



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)

Mittausteknologian hyödyntäminen koneistusasetusten varmistamisessa

Jarno Ronkainen

Opinnäytetyö, toukokuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Jarno Ronkainen

Nimeke
Mittausteknologian hyödyntäminen koneistusasetusten varmistamisessa

Toimeksiantaja
John Deere Forestry oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia teknologioita, joilla voidaan ratkaista haasteita koneistettavan kappaleen kiinnityksessä. Tällä hetkellä yrityksellä ei ole teknologiaa, jolla koneistusasetuksia voitaisiin varmistaa. Tutkimus tehdään toimeksiantona John Deere Forestry Oy:lle.

Työssä käsitellään koneistusta, konenäköä, 3D-skannausta, fotogrammetriaa ja lisättyä todellisuutta. Työssä tutkittiin Atos 5 -3D-skanneria, Leica-laserkeilainta ja SuPAR-laadunvarmistussovellusta. Toiminnallisessa vaiheessa testattiin käytännössä laitteiden soveltuvuutta mittaamiseen.

Opinnäytetyön tuloksista löydettiin John Deere Forestry Oy:lle sopiva menetelmä koneistusasetusten varmistamiseen. Sopivan teknologian menetelmän löytyminen on merkittävä edistysaskel tuotannonkehityksessä, ja sen käyttöönotto pienentää asetusvirheen riskiä.

Kieli
suomi

Sivuja 21

Asiasanat
kiinnitys, koneistus, mittaus



THESIS
May 2022
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Jarno Ronkainen

Title
Utilizing Measurement Technology to Ensure Machining Setups

Commissioned by
John Deere Forestry Oy

Abstract

The plan of this thesis was to study the technologies that can be used to solve challenges in the attachment of a workpiece. Currently, the company does not have the technology to ensure machining setups. The study was commissioned by John Deere Forestry Oy.

The theoretical part of this work focused on machining, machine vision, 3D scanning, photogrammetry and augmented reality. The study examined the Atos 5 3D scanner, the Leica laser scanner and the SuPAR- quality assurance application. In the practical phase of this study, the suitability of the devices for measurement was tested.

The results of the thesis found a suitable method for John Deere Forestry Oy to ensure the machining settings. Finding a suitable technology method is a significant step forward in production development and its introduction reduces the risk of setting errors.

Language
Finnish

Pages 21

fixture, machining, measurement

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Teoreettinen tausta	5
2.1	Koneistus	5
2.2	Työkappaleiden kiinnittäminen.....	6
3	Mittaustekniikkaa	7
3.1	Mittaamisen tarkoitus	7
3.2	Koordinaattimittauksen periaatteita.....	7
3.3	Konenäkö.....	8
3.4	3D-skannaus.....	9
3.5	Fotogrammetria	10
3.6	Lisätty todellisuus	13
4	Käytetyt menetelmät testikappaleelle.....	14
4.1	Leica-laserkeilain	14
4.2	Lisätyn todellisuuden testaus.....	16
4.3	Atos 5 -skanneri.....	17
5	Tulokset	18
6	Pohdinta.....	20
7	Lähteet.....	21

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia teknologioita, joilla voidaan ratkaista haasteita koneistettavan kappaleen kiinnityksessä. Tutkimus tehdään toimeksiantona John Deere Forestry Oy:lle. John Deerellä ei tällä hetkellä ole käytössä teknologiaa, jolla koneistusasetuksia voitaisiin varmistaa. Nykytilassa koneistusasetukset tehdään ja tarkastetaan manuaalisesti olemassa olevien ohjeiden avulla. Yhtiöllä ei kuitenkaan ole teknologiaa, joilla asetuksia voisi tarkastaa. Kappaleen kiinnitysrautojen virheelliset paikoitukset ovat edelleen suuri haaste.

John Deere Forestryn tarina ulottuu vuoteen 1972, jolloin Rauma-Repola perusti konepajan Joensuuun. Tehtaalla alettiin vuonna 1973 valmistaa Lokomerkkisiä metsäkoneita, ja vuodesta 1995 alkaen on keskitytty ainoastaan metsäkoneiden valmistamiseen ja tuotemerkki muuttui Timberjackiksi. Vuosituhannen vaihteessa John Deere & Company osti Timberjack-ryhmän ja vuonna 2005 Timberjack-tuotemerkki muuttui John Deereksi. (John Deere 2020)

Nykypäivänä markkinoilla on tarjolla erilaisia mittauslaitteita: käsivarsimittalaitteita, 3D-skannereita, laser-mittauslaitteita ja lisätyn todellisuuden sovelluksia. Tässä työssä tutkitaan Atos 5 -3D-skannerin, Leica-laserkeilaimen ja SuPAR-laadunvarmistussovelluksen sopivuutta toimeksiantajan käyttöön.

2 Teoreettinen tausta

2.1 Koneistus

Nykyaikaisessa metalliteollisuuden konepajassa yksi merkittävimmistä osa-alueista ovat koneistustyöt. Koneet ovat suurelta osin nc-ohjattavia, ja ne ovat sijoitettu työsoluiksi. Koneistaja saattaa ohjata ja valvoa yhtäaikaisesti työstökoneen ja työkappaleiden käsittelyautomaatin yhdistelmää. Koneistettavien tuotteiden valmistustoleranssit ovat erittäin tärkeässä roolissa, sillä laatuun liittyvä

vaatimus on, että osien tulee sopia toisiinsa. Näin ollen valmistustoleranssit voivat olla jopa tuhannesmillimetrin sisällä. (Maaranen 2012, 11.)

