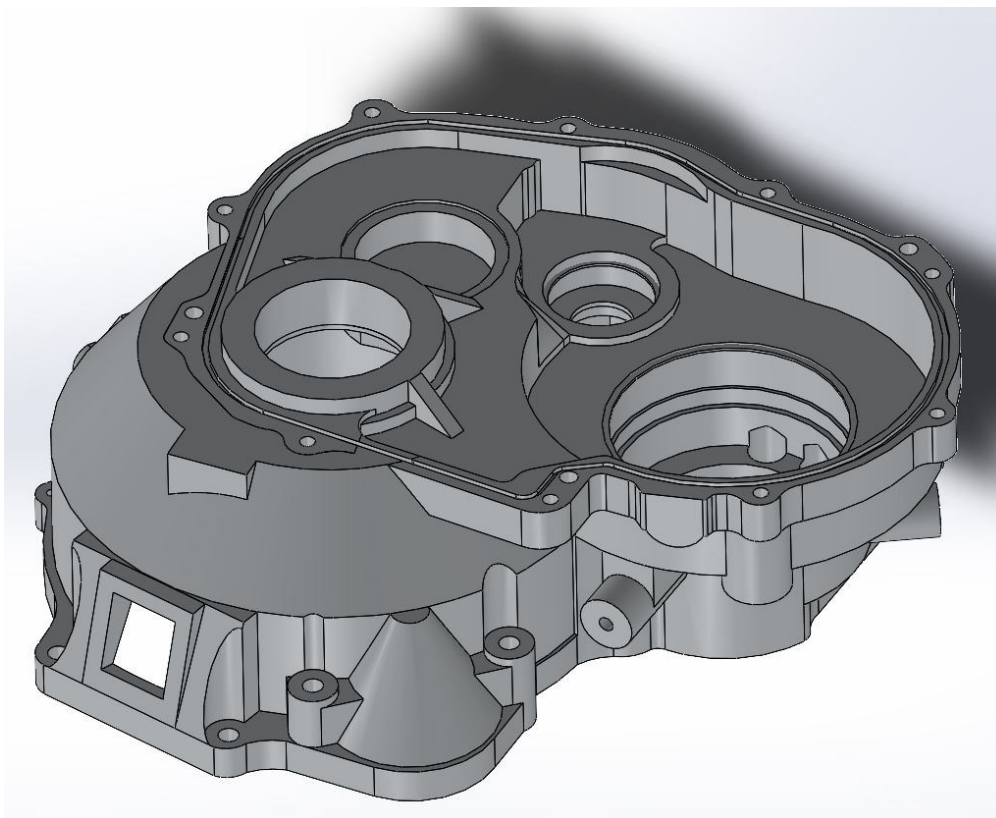
Kun kappale on saatu mallinnettua täysin valmiiksi, on se mahdollista kääntää takaisin VxElements-ohjelmistoon ja käyttää VxInspect-puolen ominaisuuksia. Näillä työkaluilla voidaan vertailla CAD-mallinnusohjelmassa mallinnettua kappaletta skannattuun malliin. Skannattu malli on hyvin rakeinen pinnaltaan, joten sitä ei suoraan voi käyttää CAD-mallina. Tästä syystä on parannettava mallia ja luotava kelvollinen CAD-malli skannaustiedoston pohjalta. Rakeinen malli suoraan koneistettuna aiheuttaisi koneistuksessa turhaa työtä ja konetunteja, sillä pinta tulee olla tasaista eikä rakeista, kuten valetussa kappaleessa, joka oli lähtökohta.

Takaisinmallinnettavana kappaleena oli kilpa-ajoneuvon vaihdelaatikon pääkuori (kuva 24). Kappaletta ei enää valmisteta, ja sellaisia edelleen tarvitaan kilpailukäyttöön. Kappale oli valmistettu magnesiumista ja oli äärimmilleen kevennetty malli. Uuden käänteisesti suunnitellun kappaleen valmistus tapahtuu koneistamalla erityisesti vaihdelaatikkoon sopivasta lentokonealumiinista. Kappaletta koneistettaessa ei ole kannattavaa tehdä kaikkia samoja kevennyksiä ja muotoja mitä valettuun kappaleeseen on tehty. Tämän takia kappaleen ulkopintaa pystyttiin yksinkertaistamaan. Tämä vähentää vaikeita muotoja ja samalla arvokasta koneaikaa. Kappaleesta tulee vahvempi, kun siihen jätetään enemmän materiaalia. Kappaleen epämääräisen muotoisten laippojen mallintaminen tarkasti pelkästään perinteisin menetelmin olisi ollut hyvin haastavaa saada onnistumaan. 3D-skannaamalla saatiin hankalimpaan työvaiheeseen apua. Akseleiden paikat ovat skannatussa mallissa tarkasti paikallaan, niin millin sadasosan tarkkuudella, kuin asteiden tarkkuudella. Tämä olisi käsin määriteltynä ollut vaikeaa. Nyt näihin pohjatietoihin nojaten pystyi tekemään kaiken lopun, mitä CAD-mallin tekeminen vaatii.

Monimutkaisen muotoisen kappaleen mallintaminen on haastavaa ja aikaa vievää. Opinnäytetyössä tehty mallintaminen on kappaleen raakamallinnus (kuva 25). Opinnäytetyössä valmistuneesta kappaleesta puuttuu pyöritykset ja kaikkien reikien tarkat mitat. Tarkat lopulliset mitat otetaan yrityksen toimesta mittalaitteella. On mahdollista, että joidakin alkuperäisessä mallissa olleita laakereita ei ole enää saatavana ja tällöin mm. laakeripesien mitat voivat muuttua. Pyöritykset jätettiin tekemättä, sillä malli siirrettiin Solidworksistä .STEP-mallina Vertex CAD:iin. Siirrossa katoaa mallille muodostunut rakenepuu. Tästä syystä mm. pyörityksiä on jälkikäteen vaikea muokata, jos mallista löydetään jokin muokkausta vaativa virhe. Skannaustekniikka ei ole vielä tarpeeksi tarkkaa, jotta se muodostaisi suoraan käyttökelpoisen CAD-mallin.



Kuva 24. Alkuperäinen 3D-skannauksen testikappale.



Kuva 25. 3D-skannauksen perusteella takaisinmallinnettu testikappale.

