

Olli Santaluoto

3D-skannaukseen perehtyminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinöörityö
20.4.2012

Tekijä Otsikko	Olli Santaluoto 3D-skannaukseen perehtyminen
Sivumäärä Aika	35 sivua 20.4.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaaja	Lehtori Markku Saarnio
<p>Tässä insinööriyössä tarkastellaan erilaisia 3D-skannaustekniikoita ja menetelmiä. Työssä myös kerrotaan esimerkkien avulla eri 3D-skannaustekniikoiden käyttökohteista. 3D-skannaus on Suomessa vielä melko harvinaista, siksi eri tekniikat ja käyttömahdollisuudet ovat monille tuntemattomia.</p> <p>3D-skanneri on laite, jolla tutkitaan reaali maailman esineitä tai ympäristöä keräämällä dataa kohteen muodoista. 3D-skannerit ovat hyvin paljon vastaavia tavallisen kameran kanssa. Kuten kameroilla, 3D-skannereilla on kartiomainen näkökenttä ja ne voivat kerätä tietoja vain kohteen pinnoista, jotka eivät ole katveessa. Kamera tallentaa näkökenttensä pintojen väritiedot, 3D-skanneri puolestaan kohteen pinnan etäisyystiedot. 3D-skannerin keräämää dataa kutsutaan pistepilveksi ja dataa käytetään 3D-mallien luomiseen. Kerätty 3D-data on hyödyllistä monissa eri sovelluksissa. 3D-skannerita käytetään laajasti teollisessa muotoilussa, käänteisessä suunnittelussa, laadunvalvonnassa, viihdeteollisuudessa, ortopediassa sekä historiallisten kohteiden dokumentoinnissa.</p> <p>On olemassa useita eri skannaustekniikoita digitaalisen muototiedon hankkimiseksi 3D-kappaleesta. Laajasti käytössä oleva luokittelu jakaa ne kahteen tyyppiin: koskettavat ja ei-koskettavat. Ei-koskettavat 3D-skannerit voidaan jakaa vielä kahteen ryhmään, aktiivisiin ja passiivisiin. Jokaisella tekniikalla on omat heikkoutensa ja vahvuutensa. Esimerkiksi optisilla 3D-skannerilla kohdataan ongelmia kiiltävien, peilaavien ja läpinäkyvien kohteiden kanssa.</p> <p>Tämän insinööriyön aikana testattiin 3D-laserskannerin käyttöä. Työn lopussa kerrotaan, kuinka testaus eteni ja mitkä olivat testauksen päämäärät, kohdatut ongelmat sekä lopputulokset.</p>	
Avainsanat	3D-skanneri, laserskannaus, laserkeilain

Author Title	Olli Santaluoto Introduction to 3D Scanning
Number of Pages Date	35 pages 20 April 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production Technology
Instructor	Markku Saarnio, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis discusses different 3D scanning technologies and scanning methods. This graduate study also examines the applications of different 3D scanning technologies with examples. Because 3D scanning is still rarely used in Finland, both 3D scanning technologies and the ways to utilize 3D scanning are unknown for most people.</p> <p>A 3D scanner is a device that analyzes real-world objects or environment to collect data on their shape. 3D scanners are very analogous to cameras. Like cameras, 3D scanners have a cone-shaped field of view and they can only collect information about surfaces that are not obscured. A camera collects color information about surfaces within its field of view, while a 3D scanner collects distance information about surfaces within its field of view. The collected 3D scanner data is called a point cloud and the collected data is used to create 3D models. The collected 3D data is useful for a wide variety of applications. 3D scanners are used extensively in industrial design, reverse engineering, quality control, entertainment industry, orthopedics and the documentation of historical artifacts.</p> <p>There are a variety of technologies for digitally acquiring the shape of a 3D object. A well established classification divides them into two types: contact and non-contact 3D scanners. Non-contact 3D scanners can be further divided into two categories, active scanners and passive scanners. Each technology comes with its own limitations and advantages. For example, optical technologies encounter difficulties with shiny, mirroring and transparent objects.</p> <p>The usage of a 3D laser scanner was tested during this Bachelor's thesis. Finally, the testing process, primary goals, encountered challenges and final results are described.</p>	
Keywords	3D scanner, laser scanning, laser scanner

Sisällys

Termistö ja lyhenteet

1	Johdanto	1
2	3D-skannauksen perusteet ja teoria	2
2.1	3D-skannauksen historia	2
2.2	3D-skannereiden toiminta	3
2.3	3D-skannereiden perusmallit	4
2.3.1	Kädessä pidettävä	5
2.3.2	Käsivarsi	6
2.3.3	Kaappi	7
2.3.4	Laserkeilain	8
3	3D-skannereiden tekniset ominaisuudet	9
4	3D-skannausmenetelmät	11
4.1	Koskettavat menetelmät	11
4.2	Ei-koskettavat menetelmät	13
4.2.1	Passiiviset menetelmät	14
4.2.2	Aktiiviset menetelmät	15
4.3	Laserkeilaus	17
4.3.1	Pulssilaser	17
4.3.2	Vaihe-erolaser	18
5	3D-skannereiden käyttökohteita	19
5.1	Kone- ja metallitekniikka	19
5.2	Rakennustekniikka ja kartoitukset	20
5.3	Viihdeteollisuus	21
5.4	Arkeologia ja historiantutkimus	22
5.5	Onnettomuus- ja rikospaikkatutkimus	23
5.6	Lääketeiede	23

6	3D-skannauksen tulevaisuus	24
7	3D-laserskannerin testaus	25
8	Yhteenveto	33
	Lähteet	34

Termistö ja lyhenteet

CCD	Charge-Coupled Device, valoherkkä kenno, joka muuntaa kennoon osuvan valon tai infrapunasäteilyn digitaaliseksi signaaliksi
Keilain	skanneri, joka on tuettu telineeseen tai on kiinteästi asennettavissa esimerkiksi ajoneuvoon
PSD	Position Sensitive Device, optinen laite, joka mittaa sensorin pintaan osuvan valopisteen sijainnin yhdessä tai kahdessa dimensiossa
Skanneri	laite, jolla digitoidaan käsiteltävä kohde

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on perehtyä 3D-skannaukseen. Työssä käsitellään erilaisten 3D-skannereiden toimintaa ja ominaisuuksia sekä sitä, millaisiin sovelluksiin ja käyttökohteisiin tietyntyyppiset skannerit parhaiten soveltuvat. Markkinoilla on monentyyppisiä 3D-skannereita, jotka perustuvat keskenään erilaiseen tekniikkaan, täten kaikki skannerit eivät sovellu kaikkiin käyttökohteisiin ja -tarkoituksiin. Tämän työn avulla käyttäjä tutustuu erityyppisiin 3D-skannereihin ja saa hyvää pohjatietoa oikeantyyppisen skannerin valintaan.

Insinööriyö keskittyy käsittelemään 3D-skannauksen optisia menetelmiä ja erityisesti 3D-laserskannausta. Työssä sivuutetaan tomografia ja röntgeniin perustuvat menetelmät ja laitteet. Kosketukseen perustuvista skannereista ja mittalaitteista kerrotaan vain lyhyesti, koska ne perustuvat koordinaattimittauksen perinteisempiin menetelmiin ja ovat täten toiminnaltaan aiheesta täysin poikkeavia. Pääpaino on kohteen pintaa skannaavissa optisissa laitteissa. Tämä siitä syystä, että ne ovat laajassa käytössä konetekniikan alalla koskettavien mittalaitteiden lisäksi.

Työ oli alun perin tarkoitus suorittaa Metropolia Ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan sekä apuvälinetekniikan yksiköiden avulla. Alkuperäisenä suunnitelmana oli käänteisen suunnittelun avulla määrittää apuvälinetekniikan yksiköllä käytössä olevan 3D-laserskannerin mittaustarkkuus ja erilaisten työstökoneiden mahdolliset vaikutukset lopputuotteen mittatarkkuuteen ja muihin ominaisuuksiin. Metropolian apuvälinetekniikan yksiköllä on käytössään Össur DFS-TX2 -mallinen 3D-laserskanneri ja skannausohjelmalla ÖssurCad 8.3.5.0. Tutustuttaessa laitteiston käyttöön ja toimintaan kävi lopulta ilmi, että edellä mainittu laitteisto ei sovellu alkuperäiseen suunnitelmaan pääasiassa ohjelmiston vajaavaisuudesta johtuen. Työn lopussa kerrotaan miten 3D-laserskannerin testaus tehtiin ja miksi alkuperäinen suunnitelma hylättiin.

3D-skannauksesta ja erilaisista laserskannereista ei työn aloitushetkellä löytynyt tätä työtä vastaavia kokoavia aineistoja. Työssä käytetty lähdeaineisto perustuu pääasiassa valmistajien ja maahantuojien julkaisemiin tietoihin, verkkoartikkeleihin ja muihin verkkomateriaaleihin sekä tutkimus- ja testaustuloksiin.

2 3D-skannauksen perusteet ja teoria

Peruseriaatteeltaan 3D-skannerit ovat toiminnaltaan samankaltaisia kuin tavalliset digitaalikamerat. Erona on tallennetun datan muoto. Tavallisen kameran data on kaksiulotteista, eli siinä ei ole syvyystietoja kuten 3D-skannerin datassa. Skannerin tallentama data koostuu tuhansista tai jopa miljoonista pisteistä, joilla kaikilla on x-, y- ja z-koordinaatit. Kerättyä pistejoukkoa kutsutaan yleisesti pistepilveksi. Pistepilvi kuvastaa kappaleen pinnanmuotoja. Pisteistä koostetaan yleensä tarvittavan muokkauksen jälkeen kolmioverkko, josta saadaan lopuksi skannatun kappaleen todellista muotoa kuvaava kolmiulotteinen pintamalli. [1; 2.]

2.1 3D-skannauksen historia

Ensimmäiset 3D-skannerit ja 3D-skannaustekniikat kehitettiin 1960-luvulla, jolloin skannereissa käytettiin kameran lisäksi tavallisia valonlähteitä ja projektoreita. Ensimmäisillä laitteilla kohde voitiin skannata vain yhdestä suunnasta, jolloin tarkkojen ja täydellisten 3D-mallien luominen oli käytännössä lähes mahdotonta. Laitteiston vajavaisuudesta johtuen skannausprosessi oli hyvin hidas ja 3D-malleja oli erittäin vaikea saada. 1980-luvulla kehitettiin skannerit, joissa käytettiin valkoista valoa ja erilaisia varjostuksia (strukturoidu valo) pinnan parempaan jäljentämiseen. Varhaisimmat 3D-laserskannerit tulivat vuonna 1978. Vasta laserskannereiden myötä saatiin kappale skannattua joka suunnasta ja tällöin saatiin myös täydelliset 3D-mallit. Ensimmäiset 3D-skannerit kehitettiin ihmiskehon ja ergonomian tarkasteluun. [3; 4, s. 3–4.]