2.2 Työkappaleiden kiinnittäminen

Työkappaleiden kiinnittimien tehtävänä on tukea ja pitää työkappale paikoillaan oikeassa asennossa toistettavasti sekä riittävällä tarkkuudella työstökeskukseen nähden. Kiinnittimen on otettava vastaan lastuamisvoimat aiheuttamatta kappaleeseen pysyviä muodonmuutoksia. Kiinnittimen tulee olla turvallinen, helppokäyttöinen, huoltotarpeeltaan vähäinen ja rakenteeltaan sellainen, että työkappaleita voidaan työstää mahdollisimman monesta suunnasta yhdellä kiinnityksellä. (Haijanen 1989, 8.)

Kiinnittimet koostuvat neljästä elementistä:

1. Paikannin, joka on yleensä kiinteä osa, sitä käytetään paikoittamaan kappale.
2. Puristin, jota käytetään pitämään kappale tukevasti paikoillaan ulkoisia voimia vastaan.
3. Tuki, joka on kiinnittimen kiinteä tai säädettävä osa, joka sijoitetaan kappaleen alle siten, että se rajoittaa ja estää muodonmuutokset.
4. Kiinnittimen runko, johon edellä mainitut elementit sijoitetaan.

(Nee, Tao & Kumar, 2004, 1 – 2.)

Työkappale asetetaan kiinnittimeen ja puristetaan kiinni. Puristimien valinta ja mitoitus riippuvat siitä, millaista kappaleita kiinnitetään ja suoritettavasta toimenpiteestä. Korkeaan tuotantonopeuteen hyödynnetään mekaanisia pneumaattisia, hydraulisia, sekä sähkömekaanisia puristimia. (Venkataraman 2015, 34.)

Kappaleella on kuusi eri vapausastetta, ja tarkan sijainnin määrittämiseksi kappale on paikoitettava kuuden pisteen arvoisesti. Kappale kiinnitetään kolmipiste-kiinnityksellä, jotka ovat mahdollisimman kaukana toisistaan. Näin lukitaan kappaleen kuusi vapausastetta. (Haijanen 1989, 8.)

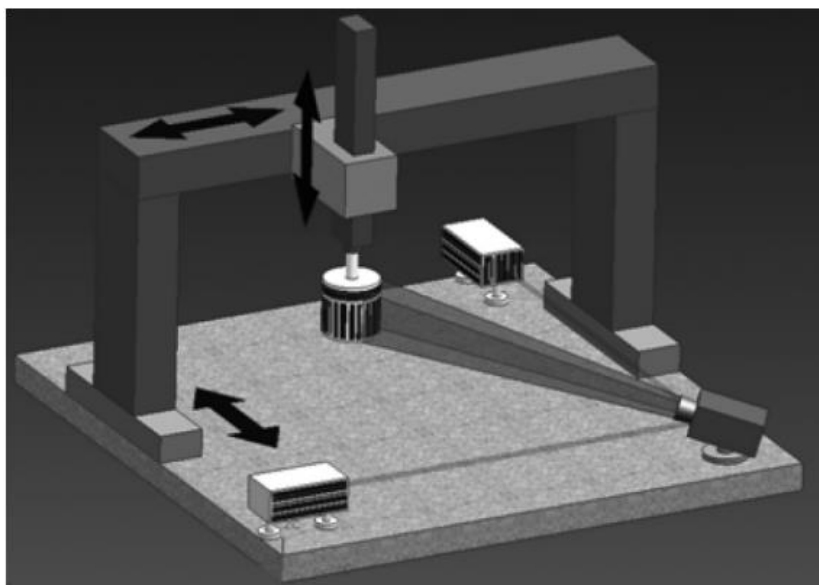
3 Mittaustekniikkaa

3.1 Mittaamisen tarkoitus

Mittauksia tehdään monista eri syistä. Esimerkiksi varmistetaan, sopivatko valmistetut esineet toisiinsa tai esineen tarkistukseen tuotespesifikaatioon täyttämiseksi. Kaikissa tapauksissa mittaus on hyödyllinen silloin, kun se on käyttötarkoitukseen nähden oikeanlainen. Mittauksen tarkoituksena on selvittää kappaleen oikea orientaatio sekä todentaa kappaleen oikea paikoitus. Nämä työvaiheet vaaditaan kappaleen jatkotyöstön mahdollistamiseksi.

3.2 Koordinaattimittauksen periaatteita

Fyysiset taso- tai avaruusgeometrian elementit voidaan määrittää usealla eri tavalla. Koordinaattimittaus sisältää mitattavan kohteen osageometrioiden mahdollisimman tarkkaa määrittämistä koordinaattipisteitä hyväksi käyttäen. Kyseiset pisteet voivat olla suorakulmaisessa, sylinteri-, napa- tai pallokoordinaatissa. Yleisperiaatteena kappaleesta on saada mahdollisimman paljon tietoa mitattavasta objektista, jotta mittausepävarmuus pieneneisi. Kun tämä pisteluku on ylitetty, voidaan mitattu pistejoukko muodostaa tavoitegeometriaksi ja nähdä poikkeamat. Missään olosuhteissa ei tulisi hyväksyä minimipistemäärää. (Andersson & Tikka 1997, 227.) Kuvassa 1 on esitetty koordinaattimittauslaite.