5 Yhteenveto

Työn tärkein päämäärä oli selvittää yrityksen näkemystä, onko kannattavaa investoida 3D-skanneri yritykselle itselleen. Markkinoiden yleisimpiä laitteita kartoitettiin ja tutkittiin niiden soveltuvuutta yrityksen käyttöön. Aluksi vaihtoehtoja tuntui olevan saatavilla hyvin vähän. 3D-skannauslaitteiden myyjien suhtautuminen kyselevään opiskelijaa oli pääosin vaivalloista. Yrityksellä oli selkeät kriteerit investoitavalle laitteelle. Laittevaihtoehtojen kartoituksen ja vertailemisen jälkeen pidettiin yhteenveto yritykselle syntyneistä päätelmistä. Laitteiden vertailu ei ollut yksiselitteistä. Teknologian ollessa uutta, sitä ei ole standardisoitu. Tämä hankaloittaa laitteiden vertailua merkittävästi. Jos standardisointia ei ole, esimerkiksi laitteenvalmistajan ilmoittama laitteen tarkkuus voi olla jotain muuta oikeasti kuin mitä on ilmoitettu. Tällöin taulukossa olevat arvot eivät ole täysin keskenään verrattavissa. Tämä näkyy liitteen 1 vertailusta. Tässä tapauksessa on luotettava valmistajien rehellisyyteen ja hyvään ammattitaitoon. Valmistajien testausmenetelmät saattavat erota toisistaan, joten se voi aiheuttaa eroja teknisiin tietoihin. Teknologian uutuus näkyy siinä, että suurin osa teknologiasta kertovasta tietoudesta on vielä toistaiseksi englanniksi, joka luo oman haasteensa vertailutyöhön. Vertailun laitteista jäi jäljelle kaksi sopivaa vaihtoehtoa. Creaform HandySCAN Black 45 malli oli yli budjetin, mutta sen tekniikka on uudempaa, joka ei vanhene yhtä nopeasti. Ehdotuksena yritykselle on pyytää tarjoukset 307- ja Black 45-malleista. Kummallakin laitteella saa riittävän tarkkaa skannausdataa, mitä takaisinmallintaminen vaatii. Parhaiten budjettiin sopiva laite, kriteerit huomioon ottaen, on Creaform HandySCAN 307. 307 on muihin laitevertailun laitteisiin nähden tarkkuudeltaan tarkka laite. Kaikki kriteerit huomioiden 307 on paras laite yrityksen tarkoitukseen.

Yrityksen 3D-skannatulla testikappaleella tehtiin testiversio takaisinmallintamisen hyödyntämisestä. 3D-skannaus oli täysin uusi tekniikan osa-alue, enkä ollut ikinä käyttänyt vastaavia 3D-skannaukseen tarkoitettuja ohjelmia. Tämä loi työhön oman haasteensa ja mielenkiinnon oppia täysin uutta tekniikkaa. Maailmanlaajuinen COVID-19-pandemiatilanne vaikutti työhön siten, ettei työn aikana pidetty esittelyä tai opetustilaisuutta ohjelman maahantuojaan toimesta, vaan mallinnustyö tehtiin täysin itsenäisesti opiskellen. Ohjeiden puuttumisen takia osa käytettävän ohjelman hyvistä ominaisuuksista on saattanut jäädä hyödyntämättä. Mallinnuksen lopputulokseen olisi voinut päästä helpomminkin, jos kaikkia ohjelman ominaisuuksia olisi osannut hyödyntää tarvittavalla tavalla. Huolimatta

skannatusta 3D-mallista, joutuu mallinnettuun CAD-malliin edelleen tarkistamaan mittoja mittalaitteella, jotta ne saadaan täysin oikeiksi ja oikeisiin toleransseihin.

Fotogrammetria on yksi vaihtoehto esimerkkikappaleiden takaisinmallintamista varten. Se on edullinen tekniikka, sillä siihen tarvitaan vain ohjelma ja digitaalikamera käyttöä varten. Esimerkkikappale oli erittäin monimutkaisen muotoinen ja fotogrammetriaa hyödyntäen kuvia olisi pitänyt ottaa monesta eri suunnasta. Fotogrammetrialla työ olisi ollut tehtävissä, mutta se olisi ollut aikaa vievää. Jos vastaavia töitä tulee muutama vuodessa, fotogrammetria voi olla yksi toimiva ratkaisu. 3D-skannaaminen antaa avun mallinnustyön vaikeimpaan kohtaan, mutta toistaiseksi sillä on todella korkea hinta suhteessa sen tarjoamaan hyötyyn, jota tarvitaan toistaiseksi vain harvoin. Merkittävimpänä tekijänä tulee miettiä, kuinka usein 3D-skannauksia tarvitaan. Ehkä paras vaihtoehto olisi ostaa alihankkijalla olevan 3D-skannerin ohjelman lisenssi yrityksen omaan käyttöön. Tällöin skannattua kappaletta voisi muokata haluamallaan tavalla omalla työpisteellään ja vain itse 3D-skannaus tehtäisiin alihankkijalla. Yrityksen mallintajana toimiva henkilö saisi itse vapaasti valittua tarvitsemansa asiat skannatusta 3D-mallista, eikä olisi riippuvainen skannaajan avusta. Tämä nopeuttaisi työtä merkittävästi ja antaisi avun kaikista vaikeimpiin mallinnettaviin kohtiin CAD-mallissa.

Lähteet

- 1 Sarlin Race Team: Historia. Verkkoaineisto <<https://sarlinraceteam.fi/historia/>>. Luettu 01.02.2021.
- 2 3DScanCo: 3D Scanning Technical Information. Verkkoaineisto. <<https://www.3dscanco.com/3d-scanning-technical-information/>> Luettu 01.03.2021.
- 3 3DScanCo: 3D Scanning Benefits. Verkkoaineisto. <<https://www.3dscanco.com/3d-scanning-benefits/>> Luettu 01.03.2021.
- 4 Mostafa A-B Ebrahim: 3D Laser Scanners Techniques Overview. Lokakuu 2015. Verkkodokumentti. <https://www.researchgate.net/publication/282753883_3D_Laser_Scanners'_Techniques_Overview> Luettu 02.03.2021.
- 5 EMS-USA: Types of 3D Scanners and 3D Scanning Technologies. Verkkodokumentti. <<https://ems-usa.com/3d-knowledge-center/3d-scanning-knowledge-center/3d-scanning-technical-papers/>> Luettu 03.03.2021.
- 6 3D-CADSOLUTIONS: 3D-Skannerien valintaopas. Verkkoaineisto. <<https://www.an-cadsolutions.fi/3d-laitteet-ja-materiaalit/3d-skanneri/>> Luettu 04.03.2021.
- 7 Sitnik & Karaszewski: Optimized point cloud triangulation for 3D scanning systems. Tammikuu 2008. Verkkodokumentti. <https://www.researchgate.net/publication/229838769_Optimized_point_cloud_triangulation_for_3D_scanning_systems> Luettu 05.03.2021.
- 8 Laser Design: 3D Scanning Technology – Hard Work That Looks Like Magic. Verkkoaineisto. <<https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning>> Luettu 08.03.2021.
- 9 Kamani Karan: Types of 3D Scanning Tevhnologies and 3D Scanners. Kesäkuu 2020. Verkkodokumentti <<https://www.linkedin.com/pulse/types-3d-scanning-technologies-scanners-karan-kamani>> Luettu 08.03.2021.
- 10 Flynt Joseph: Types of 3D Scanning Technologies. Huhtikuu 2019. Verkkoartikkeli. <<https://3dinsider.com/3d-scanning-technology/>> Luettu 09.03.2020.
- 11 Arrighi Pierre-Antoine: 3D Scanners categories. Helmikuu 2020. Verkkoartikkeli. <<https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanners-categories/>> Luettu 09.03.2021.