1990-luvun puolivälin jälkeen 3D-skannauksessa on tapahtunut nopeaa kehitystä. Erityisesti laitteiston käyttö ja ohjelmistot ovat kehittyneet suurin harppauksin. Skannereiden kehityksessä myös niiden tarkkuus on parantunut nopeasti. Tarkkuuden parantuminen johtuu paljon digitaalikameroiden tarkkuuden kehityksestä. Uusimmat 3D-skannerit tunnistavat muodon lisäksi skannattavan kohteen värin ja muut tekstuuritiedot. Laitteiden yleistymisen ja tietotekniikan kehittymisen myötä 3D-skannaus on nykyään mahdollista myös pienemmissä yrityksissä. Jotkin yritykset tarjoavat nykyään 3D-skannauspalveluita, mistä johtuen laitteiston hankkiminen itselle ei ole välttämätöntä. [4; 5; 6; 7.]

2.2 3D-skannereiden toiminta

3D-skannerin pääkomponentit ovat kamera ja säteilylähde. Näiden lisäksi tarvitaan useimmissa tapauksissa tietokone ja ohjelmisto skannauksesta saatavan datan käsittelyyn. Käytettävästä laitteistosta ja tarvittavasta datasta riippuen 3D-skannereista saatava data on joko pelkkiä koordinaattipisteitä, etäisyysmittoja tai pistepilviä mitattavasta kohteesta. Yleisesti 3D-skannerit jaetaan koskettaviin (contact) ja ei-koskettaviin (non-contact). Ei-koskettavat skannerit jaetaan vielä aktiivisiin ja passiivisiin. [1; 7.]

Passiiviset skannerit eivät itsessään lähetä valoa tai muuta säteilyä vaan havaitsevat jonkin ympäröivän säteilyn. Useimmat passiiviset skannerit hyödyntävät näkyvää valoa. Passiiviset skannerit voivat hyödyntää myös esimerkiksi infrapunasäteilyä. Laitteisto on skannereista kaikkein yksinkertaisin ja siksi myös halvin. Yksinkertaisimmillaan ainut tarvittava väline on digitaalikamera. Toisaalta passiivisen skannerin datan käsittely vaatii paljon aikaa.

Aktiiviset skannerit poikkeavat passiivisista lähettämällä itse jotakin säteilyä. Yleisimmät aktiivisten skannereiden lähettämät säteilyt ovat valo, ultraääni ja röntgen. 3D-laserskannerin toiminta perustuu joko valon kulkunopeuteen, vaihe-eroon tai kolmiomittaukseen. Teollisuuskäytössä erilaisiin tekniikoihin perustuvat aktiiviset skannerit ovat yleisiä, ja niille on useita erilaisia käyttösovelluksia.

Valon kulkunopeuteen perustuva skanneri mittaa kappaleen yhden pisteen etäisyyden kamerasta kerrallaan, kuitenkin tuhansia pisteitä sekunnissa. Tyypillinen valon nopeuteen perustuva 3D-laserskanneri on maastomittauksissa käytettävä laserkeilain. Valon kulkunopeuteen ja vaihe-eroon perustuvia laitteita kutsutaan usein keilaimiksi.

Kolmiomittaukseen perustuva 3D-laserskanneri lähettää skannattavan kappaleen pintaan laserpisteen tai -viivan, jonka kamera havaitsee. Riippuen kohteen etäisyydestä skanneriin takaisin heijastuva laserpiste tai -viiva osuu kameran näkökentän eri kohtiin. Menetelmää kutsutaan kolmiomittaukseksi, koska kappaleen pintaan osuva laserpiste, kamera ja laserlähde muodostavat kolmion, jonka kyljistä tunnetaan kameran ja laserlähteen väli. Myös laserlähteen kulma tiedetään. Kamerakulma määritetään sen mukaan, missä kohdassa kameran näkökenttää laserpiste sijaitsee. Edellä mainituilla

kolmella asialla saadaan tarvittavat tiedot kolmion täydelliseen koon ja muodon määrittämiseen. Kolmiomittaukseen perustuvat 3D-laserskannerit lähettävät pisteen sijaan useimmiten laserviivan, jolla skannattavan kappaleen pintaa ”maalataan”. Tämä on nopea tapa hankkia skannattavasta kohteesta tarvittava data. Kolmiomittaukseen perustuvat 3D-laserskannerit ovat yleisiä, monipuolisia ja käytössä teollisuuden monissa eri sovelluksissa ja käyttökohteissa. Mobiililla kolmiomittaukseen perustuvalla laitteistolla voidaan skannata lähes mitä tahansa. [2; 8; 9; 10.]

2.3 3D-skannereiden perusmallit

Laserskannereita on erityyppisiä ja -mallisia. Seuraavassa esitellään yleisesti käytössä olevia skannerimalleja jaoteltuina pääasiassa fyysisten eroavaisuuksiensa mukaan. Mainittakoon että suomen kielessä ei ole yleisesti käyttöön vakiintuneita termejä erilaisille skannereille tai keilaimille. Yleisesti puhutaan vain skannereista tai keilaimista riippumatta siitä, mihin tekniikkaan ne perustuvat tai kuinka niitä käytetään.

2.3.1 Kädessä pidettävä

Kädessä pidettävät mallit ovat lähes poikkeuksetta kolmiomittaukseen perustuvia 3D-laserskannereita (kuva 1). Niiden käyttö on yleistä teollisuudessa muun muassa käänteisessä suunnittelussa, laadunvalvonnassa ja erilaisissa tarkistuksissa. Kädessä pidettävissä skannereissa käytetään yhtä tai useampaa kameraa. Datapisteet kerätään sisäiseen koordinaatistoon, jonka lisäksi skannerin aseman tunnistamiseen tarvitaan jokin menetelmä. Skannerin aseman määrittämiseen kohteesta käytetään referenssipisteitä tai ulkoista koordinaatistoa. Ulkoinen koordinaatisto luodaan usein joko referenssipisteiden (heijastavat teipit) tai skannerin tunnistamien kalibroitikuvioiden avulla. Joissakin laitteistoissa on ulkoinen lähetinvastaanotin ulkoisen koordinaatiston määrittämiseksi. Ulkoinen lähetinvastaanotin tunnistaa skannerin sensorin sijainnin ja skannerin asennon mitattavaan kappaleeseen nähden. [1; 2.]



Kuva 1. Kädessä pidettävä HandyScan 3D VIUscan -skanneri. Lähde: www.directindustry.com

2.3.2 Käsivarsi

Käsivarsimalleja on koskettavia ja ei koskettavia. Käsitellään tässä vain ei-koskettavia skannereita, jotka ovat toiminnaltaan ja tekniikaltaan hyvin samankaltaisia kädessä pidettävien kanssa. Ero on käsivarsimallin koordinaatistossa, joka perustuu varren nivelten tarkkoihin sensoreihin. Sensorit tunnistavat skannerin aseman skannattavasta kohteesta. Käsivarsimallisiin skannereihin on saatavilla kosketuspäitä, joiden kanssa käsivarsimallista skanneria voidaan käyttää perinteisen koordinaattimittauskoneen tavoin. Tällöin mittatarkkuus on parempi, mutta saatu data on samanlaista tavallisen koordinaattimittauskoneen datan kanssa. Markkinoilla on myös käsivarsimalliseen koskettavaan koordinaattimittauskoneeseen kytkettäviä laserskannereita. Kuvan 2 skanneri on liitettävissä lähes kaikkiin mittakäsivarsiin. [11; 12; 13.]



Kuva 2. Kuvassa on mittakäsivarteen kiinnitetty Kreon Solano -laserskanneri. Lähde: www.deskeng.com

2.3.3 Kaappi

Kaappimalliset 3D-laserskannerit toimivat useimmiten täysin itsenäisesti ja automaattisesti (kuva 3). Napin painalluksella laitteisto skannaa skannerin sisään asetetun kappaleen ja luo siitä täydellisen CAD-mallin. Kaappimallisten skannereiden suurena etuna on käytön helppous ja yksinkertaisuus. Skannattavan kappaleen fyysiset mitat kuitenkin asettavat rajoitteita skannaukselle ja kaapeilla voidaan skannata vain pienehköjä kappaleita. Pienten kappaleiden usein toistuvaan tarkkaan ja nopeaan skannaukseen kaappimalli on parhaimmillaan. [14.]



Kuva 3. Kaappimallinen Roland Picaza LPX-600 -3D-laserskanneri. Lähde: www.qubic.com.au

2.3.4 Laserkeilain

Laserkeilaimet on tarkoitettu suurien kokonaisuuksien skannaamiseen. Kuvassa 4 on tyypillinen esimerkki laserkeilaimesta. Kolmijalkaan tuettuina, tai esimerkiksi lentokoneeseen kiinnitettynä, laserkeilaimet skannaavat suuriakin kokonaisuuksia kerralla. Teknisesti keilaimet perustuvat joko valon kulku aikaan, laserin vaihe-eroon tai kolmiomittaukseen. Riippuen siitä millaiseen käyttöön keilain on tarkoitettu. Kolmiomittaukseen perustuvat keilaimet on tarkoitettu lyhyehköille mittaustäisyyksille ja mittatarkkuutensa puolesta kolmiomittaukseen perustuvat keilaimet soveltuvat hyvin erilaisiin sisätilamittauksiin. Valon kulku aikaan perustuvat keilaimet on tarkoitettu pidemmille mittaustäisyyksille ja ne soveltuvat parhaiten ulkoilmamittauksiin, kuten maastomallinnukseen ja erilaisiin infrarakennusprojekteihin. Laserkeilain koostuu laserlähteestä, lasersäteen poikkeuttavasta keilainosasta ja vastaanotetun signaalin tulkitsevasta ilmaisinosasta. Lähetetty lasersäde on joko katkonaista (pulsasilaser) tai jatkuvaa (vaihe-erolaser). Käytetään myös termejä aikaero- ja vaihe-erolaser. [2; 8; 9; 10.]