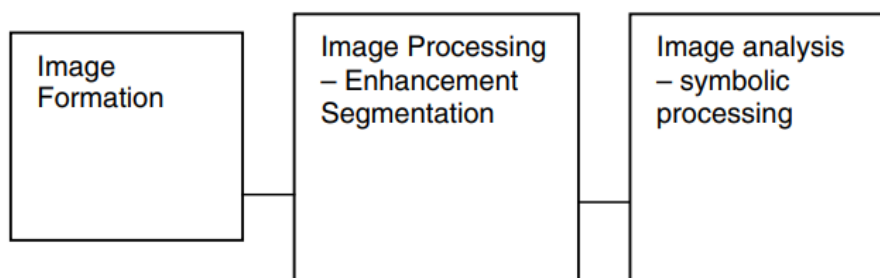


Kuva 1. Koordinaattimittauslaite (Giniotis & Hope 2014, 165.)

Kappaleiden geometrinen parametrien mittaukset suoritetaan normaalisti 3D-mittauslaitteilla eli koordinaattimittauslaitteilla. Koordinaattimittauslaitteilla päästään korkeisiin tarkkuuksiin, ja laitteilla voidaan mitata kappaleesta esimerkiksi suoruus, kohtisuoruus ja tasaisuus. Mittauslaitteiden nopea kehitys on tuonut markkinoille optisia menetelmiä tietojen havaitsemiseen, seurantaan, keräämiseen ja arviointiin. (Giniotis & Hope 2014, 165.)

3.3 Konenäkö

Konenäköteknologiaa käytetään teollisuudessa korvaamaan ihmisen näköaistia. Konenäön ominaispiirteisiin kuuluu kontaktiton elektromagneettisen säteilyn havainnointi, suora, tai epäsuora kuvan tunnistus. Konenäkö ei siis ole vain yksittäinen tekninen ratkaisu, vaan useamman eri tekniikan yhdistelmä. Konenäkö sisältää kolme eri vaihetta, ja jokaiselle vaiheelle on monia eri lähestymistapoja käyttökohteen mukaan. Vaiheet ovat kuvanmuodostus, kuvan käsittely ja kuvan analysoiminen ja päätöksenteko. Kyseisiä piirteitä käytetään tietokoneella analysoitavaksi. Konenäköjärjestelmään kuuluu kuvan muodostus, kuvan prosessointi ja kuva-analyysi, sekä päätöksenteko. Kuvan muodostusvaiheeseen sisältää valaistuksen, optiikan, sensorit ja kuvan digitaaliseen muotoon muuttavan sopivan laitteiston. (Geng 2004, 853.) Kuvassa 2 on esitetty konenäköjärjestelmän periaate.



Kuva 2. Konenäköjärjestelmä (Geng 2004, 854.)

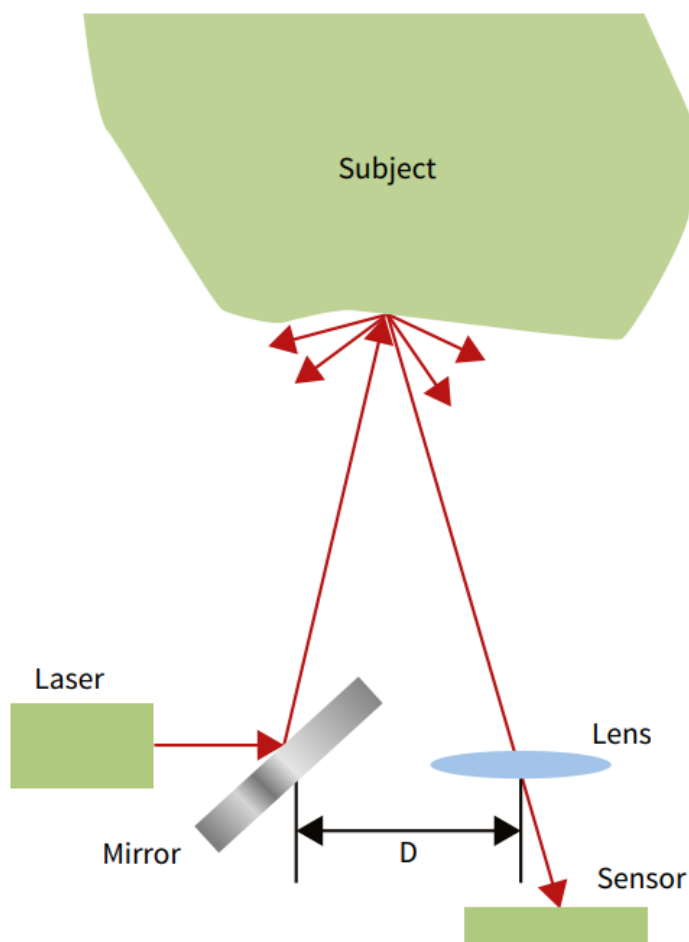
3.4 3D-skannaus

3D-skannaustekniikat jakautuvat kahteen eri pääryhmään: koskettaviin ja ei-koskettaviin skannereihin. Ei-koskettavilla skannereilla tarkoitetaan optisia skannereita ja puolestaan nämä voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin skannereihin riippuen siitä, lähettävätkö ne säteilyä vai eivät. Aktiiviset skannerit käyttävät toimiakseen valoa, lasersäteilyä, ultraääntä tai röntgensäteilyä. Laseria käyttäessä mittaus perustuu säteen kulkunopeuteen, kolmiomittaukseen tai vaihe-eroon. 3D-skanneri kerää kappaleesta kolmiulotteisen pistepilven. (Geng 2004, 377.)

