

TRAKTORIN ULKOKUOREN SKANNAAMINEN

Oliver Takarautio
Opinnäytetyö AMK
Syksy 2024
Konetekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

Tekijä: Oliver Takarautio

Opinnäytetyön otsikko: Traktorin ulkokuoren skannaaminen

Työn ohjaaja: Janne Ilomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2024

Sivumäärä: 42

3D-skannaus on kehittyvä teknologia, jota hyödynnetään yhä laajemmin eri teollisuudenaloilla, kuten suunnittelussa, laadunvalvonnassa ja tuotantoprosessien optimoinnissa. Sen avulla voidaan luoda tarkkoja ja luotettavia kolmiulotteisia malleja fyysisistä objekteista digitaaliseen muotoon.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin 3D-skannauksen soveltuvuutta traktorin ulkokuoren skannaamiseen yhteistyössä Valtra Oy:n kanssa. Työssä arvioitiin, onko 3D-skannaus riittävän tarkkaa, luotettavaa ja käyttökelpoista. Lisäksi selvitettiin, miten 3D-skannaus soveltuu suuren kohteen skannaamiseen ja mikä olisi tehokkain ja optimaalisin tapa toteuttaa vastaavanlainen skannausprosessi.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin 3D-skannauksen periaatteita, menetelmiä sekä käyttökohteita eri aloilla. Käytännön osuudessa traktorin ulkokuori skannattiin käsiskannerilla ja skannausprosessi dokumentoitiin vaiheittain. Työn aikana kehitettiin toimiva skannausprosessi ja saatiin arvokasta tietoa skannaus-tekniikoista ja -menetelmistä. Skannauksen tarkkuutta analysoitiin vertaamalla tuotettua 3D-mallia Valtran digitaalisiin malleihin. Vertailun suoritti Valtra Oy. Lisäksi arvioitiin skannausprosessiin tarvittavaa työmäärää.

Työn tuloksena syntyi seitsemän erilaista traktorimallia, joista kolme toimitettiin Valtran käyttöön ja neljä Oulun ammattikorkeakoululle. Lisäksi molemmille osapuolille tuotettiin erilliset osamallit etukuormaajasta ja kauhasta. Tulokset osoittivat, että skannatut mallit olivat riittävän tarkkoja ja käyttökelpoisia moniin tarkoituksiin. Valtran suorittaman nopean analyysin perusteella mallit arvioitiin laadukkaiksi ja soveltuviksi jatkokäyttöön, mikä vahvistaa skannausprosessin onnistumisen.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Mechanical Engineering
Option of Machine Automation

Author: Oliver Takarautio
Title of thesis: Scanning the exterior of a tractor
Supervisor: Janne Ilomäki
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2024
Number of pages: 42

3D-scanning is an evolving technology that is being increasingly used in various industries, including design, quality control, and optimizing production processes. This technology allows for the creation of an accurate and reliable digital 3D models from physical objects.

This thesis examined the suitability of 3D scanning for capturing the exterior of a tractor in collaboration with Valtra Oy. The main objective was to determine whether 3D scanning is accurate, reliable and practical for large-scale objects. The project also investigated the suitability of a handheld scanner provided by Oulu University of Applied Sciences and developed an optimized scanning process.

The theoretical section of the thesis addressed the basics of 3D scanning, its methods and applications across different fields. In the practical section, the exterior of the tractor was scanned using handheld scanner, and the process was documented step by step. During the project, a functional and efficient scanning process was developed, providing valuable insights into scanning techniques and methods. The accuracy of the scanned model was analysed by comparing it to Valtra Oy's existing digital models. The workload required for the scanning process was also analysed.

As a result of the project, seven different tractor models were created. Three models were delivered to Valtra Oy and four to Oulu University of Applied Sciences. Separate sub-models of the front loader and bucket were also produced for both parties. The results confirmed that the scanned models were sufficiently accurate and practical for various applications. According to Valtra's initial analysis, the models were high-quality and suitable for further use, confirming the success of the scanning process.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO.....	6
2 3D-SKANNAAMINEN	7
2.1 3D-skannausmenetelmät	7
2.1.1 3D-laserskannaus.....	7
2.1.2 Fotogrammetria	9
2.1.3 Strukturoitu valo.....	10
2.2 3D-skannauksen käyttökohteita	11
2.2.1 Arkeologia	12
2.2.2 Elokuvat ja pelit	12
2.2.3 Käänteinen suunnittelu	13
2.2.4 Laadunvalvonta	13
2.2.5 Lääketiede.....	14
2.2.6 Rikostekniset tutkimukset	14
3 TYÖSSÄ KÄYTETTY 3D-SKANNERI.....	15
3.1 Creaform HandySCAN BLACK™ Elite.....	15
3.2 Kohdistustarrat ja niiden toiminta	16
3.3 Creaform VXelements	18
4 TRAKTORIN ULKOKUOREN SKANNAAMINEN	19
4.1 Esivalmistelut	20
4.2 Ensimmäinen skannaussuunnitelma	21
4.3 Optimoitu skannaussuunnitelma	23
4.4 Skannausprosessi ja datan käsittely	24
4.4.1 VXmodel-käsittely.....	26
4.4.2 Yhdistely ja loppukäsittely	27
4.4.3 Muita haasteita	28
4.5 Työmäärän seuranta ja kulut.....	31
5 TULOKSET JA ANALYYSI	34
5.1 Valtran käyttöön tuotetut mallit	34

5.2	Oulun ammattikorkeakoulun käyttöön tuotetut mallit	36
5.3	Etukuormaaja ja kauha.....	38
YHTEENVETO		39
LÄHTEET		40

1 JOHDANTO

3D-skannaaminen on nopeasti kehittyvä teknologia, jota hyödynnetään laajasti eri teollisuudenaloilla. Sen avulla voidaan luoda tarkkoja kolmiulotteisia malleja fyysisistä kappaleista, mikä avaa uusia mahdollisuuksia muun muassa laadunvalvonnassa, rakenteiden suunnittelussa ja valmistusprosessissa. Työssä esitellään tarkemmin, mitä 3D-skannaaminen on ja mihin sitä voidaan käyttää.

Tämän opinnäytetyön aiheeksi valikoitui traktorin ulkokuoren skannaaminen. Työn toimeksiantajana toimi traktorivalmistaja Valtra Oy, joka on erikoistunut maatalouskoneisiin ja -tarvikkeisiin. Aihe on erityisen ajankohtainen, sillä tarkkuutta ja tehokkuutta vaativissa prosesseissa uudet digitaaliset työkalut, kuten 3D-skannerit, ovat yhä keskeisemmässä roolissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää 3D-skannauksen soveltuvuutta traktorin ulkokuoren skannaamisessa sekä arvioida onko se riittävän tarkkaa, luotettavaa ja käyttökelpoista. Tavoitteena oli myös tutkia, miten käytössä oleva käsiskanneri soveltuu suurten kohteiden skannaukseen ja mikä on optimaalisin skannaus-suunnitelma vastaavanlaiselle projektille. Lisäksi työssä tarkastellaan, voidaanko skannattua mallia hyödyntää opetuksessa ja yritystoiminnassa laajemmin. Työssä esitellään käytettävä 3D-skanneri ja skannattava traktori, analysoidaan skannausprosessi ja arvioidaan työmäärää.

Keskeinen tutkimuskysymys on, kuinka hyvin 3D-skannaus soveltuu traktorin ulkokuoren tarkkaan mallintamiseen ja onko skannattu 3D-malli riittävän tarkka ja luotettava. 3D-mallin oikeellisuus tarkistetaan vertaamalla käsiskannerilla tuotettua 3D-mallia Valtran olemassa oleviin digitaalisiin malleihin. Vertailun suorittaa Valtra Oy:n henkilöstö NDA-syitten takia. Tämä työ tarjoaa paitsi hyödyllistä tietoa Valtra Oy:lle ja Oulun ammattikorkeakoululle, myös merkittävää kokemusta ja oppia omalle ammatilliselle kehitykselleni konetekniikan insinöörinä, jossa tarkkuus ja teknologian tehokas hyödyntäminen ovat keskeisiä tekijöitä.

2 3D-SKANNAAMINEN

3D-skannaus on prosessi, jossa fyysinen objekti tallennetaan tarkasti digitaaliseen muotoon. Skannauksen avulla objektin koko, muoto ja pinta voidaan tallentaa kolmiulotteisena mallina. Skannattava kohde voi olla mikä tahansa kappale, henkilö tai ympäristö. Näitä digitaalisia malleja hyödynnetään laajasti muun muassa suunnittelussa, valmistuksessa ja laadunvalvonnassa eri teollisuudenaloilla. (Sculpteo 2024.)

3D-skannaus mahdollistaa nopean ja tarkan tiedonkeruun sekä tarjoaa merkittäviä etuja perinteisiin manuaalisiin mittaamenetelmiin verrattuna. Näihin etuihin kuuluvat esimerkiksi mittausten tarkkuus, skannausten toistettavuus ja kyky tallentaa monimutkaisia muotoja, jotka olisivat haastavia tai mahdottomia mitata käsin. (Sculpteo 2024.)

2.1 3D-skannausmenetelmät

3D-skannausmenetelmiä on monia, mutta yleisimpiin kuuluvat laser-skannaus, fotogrammetria ja strukturoitu valo. Jokaisella menetelmällä on omat etunsa, ja sopiva tekniikka valitaan projektin vaatimusten perusteella. (Sculpteo 2024.)

Skannereilla kerätään kohteen pinnalta tarkkaa dataa, joka muodostetaan pistepilveksi. Pistepilvi koostuu miljoonista mittauspisteistä, jotka kuvaavat kohteen muodot yksityiskohtaisesti. Tämä pistepilvi toimii pohjana 3D-mallille, jota voidaan käsitellä ja muokata tarkaksi digitaaliseksi kuvaksi. (Sculpteo 2024.)

2.1.1 3D-laserskannaus

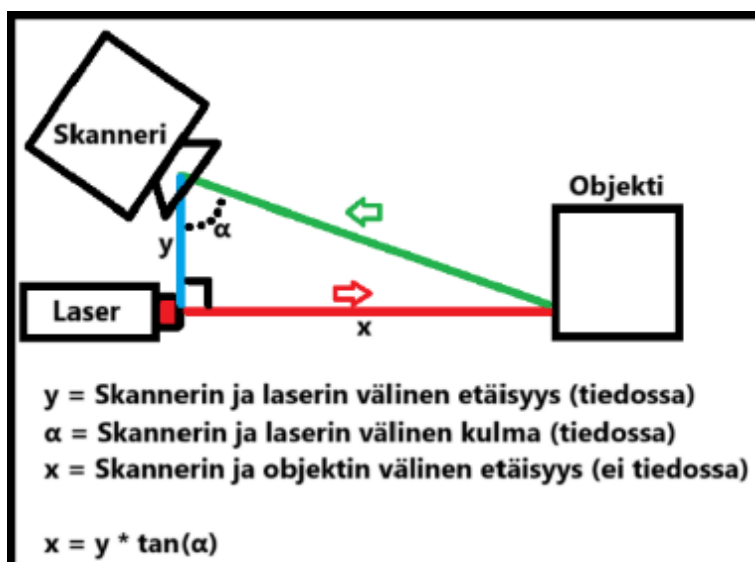
Laserskannaus perustuu kahteen pääasialliseen teknologiaan: ToF-tekniikkaan (Time-of-Flight) eli valon kulku-aikaan perustuvaan kuvantamiseen sekä kolmiomittaukseen. Molemmat menetelmät hyödyntävät laseria etäisyyden ja muodon tarkkaan mittaamiseen. (Bitfab 2024.)

ToF-tekniikkaan perustuvassa skannauksessa skanneri lähettää laserin tai useita lasereita kohteen pinnalle ja skannerin vastaanotin mittaa, kuinka kauan kestää, että laser heijastuu takaisin (kuva 1). Laserin kulkunopeuden ja yksinkertaisten laskelmien avulla saadaan tarkka tieto kohteen etäisyydestä. Kun tätä prosessia toistetaan useisiin eri pisteisiin kohteessa, pisteiden etäisyyksien avulla muodostetaan kolmiulotteinen kartoitus, joka kuvaa kohteen muotoa tarkasti. (Bitfab 2024.)



KUVA 1. Valon kulkuaikaan perustuva kuvantaminen

Kolmiomittauksen toimintaperiaate on sama, mutta eroaa siinä, että se käyttää trigonometristä laskentaa etäisyyden määrittämisessä. Tässä menetelmässä skanneri laskee etäisyyden kohteeseen mittaamalla laserin kulman sekä laser-valon ja vastaanottimen välisen etäisyyden. (Bitfab 2024.) (Kuva 2.)