- 12 O'Day Eugene: 3D Laser Scanning: Different Type of Scanners. Heinäkuu 2013. Verkkoaineisto. <<https://www.ideateinc.com/blog/2013/07/3d-laser-scanning-different-type-of>> Luettu 10.03.2021.
- 13 Santaluoto Olli: 3D-skannaukseen perehtyminen. Huhtikuu 2012. Insinööriyö. <<https://www.theseus.fi/handle/10024/45691>> Luettu 10.03.2021.
- 14 Cultural Heritage Imaging: Photogrammetry. Verkkoaineisto. <<http://culturalheritageimaging.org/Technologies/Photogrammetry/>> Luettu 11.03.2021
- 15 Laurila Pasi: Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 2012. <<http://www.ramk.fi/fi/Palvelut-tyoelamalle/Julkaisutoiminta/Tekniikka-ja-liikenne/Mittaus-ja-kartoitustekniikan-perusteet>>
- 16 EMS3D: Creaform HandySCAN Black Detailed Demonstration. Elokuu 2019. Verkkovideo, Verkkoaineisto. <<https://www.youtube.com/watch?v=RhK-fOYI4u3Q>> Katsottu 07.12.2020.
- 17 Europac 3D: Audi 80 Verkkosimulaatiomalli, Verkkoaineisto. <<https://europac3d.com/3d-scanners/artec-eva-3d-models/audi-80/>> Katsottu 07.12.2020.
- 18 Artec 3D: Reverse-engineering racing parts with Artec Eva. Verkkovideo, Verkkoaineisto. <<https://www.youtube.com/watch?v=yjncPtVv0No>> Luettu 12.03.2021.
- 19 Rensi Finland Oy: Kreon nivelvarsi-koneet. Verkkoaineisto. <<https://www.rensi.fi/tuotteet/mittauskoneet/kreon-nivelvarsimittakone/kreon-siirrettava-mittakone/>> Luettu 12.03.2021.
- 20 Rensi Finland Oy: Axiom too -mittauskone. Verkkoaineisto. <<https://www.rensi.fi/tuotteet/mittauskoneet/aberlink/axiom-too-koordinaattimittauskone/>> Luettu 12.03.2021.
- 21 Brett Daniel: Choosing the Right Intel Xeon or Core CPUs for Your Server Motherboard. Heinäkuu 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.trentonsystems.com/blog/intel-xeon-vs-core-cpus-server-motherboards>> Luettu 15.03.2021.
- 22 MLT Machine & Laser Technology Oy: Go!SCAN Spark 3D-skanneri. Verkkoaineisto. <<https://www.mltfinland.fi/goscan-spark/>> Luettu. 11.12.2020.
- 23 MLT Machine & Laser Technology Oy: HandySCAN 3D-skanneri. Verkkoaineisto. <<https://www.mltfinland.fi/handyscan3d/>> Luettu. 11.12.2020.
- 24 MLT Machine & Laser Technology Oy: HandySCAN Black 3D-skanneri. Verkkoaineisto. <<https://www.mltfinland.fi/handyscan-black/>> Luettu. 11.12.2020.

- 25 Userbenchmark.com: Näytönohjaimien vertailu. 2021. Verkkoaineisto. <<https://gpu.userbenchmark.com/Compare/Nvidia-Quadro-P5000-vs-Nvidia-Quadro-M4000/m197331vsm37687>> Luettu 15.12.2020.
- 26 Userbenchmark.com: Prosessorien vertailu. 2021. Verkkoaineisto. <<https://cpu.userbenchmark.com/Compare/Intel-Core-i7-8850H-vs-Intel-Xeon-E5-2630-v3/m485626vsm22651>> Luettu 15.12.2020.
- 27 Solutionix C500 Teknisten tietojen esite. 2017. Laitteen esite, Verkkodokumentti. <<http://www.physimetrics.com/content/C500%20and%20D500.pdf>> Luettu 07.12.2020.
- 28 Solutionix D700 Teknisten tietojen esite. 2017. Laitteen esite, Verkkodokumentti. <<http://www.physimetrics.com/content/D SERIES ENG 180411 6p 1rrr.pdf>> Luettu 07.12.2020.
- 29 Artec Space Spider Teknisten tietojen esite. 2015. Laitteen esite, Verkkoaineisto. <<https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-spider>> Luettu 07.12.2020.
- 30 Artec Micro Teknisten tietojen esite. 2019. Laitteen esite, Verkkoaineisto. <<https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-micro>> Luettu 07.12.2020.
- 31 Artec Eva Teknisten tietojen esite. 2020. Laitteen esite, Verkkoaineisto. <<https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-eva>> Luettu 07.12.2020.
- 32 Artec Leo Teknisten tietojen esite. 2017. Laitteen esite, Verkkoaineisto. <<https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-leo>> Luettu 07.12.2020.
- 33 Creafom Go!SCAN Spark Teknisten tietojen esite. 2019. Laitteen esite, Verkkoaineisto. <https://www.mltfinland.fi/wp-content/uploads/2016/05/GoSCAN-3D_Brochure_EN_EMEA_15042019-002.pdf> Luettu 07.12.2020.
- 34 Creafom HandySCAN 300 ja 700 Teknisten tietojen esite. 2014. Laitteen esite, Verkkoaineisto. <https://www.mltfinland.fi/wp-content/uploads/2018/05/handyscan3d_brochure_en_hq_21032017_2.pdf> Luettu 07.12.2020.
- 35 Creafom HandySCAN 307,45 ja 55 Teknisten tietojen esite. 2019. Laitteen esite, Verkkoaineisto. <https://www.mltfinland.fi/wp-content/uploads/2016/05/HandySCAN3D_Brochure_EN_HQ_27032019-002.pdf> Luettu 07.12.2020.
- 36 ZEISS T-SCAN hawk Teknisten tietojen esite. 2020. Laitteen esite, Verkkoaineisto. <https://www.3dees.cz/images/scans/zeiss/t-scan-hawk/T-SCAN_hawk-produktflyer_pro%20web.pdf> Luettu 07.12.2020.