Yksinkertaisin tekniikka 3D-mittaukseen on kulkunopeuteen perustuva menetelmä, jossa mitataan aikaa lasersäteen kulkiessa laitteesta objektiin ja säteen paluu takaisin laitteeseen. Aika lasketaan yksinkertaisesta kaavasta, joka sisältää valon nopeuden. Menetelmä tarvitsee toimiakseen tarkan ajoitusjärjestelmän ja peilin. (Boardman 2018, 10.)

Kolmiomittaukseen perustuvassa menetelmässä koordinaatit ovat laskettu lasersäteen paikan mukaan. Kuvan 2 mukaisesti laser taivutetaan kohteen poikki kiertämällä peiliä ja jokainen heijastus on heijastettu sensoriin linssin kautta. Kun välimatka D tiedetään, niin järjestelmä pystyy laskemaan 3D-mittauksen perustrigonometrian pohjalta. (Boardman 2018, 7.)

Vaihe-eroon perustuva skanneri mittaa lähetettyjä ja palaavia signaaleja. Vaiheerojärjestelmässä on korkeampi datanopeus verrattuna valonkulkuaikaan perustuvaan mittaukseen, joka voi olla yli miljoona pistettä sekunnissa. (Boardman 2018, 13.)



Kuva 3. Kolmimittaukseen perustuva menetelmä (Barber & Mills 2007, 9.)

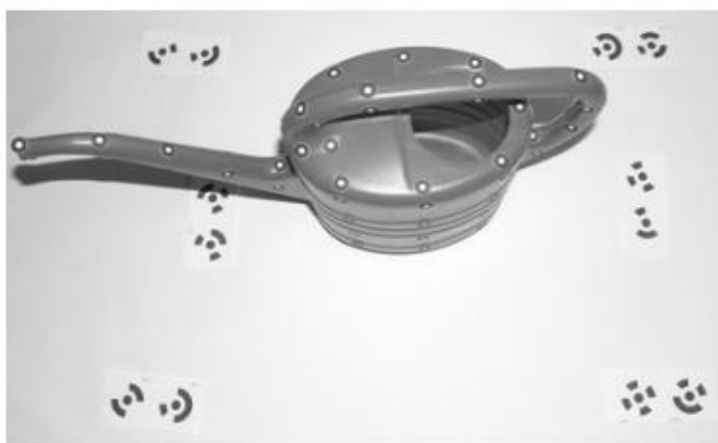
3.5 Fotogrammetria

Fotogrammetria on tekniikka joka muuntaa todellisen objektin digitaalisen muotoon pistepilveksi vain kameraa käyttäen. Nimensä tekniikka saa kreikankielen sanoista: kuvat, tarkoittaen valoa, gramma, tarkoittaen tallennusta ja metreo joka tarkoittaa mittausta. Fotogrammetria tarkoittaa menetelmää, joka käsittelee objektin mittoja, paikkaa ja muotoja valokuvatusta kohteesta. Samalla tapaa kuin 3D-skannauksessa, fotogrammetria-analyysi tuottaa pistepilven, joka sisältää paljon vähemmän pisteitä. Oikeissa olosuhteissa fotogrammetrian tuotoksena kartta, piirustus, 3D-malli todellisesta ympäristöstä. (Górski, Kuczko, Wichniarek & Zawadzki 2010, 1-3.)

Fotogrammetria analyysi sisältää viisi vaihetta. Fotogrammetrian-analyysin ensimmäinen vaihe **on tutkittavan kohteen valmistelu**, joka tapahtuu asettamalla merkintätarrat kappaleeseen (kuva 4). Toinen vaihe on ympäristön valmistelu eli kappaleen paikoitus koodattujen kohdistustarron väliin (kuva 5). Jokaisella koodatulla kohdistustarralla on ainutlaatuinen digitaalinen näkymä, jonka ohjelmistotyökalu tunnistaa. Kuvassa 6 on esitettyä kappale kuvausympäristössä valmiina kuvattavaksi. (Górski ym. 2010, 2)



Kuva 4. Merkkittarrat ja koodatut kohdistustarrat (Górski ym. 2010, 2.)



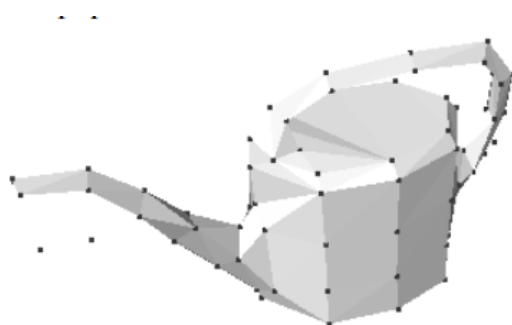
Kuva 5. Kuvattava kappale kohdistustarron välissä (Górski ym. 2010, 2.)

Kameran kalibrointiprosessi suoritetaan ottamalla 12 valokuvaa ruudukkokuviosta joka sisältää 96 merkkiä ja neljä 8-bittistä koodattua kohdistustarraa. Kohteet jaetaan tasaisesti tasaiselle pinnalle. Valokuvat tuodaan kalibrointiohjelmaan ja se laskee automaattisesti tarvittavat parametrit. (Górski ym. 2010, 2.)

Kohteen valokuvaaminen on prosessin tärkein vaihe: asianmukainen kuvausympäristön valmistelu vaikuttaa suuresti merkkitarrojen ja koodattujen kohdistustarrojen tunnistamiseen laskentavaiheen aikana. Valkoinen kangas on suositeltavaa sijoittaa valokuvattavan kohteen ympärille virheellisten pisteiden keräämisen välttämiseksi. (Górski ym. 2010, 3.)