KUVA 2. Kolmiomittaukseen perustuva menetelmä

ToF-tekniikka ja kolmiomittaus hyödyntävät molemmat laserin heijastumista kohteesta, joten niiden prosessit ovat samankaltaisia. Laserskannaus tunnetaan erityisesti tarkkuudesta ja se on kustannustehokas verrattuna muihin skannausmenetelmiin. Menetelmän rajoituksiin kuuluu kuitenkin se, että laserskannauksen toiminta perustuu kappaleen pintaan, joten heijastavat ja läpinäkyvät pinnat voivat aiheuttaa ongelmia. Lisäksi laserskannaus soveltuu paremmin lähiskannaukseen, eikä se ole ihanteellinen kaukaa skannaamiseen. (Conway 2023.)

2.1.2 Fotogrammetria

Fotogrammetria on 3D-mallinnusmenetelmä, joka hyödyntää valokuvia datan keräämiseen, eikä vaadi aktiivisia valonlähteitä, kuten laserskannaus. Tämä tekee fotogrammetriasta kustannustehokkaamman vaihtoehdon, sillä sen toteuttamiseen tarvitaan vain kamera, tietokone ja siihen soveltuva ohjelmisto. Fotogrammetriaa käytetään yleisesti ortomosaiikkikarttojen, paikkotietojärjestelmien kerrosten sekä esineiden ja ympäristöjen kolmiulotteisten mallien luomiseen. (PhotoModeler Technologies 2020; ArcGIS Pro s.a.)

Fotogrammetrian avulla kehitetty 3D-malli syntyy, kun kohteesta otetaan useita valokuvia eri kulmista siten, että kuvissa on riittävästi päällekkäisyyttä (kuva 3). Päällekkäisyys on tärkeää, jotta ohjelmisto osaa kohdistaa kuvat oikein. Kun valokuvia on riittävästi, ne käsitellään fotogrammetriaohjelmistolla, joka kohdistaa kuvat, etsii niistä datapisteitä ja laskee jokaisen pisteen etäisyyden ja sijainnin kolmiulotteisessa tilassa. Näistä pisteistä muodostuu pistepilvi, jonka pohjalta kohteesta saadaan tarkka 3D-malli. (PhotoModeler Technologies 2020.)



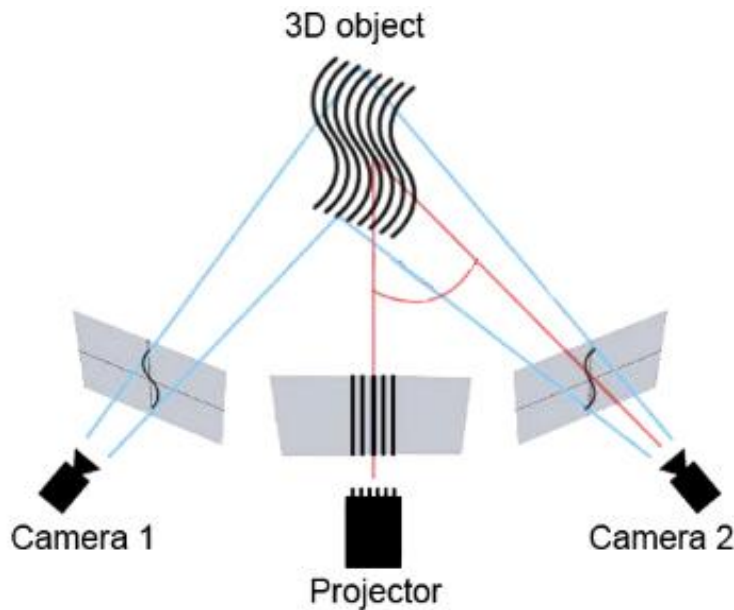
KUVA 3. Fotogrammetrian valokuvausmenetelmä (Cine Communities s.a.)

Fotogrammetria on nopea tapa kerätä kohteesta tietoa ja se säilyttää myös kohteen väritiedot, mikä tekee 3D-mallista visuaalisesti informatiivisemman. Tämä menetelmä on edullisempi kuin monien kalliiden 3D-skannerien käyttö. Kuitenkin kuvien laatu, ympäristön valaistus ja monimutkaiset kohteet voivat olla haastavia ja heikentää lopputulosta. (Waraksa 2023.)

2.1.3 Strukturoitu valo

Strukturoidun valon skannausmenetelmässä valokuvioita projisoidaan kohteen pinnalle, jolloin kuvioiden muoto muuttuu kohteen pinnan mukaan. Tämän jälkeen muuttunut valokuvio otetaan talteen kamerajärjestelmällä ja kerätty data käsitellään digitaalisen 3D-mallin luomiseksi. (Polyga Support 2023.)

Strukturoidun valon skannaus perustuu kolmiomittaukseen, jossa valokuvio projisoidaan kohteeseen ja sitä analysoidaan eri kulmista. Järjestelmä laskee tarkasti kohteen syvyyden ja pinnan muodot. Käytännössä 3D-skanneri projisoi kohteeseen laseria tai kuvioitua valoa ja kamerat, jotka on asetettu projektorista etäälle, tallentavat valon, joka heijastuu kohteen pinnalta (kuva 4). Näin kerätystä datasta luodaan tarkka kohteen 3D-malli. (Polyga Support 2023.)



KUVA 4. Strukturoidun valon toimintaperiaate (Pereira 2023)

Strukturoidun valon skannausmenetelmä on erittäin tarkka ja yksityiskohtainen, mutta tässäkin menetelmässä kohteen pinta voi aiheuttaa ongelmia, jos se on heijastava tai läpinäkyvä. Lisäksi varjot voivat vaikuttaa skannauksen tarkkuuteen ja heikentää lopputulosta. (Pereira 2023.)

2.2 3D-skannauksen käyttökohteita

3D-skannaus on teknologia, joka mullistaa valmistus- ja suunnitteluprosesseja lähes kaikilla teollisuudenaloilla, kuten valmistuksessa, terveydenhuollossa ja virtuaalitodellisuudessa. Sen avulla fyysiset objektit voidaan muuttaa tarkasti digitaaliseksi malleiksi, joita voidaan hyödyntää monenlaisissa projekteissa. Esimerkiksi raskaan kaluston suunnittelu, mekaanisten osien laadunvalvonta, yksilöllisten proteesien suunnittelu ovat kaikki sovelluskohteita, joissa 3D-skannaus lisää tarkkuutta ja tehokkuutta. Skannausprosessi mahdollistaa olemassa olevien esineiden tarkan dokumentoinnin, mikä voi myös nopeuttaa suunnittelu- ja valmistusvaiheita. (Sculpteo 2024.)

Lisäksi 3D-skannausta käytetään luovilla aloilla, kuten visuaalisten tehosteiden luomisessa elokuvateollisuudessa ja hahmojen suunnittelussa videopeleihin. Teknologia tarjoaa mahdollisuuden tuottaa tarkkoja ja realistisia malleja. Tämä ei

ainoastaan tehosta luovia prosesseja, vaan avaa myös uusia mahdollisuuksia esimerkiksi virtuaalitodellisuuden sovelluksiin. 3D-skannauksen tarkkuus ja monipuolisuus tekevät siitä erinomaisen työkalun nykyaikaisessa suunnittelussa ja valmistuksessa. (Sculpteo 2024.)

2.2.1 Arkeologia

Arkeologiset löydöt ovat tunnettuja hauraudestaan, joten niiden käsittely vaatii erityistä huolellisuutta, jotta esineet eivät tuhoudu tai vahingoitu. 3D-skannaus on erittäin tärkeä työkalu fyysisten artefaktien, kuten fossiilien digitoinnissa, sillä prosessi ei vaadi kontaktia itse kohteisiin. (Wibowo 2023.)

Arkeologiset instituutiot ja museot voivat jakaa yksityiskohtaisia ja tarkkoja kuvia historiallisista esineistä ympäri maailmaa ilman riskiä alkuperäisten vaurioitumisesta. 3D-skannerit tuottavat digitaalisia malleja, jotka ovat identtisiä aitojen artefaktien kanssa ja oikeassa mittakaavassa. (Wibowo 2023.)

2.2.2 Elokuvat ja pelit

Elokuvien ja pelien tuotannossa 3D-skannausta hyödynnetään moniin tarkoituksiin, erityisesti virtuaalitodellisuuden (VR) kentällä. Skannauksen avulla on mahdollista tutustua ja analysoida elokuvapaikkoja virtuaalisesti ennen varsinaista kuvausta, mikä parantaa tuotannon suunnittelua ja tehokkuutta. (Lasercanning Europe s.a.)

3D-skannausta käytetään myös CGI (Computer Generated Imagery) -graafikassa, sekä VFX (Visual Effects) -tehosteissa, hyödyntäen tarkkoja digitaalisia malleja. Tarvittaessa värin tarkentamiseen voidaan käyttää HDR-kuvausta, joka lisää visuaaliseen ilmeeseen laatua ja syvyyttä. (Laserscanning Europe s.a.)

Laserskannaus on erityisen nopea ja edullinen vaihtoehto virtuaalisten maailmojen luomisessa, sillä erilaisten objektien skannaus voidaan toteuttaa nopeasti ja tarkasti. 3D-skannaus tuo merkittäviä etuja visuaalisten elementtien luomiseen,

mikä tekee siitä keskeisen osan modernin elokuvan ja peliteollisuuden tuotantoprosesseissa. (Laserscanning Europe s.a.)

2.2.3 Käänteinen suunnittelu

Käänteinen suunnittelu insinööri- ja tuotesuunnittelussa tuo haasteita erityisesti tilanteissa, joissa fyysisestä objektista ei ole saatavilla CAD-tiedostoa. Tässä kontekstissa 3D-skannerin hyödyntäminen on erinomainen ratkaisu, sillä se mahdollistaa kohteesta tarkan digitaalisen kolmiulotteisen mallin luomisen alkuperäisen tiedoston puuttuessa. (Capture 3D 2024.)

Laadukkaiden ja tarkkojen mallien luominen skannaamalla mahdollisimman aikaisessa vaiheessa käänteisen suunnittelun prosessissa voi merkittävästi parantaa projektin tuloksia. Nopeampi ja luotettavampi mallintamisprosessi auttaa insinöörejä ja suunnittelijoita saavuttamaan tavoitteensa tehokkaammin, sillä se vähentää manuaalista työtä ja virheiden mahdollisuutta. (Capture 3D 2024.)

2.2.4 Laadunvalvonta

3D-skannausta voidaan hyödyntää monissa teollisuuden aloilla laadunvalvontaprosessien tehostamisessa, sillä se nopeuttaa ja parantaa tarkkuutta merkittävästi. Koneet pystyvät vertaamaan skannattua dataa ja tekemään laaduntarkastuksia huomattavasti tehokkaammin kuin ihminen. Käsiskannerit ovat yleisin vaihtoehto laadunvalvonnassa 3D-skannauksen yhteydessä, sillä ne ovat sekä nopeita että helppokäyttöisiä ja soveltuvat moniin eri käyttökohteisiin. (Seland 2023.)

Automaattinen 3D-skannaus robottivarren avulla tuo lisäksi merkittäviä etuja laadunvalvontaprosessiin. Robottivarren avulla voidaan kerätä dataa nopeasti ja joustavasti, mikä mahdollistaa esimerkiksi laadunvalvontatarkastusten suorittamisen tehokkaasti kuljetinhihnoilla. Tällaiset järjestelmät vähentävät inhimillisten virheiden mahdollisuutta ja parantavat kokonaisvaltaista laatua, mikä tekee niistä arvokkaita työkaluja teollisuuden laadunvalvontaprosesseissa. (Seland 2023.)

2.2.5 Lääketiede

3D-skannaus tarjoaa merkittäviä parannuksia potilaiden hoidossa ja hoitoprosesseissa. Sen avulla on mahdollista luoda räätälöityjä lääkinällisiä laitteita, kuten ortooseja ja proteeseja, jotka sopivat täydellisesti potilaiden kehoon. Tämä räätälöinti parantaa niiden mukavuutta ja toimivuutta, mikä on erityisen tärkeää potilaan hyvinvoinnin kannalta. (Surphaser 2024.)

Teknologiaa käytetään myös hammaslääketieteessä, jossa se mahdollistaa tarkkojen ja personoitujen hammasimplanttien suunnittelun. Leikkauksissa 3D-skannaus auttaa kirurgien ennakkosuunnittelussa, tarjoten tarkkoja yksityiskohtaisia visualisointeja, jotka parantavat kirurgista tarkkuutta ja vähentävät komplikaatioiden riskiä. (Surphaser 2024.)

Lisäksi 3D-skannaus on turvallinen vaihtoehto, erityisesti toistuvissa toimenpiteissä, sen ei-invasiivisen luonteen ja säteilyn puuttumisen vuoksi. Tämä tekee siitä arvokkaan työkalun nykyaikaisessa lääketieteessä, jossa potilasturvallisuus ja hoidon tarkkuus ovat ensisijaisen tärkeitä. (Surphaser 2024.)