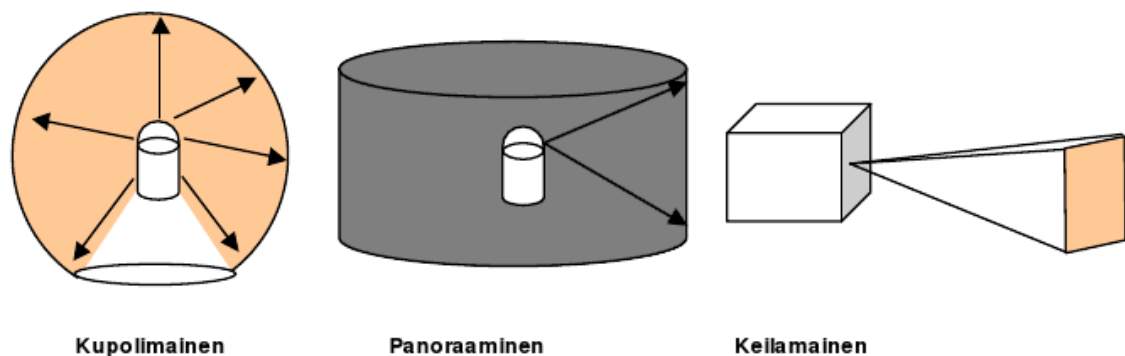


Kuva 4. Tyypillinen 3D-lasaerkeilain kiinnitettynä kolmijalkaan. Lähde: www.cncetching.com

3 3D-skannereiden tekniset ominaisuudet

3D-skannereiden teknisistä eroista ja skannaustekniikoista johtuen skannereiden vertaaminen keskenään on usein vaikeaa. Skannerit on kehitetty tiettyä tarkoitusta varten ja ominaisuudet on täten tarkoituksella haettu tietyn tyyppisiksi. Skannereiden vertaaminen keskenään on helpointa ja loogisinta toteuttaa vertaamalla skannereiden mittatarkkuuksia ja mittausetäisyyksiä. Mittatarkkuuteen ja mittausetäisyyteen vaikuttaa eniten käytettävä tekniikka. Skannereissa käytettävä tekniikka siis määrittää, mihin skanneria on tarkoituksenmukaista käyttää. Riippuen laitteen käytöstä ja tarpeesta tulee myös huomioida skannerin mahdollisten lisäosien saatavuus sekä laajennus- ja päivitysmahdollisuudet. Esimerkiksi laajojen kokonaisuuksien skannausta ja skannaustulosten yhdistämistä helpottaa, jos laitteistossa on esimerkiksi sähköinen kompassi tai GPS-paikannus, korkeusmittari ja kallistukset automaattisesti kompensoiva dual-axis-järjestelmä. [8; 15.]

Valon kulku-aikaan perustuvissa skannereissa ja keilaimissa mittausetäisyydet ovat hyvin pitkiä, mutta mittatarkkuus usein parhaimmillaankin vain muutamia millimetrejä. Keilainten tarkkuuteen ja muihin ominaisuuksiin vaikuttaa lisäksi keilaimen keilainosan tyyppi ja se onko laser pulssi- vai vaihe-erolaser. Valon kulku-aikaan perustuvilla skannerilla voidaan mitata laajojakin kokonaisuuksia, jotka ovat skannerin mittausetäisyyden sisällä. Keilaimen katvealue riippuu mallista. Kuvassa 5 havainnollistetaan keilaustavasta riippuvaa katvealueen kokoa. Joillakin laitteilla mitta-alue on lähes 360°.



Kuva 5. Keilaus- ja katvealueen riippuminen keilausperiaatteesta [9].

Kolmiomittaukseen perustuvien laitteiden mittausetäisyys on korkeintaan muutamia metrejä, mutta mittatarkkuus puolestaan on millimetrin kymmenyksiä. Kolmiomittaukseen perustuvilla skannereilla voidaan mitata periaatteessa mitä tahansa. Suurten kokonaisuuksien skannaaminen on kuitenkin hankalaa ja mittatarkkuus on isoihin kokonaisuuksiin liian suuri. Kolmiomittaukseen perustuvalla skannerilla onkin järkevintä mitata pienehköjä kappaleita, joiden mittatarkkuuden on oltava hyvä. [8; 10.]

Tarkasteltaessa koskettavia skannereita mittatarkkuus voi olla jopa mikrometri (1/1 000 mm). Koskettavilla skannereilla voidaan mitata vain skannerin välittömään läheisyyteen tuotavia kappaleita, jotka mahtuvat skannerin ulottuvuuksien sisään. [2.]

Valmistajilla ei ole käytössään yhtenevää standardia ilmoittaa skannerin teknisiä ominaisuuksia. Saman valmistajan tuotteita voidaan kuitenkin verrata melko luotettavasti keskenään pelkästään valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella. Luotettavan vertailun kannalta eri valmistajien laitteita pitäisi päästä testaamaan ja verrata saatuja testituloksia keskenään. [8.]

4 3D-skannausmenetelmät

Skannausmenetelmät voidaan jakaa seuraavasti: koskettavat, ei-koskettavat aktiivinen ja passiivinen skannaus sekä laserkeilaus. Jaottelu perustuu siihen, että edellä mainitut menetelmät eroavat selkeästi toisistaan. Näiden lisäksi ovat vielä fotogrammetria ja erilaiset yhdistelmämenetelmät.

4.1 Koskettavat menetelmät

Koskettavissa menetelmissä tarkasteltavaa kohdetta kosketetaan laitteiston mittapäällä ja laitteisto rekisteröi mittapään kärjen aseman kosketushetkellä. Tyypillinen koskettava laitteisto on koordinaattimittauskone (CMM). Perinteisessä CMM-laitteessa mittapää liikkuu kolmen toisiaan vastaan kohtisuoran johteen mukaan. Kuvassa 6 on tyypillinen 3-akselinen manuaalinen CMM-laitteisto. Rakenteeltaan CMM-laite on raskas ja erittäin tarkka. Mittaukset ovat hitaita, ja yleensä CMM-laitteita käytetäänkin vain erityistä tarkkuutta vaativiin tarkistuksiin, kuten toleranssi- ja geometriatarkistuksiin. Perinteiset CMM-laitteet ovat mittalaitteina tarkimpia, mutta niitä ei käytetä varsinaisesti skannaamiseen vaan yleensä pelkästään mittauksiin ja tarkistuksiin. [13; 16.]



Kuva 6. Manuaalinen CrystaPlus -koordinaattimittauskone. Lähde: www.teraskonttori.fi

Toinen kosketukseen perustuva laitteisto on käsivarsimittauskone (kuva 7). Käsivarsimittauskoneen varren nivelissä on tarkat sensorit ja varren päässä mittapää. Myös mittapää on nivelletty ja nivel pyörii akselinsa ympäri, jolloin mittapään mittakärki saadaan hankalaankin paikkaan. Käsivarsimittauskone on nopeampi käyttää kuin perinteiset koordinaattimittauskoneet. Käsivarsi on myös monipuolisemmin käytettävissä. Käsivarsimittauskoneella voidaan suorittaa myös skannauksia liikuttamalla mittakärkeä tarkasteltavan kohteen pinnalla. Vapausasteita laitteella on nivelten määrästä riippuen 6–7. [13.]



Kuva 7. Romer Infinite 2.0 -mittauskäsivarsi. Lähde: www.hexagonmetrology.com

CMM-laitteiden suurimpana etuna on tarkkuus. Laitteet ovat kuitenkin muita huomattavasti kalliimpia ja koskettavat laitteet eivät sovellu esimerkiksi pehmeiden, hauraiden tai vaarallisten kohteiden tarkasteluun. CMM-laitteiden fyysinen koko määrittää sen, kuinka suuria kohteita niillä voidaan tarkastella. Suurempien kohteiden tarkasteluun on käytössä perinteisen koordinaatti- ja käsivarsimittauskoneen yhdistelmä, jossa käsivarsi liikkuu johteiden mukana. [13; 16.]

4.2 Ei-koskettavat menetelmät

Ei-koskettavia tekniikoita ovat aktiivinen ja passiivinen skannaus. Aktiivisen ja passiivisen menetelmän ero on käytettävän säteilyn lähteessä. Passiiviset skannerit käyttävät tekniikasta riippuen jotakin ympäristön säteilyä ja aktiiviset skannerit lähettävät itse tarvitsemansa säteilyn kuten valo tai laser. Erikoisempi ja muista poikkeava ei-koskettava tarkkuusmittaussovellus on CMM-laitteisiin kuuluva videomittauskone (kuva 8), joka on tarkoitettu tarkkoihin ja hankaliin dimensio- ja geometriamittauksiin. [2; 16.]



Kuva 8. Optical Mitutoyo Quickvision Hyper-videomittauskone. Lähde: www.mikes.fi

4.2.1 Passiiviset menetelmät

Passiiviset 3D-skannerit käyttävät joko yhtä tai kahta digitaalista kameraa. Yhden kameran tekniikalla yhdestä kohteesta otetaan useita kuvia eri suunnista ja kuvista muodostetaan kohteen 3D-kuva. Tämä tekniikka perustuu fotogrammetriaan ja sitä kutsutaan kuvapohjaiseksi mallintamiseksi (image-based modeling). Fotometria tai Photometric stereo-tekniikka on myös yhden kameran menetelmä, missä yhdellä kameralla otetaan useita kuvia samasta kohteesta, mutta muuttuvissa valo-olosuhteissa. Valon varjostumisen perusteella määritetään kohteen pinnan syvyystiedot. Yhden kameran tekniikat vaativat käyttäjältä huolellisuutta ja tarkkuutta.

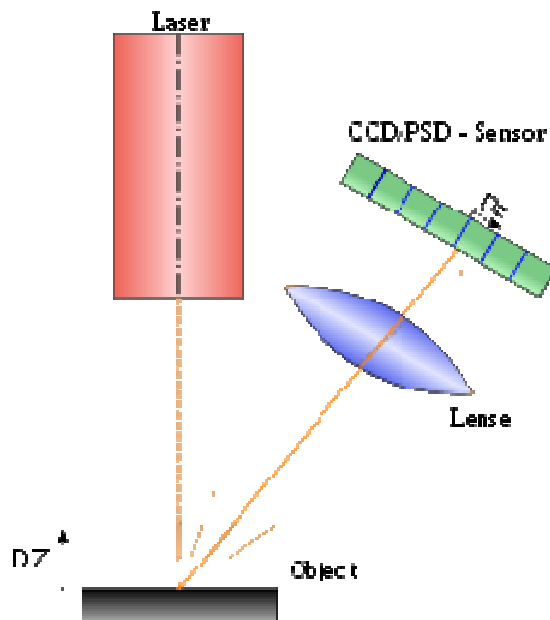
Kahden kameran tekniikoita kutsutaan stereoskooppisiksi tekniikoiksi. Periaate on sama kuin ihmisen stereonäössä. Kaksi hieman toisistaan erillä olevaa kameraa kuvaavat samaa kohdetta ja saavat näin aikaan kuvan syvyysnäkökuvan. Analysoimalla molempien kuvien samoja pisteitä saadaan kohteen pisteiden etäisyydet kamerasta määritettyä. Myös fotogrammetriasta on kahden kameran tekniikka, ja sitä kutsutaan stereofotogrammetriaksi. [17.]