Neljännessä vaiheessa suoritetaan **kuva-analyysi** otetut valokuvat ja kalibrointitiedot ladataan ohjelmaan, tämän jälkeen on asetettava tietyt parametrit, kuten valokuvausympäristön likimääräinen koko, käytettyjen koodattujen kohdistustarrojen tyyppi ja merkkien koko. Parametrien asettamisen jälkeen ohjelma tunnistaa merkkitarrat ja koodatut kohdistustarrat, sekä valokuvan orientoinnin. (Górski ym. 2010, 3.)

Pintamallin luominen viimeisessä vaiheessa kerätystä pistepilvestä luodaan pintamalli, joka voidaan myöhemmin muuttaa 3D-malliksi. Tämä työvaihe tehdään käyttäen sopivaa ohjelmistoa. Kuvassa 6 esitetty kuvatun kappaleen pintamalli. (Górski ym. 2010, 3.)

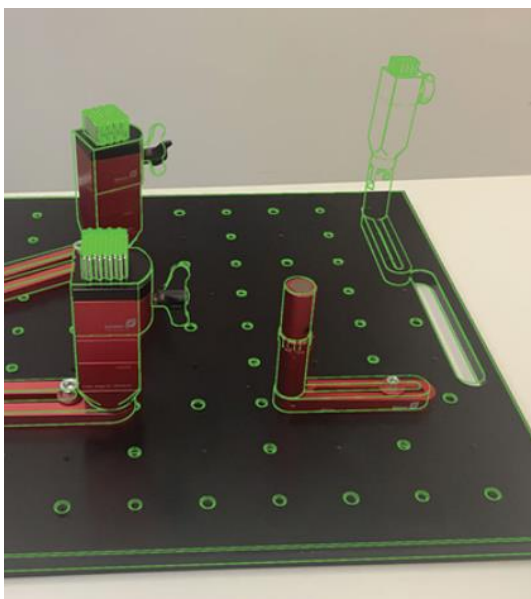


Kuva 6. Pintamalli valokuvatusta kappaleesta (Górski ym. 2010, 3)

3.6 Lisätty todellisuus

Lisätty todellisuus on muunnelma virtuaalisesta ympäristöstä. Kokonaan virtuaalisessa ympäristössä käyttäjä ei näe oikeaa maailmaa, mutta lisätyssä todellisuudessa käyttäjä näkee virtuaaliset objektit todellisessa ympäristössä täydentäen sitä. Lisätty todellisuus näyttää käyttäjälle virtuaaliset objektit samassa tilassa oikean ympäristön kanssa. Lisätty todellisuus parantaa käyttäjän käsitystä ja vuorovaikutusta todellisen maailman kanssa, kun käyttäjä näkee tietoja, joita ei pystyisi suoraan havaitsemaan omilla aisteilla. Tällä tavoin autetaan käyttäjää suoriutumaan tosielämän tehtävissä, kuten laadunvalvonnassa. (Azuma 1997, 2-3.)

Lisättyä todellisuutta voidaan käyttää kokoonpanossa, laitteiden huollossa ja monimutkaisten koneiden korjauksessa. Esimerkiksi kokoonpanoa tehdessä ohjeita olisi helpompi ymmärtää, jos ne olisivat saatavilla 3D-malleina, jotka on asetettu todellisten laitteiden päälle. Tekstiä ja kuvia sisältävien oppaisiin verrattuna ohjeet olisivat siis entistä selkeämpiä ja helpommin ymmärrettäviä. (Azuma 1997, 5.). Kuvassa 7 esitettynä erimerkki lisätyn todellisuuden näkymästä.



Kuva 7. Kuvassa todelliset osat ja virtuaaliset osat (Supar. 2022.)

4 Käytetyt menetelmät testikappaleelle

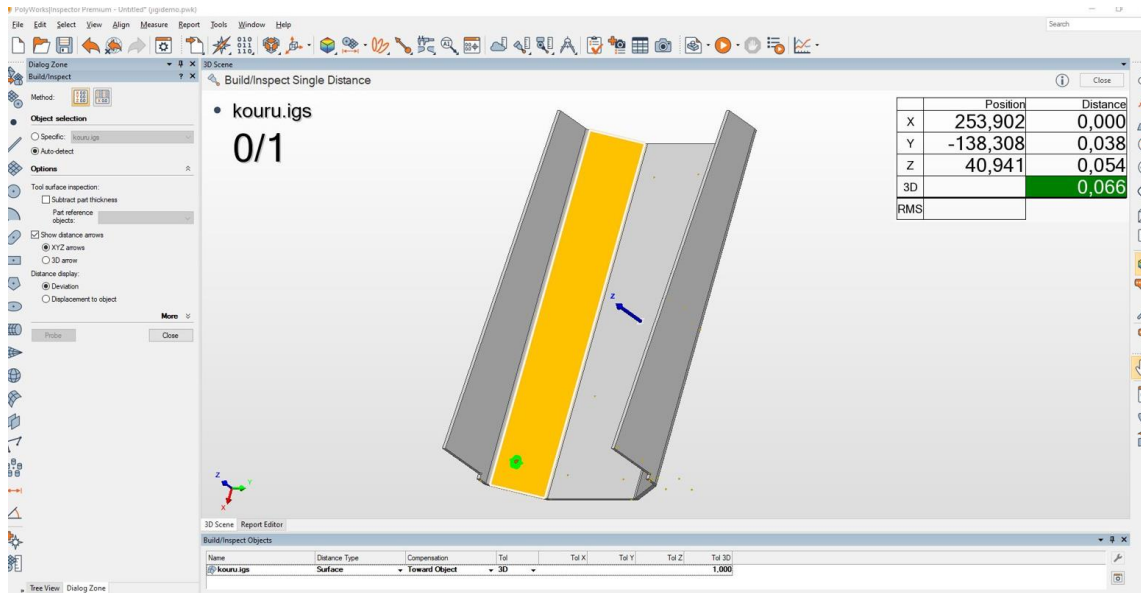
4.1 Leica-laserkeilain

Testauksessa käytettiin Karelia-ammattikorkeakoulun valmistamaa kappaletta simuloimaan opinnäytetyön toimeksiantajan tuotetta. Kolmen pisteen tuentaa hyväksi käyttäen rakennettiin myös kiinnitin simuloimaan tilannetta. Tällä tavoin voidaan testata vaihtoehtoja erilaisista menetelmistä, joita kappaleen paikoitukseen voitaisiin käyttää.