2.2.6 Rikostekniset tutkimukset

Rikosteknisissä tutkimuksissa 3D-skannausta voidaan hyödyntää rikospaikan analyysissä ja todisteiden tulkinassa. Tekniikan avulla voidaan dokumentoida tarkasti koko rikospaikka, mukaan lukien luotien lentoradat, veriroiskeet ja esineiden sijainnit. 3D-skannaus mahdollistaa myös rikospaikan rekonstruktion, mikä voi olla tärkeää oikeudenkäynneissä ja tutkinnan tukena. (PointSCAN 2024.)

Lisäksi 3D-skannausta voidaan käyttää virtuaalisissa ruumiinavauksissa, joissa luodaan tarkkojen mallien avulla ei-invasiivisia tutkintoja. Tämä mahdollistaa syvällisemmän analyysin ilman, että fyysisiä todisteita tai uhrin kehoa tarvitsee käsitellä suoraan. 3D-skannausta voidaan myös hyödyntää tuntemattomien uhrien tunnistamisessa, erityisesti kasvonrekonstruktiossa. (PointSCAN 2024.)

3 TYÖSSÄ KÄYTETTY 3D-SKANNERI

3.1 Creaform HandySCAN BLACK™ Elite

Creaform on vuonna 2002 Lévisissä (Québec, Kanada) perustettu yritys, joka on maailman johtava 3D-mittaus- ja skannausratkaisujen kehittäjä ja valmistaja. Creaform keskittyy erityisesti kannettavien ja automatisoitujen 3D-skannausratkaisujen kehittämiseen, valmistamiseen ja jakeluun. Yritys palvelee monilla eri toimialoilla, kuten autoteollisuudessa, ilmailu- ja avaruusteollisuudessa, valmistuksessa, kuluttajatuotteissa, tutkimuksessa ja koulutuksessa, sekä rikkomattomassa aineenkoetuksessa (NDT), raskaan teollisuuden ja energian tuotannossa. (Creaform 2024a.)

Työssä käytetty 3D-skanneri on Creaformin valmistama Creaform HandySCAN BLACK™ Elite (kuva 5). Tämä skanneri soveltuu hyvin muotoilun, valmistuksen ja mittaustekniikan ammattilaisten tarpeisiin. HandySCAN BLACK™ Elite mahdollistaa tarkkojen ja luotettavien mittausten tekemisen riippumatta mitattavan kohteen koosta, materiaalista tai rakenteen monimutkaisuudesta. Skannerin ominaisuudet soveltuvat hyvin erityisesti vaativiin sovelluksiin, joissa edellytetään korkeaa tarkkuutta ja joustavuutta. Tarkemmat tekniset tiedot löytyvät taulukosta 1. (Creaform 2024b.)



KUVA 5. Creaform HandySCAN BLACK™ Elite (Creaform 2024b.)

TAULUKKO 1. Tekniset tiedot (Creaform 2024c.)

Creaform HandySCAN BLACK™ Elite	
Tarkkuus	0.025 mm
Tilavuustarkkuus	0.020 mm + 0.040 mm/m
Resoluutio	0.100 mm
Mittausnopeus	1,300,000 mittausta/s
Valonlähde	22 sinistä laserviivaa (+1 lisäviiva)
Työskentelyetäisyys	200–450 mm
Syvyystarkkuus	250 mm
Suosittelu kohdekoko	0.05–4 m
Ohjelmisto	VXelements
Tiedostomuodot	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr, .3mf
Paino	0.94 kg
Mitat (S,L,K)	79 x 142 x 288 mm
Käyttölämpötila	5–40 °C
Käyttökosteus	10–90 %

HandySCAN 3D-skanneri on suunniteltu ergonomiseksi ja käyttäjäystävälliseksi, minkä ansiosta sen käyttö on vaivatonta. Se on täysin itsenäinen käsiskanneri, joka ei vaadi erillisiä jalustoja. Skanneri kulkee kätevästi pienessä salkussa ja sitä voidaan käyttää missä tahansa ympäristössä ilman suorituskyvyn heikkenemistä. Skanneri tuottaa skannausdataa sekunneissa ja dataa voidaan seurata reaaliajassa tietokoneen näytöltä. Skannausdata on heti käsiteltävissä, mikä tekee siitä erinomaisen työkalun tehokkaaseen mittaukseen ja analysointiin. (Creaform 2024b.)

3.2 Kohdistustarrat ja niiden toiminta

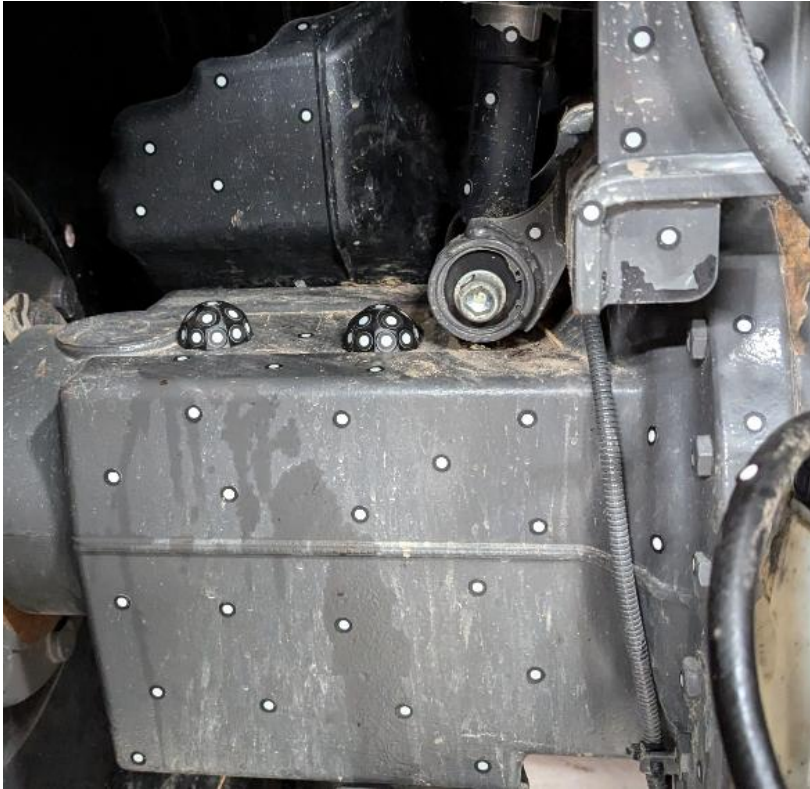
HandySCAN 3D -skanneri hyödyntää kolmiomittausmenetelmää luodakseen tarkkoja 3D-kuvia. Skanneri projisoi laserviivoja kohteelle ja kerää skannausdataa laskemalla etäisyyksiä pinnasta. Jotta skanneri voi toimia luotettavasti liikuttaessa, sen sijainti suhteessa kohteeseen on määritettävä tarkasti. Tätä varten käytetään kohteeseen kiinnitettäviä heijastavia kohdistustarroja, joita on saatavana liimattavina ja magneettisina (kuva 6). (Creaform 2014.)

Magneettiset tarrat vähentävät liimattavien tarrojen kulutusta ja nopeuttavat niiden kiinnittämistä ja poistamista. Lisäksi skannauksessa voidaan hyödyntää 3D-tulostettuja kupolimaisia kohdistuskappaleita, joiden pintoihin on kiinnitetty 16 tarkasti sijoitettua kohdistustarraa (kuva 6).



KUVA 6. Traktorissa käytetyt kohdistustarrat ja -kappaleet

Kohdistustarrojen oikea sijoittelu on tärkeää skannauksen onnistumiselle. Skannausalueella on aina oltava näkyvissä vähintään kolme kohdistuspistettä, jotta skanneri voi paikantua oikein. Tasaisilla pinnoilla tarrojen välinen etäisyys on tyyppillisesti noin kymmenen senttimetriä, mutta kaarteissa ja kulmikkaissa kohdissa etäisyyttä tulee pienentää skannauksen onnistumiseksi. Näin varmistetaan, että skanneri pysyy luotettavasti paikannettuna koko prosessin ajan. (Creaform 2014.) (Kuva 7.)



KUVA 7. Liimattavat ja magneettiset kohdistustarrat sekä -kappaleet käytössä

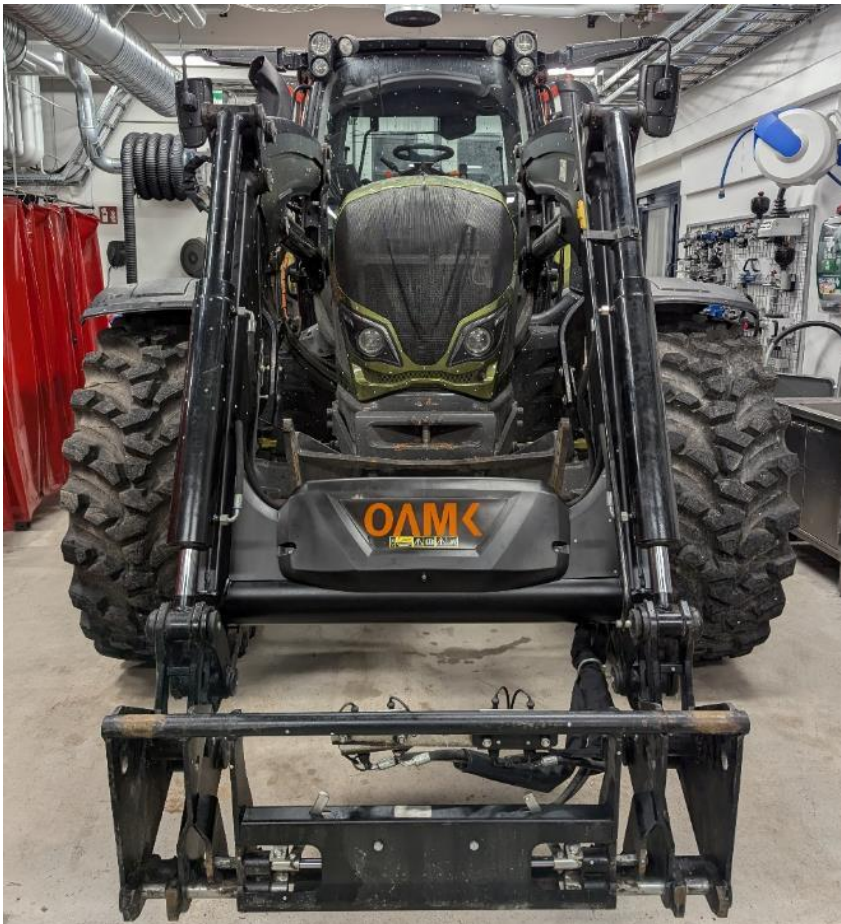
3.3 Creaform VXelements

Skannausdata käsitellään tietokoneeseen asennettavalla ohjelmistolla. Tässä työssä käytettiin Creaformin VXelements -ohjelmistoa skannausdatan käsitteilyyn. VXelements on Creaformin kehittämä 3D-mittaus- ja skannausohjelmisto, joka toimii saumattomasti Creaformin 3D-mittauslaitteiden kanssa. Ohjelmisto tarjoaa kattavan ratkaisun pelkän mittauslaitteen sijasta, mahdollistaen reaaliaikaisen visualisoinnin. Tämä nopeuttaa siirtymistä mitattavasta kohteesta käyttökelpoiseen 3D-malliin, mikä tekee prosessista tehokkaamman ja käyttäjäystävällisemmän. (Creaform 2024d.)

Yksityiskohtaisempi käsittely tapahtuu VXelementsin moduulilla VXmodel, joka on Creaformin 3D-skannauksen ja mittaustietojen käsittelyyn tarkoitettu työkalu. VXmodel on yksi VXelementsin moduuleista, joka mahdollistaa skannattujen tietojen puhdistamisen, geometrinen komponenttien luomisen ja mallien kohdistamisen tarkasti CAD-ohjelmistoihin. (Creaform 2024e.)

4 TRAKTORIN ULKOKUOREN SKANNAAMINEN

Tässä työssä skannauksen kohteena toimi Valtra N154-traktori, joka kuuluu Valtran N-sarjaan (kuva 8). N154 on monipuolinen ja tehokas traktori, joka on suunniteltu vaativiin maatalous- ja teollisuuskäyttöihin (Valtra s.a.). Oulun ammattikorkeakoulun auto- ja työkonelaboratoriossa opiskelijat ovat asentaneet N154-malliin hybridijärjestelmän, jonka tavoitteena on parantaa polttoaineenkulutusta ja hyötysuhdetta. Järjestelmässä traktori lataa akkuja matalan kuormituksen aikana ja hyödyntää sähkömoottoria korkeassa kuormituksessa, mikä lisää energiatehokkuutta ja vähentää polttoaineenkulutusta. Traktorissa on akusto ohjaamon ulkosivuilla, sähkömoottori vetokoukun tilalla ja virranjakoyksikkö invertterin ohjauksella, jonka avulla akuston ja moottorin toimintaa voidaan hallita ohjaamossa olevan näytön kautta.