Fotogrammetria on vanhin valokuvapohjainen menetelmä kolmiulotteisten kuvien tai oikeastaan kolmiulotteisten mallien luomiseen. Se on kehitetty pian valokuvauksen keksimisen jälkeen 1850-luvulla. Fotogrammetriaa käytetään nykyäänkin samoihin tarkoituksiin mihin sitä alkujaan käytettiin, eli kartoitukseen, maastomallinnukseen ja merkittävien rakennusten tallentamiseen. Nykytekniikalla fotogrammetriaa voidaan tehdä myös hyvin säilyneistä vanhoista valokuvista, jotka saadaan riittävän tarkasti skannattua tietokoneelle. [18.]

4.2.2 Aktiiviset menetelmät

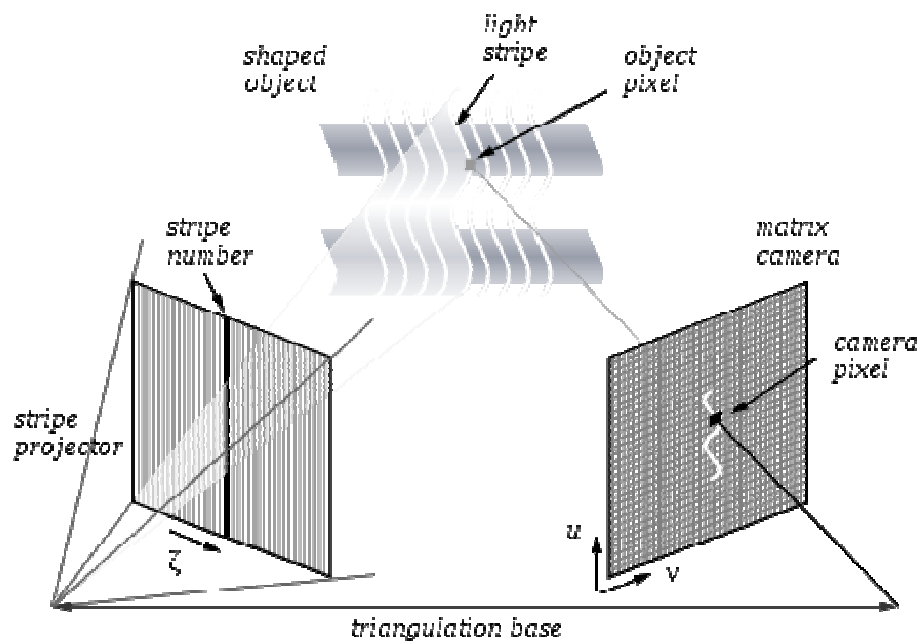
Aktiiviset skannerit koostuvat säteilylähteestä, kuten laseriodi, projektori tai salamavallo, ja yhdestä tai useammasta kamerasta. Valon kulkuaikaan perustuvista skannereista ja laserkeilauksesta kerrotaan kappaleessa 4.3. Valon kulkuaikaan perustuvien skannereiden lisäksi aktiivisia skannereita ovat optiseen kolmiomittaukseen perustuvat laserskannerit, erilaiset strukturoitua valoa hyödyntävät skannerit, valkoista valoa hyödyntävät skannerit ja eräät harvinaiset erikoissovellukset kuten konoskooppinen holografia (conoscopic holography). Optista kolmiomittausta käytetään sekä laserskannereissa ja -keilaimissa että strukturoitua valoa käyttävissä skannereissa.

Kolmiomittaukseen perustuva laserskanneri lähettää laserpisteen tai -viivan kohteen pintaan, josta viiva heijastuu takaisin skannerin kameran CCD/PSD-sensorille (kuva 9). Sensorin tiedot tallentuvat joko laitteen muistikortille tai suoraan tietokoneelle. Sensorin tallentama data on tutkittavan kohteen pinnan pisteistä heijastuneita koordinaattitietoja. Kaikilla saaduilla pisteillä on tarkat x-, y- ja z-koordinaatit. Pisteistä muodostuva pistepilvi käsitellään yleensä tietokoneella tarkoitukseen tehtyä ohjelmaa käyttäen.



Kuva 9. Optisen kolmiomittauksen periaate.

Strukturoitua valoa hyödyntävät skannerit heijastavat tutkittavan kohteen pinnalle yleensä tasavälisen viivakuvion. Viivakuvioiden heijastuu kohteesta takaisin, ja takaisin heijastunut kuvio on muuttunut tutkittavan pinnan muotojen mukaan. Laitteistossa on yleensä kaksi kameraa ja projektori, jonka edessä on LCD-ruutu. Ruudulle muodostettu kuvio heijastetaan tutkittavaan kohteeseen. Kamerat kuvaavat kohteeseen projisoitua kuviota ja tallentavat tiedot. Kamerat sijaitsevat projektorin vastakkaisilla puolilla (kuva 10). Erikoissovelluksena strukturoidusta valosta on moduloitua valoa käyttävät skannerit. Toiminta on muuten sama, mutta valon väri muuttuu tasaisella syklillä jatkuvasti. Tällä vältetään ulkopuolisten valolähteiden aiheuttamat häiriöt. Lisäksi käytössä on laitteita, joissa projektorin tilalla käytetään pyyhkäisy laseria (sweeping laser). Salamavaloa käyttävät skannerit perustuvat myös strukturoituun valoon. Ne lähettävät valokuvioita tutkittavaan kohteeseen salamavalon avulla ja kamera tallentaa tätä kuviota. [2; 17.]



Kuva 10. Strukturoitua valoa hyödyntävän skannaustekniikan periaatekuva.

4.3 Laserkeilaus

Laserkeilain koostuu laserlähteestä, keilainosasta ja ilmaisinosasta. Laserlähde lähettää lasersäteen, keilaosa poikkeuttaa lasersäteen ja ilmaisinososa tulkitsee vastaanotetun takaisinheijastuksen. Ilmaisinososa määrittää säteen kulkeman matkan joko valon kulkuajan, laserin vaihe-eron, kolmiomittauksen tai valon kulkuajan ja laserin vaihe-eron yhdistelmän perusteella. Keilaimet jaotellaan myös kaukokeilaimiin, maalaserkeilaimiin ja teollisuuslaserkeilaimiin. Kaukokeilaimen mittausetäisyys on 100 m:stä 100 km:iin ja mittatarkkuus on noin 10 cm. Maalaserkeilaimen mittausetäisyys on 1–300 m ja mittatarkkuus on alle 2 cm. Teollisuuslaserkeilaimet on tarkoitettu pienille kohteille. Teollisuuslaserkeilaimen mittausetäisyys on alle 30 m ja tarkkuus alle 1 mm. Keilaimissa kolmiomittaukseen perustuva tekniikka on harvinaista paitsi teollisuuslaserkeilaimissa.

4.3.1 Pulssilaser

Pulssilaser lähettää katkonaista lasersädettä kohteeseen ja mittaa takaisin heijastuvan säteen edestakaisen kulkuajan. Laitteiston ja kohteen välinen matka määritetään valonnopeuden avulla. Laitteiston ja kohteen välinen etäisyys selviää kaavasta 1.

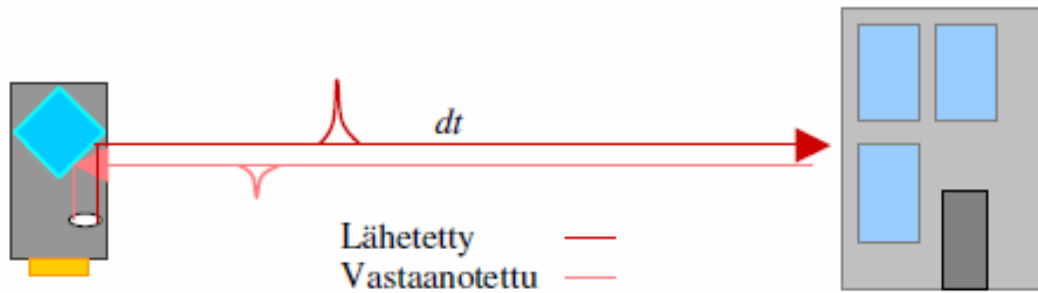
$$r = \frac{\delta t * c}{2} \quad (1)$$

r on skannerin ja kohteen välinen etäisyys

δt on pulssin kulku-aika

c on valonnopeus

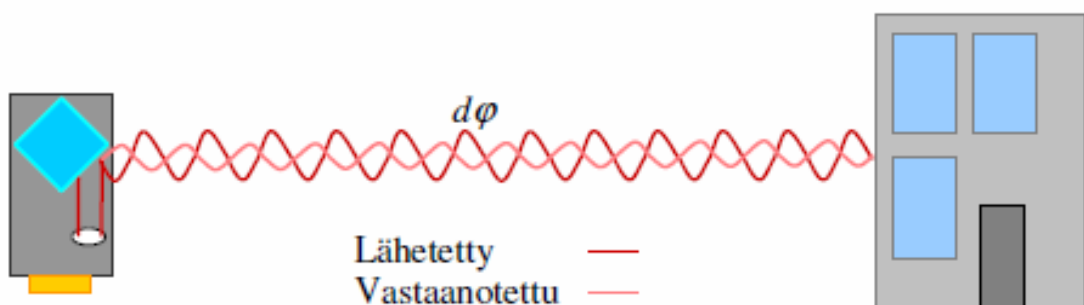
Pulssilaserin mittausetäisyyksissä on suurta vaihtelua. Useimmiten mittausetäisyys on joitakin satoja metrejä mutta mittausetäisyys voi olla jopa muutama kilometri. Pitkät mittausetäisyydet ovat herkkiä kohteen liikkeelle, joissain tapauksissa esimerkiksi puiden liikkuminen tuulessa tulee ottaa huomioon. Mittausetäisyyteen vaikuttaa pulssin lähetysteho ja toistotaajuuden määräämä enimmäiskulku-aika. Pulssilaserin toistotaajuus rajoittuu vain muutamaankin tuhanteen. Toistotaajuus on havaintojen määrä sekunnissa. Kuva 11 havainnollistaa pulssilaserin toimintaa.



Kuva 11. Pulssilaserin toimintaperiaate [10].

4.3.2 Vaihe-erolaser

Pulssilaserista poiketen vaihe-erolaser lähettää jatkuvaa signaalia, jonka intensiteettiä on moduloitu siniaallolla tai monimutkaisemmilla useampia eri kanta-aallonpituuksia sisältävällä signaalilla. Kohteeseen lähetetyn ja kohteesta takaisin heijastuneen signaalin vaihe-ero mitataan. Vaihe-erolaserilla saadaan huomattavasti suurempi toistotaajuus kuin pulssilaserilla, toistotaajuus on jopa 500 kHz. Suurin mittausetäisyys puolestaan on pääsääntöisesti alle 100 m. Mittausetäisyyteen vaikuttaa lähetysteho ja kanta-aallon modulaatio. Kuvassa 12 havainnollistetaan vaihe-erolaserin toimintaa. [8; 10.]