Ensimmäisenä testaukseen käytettiin Leican valmistamaa laserkeilainta (kuva 8), jota käytettiin Polyworksin mittasovelluksella. Testiä varten rakennettiin kiinnitintä vastaava rakenne kolmipistetuenta hyväksi käyttäen. Sen jälkeen mitattiin Faron mittakäsivarrella referenssipinnat, eli pinnat joihin kappaletta verrataan. Näiden vaiheiden jälkeen tuotiin kappale simuloituun kiinnittimeen ja verrattiin kappaleen pintoja kiinnittimestä mitattuihin referenssipintoihin. Laserkeilain tarvitsee toimiakseen reflektorin, johon laitteen lasersäde osuu (kuva 8). Näin voidaan mitata kappaleen paikkaa asetettaessa kappaletta simuloituun kiinnittimeen eli referenssipintoihin. Kuvassa 9 esitetty näkymä Polyworks-sovelluksesta, jossa näkyy kappaleen paikka reaaliajassa. Laserkeilaimen tarkkuus on 15 mikrometriä, joka kuitenkin heikkenee etäisyyden kasvaessa. Jokaisista metriä kohden skannerin tarkkuus heikkenee kuuden mikrometrin verran.



Kuva 8. Leica-laserkeilain ja reflektori (Jarno Ronkainen)



Kuva 9. Näkymä Polyworks-sovelluksessa (Kuva: Jarno Ronkainen)

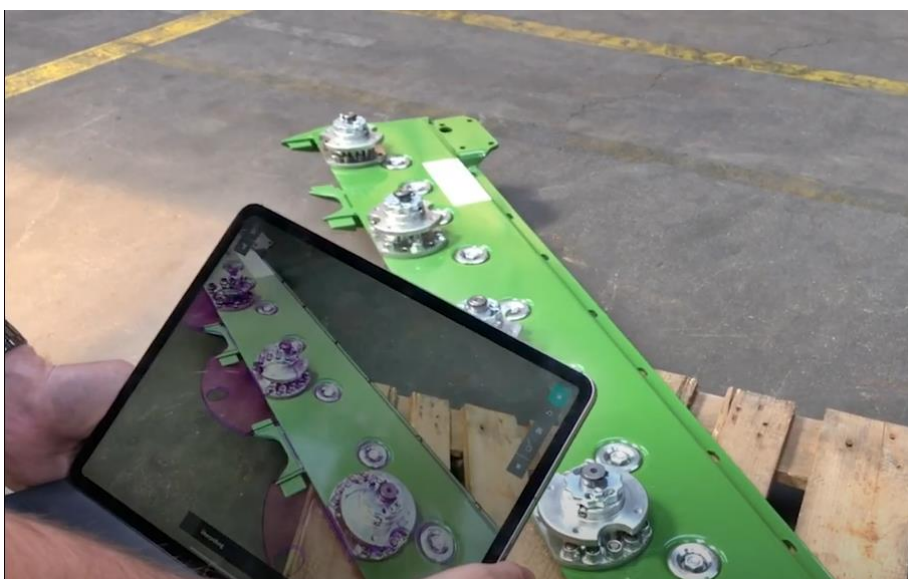
Leica-laserkeilaimella voidaan myös tehdä paikoitusta ohjelmoimalla lasersäde haluttuun paikkaan. Laitteeseen voidaan tallentaa useita paikkoja ja lasersäde saadaan kohdistettua valittuun paikkaan antamalla laitteelle käsky. Kuvassa 10 on esitettyä lasersäteen kohdistus paikkaan, johon kiinnitysraudan etureuna tulisin kohdistaa. Tällä tavoin voidaan paikoittaa kiinnitysrauta haluttuun kohtaan toistettavasti ja riittävällä tarkkuudella. Testauksessa selvisi, useamman kiinnitysraudan paikoittaminen yksitellen on hidasta, koska laitteesta lähtee vain yksi lasersäde, joten käyttäjä joutuu vaihtamaan lasersäteen paikkaa useita kertoja.