KUVA 8. Oulun ammattikorkeakoulun hybridi-Valtra auto- ja työkonelaboratoriossa

Traktorin skannausprosessi toteutettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Laboratorio soveltui skannaukselle hyvin, sillä sen valaistus oli riittävä, lattia tasainen ja kiiltämätön sekä siellä oli riittävästi tilaa skannauksen suorittamiseen.

4.1 Esivalmistelut

Traktorin ulkokuoren skannausprosessi aloitettiin tutustumalla skannerin ja sen ohjelmiston toimintaan. Skannerin käyttöä varten järjestettiin kaksi tuntia ohjattua opetusta, minkä lisäksi suoritettiin itsenäistä harjoittelua 13 tuntia. Näiden vaiheiden tavoitteena oli varmistaa, että skannerin ja siihen liittyvän ohjelmiston käyttö sujui mahdollisimman vaivattomasti, kun siirryttiin traktorin skannaukseen.

Traktori kohteena on suuri ja haastava skannaukselle, sillä siinä on useita vaikeasti skannattavia pintoja, kuten ikkunat, valot, heijastimet, peilit, muut heijastavat pinnat sekä ahtaat ja vaikeapääsyiset alueet. Heijastavat pinnat ovat skannaukselle vaikeita, koska skannerin käyttämät lasersäteet eivät heijastu näiltä pinoilta takaisin sensoriin tasaisesti. Tuloksena voi syntyä epätarkkuuksia ja aukkoja skannausdataan.

Ennen työn aloittamista traktori puhdistettiin irtoliasta. Ahtaista väleistä poistettiin kuivunutta maata, joka olisi voinut vääristää skannausdatan tarkkuutta. Yksityiskohtaisempaa puhdistusta ei tarvittu, sillä pieni pintalika vähensi valon heijastuksia ja siten helpotti tietyiltä osin skannausta.

Skanneri kalibroitiin ennen käyttöä VXelements-ohjelmiston ohjeiden mukaisesti. Kalibroinnissa käytettiin siihen tarkoitettua kalibrointilevyä, jossa on kohdistustarroja. Levy skannattiin, minkä jälkeen skanneri oli käyttövalmis. (Kuva 9.)



KUVA 9. Skannerin kalibrointi

Esivalmistelujen viimeisenä vaiheena laadittiin skannaussuunnitelma. Koska näin suuren kohteen skannausta ei ollut aiemmin toteutettu koululla, eikä siihen liittyvää osaamista ollut vielä kertynyt riittävästi, suunnitelma pidettiin aluksi yksinkertaisena. Lopullinen, hyvin optimoitu skannaussuunnitelma näin suurelle kohteelle valmistui skannauskokeilun jälkeen, kun kokemusten perusteella voitiin tunnistaa tehokkaimmat menetelmät ja työvaiheet.

4.2 Ensimmäinen skannaussuunnitelma

Ensimmäinen skannaussuunnitelma oli yksinkertainen. Sen mukaan traktori oli tarkoitus tarroittaa kokonaisuudessaan heti alkuvaiheessa, minkä arvioitiin kestävän yhdestä kahteen päivään. Tarroituksen jälkeen traktori skannattaisiin osissa, yksi sivu kerrallaan ja tähän vaiheeseen arvioitiin kuluvan yhdestä kahteen viikkoa. Kun koko traktori olisi skannattu, skannausdata käsiteltäisiin

valmiiksi. Tämän vaiheen arvioitiin vievän myös yhdestä kahteen viikkoa. Lopuksi tarrat poistettaisiin, mikä veisi arviolta yhden työpäivän. Kokonaisuudessaan skannausprosessin arvioitu kesto olisi 12–23 työpäivää.

Skannausprosessi päätettiin aloittaa kokeilulla, jotta voitaisiin kehittää tehokkaampi skannausmenetelmä ja löytää optimaaliset skannerin asetukset. Kokeilukohteeksi valittiin traktorin vasen eturengas, sillä sen pieni koko ja helposti skannattavat pinnat tekivät siitä sopivan testikohteen.

Ensimmäisessä vaiheessa renkaan pinnat tarroitettiin. Metallipinnoilla käytettiin magneettisia tarroja perinteisten tarrojen säästämiseksi. Lisäksi hyödynnettiin kohdistuskappaleita, jotka nopeuttivat tarroittamista ja vähensivät tarrojen kulu- tusta.

Renkaan skannaus toteutettiin pienissä osissa ja jokaisessa skannauksessa varmistettiin alueiden päällekkäisyys, jotta ne voitaisiin yhdistää saumattomasti yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Kokeilun aikana renkaasta saatiin skannattua puolet, mihin kului noin viisi tuntia. Tässä vaiheessa havaittiin, että alkuperäinen skannaussuunnitelma oli liian hidas ja prosessia päätettiin muuttaa.

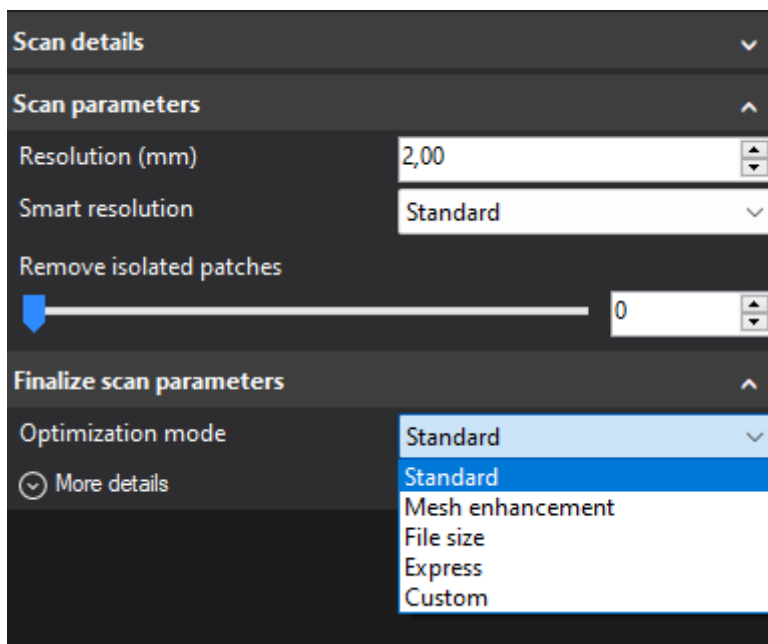
Skannausdatan alustava käsittely suoritettiin seuraavaksi. Se sisälsi ylimääräisten skannausalueiden, kuten lattian ja kohdistuskappaleiden aiheuttamien muotojen poistamisen sekä viimeistelytoiminnon käytön. Tämä vaihe osoittautui tässä kokeilussa aikaa vieväksi ja hidasti työskentelyä entisestään.

Kokeilussa ilmenneet ongelmat liittyivät liian suureen tiedostokokoon ja sen aiheuttamaan ohjelman hitauteen. Skannerin asetuksena käytetty yhden millimetrin resoluutio ja viimeistelytoiminnon oletusarvoinen standarditila tuottivat erittäin yksityiskohtaista dataa, mikä kasvatti tiedostokokoa merkittävästi. Pelkästään renkaan puolikkaasta kertyi yli kymmenen miljoonaa kolmiota. Kolmiot ovat kolmiulotteisen mallin osia, joita käytetään pinnan muodon ja yksityiskohtien kuvaamiseen. Mitä enemmän kolmioita on, sitä tarkempi malli on, mutta myös tiedostokoko on suurempi. Tiedoston koko kasvoi kymmeneen gigatavuihin, mikä teki ohjelman käsittelyvaiheista hitaita ja hankaloitti työn etenemistä.

4.3 Optimoitu skannaussuunnitelma

Ensimmäisen skannaussuunnitelman aikaa vievä skannausprosessi ja tehokkuuden puutteet huomioiden, skannaussuunnitelma päätettiin muuttaa optimaaliseksi. Tavoitteena oli parantaa prosessin sujuvuutta, nopeuttaa työskentelyä ja hyödyntää ohjelman käsittelyaikoja tehokkaammin.

Ensimmäinen muutos koski skannerin asetuksia. Aiemmin käytetty yhden millimetrin resoluutio tuotti suuria tiedostokokoja, mikä hidasti käsittelyaikoja ja kuormitti ohjelmaa. Optimoidussa suunnitelmassa resoluutio nostettiin kahteen millimetriin, mikä pienensi tiedostokokoja ja paransi käsittelynopeuksia ilman, että tarkkuus heikkeni liikaa. Samalla viimeistelytoiminnon standarditila vaihdettiin tiedostokoko-tilaan (File size), jolloin tiedostokoko pieneni entisestään, mutta datan tarkkuus säilyi riittävän hyvänä. (Kuva 10.)

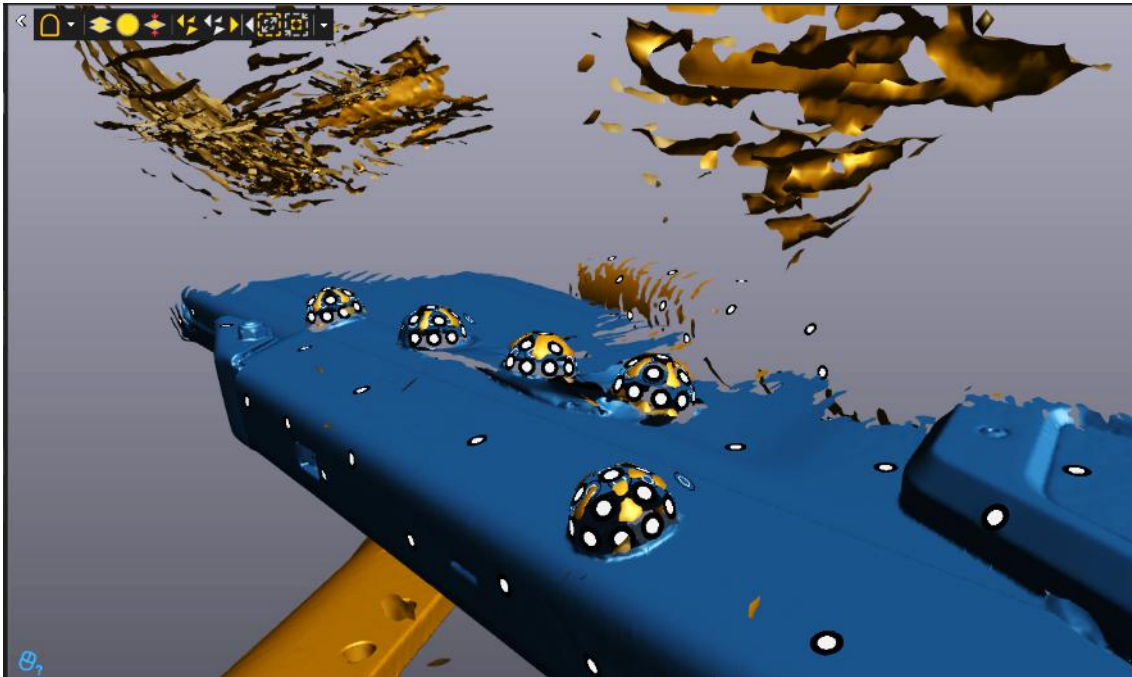


KUVA 10. Skannerin asetukset VXelements-ohjelmassa

Suunnitelman toinen muutos liittyi tarroitusprosessiin. Ensimmäisessä suunnitelmassa oli tarkoitus tarroittaa koko traktori kerralla, mutta tämä osoittautui ajankäytön kannalta tehottomaksi, joten päädyttiin tarroittamaan vain se alue, joka aiottiin skannata seuraavaksi. Tämän muutoksen taustalla oli se, että käsittelyaikojen aikana ohjelma prosessoii skannausdataa, jolloin tällä aikavälillä ehti hyvin

tarroittaa seuraava skannattava alue. Lisäksi, jos aikaa jäi, voitiin myös poistaa tai siirtää jo skannatun alueen tarroja mahdollistaen magneettitarrojen ja kohdistuskappaleiden tehokkaamman käytön.

Kun alue oli tarroitettu, se skannattiin ja sen jälkeen suoritettiin alustava datan käsittely, jossa poistettiin ylimääräinen skannausdata, kuten lattia ja muut ei-toivotut alueet ja suoritettiin viimeistelytoiminto. (Kuva 11.)