- 37 TU Wien Department of Geodesy and Geoinformation: Thin Out a Huge Point Cloud with the Pointcloud Class. Verkkoaineisto. <<https://www.geo.tu-wien.ac.at/downloads/pg/pctools/publish/pointCloudThinOut/html/point-CloudThinOut.html>> Luettu 31.03.2021.
- 38 NeoMetrix Technologies Inc: What you need to Know About 3D scanning. Verkkoaineisto. <<http://3dscanningservices.net/blog/need-know-3d-scanning/>> Luettu 31.03.2021.
- 39 MyMechatronics: Laser Rangefinder. Verkkoaineisto. <<http://mymechatronics.pbworks.com/w/page/74907566/Laser%20Rangefinder>> Luettu 31.03.2021.
- 40 Researchgate.net: The Schematic Diagram of a Time of Flight (TOF) sensor. Verkkoaineisto. <https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-diagram-of-a-time-of-flight-TOF-sensor_fig4_335317560> Luettu 31.03.2021.
- 41 Altawell Mark: Making 3D Models with Photogrammetry. Marraskuu 2016. Verkkoaineisto. <<https://www.gislounge.com/making-3d-models-photogrammetry/>> Luettu 31.03.2021.
- 42 3Printr.com, Doris: Creafom's HandySCAN 3D Awarded with Red Dot for Product Design. Huhtikuu 2015. Verkkoartikkeli. <<https://www.3printr.com/creafoms-handyscan-3d-awarded-with-red-dot-for-product-design-4428320/>> Luettu 31.03.2021.
- 43 Leica Geosystems AG: Keilain. Verkkoaineisto. <<https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/laser-scanners/scanners>> Luettu 31.03.2021.
- 44 Aberlink Ltd: Axiom too CMM. Verkkoaineisto. <<https://www.aberlink.com/products/coordinate-measuring-machines/axiom-too/cnc/>> Luettu 31.03.2021.
- 45 Maar Hannes, Zogg Hans-Martin: WFD – Wawe Form Digitizer Technology. Syyskuu 2014. Verkkodokumentti. <https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/nova_ms50/white-tech-paper/leica_nova_ms50_wfd-wave_form_digitizer_technology_tpa_en.pdf> Luettu 12.03.2021.

3D-skannerien teknisten tietojen vertailu 1/2021

3D-skannerien teknisten tietojen vertailu 1/2021										
Malli	Resoluutio Measurement (mm)	Resoluutio Mesh (mm)	Tarkkuus (mm)	Valon lähde	Mittausnopeus 1/s	Skannerin mallityyppi	Hyvä	Neutraali	Huono	Poikkeava
								Paino (kg)	julkaisu vuosi	Hinta (OVH)
Solutionix C500	Kameran resoluutio 2x 5,0MP	Kameran resoluutio 2x 5,0MP	0,028-0,157	Siin. LED	Ei ilmoitettu	Kaappimallinen	2,3	2018	25€-34,5€	
Solutionix D700	Kameran resoluutio 2x 6,4MP	Kameran resoluutio 2x 6,4MP	0,029	Siin. LED	Ei ilmoitettu	Kaappimallinen	12	2018	24€-31€	
Artec Space Spider	0,100	0,100	0,050	Siin. LED	1 Milj.	Kädessä pidettävä	0,8	2015	19,7€	
Artec Micro	0,029	0,029	0,010	Siin. LED	1 Milj.	Kaappimallinen	12	2019	27,9€	
Artec Eva	0,200	0,200	0,100	Flash Bulb (no laser)	18 Milj.	Kädessä pidettävä	0,85	2020	13,7€	
Artec Leo	0,200	0,200	0,100	VCSSEL = Vertical Cavity Surface-Emitting Laser	35 Milj.	Kädessä pidettävä	2,6	2017	26,7€	
GO!SCAN SPARK	0,100	0,200	0,050	White Light/ Strukturoitu valo (99stripes)	1,5 Milj.	Kädessä pidettävä	1,25	2019	38€	
Handyscan 300	0,100	0,100	0,040	3x Pun. Laser	205000	Kädessä pidettävä	0,85	2014	12€	
Handyscan 700	0,050	0,050	0,030	7x Pun. Laser	480000	Kädessä pidettävä	0,85	2014	29€	
Handyscan 307 "Uusi 700"	0,100	0,200	0,040	7x Pun. Laser	480000	Kädessä pidettävä	0,85	2019	30€	
Handyscan Black 45	0,025	0,100	0,035	7x Siin. Laser	800000	Kädessä pidettävä	0,94	2019	45€	
Handyscan Black 55 "Elite"	0,025	0,100	0,025	11x Siin. Laser	1,3 Milj.	Kädessä pidettävä	0,94	2019	55€	
Zeiss T-SCAN Hawk	0,050	0,050	0,020	7x Pun. Laser	210000	Kädessä pidettävä	1,10	2020	40€	

Tietokonemallien vertailu 1/2021

Pöytä tietokone vs Kannettavatietokone vertailu 1/2021			
Asia	Pöytä tietokone	Kannettava tietokone	
Suorituskyky	Pöytä kone aina tehokkaampi +	Kannettavatietokoneen osat aina huonompia suorituskyvyttään, pienempi koko -	
Jäähdytys	Parempi jäähdytys, sillä isompi kotelo ja enemmän puhaltimia +	Kaikki komponentit pakattu pieneen koteloon, jossa huonompi ilmanvirtaus -	
Käytettävyys	Sidottu yhteen työpöytäseeseen -	Voi kuljettaa minne vain +	
Monikäyttöisyys	Sopii samanaikaisesti muuhun työhön, kuten koneistukseen +	Ei voida tehdä montia toimenpiteitä yhtä aikaa, kuten koneistaa -	
Muita huomioita:	pitkäikäisempi ratkaisu +	Huonompi jäähdytettävyys -> komponentit kuluu nopeammin -> lyhyempi kestoikä -	
Etätyö	Hankalasti siirrettävissä -	Etätyömahdollisuus työntekijälle +	
Päivitetävyys	Osia pystyvä päivittämään, kun suorituskyky ei ole riittävä +	Suorituskykyyn vaikuttavia osia ei pysty vaihtamaan pl. keskusmuisti -	
Tilaergonomia	Vie enemmän tilaa: Näyttö, näppäinistö, hiiri ja pöytä kone kaikki erillään -	Tilaergonomialtaan parempi, kaikki yhdessä paketissa +	
Hyötyosuhte	Samalla rahalla tehokkaampi, kuin kannettavatietokone +	Kannettavassa tietokoneessa hinta perustu kannettavuuteen -	
Hyvää:	6	3	
Neutraalia:	2	3	
Huonoa:	1	3	
	Pöytäkonessa enemmän hyviä huomioita.		
	Pöytäkonessa on vähemmän neutraaleja huomioita sekä vähemmän huonoja huomioita		
	Pöytä kone on tähän tarkoitukseen parempi vaihtoehto.		