Kuva 12. Vaihe-erolaserin toimintaperiaate [10].

5 3D-skannereiden käyttökohteita

3D-skannereilla on laajat käyttömahdollisuudet monilla eri aloilla. Niitä pystytään hyödyntämään kaikessa mittaamisessa, jossa tarvitaan kolmiulotteista tietoa kohteesta. Käyttökohteita ja sovelluksia eri tekniikoille ja menetelmille on lukematon määrä.

5.1 Kone- ja metallitekniikka

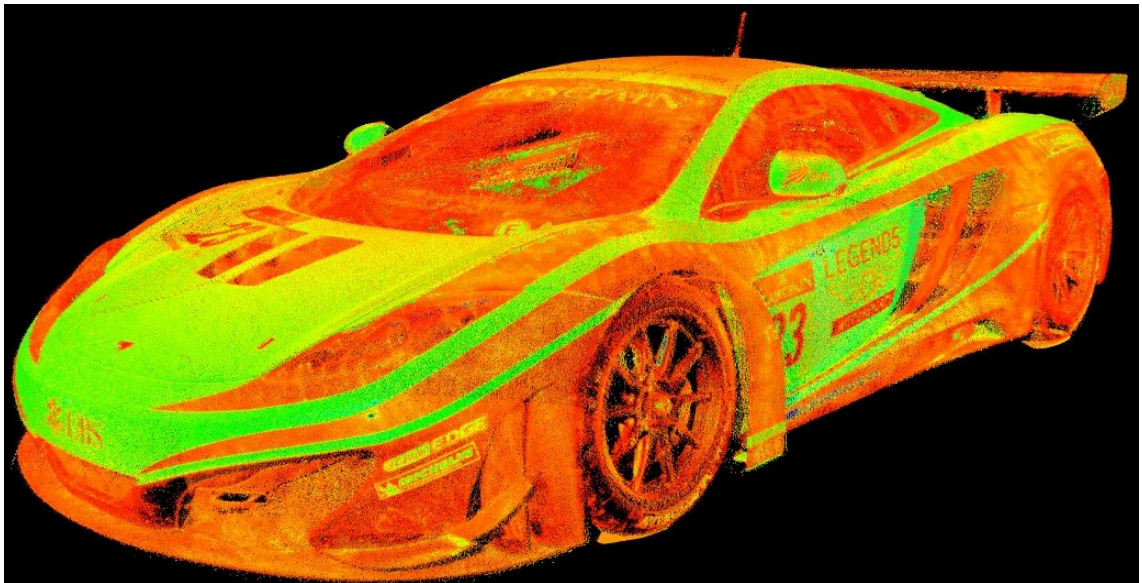
Kone- ja metallitekniikassa 3D-skannausta ja eri skannaustekniikoita hyödynnetään laajasti. 3D-skannaus on mukana tuotannon kaikissa vaiheissa. Suunnittelu- ja prototyyppivaiheessa voidaan käyttää apuna tarkkoja kolmiomittaukseen perustuvia 3D-skannereita. Jos tuotteesta ei ole piirustuksia, tai piirustukset ovat hävinneet johonkin, on laserskannauksesta suunnaton apu tuotteen käänteisessä suunnittelussa. Olemassa olevat tuotteet on muutenkin järkevä tallentaa digitaaliseen muotoon tuotekehityksen kannalta. Tuotantolinjojen suunnittelussa voidaan käyttää sisätilamittauksiin soveltuvia menetelmiä, kuten laserkeilausta. Vanhojen tuotantotilojen rakennuspiirustukset kun eivät välttämättä ole enää ajantasaisia. Automatisoiduilla tuotantolinjoilla ja muillakin tuotannon osa-alueilla voidaan käyttää konenäköä, joka myös usein perustuu johonkin skannaustekniikkaan. Konenäön tekniikkaa riippuu sovelluksesta. Konenäköä käytetään muun muassa viivakoodin ja tekstin lukemiseen, reunojen ja muodon tunnistukseen sekä erilaisiin hahmotus- ja tunnistustehtäviin. Skannausta voidaan käyttää myös mittauksien tekemiseen tuotannon eri vaiheissa poikkeavien ja virheellisten tuotteiden havaitsemiseksi. Erityistä tarkkuutta vaativissa mittauksissa voidaan käyttää CMM-laitteita. Merkittävää apua erilaisista 3D-skannausmenetelmistä on laadunvalvonnassa. [1.]

5.2 Rakennustekniikka ja kartoitukset

Kartoituksessa ja rakennustekniikan sovelluksissa käytetään yleensä laserkeilaimia, jotka soveltuvat laajoihin kokonaisuuksiin. Pitkät mittausetäisyydet ja pienet katvealueet mahdollistavat todella suurten alueiden ja kohteiden digitoimisen vain yhdellä keilauksella. Yleensä keilauksia suoritetaan useampia eri paikoista. Maastomittauksissa ja -mallinnuksessa tavallisen maalaserkeilauksen lisäksi keilain voidaan kiinnittää esimerkiksi lentokoneeseen tai autoon. Kartoituksen sovelluksena on myös vesistöjen pohjaskannaukset, vesistöalueskannaukset ja tulva-alueiden määrittelyt. Keilaimilla voidaan digitoida rakennuksia, siltoja, tunneleita, teitä ja kaikkea muuta infrarakentamiseen liittyvää. Keilaimia käytetään myös rakennusten ja erilaisien rakennelmien rakenteen ja rakennemuutosten tarkasteluun. Keilausdataa voidaan käyttää myös tarkkaan tilavuuksien ja massojen määrittämiseen, esimerkiksi tehtäessä kustannuslaskelmaa tienrakennusprojektin räjäytystyömaalta pois kuljetettavan maa-aineksen kustannuksista. Fotogrammetriaa käyttäen vanhojen karttojen ja rakennusten valokuvien avulla voidaan mallintaa vaikka tuhoutuneita rakennuksia ja muuta infrastruktuuria. [8; 9; 10; 18.]

5.3 Viihdeteollisuus

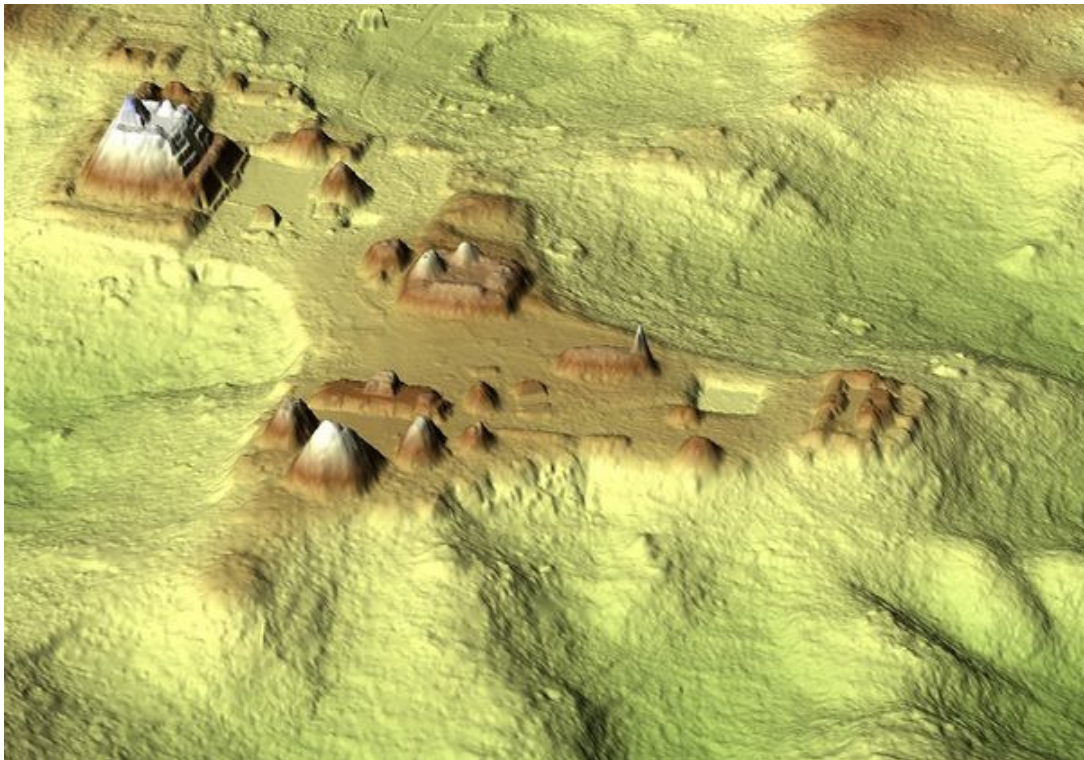
Erityisesti viihdeteollisuuden videopeli- ja elokuva-aloilla käytetään yhä vain enenevässä määrin 3D-skannausta (kuva 13). 3D-skannausta käytetään esimerkiksi pelimaailman ympäristöjen ja animaatioiden tekemiseen. Pelien ja elokuvien taustojen, ympäristöjen ja muiden kohteiden yksityiskohtaisessa luomisessa skannaus on huomattavasti tavallista koodaamista nopeampaa. Digitaalisten maailmojen luominen tyhjästä vaatii huomattavan pitkiä aikoja. Vaikka kuvattava reaali maailman kohde jouduttaisiin muotoilemaan tai valmistamaan pienoismalli, on 3D-skannaus silti kohteen tyhjästä koodaamista nopeampi vaihtoehto. Lisäksi käyttämällä reaali maailman todellisia paikkoja ja rakennuksia voidaan lisätä videopelien realismia. Käytettäessä skanneria, johon on liitetty myös tavallinen kamera, saadaan myös reaali maailman kohteen tekstuurit tallennettua ja liitettyä digitaaliseen malliin. Suurinopeuksilla, strukturoituun valoon perustuvilla 3D-skannereilla voidaan tallentaa myös liikkuvia kohteita, tätä hyödynnetään animoinnissa. Käyttämällä 3D-skannausta animoinnin apuna saadaan animoitavalle kohteelle esimerkiksi realistiset raajojen liikkeet helposti aikaiseksi. [1.]



Kuva 13. Oikean kilpa-auton skannauksen tulos videopeliä varten. Lähde: www.racesimcentral.com

5.4 Arkeologia ja historiantutkimus

Arkeologiassa käytetään erilaisia 3D-skannausmenetelmiä historiallisten kohteiden digitointiin. Keilaamalla kaivauksia tai muita laajempia historiallisia kokonaisuuksia voidaan helposti tutkia kokonaiskuvaa skannatusta alueesta (kuva 14). Tällä tavoin saatetaan huomata jotain, mikä olisi paikan päällä kenttätutkimuksessa jäänyt huomaamatta. Esimerkiksi historiallisen, jo tuhoutuneen, infrastruktuurin jäänteitä voidaan havaita maastosta tehdyistä tarkoista maalaserkeilauksista. 3D-skannausta käytetään myös kulttuurihistoriallisten kohteiden, monumenttien ja patsaiden digitointiin. Hauraiden ja herkkien historiallisten kohteiden tarkasteluun laserskannaus on erinomainen vaihtoehto, koska ei-koskettavana menetelmänä siinä ei tarvitse pelätä kohteen vaurioitumista kosketuksesta. Arkeologiassa käytetään myös röntgensäteilyä hyödyntäviä skannereita. [1.]