KUVA 11. Alustava käsittely, jossa oranssit alueet ovat ei-toivottua skannausdataa

Näiden muutosten myötä prosessi saatiin tehokkaammaksi, koska ohjelman käsittelyaikoja voitiin hyödyntää tarroituksen ja skannauksen valmistelussa. Tämä mahdollisti koko prosessin sujuvamman etenemisen ilman turhia seisokkeja ja optimoi resurssien käytön.

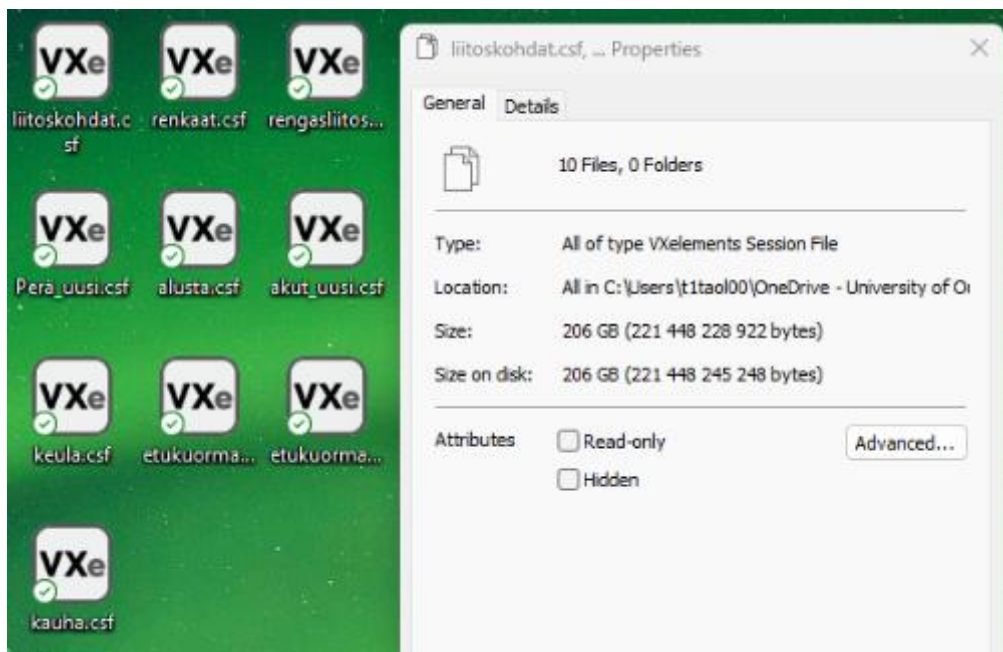
4.4 Skannausprosessi ja datan käsittely

Skannaus suoritettiin alue kerrallaan. Skannattavat alueet olivat keskimäärin kooltaan 0,5 x 0,5 metriä, sillä monimutkaiset pinnat ja pienet yksityiskohdat vaativat tarkkaa käsittelyä ja skannauksen riski mennä pieleen kasvoi, mitä

suuremmaksi yksittäistä skannausta jatkoi. Suuret ja yksinkertaiset pinnat, kuten traktorin ikkunat, voitiin skannata kerralla, sillä ne eivät olleet monimutkaisia pintoja.

Skannaus aloitettiin ohjelmassa aina uudella skannauksella sen sijaan, että samaa skannausta jatkettaisiin. Tämä vähensi suurempia skannausvirheitä ja paransi tarkkuutta päällekkäisyyksien avulla. Jokaisen skannauksen jälkeen suoritettiin alustava käsittely, jonka jälkeen skannattiin seuraava alue. Seuraavassa skannauksessa varmistettiin osittainen päällekkäisyys edelliseen alueeseen, jotta tiedostot voitiin myöhemmin yhdistää tarkasti oikeille paikoille.

Prosessia jatkettiin, kunnes ohjelma kaatui tiedostokoon kasvaessa liian suureksi. Yksittäisen skannaustiedoston koko nousi lähes 50 gigatavuun, mikä osoitautui raskaaksi ohjelmalle. Lisäksi käsittelyajat venyivät kohtuuttoman pitkiksi. Ratkaisuksi päätettiin jakaa skannaus useampaan tiedostoon. Lopulta skannauksesta syntyi neljä suurta tiedostoa, joiden koko oli noin 40 gigatavua kullekin, sekä muutamia pienempiä tiedostoja, kuten kauhan ja etukuormaajan skannaukset. Yhteensä skannausdataa kertyi hieman yli 200 gigatavua, joka on paljon. (Kuva 12.)

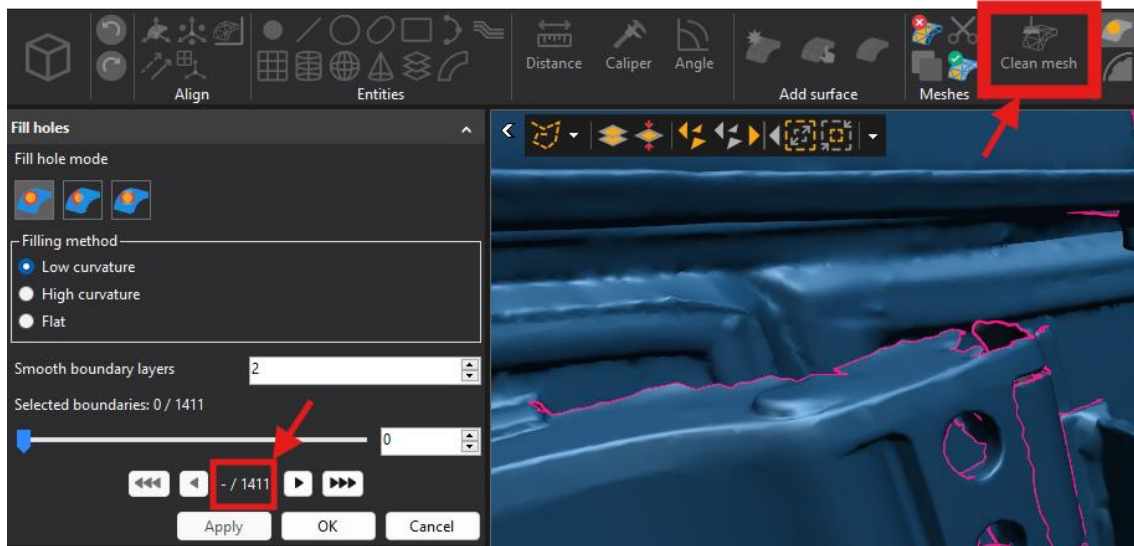


KUVA 12. Skannaustiedostot ja niiden tiedot

4.4.1 VXmodel-käsittely

Skannausdata siirrettiin tarkempaan käsittelyyn VXElements-ohjelmiston VXmodel-lisämoduuliin, joka tarjoaa paremmat työkalut yksityiskohtaisempaan käsittelyyn. Alkuperäisten tiedostojen suuret koot aiheuttivat ohjelman kaatumista ja hidastumista tässä vaiheessa. Ratkaisuksi löydettiin tapa siirtää vain kunkin tiedoston mesh-versio VXmodeliin. Mesh on kolmioista muodostuva pintaverkko, joka kuvaa kohteen geometriaa ja on alkuperäistä skannausdataa kymmeniä kertoja pienempi (Scantech 2023). Näin käsittelyaikoja saatiin lyhennettyä ja ohjelman toiminta oli vakaampaa.

Ensimmäisenä vaiheena mesh-tiedostoihin suoritettiin meshin puhdistustoiminto (Clean mesh), joka poisti pieniä skannausvirheitä, kuten tyhjässä tilassa leijuvia pisteitä, teräviä piikkejä ja pieniä reikiä. Suurimmat reiät täytettiin käsin reiän täyttötyökalulla (Fill holes). Reiät syntyivät yleensä siitä, että skannerilla ei päästy kaikkiin kohtiin, ja tietyt alueet jäivät skannaamatta. Automaattitäytöllä korjattiin pienimmät reiät, mikä vähensi käsittelyiden aikana kokonaisuudessaan syntyneiden reikien määrää noin 10 000:sta 7 000:een. Loput reiät täytettiin käsin yksitelten, ja lopulta reiät saatiin vähennettyä noin 1 400:aan. (Kuva 13.)



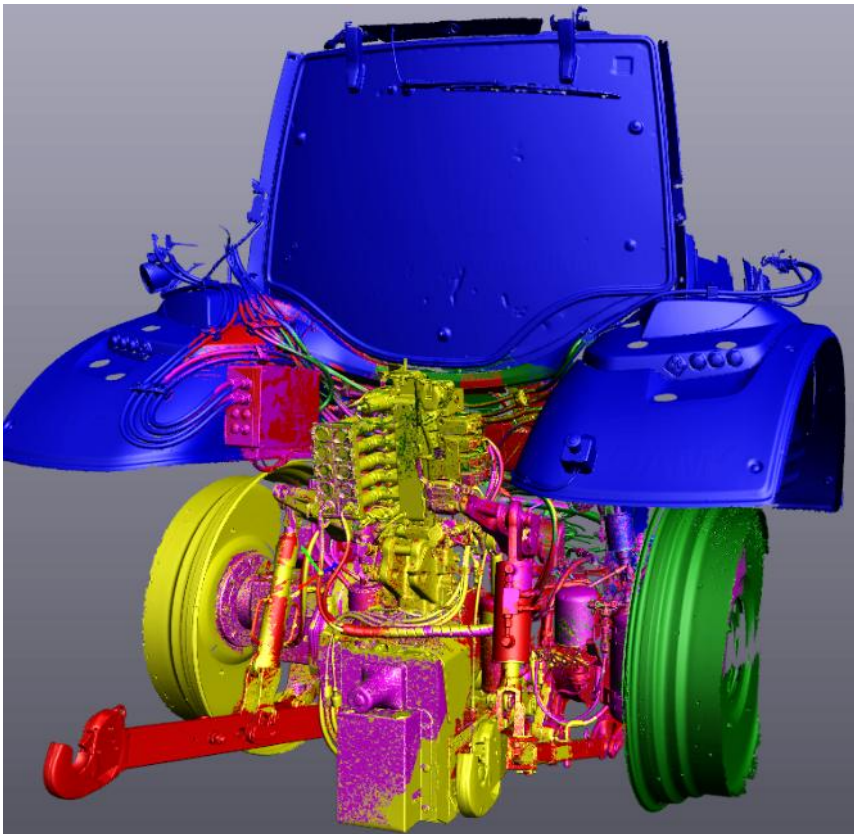
KUVA 13. VXmodel tilassa käsittelyä

Kun reiät oli täytetty, jatkokäsittely aloitettiin alusta uudelleen ja tätä toistettiin, kunnes lopputulos oli riittävä. Lopuksi kolmioiden määrää vähennettiin 70–80 %,

mikä pienensi tiedostokokoja edelleen ilman havaittavaa tarkkuuden heikentymistä.

4.4.2 Yhdistely ja loppukäsittely

Kun kaikki yksittäiset skannaustiedostot oli käsitelty, ne yhdistettiin suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Esimerkiksi traktorin perä koostui 23:sta erillisestä skannauksesta, jotka yhdistettiin yhdeksi skannaukseksi (kuva 14). Yhdistämisprosessissa ilmeni useita virheitä, jotka vaativat lisäkorjauksia ja joissakin yhdistämisissä pieniä yksityiskohtia saattoi kadota. Näiden haasteiden vuoksi yhdistelyä jouduttiin tekemään useaan kertaan eri menetelmillä, sen onnistumiseksi.



KUVA 14. Traktorin perän skannausten yhdistelyä

Kun suuret kokonaisuudet oli saatu yhdistettyä, siirryttiin jälleen datan puhdistamiseen ja viimeistelyyn. Tässä vaiheessa tiedostot alkoivat kuitenkin kuormittaa ohjelmaa liikaa, mikä johti tietokoneen kaatumiseen. Lisäksi käsittelyajat pitenivät huomattavasti ja pisimmillään odotusaikojen pituus nousi yli puoleen tuntiin.

Haasteista huolimatta kaikki tiedostot saatiin lopulta yhdistettyä yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Valmiina lopputuotteena luotiin useita erilaisia 3D-malleja traktorista. Lisäksi kauhasta ja etukuormaajasta luotiin omat erilliset tiedostot. Valmiiden mallien tiedostokoko oli yhteensä noin kahdeksan gigatavua, mikä on huomattavasti vähemmän kuin alkuperäinen yli 200 gigatavun skannausdata. Tiedostot muunnettiin STL-muotoon, mikä mahdollistaa niiden jatkokäsittelyn useissa eri ohjelmissa. Kuvassa 15 esitetään malli, josta on riisuttu akusto ohjaamon sivuilta sekä etukuormaaja. Tämä malli toimi pohjana kaikille lopuille traktorin malleille.