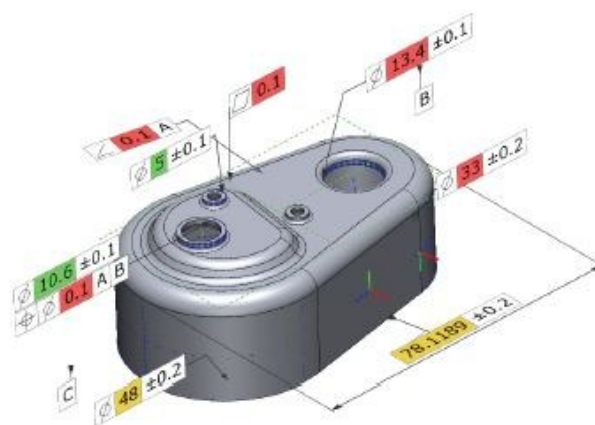
Solutionix C500 Teknisten tietojen esite

The perfect solution for all application

Quality Inspection

Utilizing 3D scan data, you can experience an automated quality control process. Compare measurements to the nominal CAD model and create color coded deviation maps of the errors in 3D. Identify and find solutions to any potential structural & functional defect by modeling the system or product in a virtual environment.

- 3D correction & improvement
- Tooling Inspection
- Process optimization & Automation
- Nominal & Actual comparison (CAD)
- Geometric dimensioning & Tolerancing (GD&T)



Reverse Engineering

Reverse engineering enables you to rectify tooling data, to transfer product developments into mass production in a time and cost saving manner, or to quickly and easily transfer older objects of which 3D data sets are not yet available in the CAD environment.

Additionally, you can produce detailed pieces in various materials with seamless data integration.

- System engineering
- Rapid prototyping
- 3D modeling & printing
- Document & archiving



Technical Data

Solutionix C500 is available with different levels of detail. The measuring areas of this sensor can be changed easily, covering a range of different part size.

Section	Solutionix C500	Remark
Resolution	2 x 5 Mpx	
Measuring area (mm)	90 / 175 / 350	
Point spacing (mm)	0.028 / 0.056 / 0.110	
Dimensions (mm)	315 x 270 x 80	Scanner head only
Weight	Approx. 2 kg	Scanner head only
Interface	USB 3.0 B type	
Accessories	3-Axis turntable	2 Rotation / 1 Swing

SOLUTIONIX 5

Solutionix D700 Teknisten tietojen esite

Simple, Smart yet Powerful

Solutionix D-Series

Making 3D scanning an enjoyable experience

The Solutionix D-Series provides high quality 3D scan data with the innovative Blue LED technology. With the newly upgraded scan engine and optimized scanning algorithms for the Solutionix D-Series, users will notice huge improvements to the scanners' performance. With the use of dual cameras of 2.0MP (Solutionix D500) and 6.4MP (Solutionix D700) resolution, and a 2-axis arm, users can perform multi-angle scanning which reduces the noise of scan data and minimizes blind spots.

For Small and Intricate Objects

- Advanced Blue Light Scanning Technology
- An Intuitive Active Sync Function
- Fast and Easy to use Scanning Process-Scanner Specifications



Solutionix D500



Solutionix D700

3D Scanner & PC specifications

PC	Installation requirements	
	Minimum	Recommended
CPU	Intel i5	Above Intel i7
RAM	16GB	Above 32GB
Graphic Card	Geforce GTX 660	Above Geforce GTX 1060
O/S	Windows 7, 8, 10 / 64 bit	

3D Scanner	Solutionix D500	Solutionix D700
Camera resolution	2 x 2.0 MP	2 x 6.4 MP
Point spacing	0.056 mm	0.029 mm
3D Scanning area(FOV)	120 mm	100 mm
3D Scanning principle	Phase shifting optional triangulation	Phase shifting optional triangulation
Dimension	290 x 290 x 340 mm (scanner only)	290 x 290 x 340 mm (scanner only)
Weight	12 kg (scanner only)	12 kg (scanner only)
Light source	Blue LED	Blue LED
Interface	USD 3.0 B Type	USD 3.0 B Type
Power	AC 100 - 240V, 47 - 63 Hz	AC 100 - 240V, 47 - 63 Hz

www.solutionix.com

Artec Space Spider Teknisten tietojen esite

TECHNICAL SPECIFICATIONS

3D point accuracy, up to	0.05 mm
3D resolution, up to	0.1 mm
3D accuracy over distance, up to	0.05 mm + 0.3 mm/m
Working distance	0.2 – 0.3 m
Linear field of view, H+W @ closest range	90 × 70 mm
Linear field of view, H+W @ furthest range	180 × 140 mm
Angular field of view, H+W	30 × 21°
Ability to capture texture	Yes
Texture resolution	1.3 mp
Colors	24 bpp
3D reconstruction rate, up to	7.5 fps
Data acquisition speed, up to	1 mln points/s
3D exposure time	0.0002 s
2D exposure time	0.0002 s
3D light source	Blue LED
2D light source	White 6 LED array
Interface	1 × USB 2.0, USB 3.0 compatible

Computer requirements

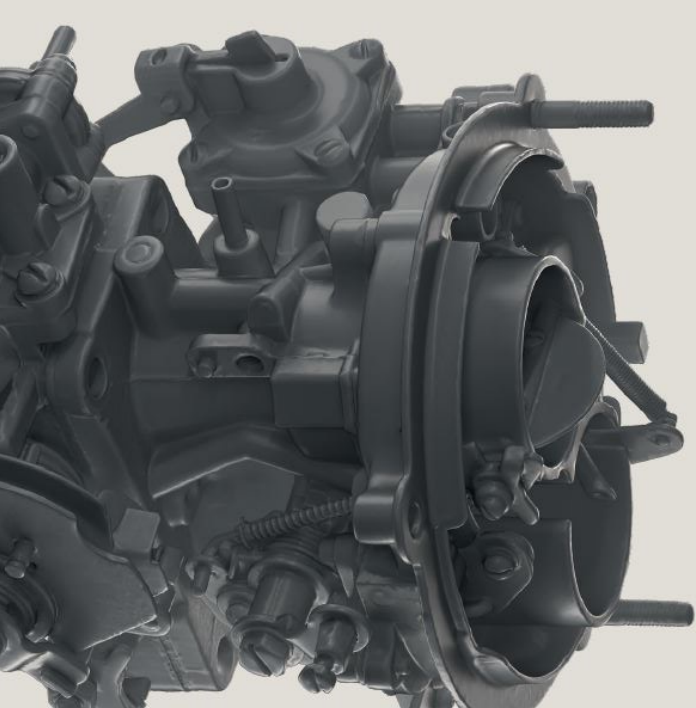
Supported OS	Windows 7, 8 or 10 x64
Recommended computer requirements	Intel Core i7 or i9, 32 GB RAM, GPU with 2 GB VRAM
Minimum computer requirements	Intel Core i5, i7 or i9, 18 GB RAM, GPU with 2 GB VRAM