Kuva 14. Skannausdataa Maya-temppelistä ja sen ympäristöstä. Lähde: www.nationalgeographic.com

5.5 Onnettomuus- ja rikospaikkatutkimus

Onnettomuus- ja rikospaikkojen digitointi on yleistymässä. Digitoimalla onnettomuuspaikka saadaan esimerkiksi raivaustöiden aloittamista nopeutettua ja liikenneonnettomuustapauksessa tie nopeammin normaaliin käyttöön. Digitoitua rikospaikkaa voidaan tutkia tarkasti myös paljon tapahtumahetken jälkeen esimerkiksi uusien todisteiden ilmaannuttua. Tarkasti digitoituja rikospaikkakuvia voidaan käyttää myös todistusaineistona oikeudessa. [15; 19.]



Kuva 15. Skannaustulos auto-onnettomuudesta. Lähde: www.leica-geosystems.fi

5.6 Lääketiede

Lääketieteessä 3D-skannausta käytetään ainakin proteesien ja erilaisten apuvälineiden suunnittelun ja valmistuksen apuna. 3D-skannauksesta on merkittävää hyötyä ortopediassa, kun ihmisen vartalosta saadaan tarkka kolmiulotteinen digitaalimalli. Tämä edesauttaa hyvin istuvien ja sopivien tukien, proteesien ja muiden apuvälineiden valmistamista. Valmistettujen apuvälineiden muokkaus tai parantelu on myös helpompaa, kun on jo ennalta tarkkaa digitaalista tietoa potilaan anatomiasta ja aiemmin valmistetuista apuvälineistä. 3D-skannausta käytetään myös hammaslääketieteessä proteesivalmistuksen apuna. [1.]

6 3D-skannauksen tulevaisuus

3D-skannauksen käyttö tulevaisuudessa jatkaa kasvuaan. Koko ajan kehitetään uusia tekniikoita ja menetelmiä. 3D-skannaus tulee todennäköisesti syrjäyttämään monissa tilanteissa perinteisempiä mittausten menetelmiä, koska 3D-skannauslaitteiden hinnat laskevat jatkuvasti ja niiden käyttö helpottuu ja nopeutuu. Uudet ja innovatiiviset erikoisratkaisut 3D-skannaustekniikoissa ja -menetelmissä tulevat ratkaisemaan tämänhetkisiä mittausteknisiä ongelmia.

Skannauksesta saatava tarkka ja yksityiskohtainen kolmiulotteinen tieto lyhentää erilaisiin rakennus- ja suunnitteluprojekteihin kuluvaan aikaa vähentämällä uusinta- ja tarkistusmittausten tarvetta. Layout-suunnittelu on helpompaa ja nopeampaa, koska jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa huomataan, sopivatko suunniteltavat tuotantolaitteet ja -koneet tilaan halutulla tavalla. Pelkkiä pohjapiirustuksia käyttämällä ei huomaa esimerkiksi katossa kulkevan ilmastointiputken olevan suunnitellun hyllystöratkaisun tiellä. Käyttämällä 3D-skannausta monissa muissakin suunnitteluprojekteissa reaali maailman kohteiden tallentamisessa voitaisiin välttää liian usein esiintyvä yritys-erehdys-tilanne.

Koska taloudellisuus on nyt ja tulevaisuudessa avainasemassa monissa asioissa, tulee 3D-skannaukset ja 3D-skannereiden käyttö lisääntymään. 3D-skannaus säästää useimmissa tilanteissa aikaa, vaivaa ja tätä kautta myös rahaa. 3D-skannerin hankinta nyt on sijoitus tulevaisuuteen, ja se tulee merkittävästi helpottamaan työskentelyä tulevaisissa projekteissa. Tähän pätee myös se tosiasia, että kun jokin kohde skannataan juuri tällä hetkellä olevaan tarpeeseen, on skannattu tieto helposti säilytettävässä ja arkistoitavassa muodossa tulevia projekteja ajatellen. Digitoitu kohde saattaa tuhoutua tai kadota, mutta kohde voidaan vuosienkin jälkeen valmistaa uudestaan, vaikka kohteesta ei olisi digitoinnin lisäksi minkäänlaisia piirustuksia tai työkuvia. Aiemmin hankittua skannausdataa voidaan käyttää tietysti myös tuotekehittelyn apuna.

7 3D-laserskannerin testaus

Alkuperäinen suunnitelma tämän insinööriyön suorittamisesta oli perehtyä 3D-skannereiden toimintaan ja skannata sekä käänteisen suunnittelun avulla mallintaa jokin monimutkaisia ja vaikeasti mitattavia muotoja sisältävä kappale. Lopuksi mallinnettu kappale olisi valmistettu eri menetelmin ja verrattu valmistetun kappaleen muotoja ja mittoja alkuperäiseen. Työ aloitettiin perehtymällä markkinoilla olevien 3D-laserskannereiden tekniikkaan ja siihen mihin eri tekniikoihin perustuvia laitteita käytetään.

Työ jatkui tutustumisella Metropolia Ammattikorkeakoulun apuvälinetekniikan käytössä olevaan 3D-laserskanneriin. Skanneri on malliltaan Össur DFS-TX2, ja se on tarkoitettu käytettäväksi muun muassa proteesien ja erilaisten apuvälineiden suunnitteluun (kuva 16). Tutustumiskäynnillä selvisivät käytön rajoitukset. Laitteella ei voi skannata magneettisia metalleita eikä läpinäkyviä, kiiltäviä tai heijastavia kappaleita. Tämä rajoitti merkittävästi skannausmahdollisuuksia, koska konetekniikkaa ajatellen monet potentiaaliset testikappaleet ovat metallia ja metallin pinta usein heijastavaa. Laitteella on kuitenkin mahdollista skannata kappaleita, joiden sisällä on metallia. Laitteen käytöstä mainittiin lisäksi että reiät, terävät kulmat ja skannattavan pinnan kuopat ovat usein haasteellisia. Magneettisten metallien skannauksen estää laitteen ulkoisen koordinaatiston luomiseen käytettävä erillinen sensori, joka luo ympärilleen heikon magneettikentän (kuva 16). Erillinen sensori on kuitenkin erittäin hyvä, kun skanneria käytetään siihen mihin se on suunniteltu. Esimerkiksi, kun halutaan skannata potilaan raaja, niin sensori kiinnitetään raajaan ja raajaa voi vapaasti liikuttaa skannauksen aikana, kunhan skannattavan alueen nivelet eivät liiku.



Kuva 16. Testauksessa käytetty Össur DFS-TX2 -laserskanneri ja ulkoinen sensori.

Skanneriin tutustumisen jälkeen pohdittiin sopivia kappaleita skannattavaksi. Aiemmin mainittujen esteiden pohjalta päädyttiin muovisiin kappaleisiin. Muovisten kappaleiden lisäksi päätettiin kokeilla myös alumiinin skannaamista. Testikappaleiksi valikoituivat puhelimen kuori, pelikonsolin käsiohjain ja alumiininen kansi (kuva 17).



Kuva 17. Testaukseen käytetyt puhelimen kuori, konsoliohjain ja alumiininen kansi.

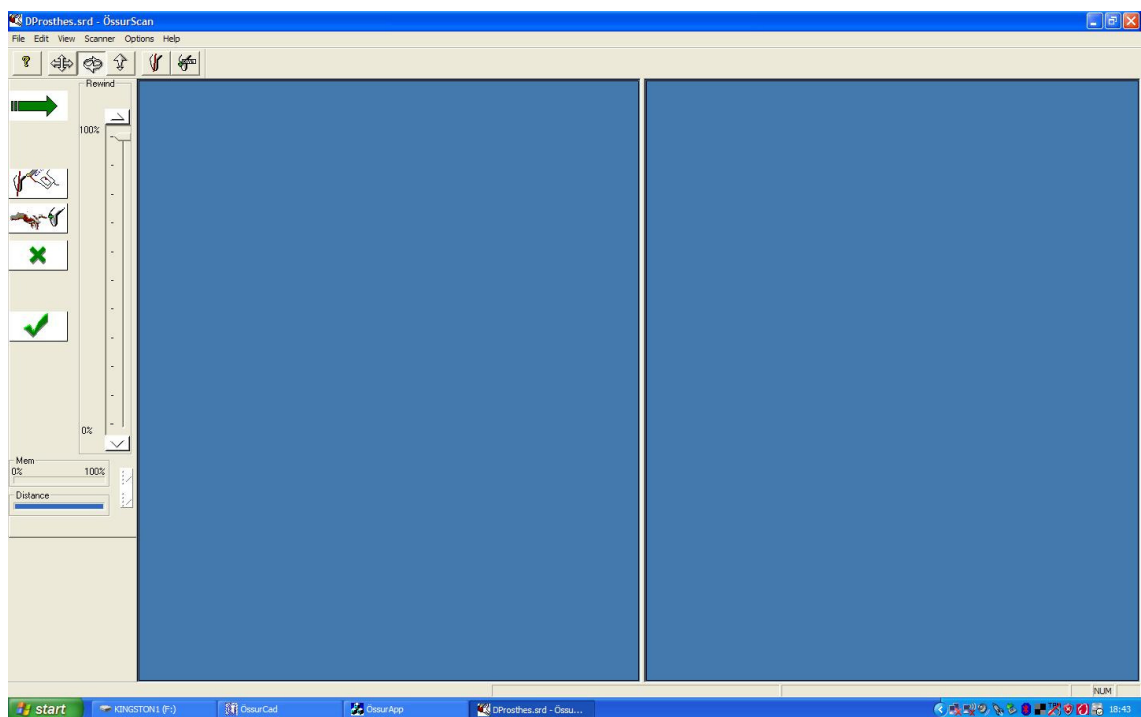
Ensimmäisiä skannauksia tehtäessä havaittiin, että valaistuksella on suuri merkitys skannauksen onnistumiselle. Mitä vähemmän ulkoista valoa oli, sitä paremmin skannaus onnistui. Skannaus kyllä onnistuu myös valaistussa tilassa, mutta ympäristöstä tulevat heijastukset saavat toisinaan aikaan virheellisiä muotoja skannaustulokseen. Myös alhaalta ja alaviistosta tapahtuvat skannaukset havaittiin haasteellisiksi, koska kattovalaisimien heijastinpinnat aiheuttivat vääristymiä skannaustulokseen. Skannauksia tehtäessä ulkoinen sensori kiinnitettiin telineeseen, jonka päälle skannattava kappale asetettiin. Tällöin skannattava kappale oli nopeasti vaihdettavissa, mutta sitä ei voinut kääntää tai liikuttaa skannaustapahtuman aikana. Skannauksen pohtiminen etukäteen helpotti lopputulosten saantia huomattavasti. Parhaita tuloksia sai pimennetyssä huoneessa. Myös erilaisten heijastussuojien tekemistä mietittiin, mutta ne olisivat hankaloittaneet skannaustilannetta vaikeuttamalla skannattavan kappaleen ympärillä liikkumista. Miettimällä ennalta alhaalta ja alaviistosta tehtävät skannaukset ja pimentämällä huone saatiin hyviä tuloksia, joten heijastussuojien käyttämisestä luovuttiin.