Kuva 10. Kiinnitysraudan paikoitus lasersäteellä (Kuva: Jarno Ronkainen)

4.2 Lisätyn todellisuuden testaus

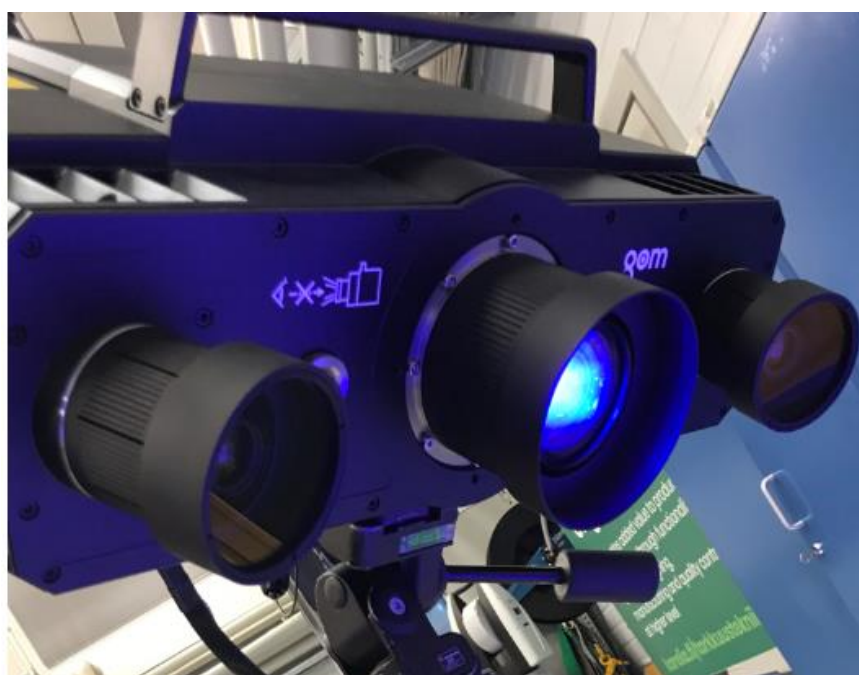
Lisättyä todellisuutta testattiin SuPAR-ohjelmistolla. SuPAR on cad malliin perustuva visuaalinen laadunvarmistussovellus. Sovellus tarvitsee toimiakseen lidar-sensorin sisältävän laitteen, joka oli tässä tapauksessa iPad Pro. Sovellukseen lisättiin cad-malli kiinnitysraudasta ja kappaleesta. Kiinnitysrauta saatiin paikoitettua onnistuneesti oikeaan kohtaan kappaletta. Tämän jälkeen käytettiin sovelluksen raportointityökalua, joka antaa tiedon kappaleen paikoittamisesta oikein. Sovellus vertaa otettua kuvaa cad-mallin paikkaan. Kuvassa 11 on näkymä laadunvarmistussovelluksesta.



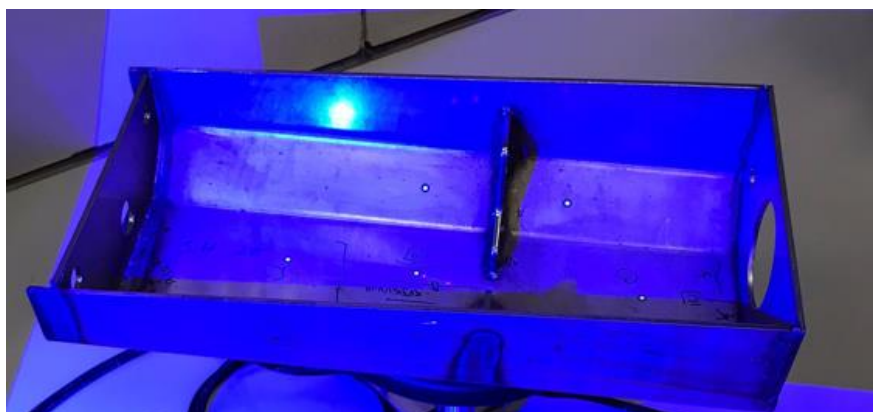
Kuva 11. Lisätyn todellisuuden näkymä (Kuva: Jarno Ronkainen)

4.3 Atos 5 -skanneri

Atos 5 -skannerilla (kuva 12) testattiin kappaleen mittausta Cascaden toimesta. Mittauksista selvisi, että Atos 5 -merkkisellä 3D-skannerilla kappale voidaan paikoittaa liimaamalla referenssitarrat kappaleeseen, jolloin laite tunnistaa kappaleen, kerää itselleen paikkatiedot sekä kappaleen orientoinnin. Tähän paikoitusmenetelmään skanneria ei kuitenkaan ole tarkoitettu, vaan pääpaino on kappaleiden mittauksella. Testauksessa havaittiin, että skanneri on herkkä ilman etäpuhtauksille. Kuvassa 13 näkyvät kappaleeseen liimatut valkeat referenssitarrat.



Kuva 12. Atos 5 skanneri (Kuva: Jarno Ronkainen)



Kuva 13. Referenssitarrat kappaleessa (Kuva: Jarno Ronkainen)

5 Tulokset

Opinnäytetyössä käytetyt laitteet ovat kaikki toiminnaltaan hieman erilaisia. Taulukossa 1 on esitetty laitteiden vertailua. Jokainen esitelty laite sopii koneistus-asetusten varmistamiseen. Tuotantotilojen puhtauden merkitys korostuu optisia mittaamenetelmiä käyttäen. SuPAR-sovellus soveltuu parhaiten tähän käyttötarkoitukseen, koska laite on edullinen ja helppokäyttöinen sekä sillä on riittävä tarkkuus eikä se vaadi erillistä mittaustilaa, joten mittaaminen on mahdollista tuotantotiloissa.

Atos 5 -skanneri ja Leica-laserkeilain soveltuvat kappaleen paikoittamiseen, mutta laitteiden pääpaino on kappaleen mittauksessa. Laitteet vaativat erillisen mittaustilan, koska lasersäteellä toimivat mittaamenetelmät ovat herkkiä lialle, pölylle ja muille ilman epäpuhtauksille. Tarkkuudeltaan Atos 5 -skanneri ja Leica-laserkeilain ovat SUPAR-sovellukseen verrattuna parempia ja se näkyy laitteiden hinnoissa. Lisäksi laitteiden vaatima lisäkoulutus nostaa menetelmän käyttöönoton hintaa.