Output formats

3D mesh formats	OBJ, PLY, WRML, STL, AOP, ASC, PTX, E57, XYZRGB
CAD formats	STEP, IGES, X_T
Formats for measurements	CSV, DXF, XML

Power source and dimensions

Power source	AC power or external battery pack
Dimensions, H × D × W	190 × 140 × 130 mm
Weight	0.8 kg / 1.8 lb






Artec Micro Teknisten tietojen esite

SPECIFICATIONS

	MICRO	SPACE SPIDER	EVA	LEO
3D point accuracy, up to	0.01 mm	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm
3D resolution, up to	0.029 mm	0.1 mm	0.2 mm	0.2 mm
Scanner type	Desktop	Handheld	Handheld	Handheld
Ability to capture texture	Yes	Yes	Yes	Yes
Texture resolution	6.4 mp	1.3 mp	1.3 mp	2.3 mp
Colors	24 bpp	24 bpp	24 bpp	24 bpp
Data acquisition speed, up to	1 mln points/s	1 mln points/s	18 mln points/s	35 mln points/s
3D exposure time	Customizable	0.0002 s	0.0002 s	0.0002 s
2D exposure time	Customizable	0.0002 s	0.00035 s	0.0002 s
3D light source	Blue LED	Blue LED	Flash bulb	VCSEL
Interface	USB 3.0	1 × USB 2.0, USB 3.0 compatible	1 × USB 2.0, USB 3.0 compatible	Wi-Fi, Ethernet, SD card
Supported OS	Windows 10 x64	Windows 7, 8 or 10 x64	Windows 7, 8 or 10 x64	Scanning: No computer required Data processing: Windows 7, 8, 10 x64
Recommended computer requirements <i>(Please refer to www.artec3d.com for detailed hardware requirements.)</i>	Intel Core i7 or i9, 64+ GB RAM, NVIDIA GPU with at least 3 GB VRAM, CUDA 3.5+	Intel Core i7 or i9, 32 GB RAM, GPU with 2 GB VRAM	Intel Core i7 or i9, 64+ GB RAM, NVIDIA GPU with 8+ GB VRAM, CUDA 6.0+	Intel Core i7 or i9, 64+ GB RAM, NVIDIA GPU with 8+ GB VRAM, CUDA 6.0+
Power source	AC power	AC power or external battery pack	AC power or external battery pack	Built-in exchangeable battery, optional AC power
Dimensions, H × D × W	290 × 290 × 340 mm	190 × 140 × 130 mm	262 × 158 × 63 mm	231 × 162 × 230 mm
Weight	12 kg / 26.7 lb	0.8 kg / 1.8 lb	0.9 kg / 2 lb	2.6 kg / 5.7 lb
3D mesh formats	OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASC, Disney PTX (PTEX), E57, XYZRGB			
CAD formats	STEP, IGES, X_T			
Formats for measurements	CSV, DXF, XML			

MIC-B-001-11/2020-NOP-EN



www.artec3d.com

Artec Eva Teknisten tietojen esite

TECHNICAL SPECIFICATIONS

3D point accuracy, up to	0.1 mm
3D resolution, up to	0.2 mm
3D accuracy over distance, up to	0.1 mm + 0.3mm/m
HD Mode	Yes
Working distance	0.4 – 1 m
Linear field of view, HxW @ closest range	214 x 148mm
Linear field of view, HxW @ furthest range	536 x 371 mm
Angular field of view, HxW	30 x 21°
Ability to capture texture	Yes
Texture resolution	1.3 mp
Colors	24 bpp
3D reconstruction rate, up to	16 fps
Data acquisition speed, up to	18 m/h points/s
3D exposure time	0.0002s
2D exposure time	0.00035s
3D light source	Flash bulb
2D light source	White 12 LED array
Interface	1 x USB 2.0, USB 3.0 compatible
Calibration	No special equipment required

Computer requirements

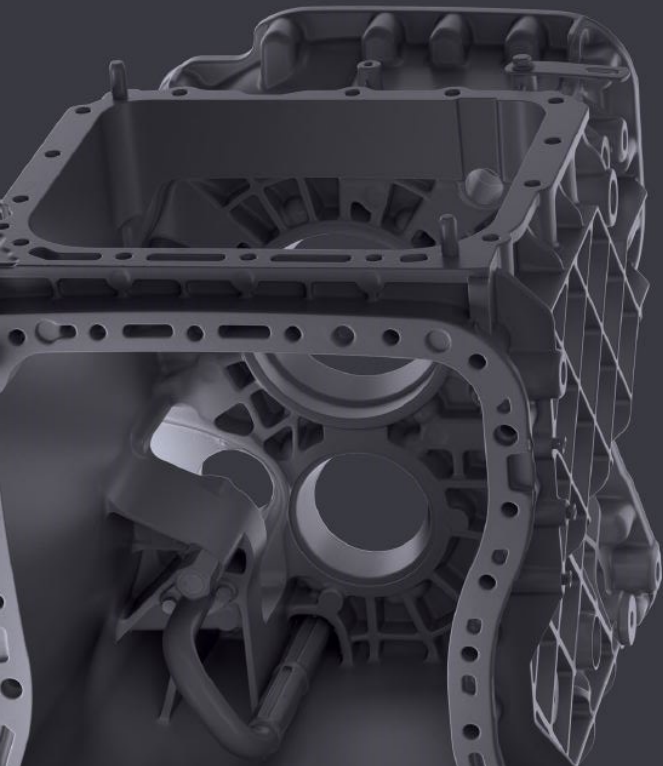
Supported OS	Windows 7, 8 or 10 x64
Recommended computer requirements	Intel Core i7 or i9, 64+ GB RAM, NVIDIA GPU with CUDA 6.0+ and 8+ GB VRAM
Minimum computer requirements	HD: Intel Core i7 or i9, 32GB RAM, NVIDIA GPU with CUDA 6.0+ and 2 GB VRAM SD: Intel Core i5, i7 or i9, 12 GB RAM, CPU with 2 GB VRAM

Output formats

3D mesh formats	OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASC, PTX, E57, XYZRGB
CAD formats	STEP, IGES, X_T
Formats for measurements	CSV, DXF, XML

Power source and dimensions

Power source	AC power or external battery pack
Dimensions, H x D x W	282 x 158 x 63 mm
Weight	0.9 kg / 2 lb