Seuraavilla skannaukskerroilla perehdyttiin enemmän skannausohjelmaan ÖssurCad ja ohjelman ominaisuuksiin (kuva 18).



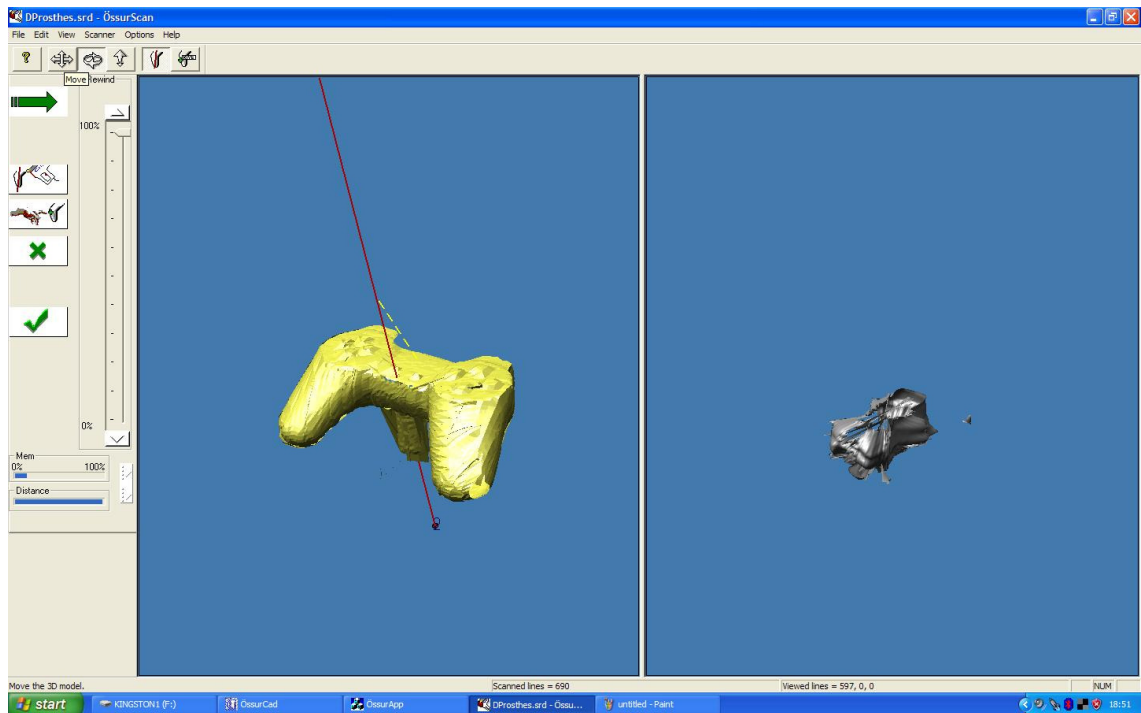
Kuva 18. ÖssurCad-ohjelman aloituskuva.

Ohjelma näyttää skannauksen aikana tietokoneen näytön vasemmassa reunassa todellisen skannaustuloksen ja oikeassa reunassa "arvauksen" haluttavan proteesin muodolle (kuva 19). Skannauksen aikana molempia tietokoneen näytöllä olevia kuvia voi tarkastella ja pyöritellä haluamallaan tavalla. Kun skannaus on valmis, ohjelmassa aukeaa proteesin kuva, jota voi muokata eteenpäin skannausohjelman avulla. Proteesimallin voi myös tallentaa muun muassa igs-tiedostomuotoon ja muokata sopivalla ohjelmalla. Metropolian kone- ja tuotantotekniikan tiloissa on käytössä Dassault Systemsin tuottama Catia-ohjelma, jolla voidaan muokata igs-tiedostoja. Tarkoituksena oli tarkastella ja muokata skannaustuloksia Catia-ohjelman avulla.



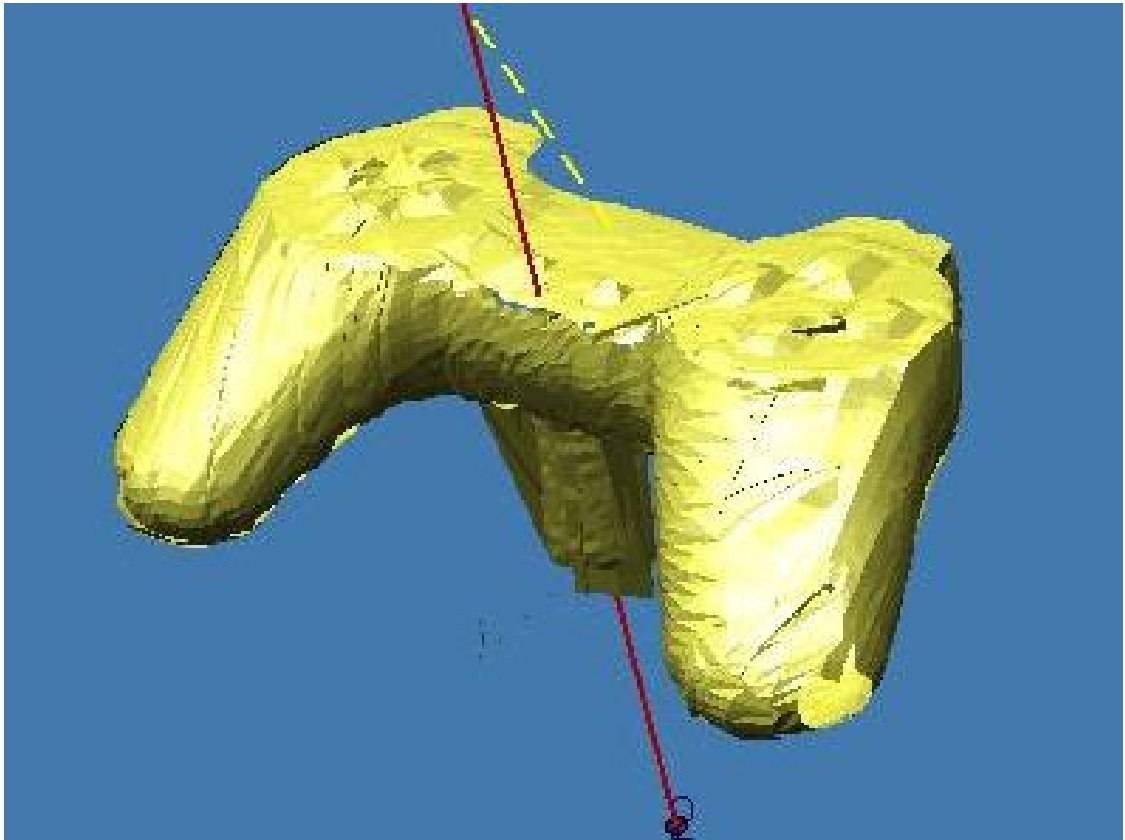
Kuva 19. Näkymä ohjelmasta ennen skannauksen aloittamista.

Käytössä olleessa ÖssurCad-skannausohjelmassa ei ole kovin monta muutettavaa parametria. Muuteltavia parametreja ovat sensitivity, filtering, sectors ja point distance. Ennalta kerrottiin, että todennäköisesti parhaaseen tulokseen pääsee ennalta asetetuilla (default) asetuksilla. Tämä piti toisaalta paikkaansa, sillä vaikka parametreja muutti laidasta laitaan, ei havaittavia muutoksia ohjelman näyttämässä todellisessa kuvassa juurikaan ollut. Tämän insinööriyön kannalta vain todellisella skannauskuvalla on merkitystä (kuva 20).



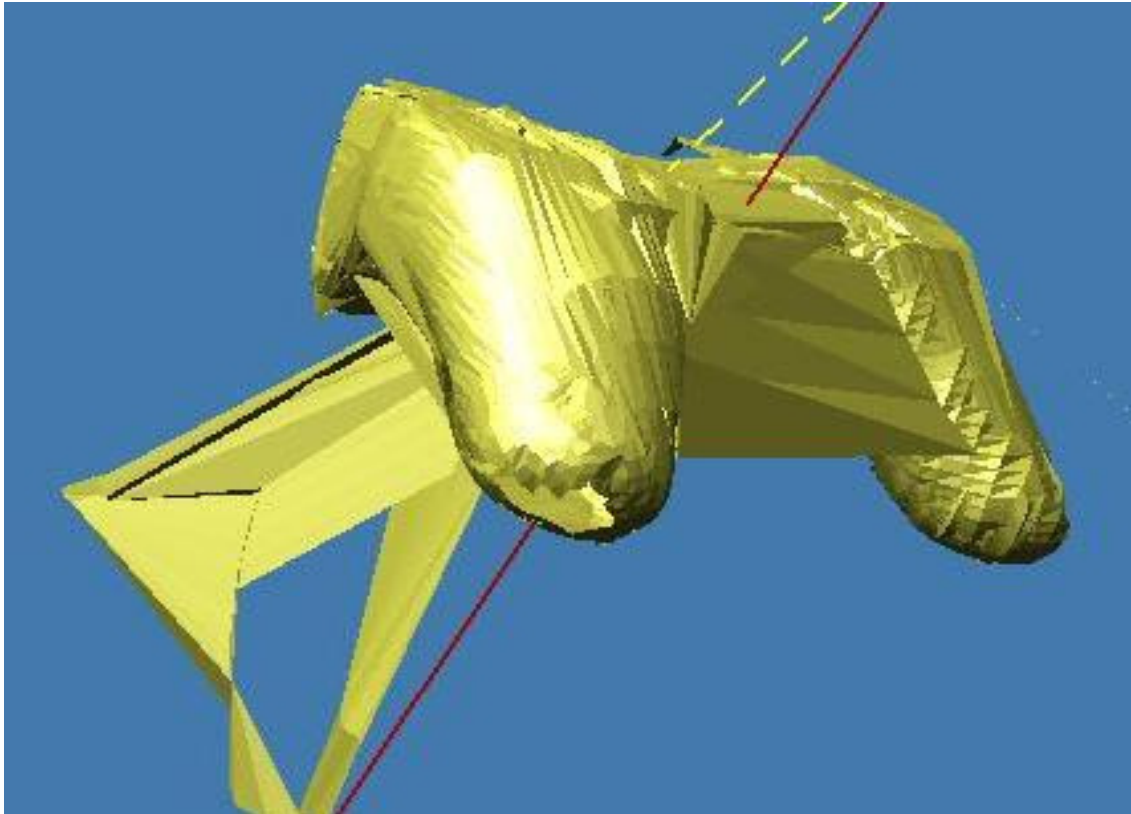
Kuva 20. Vasemmalla on onnistuneen skannauksen tulos ja oikealla proteesi "arvaus".