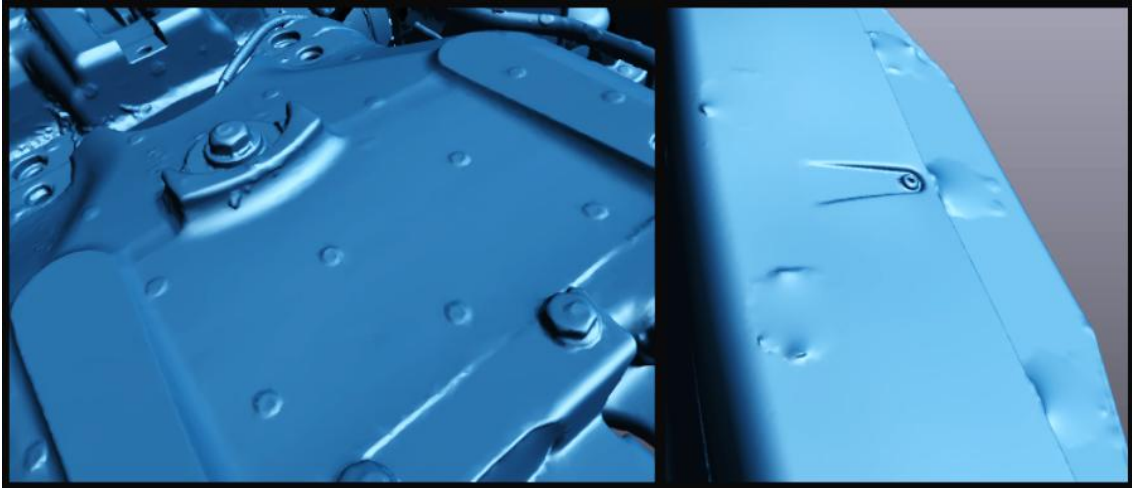


KUVA 15. Valmis malli traktorista on esitetty ilman lisävarusteita

4.4.3 Muita haasteita

Skannausprosessin aikana ilmeni useita haasteita, jotka vaikuttivat työn etene- miseen ja skannausdatan laatuun. Kohdistustarrat aiheuttivat ei-toivottua skan- nausdataa, sillä niiden kohdille saattoi muodostua koholla olevia pyöreitä alueita

skannauksen pinnalle. Myös kohdistuskappaleet aiheuttivat skannausdatassa virheitä alueilla, joissa ne olivat kiinni. Näitä virheitä jouduttiin poistamaan käsittelyvaiheessa ja poistamisen seurauksena syntyneet reiät täytyi täyttää reiäntäyttyökalulla, mikä johti epätarkkuuksiin näillä kohdilla. (Kuva 16.)

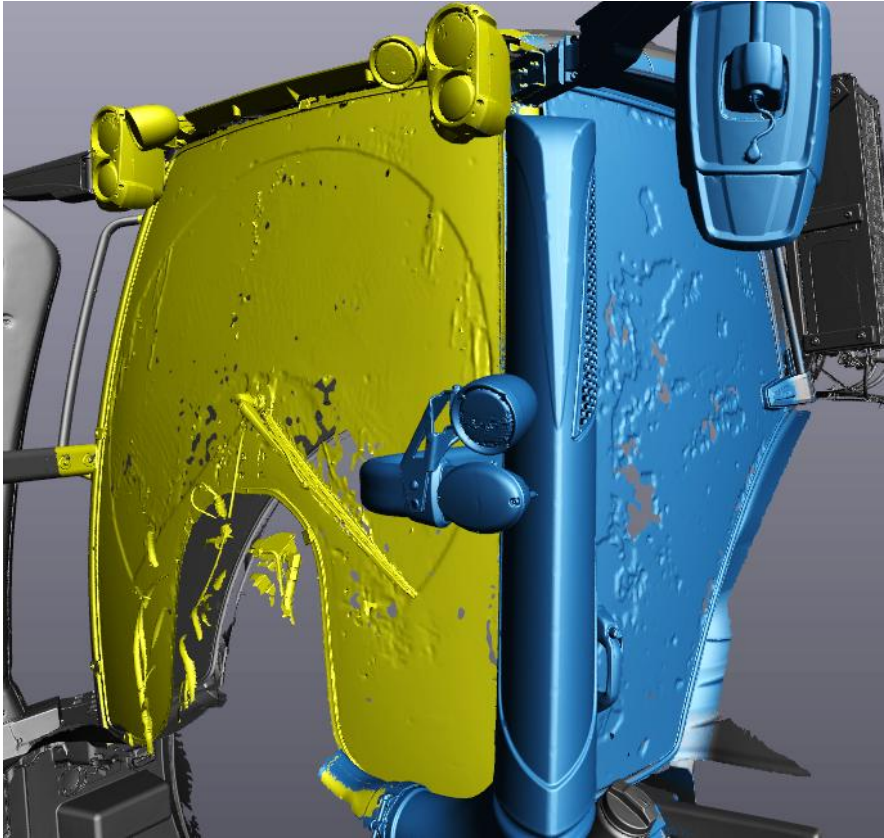


KUVA 16. Kohdistustarrojen ja -kappaleiden aiheuttamia skannausvirheitä

Etukuormaaja osoittautui skannauksen haastavimmaksi osaksi. Se oli lähes kokonaan oletettavasti hydraulikkaöljyn peitossa ja lisäksi nivelet olivat paksun rasvakerroksen peitossa. Perinteiset liimattavat tarrat eivät pysyneet kiinni pinnassa ja magneettiset tarrat olivat jo niin kuluneita, että skanneri ei tunnistanut niitä kunnolla. Lisäksi tarrat itse saivat öljyä tai rasvaa pintaansa, mikä heikensi niiden toimivuutta entisestään.

Öljyinen ja rasvainen pinta aiheutti myös pinnasta heijastavan, mikä teki skannauksesta lähes mahdotonta. Heijastukset johtivat jatkuvasti skannausvirheisiin, eikä dataa saatu kerättyä luotettavasti. Lopulta ongelma ratkaistiin kiinnittämällä kohdistuskappaleita teipin avulla kiinni skannattavalle alueelle ja etukuormajasta skannattiin vain pieniä osia kerrallaan. Tämä toi lisää töitä sen käsittelyvaiheisiin, mutta tällä tavalla skannaus onnistui.

Myös muut pinnat aiheuttivat ongelmia. Heijastavat pinnat, kuten ikkunat, tuottivat virheellistä skannausdataa. Vaikka ikkunoiden skannaus teknisesti onnistui, niiden pinnat eivät olleet tarkkoja ja ne täytyi muokata manuaalisesti vastaamaan todellista ulkonäköä (kuva 17). Takaikkunat jouduttiin rakentamaan lähes kokonaan ohjelmassa, sillä niiden edessä oleva akusto esti niiden skannaamisen.



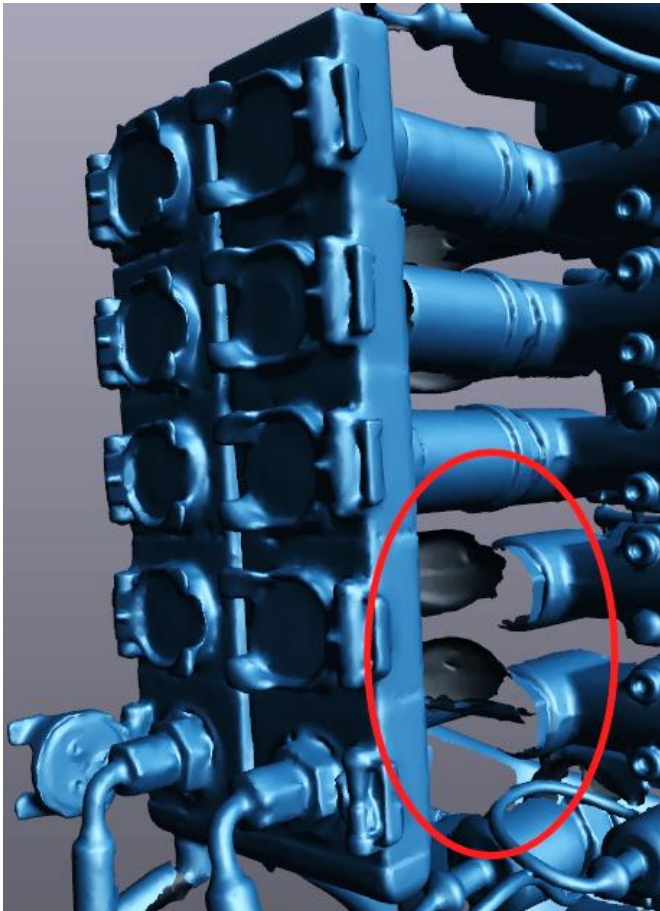
KUVA 17. Ikkunoiden skannausdata ennen käsittelyä

Renkaat toivat omat haasteensa. Urissa oli useita eri pintoja ja kohdistustarrojen sijoittelu oli hidasta. Renkaiden tarkka skannaaminen ja käsittely olisi vaatinut liikaa aikaa ja tarroja olisi kulunut paljon, mutta koska ne eivät olleen projektin kannalta olennaisia, päätettiin skannata vain osa renkaasta. Tämä osittainen malli monistettiin ja muokattiin valmiiksi renkaaksi, joka peilattiin toiselle puolelle. Näin tehtiin sekä eteen että taakse.

Skannausprosessin aikana traktorin liikuttelu toi mukanaan lisähaasteita. Etukuormaajan liikuttelu saattoi muuttaa sen alkuperäistä asentoa, mikä vaikutti myös hydraulikkaletkujen sijaintiin. Samoin renkaiden pyöriminen muutti vanteiden asentoa, mikä hidasti sekä skannausta että datan käsittelyä. Lisäksi kohdistustarroja irtoili sieltä täältä. Tämä oli yksi osa syy siihen, miksi pyrittiin tarroittamaan vaan alue, joka aiotaan skannata seuraavaksi.

Merkittävimmät haasteet liittyivät kuitenkin skannausdatan käsittelyyn. Ohjelman viimeistelyvaiheessa leijuvia datan osia poistettiin automaattisesti, mikä saattoi aiheuttaa joidenkin tärkeiden kohtien katoamisen. Esimerkiksi takalohkosta

puuttuu joitakin osia juuri tämän automaattisen käsittelyn vuoksi (kuva 18). Ongelman olisi voinut ratkaista esimerkiksi skannaamalla puuttuvat alueet uudelleen ja yhdistämällä ne olemassa olevaan skannaukseen tai peruuttaa koko käsittely ja aloittaa se alusta, mutta tässä kohtaa päätettiin, että näitä alueita ei aleta korjaamaan ajansäästämisen vuoksi. Nämä kohdat eivät ole projektin tavoitteiden kannalta tärkeitä.



KUVA 18. Automaattisen käsittelyn aiheuttama virhe

4.5 Työmäärän seuranta ja kulut

Skannausprosessin aikana työmäärä jakautui useisiin eri tehtäviin ja vaiheisiin. Taulukossa 2 on esitetty päiväkohtaiset työmäärät ja -tehtävät. Taulukko kuvaa projektin etenemistä skannerin opettelusta ja harjoittelusta aina skannauksen käsittelyn loppuvaiheisiin. Skannerin harjoittelu ei olisi ollut projektille pakollinen osa, mutta se sujuvoitti skannauksen etenemistä, sillä parempi osaaminen auttoi vähentämään virheitä ja parantamaan työn sujuvuutta.

Skannausvaiheisiin kuului kohdistustarrojen asettaminen, skannaus, alustava käsittely sekä tarrojen siirtäminen tai poistaminen tarpeen mukaan.

Käsittelyvaiheissa skannauksiin tehtiin lopullista käsittelyä ja yhdistelyä. Tämä vaihe sisälsi myös lopullisten mallien muodostamisen.