Artec Leo Teknisten tietojen esite

	LEO	EVA	SPACE SPIDER
Working distance	0.35 – 1.2 m	0.4 – 1 m	0.2 – 0.3 m
Volume capture zone	160,000 cm ³	61,000 cm ³	2,000 cm ³
Linear field of view, H x W @ closest range	244 x 142 mm	214 x 148 mm	90 x 70 mm
Linear field of view, H x W @ furthest range	838 x 488 mm	536 x 371 mm	180 x 140 mm
Angular field of view, H x W	38.5 x 23°	30 x 21°	30 x 21°
3D resolution, up to	0.2 mm	0.2 mm	0.1 mm
3D point accuracy, up to	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm
3D accuracy over distance, up to	0.1 mm + 0.3 mm/m	0.1 mm + 0.3 mm/m	0.05 mm + 0.3 mm/m
Texture resolution	2.3 mp	1.3 mp	1.3 mp
HD Mode	Yes	Yes	N/A
Colors	24 bpp	24 bpp	24 bpp
3D reconstruction rate for real-time fusion, up to	22 fps	16 fps	7.5 fps
3D reconstruction rate for 3D video recording, up to	4.4 fps	16 fps	7.5 fps
3D reconstruction rate for 3D video streaming, up to	80 fps	—	—
Data acquisition speed, up to	35 mln points/s	18 mln points/s	1 mln points/s
3D exposure time	0.0002 s	0.0002 s	0.0002 s
2D exposure time	0.0002 s	0.00035 s	0.0002 s
3D light source	VCSEL	Flash bulb	Blue LED
2D light source	White 12 LED array	White 12 LED array	White 6 LED array
Position sensors	Built-in 9 DoF inertial system	—	—
Display / touchscreen	Integrated 5.5" half HD, CTP, optional Wi-Fi/Ethernet video streaming to external device	USB streaming through an external computer	USB streaming through an external computer
Multi-core processing	Embedded processors: NVIDIA® Jetson™ TX1 Quad-core ARM® Cortex®-A57 MPCore Processor NVIDIA Maxwell™ 1 TFL0P5 GPU with 256 NVIDIA® CUDA® Cores	On external computer	On external computer
Interface	Wi-Fi, Ethernet, SD card	1 x USB 2.0, USB 3.0 compatible	1 x USB 2.0, USB 3.0 compatible
Internal hard drive	256 GB SSD	—	—

	LEO	EVA	SPACE SPIDER
Supported OS	Scanning: No computer required Processing: Windows 7, 8, 10 x64	Windows 7, 8, 10 x64	Windows 7, 8, 10 x64
Recommended computer requirements	Intel Core i7 or i9 64+ GB RAM, NVIDIA GPU with CUDA 6.0+ and 8+ GB VRAM	Intel Core i7 or i9 64+ GB RAM, NVIDIA GPU with CUDA 6.0+ and 8+ GB VRAM	Intel Core i7 or i9 32 GB RAM, CPU with 2 GB VRAM
Minimum computer requirements	HD: Intel Core i7 or i9, 32 GB RAM, NVIDIA GPU with CUDA 6.0+ and at least 4 GB VRAM SD: Intel Core i5, i7 or i9, 32 GB RAM, GPU with 2 GB RAM A computer is needed only for data processing, scanning does not require a computer.	HD: Intel Core i7 or i9, 32 GB RAM, NVIDIA GPU with CUDA 6.0+ and at least 2 GB VRAM SD: Intel Core i5, i7 or i9, 12 GB RAM and GPU with 2 GB VRAM	Intel Core i5, i7 or i9, 18 GB RAM and GPU with 2 GB VRAM
3D mesh formats	OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASC, Disney PTX (PTEX), E57, XYZRGB		
CAD formats	STEP, IGES, X_T		
Formats for measurements	CSV, DXF, XML		
Power source	Built-in exchangeable battery, optional AC power	AC power or external battery pack	AC power or external battery pack
Dimensions H x D x W	231 x 162 x 230 mm	262 x 158 x 63 mm	190 x 140 x 130 mm
Weight	2.6 kg / 5.7 lb	0.9 kg / 2 lb	0.8 kg / 1.8 lb



Creaform Go!SCAN Spark Teknisten tietojen esite

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Innovating technology that provides TRUaccuracy™, TRUsimplicity™, TRUportability™ as well as real speed to your professional-grade applications.

Go!SCAN SPARK™	
ACCURACY ⁽¹⁾	Up to 0.050 mm
VOLUMETRIC ACCURACY ⁽²⁾ (based on part size)	0.050 mm + 0.150 mm/m
VOLUMETRIC ACCURACY WITH MaxSHOT Next™ I Elite ⁽³⁾	0.050 mm + 0.015 mm/m
MEASUREMENT RESOLUTION	0.100 mm
MESH RESOLUTION	0.200 mm
MEASUREMENT RATE	1,500,000 measurements/s
LIGHT SOURCE	White light (89 stripes)
POSITIONING METHODS	Geometry and/or color and/or targets
SCANNING AREA	390 x 390 mm
STAND-OFF DISTANCE	400 mm
DEPTH OF FIELD	300 mm
PART SIZE RANGE (recommended)	0.1–4 m
TEXTURE RESOLUTION	50 to 200 DPI
TEXTURE COLORS	24 bits
SOFTWARE	VXelements
OUTPUT FORMATS	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr, .3mf
COMPATIBLE SOFTWARE	3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault (CATIA V5 and SOLIDWORKS), PTC (Creo), Siemens (NX and Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage)
WEIGHT	1.25 kg
DIMENSIONS (LxWxH)	89 x 114 x 348 mm
CONNECTION STANDARD	1 X USB 3.0
OPERATING TEMPERATURE RANGE	5–40°C
OPERATING HUMIDITY RANGE (non-condensing)	10–90%
CERTIFICATIONS	EC Compliance (Electromagnetic Compatibility Directive, Low Voltage Directive), compatible with rechargeable batteries (when applicable), IP50, WEEE
PATENTS	CA 2,600,826, CN 200680014069.3, US 7,812,673, EP (FR, UK, DE) 1,877,728, AU 2006222458, US 8,032,327, JP 4,871,352, EP (FR, UK, DE) 2,278,271, IN 268,573, US 7,487,063, CA 2,529,044, CA 2,810,587, US 8,698,786, JP 5,635,218, CA 2,875,754, EP (FR, UK, DE) 2,751,521, US 9,325,974, CA 2,835,306, CN 201280023545.3, CN 201280049264.5, JP 8,025,830, EP (FR, UK, DE) 2,875,314, CN ZL 201380029899.6, JP 8,267,700, EP (FR, UK, DE) 3,102,908, US 15/114,563, CN 201580007340X

(1) Typical value for diameter measurement on a calibrated sphere artifact.