Eniten skannauksia suoritettiin pelikonsolin käsiohjaimelle, koska siinä on eniten monimutkaisia pinnanmuotoja ja toisaalta myös pienempiä yksityiskohtia. Ohjelman näyttämä pintamalli koostuu kolmioverkosta, jossa kolmiot ovat melko suuret, ja siksi skannattavan kappaleen pienten yksityiskohtien tarkastelu koettiin tärkeäksi. Skannauksen voitiin katsoa onnistuneen hyvin, kun yksityiskohdat olivat selkeästi tunnistettavissa ja muut muodot silmämääräisesti oikein (kuva 21).



Kuva 21. Onnistuneen skannauksen tulos pelikonsolin ohjaimesta.

Skannauksen onnistumiseen vaikutti pimennyksen ja ympäristön heijastusten lisäksi jonkin verran myös skannausnopeus (kuva 22). Skannausnopeudella tarkoitetaan sitä nopeutta, jolla skanneria liikutetaan skannauksen aikana. Paras nopeus löytyy helposti tekemällä muutama koeskannaus ja tarkkailemalla samalla skannauskuvaa tietokoneen näytöltä.



Kuva 22. Virheet johtuivat liian suuresta skannausnopeudesta.

Alumiinisen kannen skannaaminen ei onnistunut. Syynä olivat mitä ilmeisimmin pinnoittamattoman alumiinivalun pinnan heijastukset. Tuloksena oli vain epämääräisiä viriheijastuksia. Päätelmän varmistamiseksi alumiinikansi olisi pitänyt pinnoittaa esimerkiksi maalaamalla mattavärillä.

Muistitikulle tallennettujen skannaustulosten tarkastelu osoittautui lopulta esteeksi alkuperäisen suunnitelman toteuttamiselle. ÖssurCad-ohjelmasta tallennetut igs-tiedostot sisälsivät todellisen skannauskuvan sijaan proteesimallin rautalankamallin. Igs-tiedostojen lisäksi skannaustuloksista oli varmuuden vuoksi tallennettu myös kaikki backup-tiedostot, mutta niitä ei saanut auki muilla ohjelmilla. Myös kaikkia muita

ÖssurCad-ohjelman tiedoston tallennusmuotoja kokeiltiin, mutta millään tavalla tai tiedostomuodolla ei saatu haluttua todellista skannauskuvaa avatuksi Catia-ohjelmassa. ÖssurCad-ohjelma on suunniteltu proteesin valmistusta silmälläpitäen eikä todellisen kuvan tallentamismahdollisuutta ole nähty tarpeelliseksi. ÖssurCad-ohjelma sopii siis mainiosti vain sille suunniteltuun käyttöön. Ohjelmalla saa helposti ja nopeasti suoritettua skannauksen ja skannaustuloksen jatkokäsittelyn proteesimalliksi. Johtuen aikataulusta päätettiin alkuperäinen suunnitelma hylätä, koska jatkaminen olisi vaatinut uuden skannausohjelman hankkimisen, asennuksen ja opettelun sekä tietysti uudet skannaukset. Tämä toimii hyvänä esimerkkinä sille, että jotkin laitteet ja ohjelmistot on varta vasten suunniteltu vain tiettyyn käyttöön. Jos ohjelmiston vajavaisuus tämän insinööriyön suhteen olisi ollut ennalta tiedossa, ja skannerin yhteyteen olisi heti aluksi saatu eri ohjelmisto, olisi työ suurella todennäköisyydellä viety päätökseensä ennalta suunnitellulla tavalla.

8 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä selvitettiin ja käytiin läpi erilaisia 3D-skannausmenetelmiä ja -tekniikoita. Työ kokosi yhteen tietoja käytettävistä menetelmistä ja erilaisista käyttökohteista, joissa hyödynnetään jotakin 3D-skannaustekniikkaa. Käyttökohteita ja erikoissovelluksia 3D-skannaukselle ja 3D-mittauksille on varmasti lukemattomia muitakin. Tarkoitus oli kuitenkin nostaa esiin yleisimmin käytettäviä menetelmiä, sillä ainakaan Suomessa 3D-skannaus ei vielä ole kovin laajassa käytössä. Tilanteesta kertoo paljon se, että monille englanninkielisissä lähdeaineistoissa esiintyville termeille ja skannaustekniikoille ei löytynyt käännöstä tai muuta yleistä suomenkielistä termiä. Lisäksi useissa suomenkielissä teksteissä samoja asioita kutsuttiin hieman eri termeillä.

Tällä hetkellä suurimmat ongelmat ja esteet 3D-skannauksen yleistymiselle Suomessa ovat tiedon ja koulutuksen puute sekä laitteistojen ja ohjelmistojen kalleus. Pitää myös huomioida, että laserkeilaimilla saatavan datan suuri koko vaatii käyttäjältä paljon aikaa varsinkin käytettäessä datan muokkaukseen ja käsittelyyn vanhempia ja hitaampia tietokoneita.

Vaikka hienoilla uusilla 3D-skannereilla saadaan paljon käyttökelpoista dataa ja mittaustuloksia, tulee aina muistaa mikä on tavoite. Onko hyödyllistä hankkia 3D-skanneria itselle vai teettää 3D-skannaus jollakin ulkopuolisella? Skannaukset itsessään ovat yleensä nopeita ja skannauksen perusteella saadaan nopeasti mittatietoja, mutta aineiston jatkokäsittelyyn ja muokkaukseen kuluva aika riippuu aineiston koosta. Skannausmenetelmä valitaan aina skannattavan kohteen perusteella. Väärällä skannausmenetelmän valinnalla aiheutetaan helposti ongelmia mittauksiin. 3D-skannauksen tarkoitus on kuitenkin helpottaa ja nopeuttaa haluttujen tulosten saamista.

Lähteet

- 1 3DScanCo: Technical information: Benefits. 2012. Verkkodokumentti.
<<http://www.3dscanco.com/about/>>. Viitattu 10.3.2012.
- 2 Siitonen, Eetu. 2011. Opinnäytetyö: 3D-skannaamisen ja fotogrammetrian hyödyntäminen suunnittelutyössä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31982/Siitonen_Eetu.pdf?sequence=1>. Viitattu 10.3.2012.
- 3 Hoover, Rachel. 3-D Laser Scanner History. Verkkodokumentti.
<http://www.ehow.co.uk/facts_7625254_3d-laser-scanner-history.html>. Viitattu 13.3.2012.
- 4 Lerch, Terry. MacGillivray, Maureen. Domina, Tanya. 2007. 3D Laser Scanning: A Model of Multidisciplinary Research. Verkoartikkeli.
<http://www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume5issue4/Articles/Lerch/Lerch_full_221_07.pdf>. Viitattu 14.3.2012.
- 5 Cascade: Palvelut. 2012. Verkkodokumentti.
<<http://www.cascade.fi/opttech/tjanster>>. Viitattu 16.3.2012.
- 6 Elomatic: Palvelut: Laserskannaus. 2011. Verkkodokumentti.
<http://www.elomatic.com/fin/services/rd/laser_scanning.php>. Viitattu 16.3.2012.
- 7 AN-cadsolutions: David 3D skanneri. 2012. Verkkodokumentti.
<<http://www.an-cadsolutions.fi/fi/david-3d-skanneri>>. Viitattu 18.3.2012.
- 8 Ruohonen, Sanna. 2007. Opinnäytetyö: Faro LS 880 -laserkeilain vapaan keilainaseman menetelmässä. Tampereen ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9619/Ruohonen_Sanna.pdf?sequence=2>. Viitattu 20.3.2012.
- 9 Ilvonen, Katri. 2008. Opinnäytetyö: Laserkeilauksen hyödyntäminen infrarakentamisessa. Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1707/INSINOOR_ITYO_ILVONEN.pdf?sequence=1>. Viitattu 20.3.2012.
- 10 Kukko, Antero. 2005. Fotogrammetrian erikoistyö: Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Aalto yliopisto. Saatavissa:
<http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_lahifotogrammetrisiin_mittauksiin.pdf>. Viitattu 20.3.2012.

- 11 Kreon3D: Zephyr. 2012. Verkkodokumentti.
<<http://www.kreon3d.com/zephyr/>>. Viitattu 25.3.2012.
- 12 DE Editors. 2009. Kreon industries new 3D measurement solution integrates Solano laser scanner and Baces measuring arm. Verkkoartikkeli.
<<http://www.deskeng.com/articles/aaapth.htm>>. Viitattu 25.3.2012.
- 13 Riekkö, Henri. 2009. Opinnäytetyö: CAD-mallin hyödyntäminen koordinaattimittauskoneen ohjelmoinnissa. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
<<http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/7980/TKO5SHenriR.pdf?sequence=1>>. Viitattu 4.4.2012.
- 14 Roland: 3D products. 2011. Verkkodokumentti.
<http://www.rolanddgn.com/Products/categories/?category_id=8>. Viitattu 9.4.2012.
- 15 Nordic Geo Center: Faro Focus 3D. 2012. Verkkodokumentti.
<http://www.geocenter.fi/?page_id=15>. Viitattu 9.4.2012.
- 16 Mittatekniikan keskus: Koordinaattimittauskone KMK (CMM). 2011. Verkkodokumentti.
<<http://www.mikes.fi/frameset.aspx?categoryID=3&url=page.aspx%3FpageID%3D891%26contentID%3D427>>. Viitattu 15.4.2012.
- 17 3D scanner: Technology. 2012. Verkkodokumentti.
<http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner#Technology>. Viitattu 15.4.2012.
- 18 Vinni, Päivi. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa - Mitä on fotogrammetria. Verkkodokumentti. Saatavissa:
<<http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>>. Viitattu 15.4.2012.
- 19 Heiska, Nina., Heinonen, Hannu. 2011. 3D-laserskannaus forensisisessä rikospaikka-/tapaturmatutkimuksessa. Verkkoartikkeli. Saatavissa:
<<http://nordicgeocenter.wordpress.com/2011/05/23/3d-laserskannaus-forensisisessa-rikospaikkatapaturmatutkimuksessa>>. Viitattu 15.4.2012.