Suositukseni käytettäväksi teknologiaksi on SuPAR-sovellus. Tuotantotilojen puhtauden merkitys korostuu optisia mittaamenetelmiä käyttäen. SuPAR-sovellus soveltuu parhaiten toimeksiantajan käyttötarkoitukseen, koska laite on edullinen ja helppokäyttöinen sekä sillä on riittävä tarkkuus eikä se vaadi erillistä mittaustilaa, joten mittaaminen on mahdollista tuotantotiloissa.

Laitteet- tai ohjelmistot	Atos 5	Leica-laser tracker	SuPAR-sovellus
Laitteen soveltuvuus	Soveltuu kappaleen paikoitukseen	Soveltuu kappaleen paikoitukseen	Soveltuu kappaleen paikoitukseen osittain
Tarkkuus (mm)	0.015	0.015	1
Ohjelmistovaatimus	Vaatii mittausraporttiohjelman	Vaatii mittausraporttiohjelman	Vaatii mittausraporttiohjelman
Laitteen mitat (mm)	550x320x200	477x258x258	Riippuu lisälaitteesta
Lisälaitetarve	Ei lisälaitetarvetta	Ei lisälaitetarvetta	Vaatii lidar-sensorilla varustetun laitteen
Mittausympäristö	Vaatii mittaustilan	Vaatii mittaustilan	Ei vaadi erillistä tilaa
Käyttäjäkoulutus	Vaatii käyttäjäkoulutuksen	Vaatii käyttäjäkoulutuksen	Ei vaadi erillistä koulutusta
Hinta	140 000 €	180 000 €	12 000 €

Taulukko 1. Laittevertailu

6 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää toimeksiantajan käyttöön sopiva mittausmenetelmä koneistusasetuksia varmistettaessa. Opinnäytetyön aikana selvitettiin, millaista teknologiaa voidaan käyttää. Työssä testattiin kolmea erilaista laitetta, joista parhaiten tähän soveltuvaksi osoittautui SuPAR- laadunvarmistussovellus. SuPAR- laadunvarmistussovellus käyttää hyväkseen kameranäköä, lisättyä todellisuutta ja tarvitsee toimiakseen Lidar-sensorilla varustetun kameran. Kyseisen mittausmenetelmän käyttöä puoltaa muihin testattuihin laitteisiin verrattuna helppokäyttöisyys, edullisuus, liikuteltavuus eikä se vaadi erillistä mittaustilaa. 3D-skannaus ja laserkeilaus kykenevät huomattavasti parempaan tarkkuuteen, mutta soveltuvat paremmin kappaleiden mittaamisen, eivätkä niinkään kappaleen paikoittamiseen. Optisten mittalaitteiden valmistajia on maailmanlaajuisesti useita ja tässä opinnäytetyössä testattiin vain kolmen eri valmistajan laitetta.

Opinnäytetyö lisäsi henkilökohtaisella tasolla tietämystä ja mielenkiintoa optisia mittalaitteita kohtaan. Optisten mittalaitteiden kirjo on laaja ja niiden käytöllä on rajattomasti mahdollisuuksia. Tällä hetkellä optisten mittausmenetelmiä ei hyödynnetä vielä tarpeeksi tuotantoteollisuudessa. Lisätyn todellisuuden käyttömahdollisuuksia kehitetään jatkuvasti ja optisten mittalaitteiden yleistyessä yritysten käyttöön on saatavilla tarkempia, edullisempia ja helppokäyttöisempiä laitteita. Nykypäivänä älylaitteet ovat kaikkien saatavilla ja niiden myötä lisätyn todellisuuden hyödyntäminen teollisuudessa voi lisääntyä nopealla tahdilla.

Haasteita opinnäytetyössä tuotti edelleen vallitseva koronatilanne, joka vaikeutti yrityksen tilojen hyödyntämistä. Optiset mittalaitteet ja lisätty todellisuus ovat suhteellisen uutta teknologiaa, minkä vuoksi tietoperustaa oli haastavaa löytää eikä suomenkielisiä teoksia ollut saatavilla. Haluan kiittää yhteistyöstä Cascade, Hexagonia ja Arto Mikkosta Karelia-Ammattikorkeakoulusta.

7 Lähteet

- Ahvenainen, J. 1984. Suomen sahateollisuuden historia. Helsinki: WSOY.
- Azuma, R. 1997. A survey of augmented reality. Malibu CA: 3011 Malibu Canyon Road, MS RL96.
- Boardman, C. 2018. Historic England 2018 3D Laser Scanning for Heritage - Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture. Historic England
- Geng, H. 2004. Manufacturing engineering handbook. McGraw-Hill.
- Giniotis, V. & Hope, A. 2014. Measurement and monitoring. Momentum press, LLC, New York.
- Górski, F, Kuczko, W & Zawadzki, P. 2010. Application of close-range photogrammetry in reverse engineering. <http://inno-met.ttu.ee/daaam10/proceedings/PDF/gorski.pdf>. 20.4.2022.
- Maaranen, K. 2012. Koneistus. Helsinki: Sanoma Pro Oy
- Nee, A.Y.C., Tao, Z.J. & Senthil Kumar, A. 2004. An Advanced Treatise on Fixture Design and Planning. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Supar. Supar.eu. 10.5.2022.
- Venkataraman, K. 2015. Design of Jigs, Fixtures and Press Tools. John Wiley & Sons Ltd.