(2) Performance with positioning targets or with an object presenting adequate geometry/color texture for positioning. Performance is assessed with traceable length artefacts using positioning targets.

(3) The volumetric accuracy of the system when using a MaxSHOT 3D cannot be superior to the default volumetric accuracy.

CREAFORM

AMETEK GmbH
Division Creaform Deutschland

Meisenweg 37
D - 70771 Leinfelden-Echterdingen
T. +49 711 1856 8030 | F. +49 711 1856 8099

creaform.info.germany@ametech.com | creaform3d.com

AMETEK
ULTRA PRECISION TECHNOLOGIES

Authorized Distributor

MLT
MACHINE & LASER TECHNOLOGY

Go!SCAN 3D, Go!SCAN SPARK, MaxSHOT 3D, MaxSHOT Next I/Elite, WhiteWorks, and their respective logos are trademarks of Creaform Inc. © Creaform Inc. 2023. All rights reserved. V3.

Creaform HandySCAN 307, 45 ja 55 Teknisten tietojen esite

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Innovating technology that provides TRUaccuracy™, TRUsimplicity™, TRUportability™ as well as real speed to your metrology-grade applications.

	HandySCAN 307™	HandySCAN BLACK™	HandySCAN BLACK™IElite
ACCURACY ⁽¹⁾	Up to 0.040 mm (0.0016 in)	0.035 mm (0.0014 in)	0.025 mm (0.0009 in)
VOLUMETRIC ACCURACY ⁽²⁾ (based on part size)	0.020 mm + 0.100 mm/m (0.0008 in + 0.0012 in/ft)	0.020 mm + 0.080 mm/m (0.0008 in + 0.0007 in/ft)	0.020 mm + 0.040 mm/m (0.0008 in + 0.0005 in/ft)
VOLUMETRIC ACCURACY WITH MaxSHOT Next™IElite ⁽³⁾		0.020 mm + 0.015 mm/m (0.0008 in + 0.00018 in/ft)	
MEASUREMENT RESOLUTION	0.100 mm (0.0039 in)	0.025 mm (0.0009 in)	
MESH RESOLUTION	0.200 mm (0.0078 in)	0.100 mm (0.0039 in)	
MEASUREMENT RATE	480,000 measurements/s	800,000 measurements/s	1,300,000 measurements/s
LIGHT SOURCE	7 red laser crosses	7 blue laser crosses	11 blue laser crosses (+ 1 extra line)
LASER CLASS	2M (eye safe)		
SCANNING AREA	275 x 250 mm (10.8 x 9.8 in)	310 x 350 mm (12.2 x 13.8 in)	
STAND-OFF DISTANCE	300 mm (11.8 in)		
DEPTH OF FIELD	250 mm (9.8 in)		
PART SIZE RANGE (recommended)	0.1–4 m (0.3–13 ft)	0.05–4 m (0.15–13 ft)	
SOFTWARE	VXelements		
OUTPUT FORMATS	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr, .3mf		
COMPATIBLE SOFTWARE	3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault (CATIA V5 and SOLIDWORKS), PTC (Creo), Siemens (NX and Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, SoftImage)		
WEIGHT	0.85 kg (1.9 lb)	0.94 kg (2.1 lb)	
DIMENSIONS (LxWxH)	77 x 122 x 294 mm (3.0 x 4.8 x 11.6 in)	79 x 142 x 288 mm (3.1 x 5.6 x 11.3 in)	
CONNECTION STANDARD	1 X USB 3.0		
OPERATING TEMPERATURE RANGE	5–40 °C (41–104 °F)		
OPERATING HUMIDITY RANGE (non-condensing)	10–90%		
CERTIFICATIONS	EC Compliance (Electromagnetic Compatibility Directive, Low Voltage Directive), compatible with rechargeable batteries (when applicable), IP50, WEEE		
PATENTS	CA 2,600,926, CN 200680014069.3, US 7,912,673, CA 2,656,163, EP (FR, UK, DE) 1,877,726, AU 2006222458, US 8,032,327, JP 4,871,352, US 8,140,295, EP (FR, UK, DE) 2,278,271, EP (FR, UK, DE) 2,230,482, IN 266,573, US 7,487,063, CA 2,529,044, EP (FR, UK, DE) 3,102,908, US 15/114,563, CN 201580007340X		

(1) HandySCAN BLACK and HandySCAN BLACKIElite (ISO 17025 accredited): Based on VDI/VDE 2634 part 3 standard. Probing error performance is assessed with diameter measurements on traceable sphere artefacts.
HandySCAN 307: Typical value for diameter measurement on a calibrated sphere artefact.

(2) HandySCAN BLACK and HandySCAN BLACKIElite (ISO 17025 accredited): Based on VDI/VDE 2634 part 3 standard. Sphere-spacing error is assessed with traceable length artefacts by measuring these at different locations and orientations within the working volume.
HandySCAN 307: Value for spheres spacing measurement on a calibrated length artefact.

(3) The volumetric accuracy of the system when using a MaxSHOT 3D cannot be superior to the default volumetric accuracy of the chosen system and model.

CREAFORM

Creaform Inc. (Head Office)
4700 rue de la Pascaline
Lévis QC G6W 0L9
Canada
Tel.: 1 418 833 4446 | Fax: 1 418 833 9588

creaform.info@ametek.com | creaform3d.com

Creaform U.S.A. Inc.
2031 Main Street
Irvine CA 92614
USA
Tel.: 1 855 939 4446 | Fax: 1 418 833 9588

AMETEK
ULTRA PRECISION TECHNOLOGIES

Authorized Distributor

MLTT
MACHINE & LASER TECHNOLOGY

HandySCAN 3D, HandySCAN 307, HandySCAN BLACK, HandySCAN BLACK IElite, MaxSHOT 3D, MaxSHOT Next IElite, VXelements, and their respective logo are trademarks of Creaform Inc. © Creaform Inc. 2018. All rights reserved. 14

Index

Technical Data



Contact

Technical Data

T-SCAN hawk

Type / T-SCAN hawk

Scan mode	Standard	Single line	Fine
Laser source	7 red crosses	Red line	5 blue lines
Resolution	0.05 mm	0.05 mm	0.01 mm
Scanning area	Up to 550 mm x 600 mm		
Detailed scan	Supported		
Deep pockets	Supported		
Built-in photogrammetry	Supported		
Accuracy	0.02 mm + 0.035 mm/m		
High-precision GOM scalebar	with optional internal photogrammetry		
Laser class (IEC 60825-1:2014)	Class 2M (eye-safe)		
Software	GOM Inspect Suite		



ZEISS T-SCAN hawk Teknisten tietojen esite