TAULUKKO 2. Skannausprosessin päiväkohtaiset työmäärät ja -vaiheet

Päivämäärä	Tehtävä	Tunnit (h)
To 17.10.24	Aloituspalaveri	1
Ma 21.10.24	Skannerin kertaus	2
Pe 01.11.24	Skannerin harjoittelu	4
La 02.11.24	Skannerin harjoittelu	5
Su 03.11.24	Skannerin harjoittelu	2
Ti 05.11.24	Skannausta (Kokeilu)	5
Ke 06.11.24	Skannausta (Perä)	10
To 07.11.24	Skannausta (Perä, lokasuojat)	9,5
Pe 08.11.24	Skannausta (Akusto, katto)	10
La 09.11.24	Käsittelyä	4,5
Su 10.11.24	Käsittelyä	2
Ma 11.11.24	Skannausta (Ovet, portaat)	12
Ti 12.11.24	Skannausta (Pohja, peilit, pakoputki, valot)	13,25
Ke 13.11.24	Skannausta (Pohja, keula)	13
To 14.11.24	Skannausta (Pohja, keula, etukuormaaja)	13
Pe 15.11.24	Skannausta (Etukuormaaja)	11,5
La 16.11.24	Käsittelyä	3
Su 17.11.24		
Ma 18.11.24	Skannausta (Etukuormaaja, renkaat, liitos)	7
Ti 19.11.24	Skannausta (Vanteet, kauha)	7
Ke 20.11.24	Skannausta (Kauha)	7
To 21.11.24	Käsittelyä	5,5
Pe 22.11.24	Käsittelyä	8
La 23.11.24		
Su 24.11.24		
Ma 25.11.24	Käsittelyä	7
Ti 26.11.24	Käsittelyä	10,75
Ke 27.11.24	Käsittelyä	11
To 28.11.24	Käsittelyä	7
Pe 29.11.24	Käsittelyä	9
La 30.11.24		
Su 1.12.24		
Ma 2.12.24	Käsittelyä	2
Ti 3.12.24		
Ke 4.12.24		
To 5.12.24	Palaveri, mallien jako	1

Skannausprosessin aikana työmäärä jakautui kolmeen päävaiheeseen: skannerin opiskelu ja harjoittelu, skannaus ja skannausdatan käsittely. Opiskeluun ja harjoitteluun meni yhteensä noin 13 tuntia. Skannausvaiheisiin kului yhteensä noin 118,25 tuntia ja käsittelyvaiheisiin noin 69,75 tuntia. Loput kaksi tuntia tuli palaverista. Kokonaisuudessaan skannausprosessiin käytettiin yhteensä noin 203 tuntia, sisältäen palaverit.

Skannausprosessissa käytettiin yhteensä 7000–8000 kohdistustarraa. Tähän määrään sisältyi noin 4000 kertakäyttöistä tarraa sekä 250 magneettitarraa, joita voitiin käyttää useita kertoja. Useiden käyttökertojen jälkeen ne kuluivat lähes käyttökelvottomiksi projektin loppuun mennessä. Tarrojen kokonaiskustannus oli arviolta 800 euroa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että skannausprosessin arvioitu aikaraja 12–23 työpäivää ei pitänyt paikkansa, sillä kokonaistuntimäärä nousi noin 203 tuntiin, mikä vastaa noin 27 työpäivää, jos työpäivän pituus olisi 7,5 tuntia. Poikkeuksena on, että 203 tuntia ei sisällä mitään taukoja, joten todellinen työaika olisi vielä pidempi.

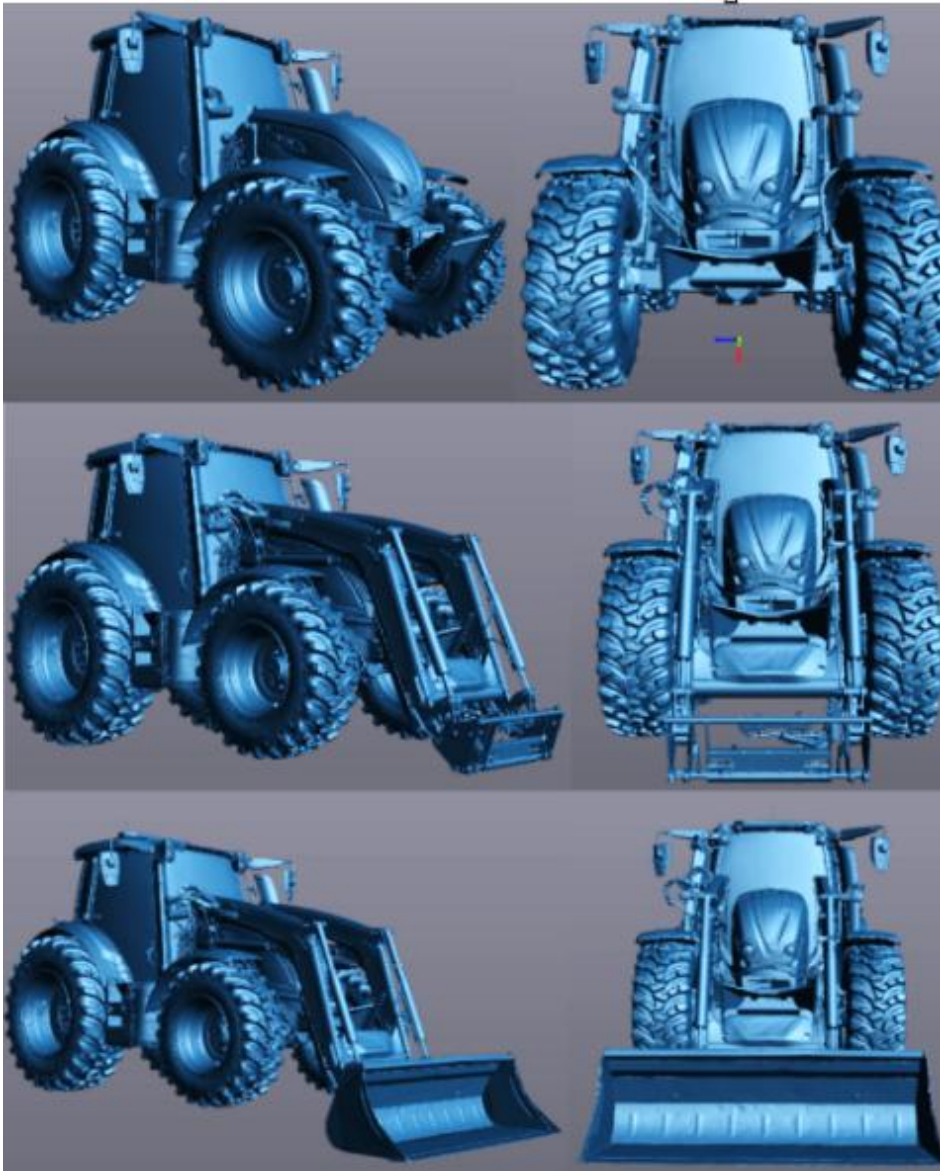
5 TULOKSET JA ANALYYSI

Skannausprosessin lopputuloksena syntyi useita malleja traktorista ja kaksi osamallia etukuormaajasta ja kauhasta. Näihin malleihin sisältyvät sekä Valtran että Oulun ammattikorkeakoulun käyttöön tuotetut versiot. Mallit on kehitetty projektin tavoitteiden mukaisesti, ja ne tarjoavat erinomaiset pohjat tuleville kehityshankkeille ja mahdollisille lisäprojekteille.

5.1 Valtran käyttöön tuotetut mallit

Valtralle käyttöön tuotetuissa malleissa tavoitteena oli luoda mahdollisimman tarkka traktori, joka vastaisi markkinoilla saatavilla olevia traktoreita. Tämän vuoksi malleista poistettiin akustot. Takaikkunat mallinnettiin ohjelmistolla, koska akustojen takana olevia ikkunoita ei onnistuttu skannaamaan niiden sijainnin vuoksi.

Malleja on kolme erilaista versiota. Ensimmäinen on perusmalli, traktori ilman varusteita, joka toimi pohjana kaikille muille malleille. Toinen malli sisältää etukuormaajan ja kolmas malli laajentaa edellistä vielä kauhalla varustettuna. (Kuva 19.)



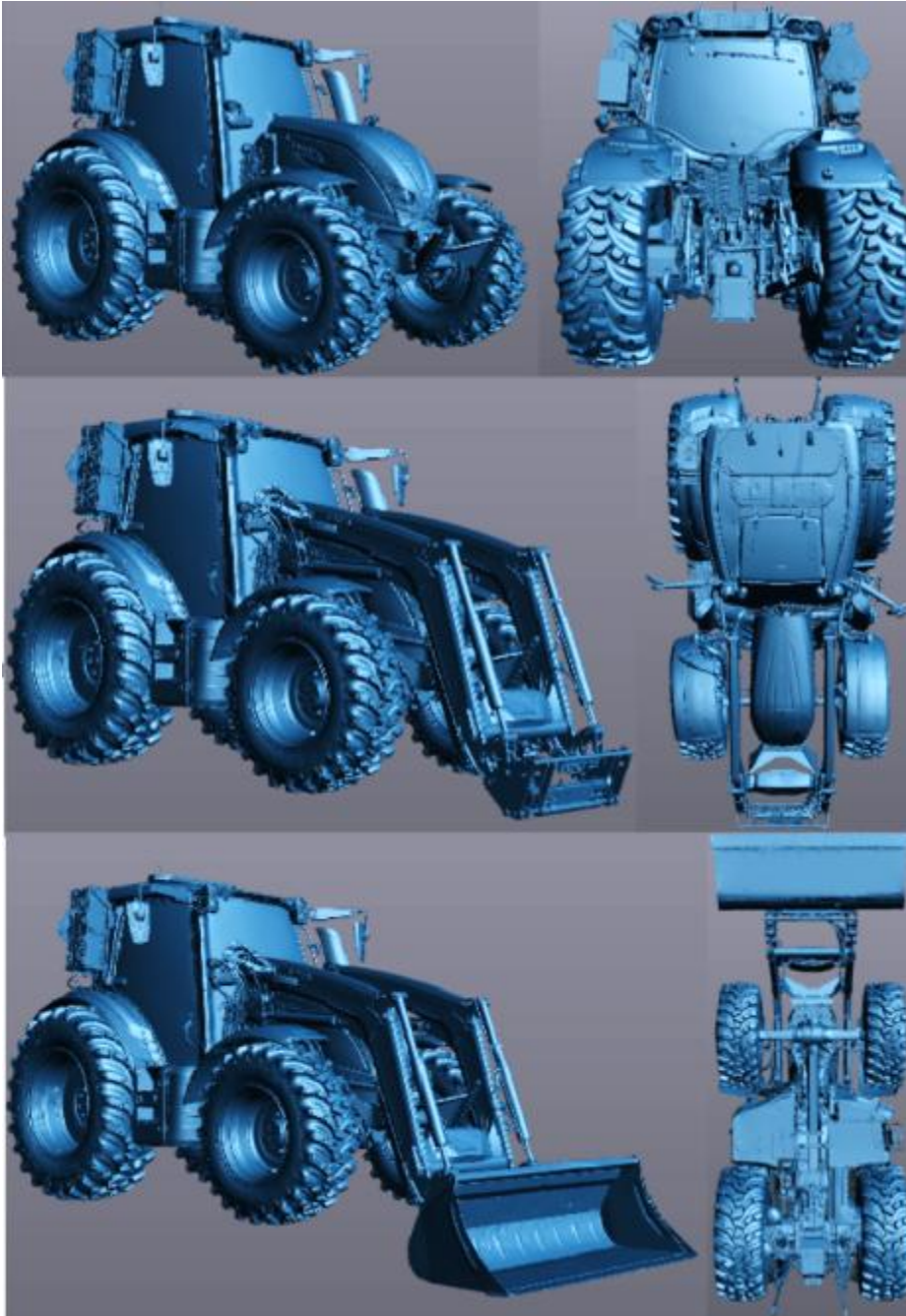
KUVA 19. Valtran käyttöön toimitetut mallit

Valtra toteutti nopean ja alustavan vertailun 3D-skannauksista varmistaakseen niiden toimivuuden ja soveltuvuuden heidän järjestelmissään. Tämä vertailu tehtiin ennen tarkempia analyysyjä, joita Valtra suorittaa myöhemmin. Näitä tarkempia tuloksia ei jääty odottamaan raportin valmistumista varten, mutta lyhyen arvioinnin perusteella Valtra totesi, että skannatut mallit ovat toimivia ja käyttökelpoisia. He onnistuivat yhdistämään omia mallejaan skannattuihin malleihin, mutta havaitsivat, että tarkka paikoittaminen oli haastavaa. Tämän vuoksi he ehdottivat, että jatkossa mallien origo voisi sijaita taka-akselin keskellä, mikä helpottaisi paikoitusta ja käytettävyyttä.

Traktorimallit eivät ole identtisiä Valtran omien mallien kanssa, koska Oulun ammattikorkeakoulun traktoriin on tehty hybridi-muutoksia. Tämän vuoksi vertailussa ilmeni eroavaisuuksia. Tästä huolimatta Valtra arvioi, että skannaus on kokonaisuudessaan onnistunut ja tuloksena syntyneet mallit ovat laadukkaita. Ne tarjoavat hyvän pohjan jatkokäytölle ja mahdollistavat skannausmallien hyödyntämisen tulevilla projekteilla.

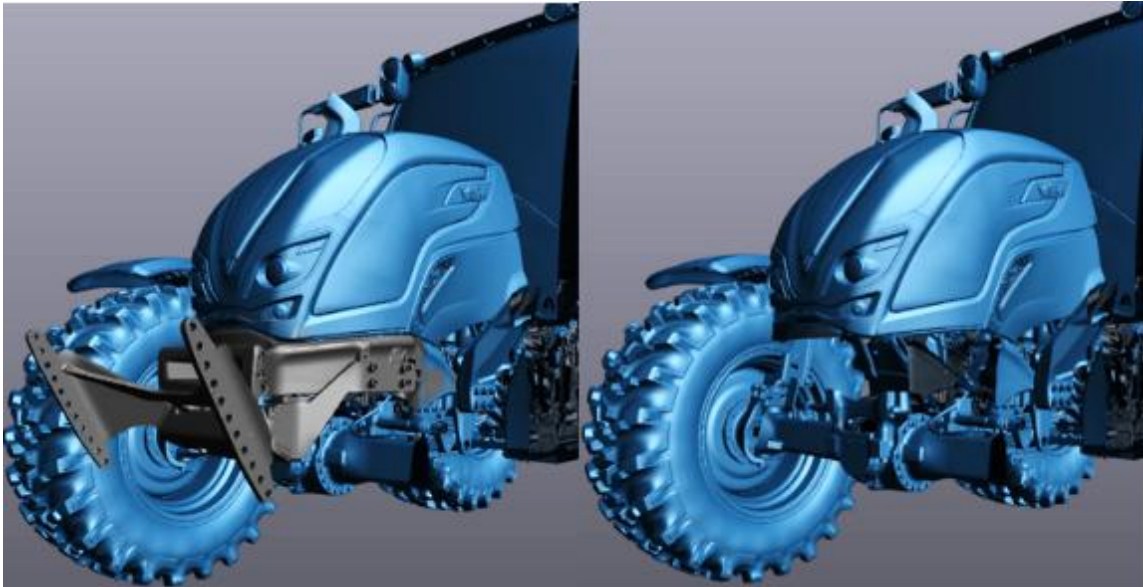
5.2 Oulun ammattikorkeakoulun käyttöön tuotetut mallit

Oulun ammattikorkeakoululle tuotetuista malleista ei ole poistettu mitään. Perusmalli on traktori ilman lisävarusteita ja tätä mallia hyödynnettiin pohjana kaikissa lopuissa Oulun ammattikorkeakoululle tuotetuissa versioissa. Näihin malleihin sisältyy traktori etukuormaajalla sekä traktori etukuormaajalla ja kauhalla. (Kuva 20.)



KUVA 20. Oulun ammattikorkeakoulun käyttöön toimitetut mallit

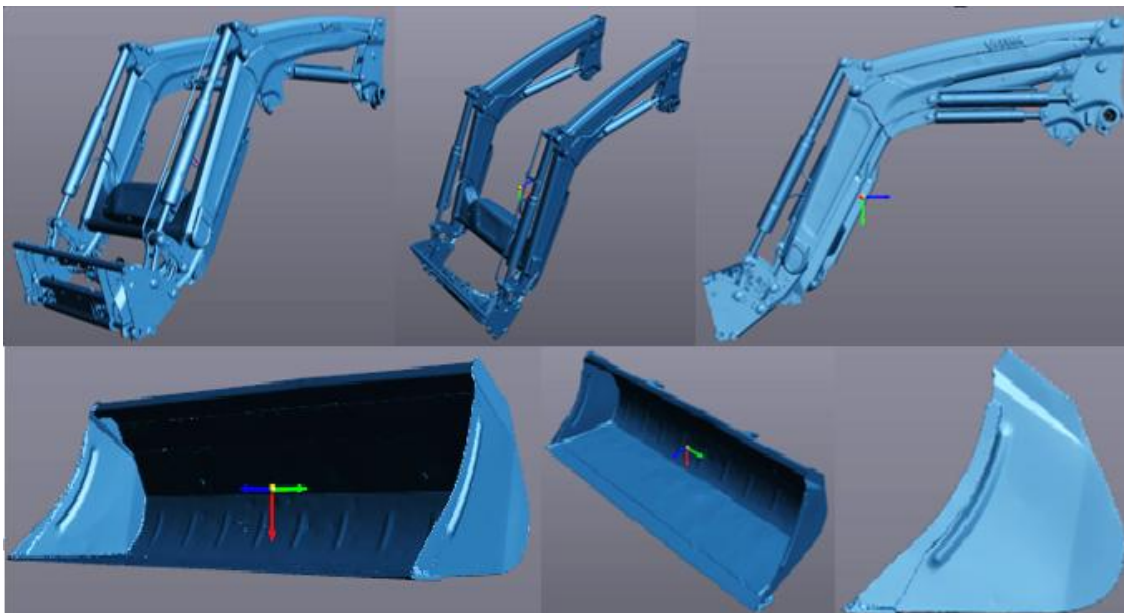
Oulun ammattikorkeakoulun pyynnöstä tuotettiin vielä erillinen versio, joka soveltuu heidän tulevaan projektiinsä. Tässä versiossa on poistettu keulasta osa ja sen tilalle on kehitteillä erillinen projekti, joka keskittyy traktorin hybridimuutokseen (kuva 21). Tämä projekti vie eteenpäin etuosan rakenteen muokkaamista sekä hybridi- ja sähkökäyttöisten komponenttien integrointia.



KUVA 21. Keulasta poistettu osa näkyy vasemmalla harmaan värisenä

5.3 Etukuormaaja ja kauha

Kauha ja etukuormaaja tallennettiin erillisinä tiedostoina, mikä mahdollistaa niiden käytön ja muokkauksen muissa projekteissa. Molemmat osamallit toimitettiin sekä Valtralle että Oulun ammattikorkeakoululle. (Kuva 22.)



KUVA 22. Osamallit etukuormaajasta ja kauhasta

YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää 3D-skannauksen soveltuvuus traktorin ulkokuoren skannaamisessa ja arvioida onko se riittävän tarkkaa, luotettava ja käyttökelpoista sekä minkälainen työmäärä tähän tarvitaan. Lisäksi tavoitteena oli myös tutkia Oulun ammattikorkeakoulun käsiskannerin soveltuvuutta suuren kohteen skannaukseen ja kehittää optimoitu skannausprosessi.

Työn alussa tehtiin ensimmäinen skannaussuunnitelma ja -kokeilu, jonka perusteella saatiin tärkeitä kokemuksia ja havaintoja skannausprosessin toimivuudesta. Näiden tietojen avulla kehitettiin optimoitu skannaussuunnitelma, joka paransi skannaustekniikoita ja -menetelmiä. Optimoitu skannaussuunnitelma osoitautui käytännössä toimivaksi ja se tarjosi hyvän pohjan koko skannausprosessille.

Työn tulokset osoittavat, että skannatut mallit ovat riittävän tarkkoja ja käyttökelpoisia erilaisten projektien pohjaksi. Vaikka alkuperäisiin malleihin verrattuna malleissa ilmeni pieniä eroavaisuuksia, Valtran nopean analyysin perusteella skannaukset ovat onnistuneet erittäin hyvin ja mallit ovat hyvänlaatuisia.

Työn aikana opittiin paljon 3D-skannauksen toteutuksesta, sen ohjelmistosta ja skannattujen mallien käsittelystä. Projekti eteni vaiheittain ja jokaisessa vaiheessa testattiin ja kehitettiin erilaisia menetelmiä ja ratkaisuja, sillä eteen tuli jatkuvasti uusia haasteita. Näiden haasteiden ratkaiseminen toi mukanaan paljon uutta tietoa ja oppia skannausprosesseista.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyö oli opettavainen ja haastava. Se vahvisti ja laajensi ammatillista osaamistani konetekniikan alalla ja antoi arvokasta käytännön kokemusta 3D-skannauksen maailmassa. Tämä projekti tukee hyvin urakehitystäni ja tarjoaa pohjan uusille, vastaaville projekteille.

LÄHTEET

ArcGIS Pro s.a. What is photogrammetry?. Luettavissa: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/imagery/introduction-to-ortho-mapping.htm>. Luettu: 19.10.2024.

Bitfab 2024. Types of 3D Scanning technologies: comparison, advantages and applications. Luettavissa: <https://bitfab.io/blog/types-of-3d-scanning/>. Luettu: 19.10.2024.

Capture 3D 2024. Best Used of 3D Scanning and Its Applications. Luettavissa: <https://www.capture3d.com/knowledge-center/blog/best-uses-of-3d-scanning-software>. Luettu: 21.10.2024.

Cine Communities s.a. Photogrammetry – Advanced Capture. Luettavissa: <https://www.cinecommunities.org/photogrammetry-advanced/>. Luettu: 19.10.2024.

Conway B. 2023. 3D Scanning And Photogrammetry Explained. VNTANA. Luettavissa: <https://www.vntana.com/blog/3d-scanning-and-photogrammetry-explained/>. Luettu: 19.10.2024.

Creaform 2014. Reverse Engineering of Physical Objects – Teaching Manual. Pdf-tiedosto. Luettavissa: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/technological-fundamentals/teaching_manual_reverse_engineering_en_18032014_6.pdf. Luettu: 2.12.2024.

Creaform 2024a. Creaform, the company. Luettavissa: <https://www.creaform3d.com/en/corporate>. Luettu: 20.10.2024.

Creaform 2024b. HandySCAN 3D|BLACK Series. Luettavissa: <https://www.creaform3d.com/en/portable-3d-scanner-handyscan-3d>. Luettu: 20.10.2024.

Creaform 2024c. HandySCAN 3D|BLACK Series Technical Specifications. Luettavissa: <https://www.creaform3d.com/en/portable-3d-scanner-handyscan-3d/technical-specifications>. Luettu: 20.10.2024.

Creaform 2024d. VXelements 3D Scanning software platform and application suite. Luettavissa: <https://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/3d-applications-software-platforms>. Luettu: 20.10.2024.

Creaform 2024e. VXmodel: SCANT-TOCAD SOFTWARE MODULE. Luettavissa: <https://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/3d-applications-software-platforms/vxmodel-scan-cad-software-module>. Luettu: 9.12.2024.

Kivolya N. 14.6.2019. What are 3D scanners used for?. Artec Europe. Luettavissa: <https://www.artec3d.com/learning-center/what-are-3d-scanners-used-for>. Luettu: 21.10.2024.

Laserscanning Europe s.a. Scanning for digital effects in game development (VR – Virtual Reality) and movies. Luettavissa: <https://www.laserscanning-europe.com/en/3d-effects-games-movies>. Luettu: 21.10.2024.

Pereira F. 21.3.2023. Optical 3D Acquisition Methods: A Comprehensive Guide [Part 2]. ML6. Luettavissa: <https://www.ml6.eu/blogpost/optical-3d-acquisition-methods-a-comprehensive-guide-part-2>. Luettu: 20.10.2024.

PhotoModeler Technologies 2020. Photogrammetry vs 3D Scanning. Luettavissa: <https://www.photomodeler.com/photogrammetry-vs-3d-scanning/>. Luettu: 19.10.2024.

PointSCAN 2024. 3D Laser Scanning in Forensic Investigations. Luettavissa: <https://www.pointscan.co.uk/3d-laser-scanning-in-forensic-investigations/>. Luettu: 22.10.2024.

Polyga Support 2023. 3D Scanning 101: Basics of Structured Light 3D Scanning. Luettavissa: <https://www.polyga.com/blog/3d-scanning-101-structured-light-3d-scanning/>. Luettu: 20.10.2024.

Scantech 2023. 3D Scanning: What It Is, How It Works and Where It Can Be Used-Part 1. Luettavissa: <https://www.3d-scantech.com/3d-scanning-what-it-is-how-it-works-and-where-it-can-be-used-in-manufacturing-part-1/>. Luettu: 5.12.2024.

Sculpteo 2024. What is 3D Scanning?. Luettavissa: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/what-is-3d-scanning/>. Luettu: 19.10.2024.

Seland D. 2023. Quality Control With 3D Scanning. Quality Magazine. Luettavissa: <https://www.qualitymag.com/articles/96820-quality-control-with-3d-scanning>. Luettu: 22.10.2024.

Surphaser 2024. 3D Scanning in the Medical Field. Luettavissa: <https://surphaser.com/blog/3d-scanning-in-the-medical-field/>. Luettu: 22.10.2024.

Valtra s.a. Valtran N-sarjan Traktorit 135–201 HV. Luettavissa: <https://www.valtra.fi/traktorit/nsarja.html>. Luettu: 3.12.2024.

Waraksa A. 25.3.2023. What is 3D scanning? A beginner's guide. Oqton. Luettavissa: <https://oqton.com/posts/what-is-3d-scanning/>. Luettu: 19.10.2024.

Wibowo M. 18.4.2023. Top 10 Applications of 3D Scanning Services Used by Companies and Engineers. Cad Crowd. Luettavissa: <https://www.cadcrowd.com/blog/top-10-applications-of-3d-scanning-services-used-by-companies-and-engineers/>. Luettu: 21.10.2024.