



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)

Käänteismallinnuksen hyödyntäminen hitsaavassa robottisolussa

Mikko Törmä

Opinnäytetyö, huhtikuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024
Konetekniikan koulutus

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

Tekijä
Mikko Törmä

Nimeke
Käänteismallinnuksen hyödyntäminen hitsaavassa robottisolussa

Toimeksiantaja
Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin laserkeilaamiseen pohjautuvaa käänteismallintamisen prosessia, joka on hyödyllinen kappale- ja kokoonpanokohtaisessa robotisoidussa hitsausprosessissa. Käänteismallintamiseen perustuvat hitsausradat muuttavat merkittävästi perinteistä tapaa ohjelmoida hitsausrobotien hitsausratoja. Perinteinen hitsausrobotien ohjelmointitapa ei huomioi osien ja osakokoonpanojen mitta- ja muodonmuutoseroja. Yhdistämällä laserkeilausta ja käänteismallintamista voidaan hitsausradat tehdä osa- ja kokoonpanokohtaisesti, jolloin hitsausprosessi mukautuu osien ja kokoonpanojen todellisiin yksilöllisiin mitta- ja muodonmuutoksiin.

Opinnäytetyössä kehitettyä prosessia testattiin Fanuc RoboguideWeldPro -ohjelmassa, mikä vastaa Karelian konetekniikan laboratorion robotisoitua mitta-avusteisesta koesolua. Karelian koesolu yhdistää laserkeilausta, kokoonpanoa, hitsausta ja mittaraportointia geometrisesti toleroidun osakokoonpanon automaattisessa valmistuksessa. Työssä hyödynnettiin hitsatun rakenteen laserkeilattua pistedataa, Creo -mallinnusohjelmaa, Ansys SpaceClaim -käänteismallinnusohjelmistoa sekä Fanuc Roboguide WeldPro -ohjelmistoa.

Opinnäytetyössä onnistuttiin luomaan kappalekohtaiset hitsausradat käänteismallintamisprosessissa. Saadut tulokset olivat onnistuneita ja saatiin hyvä pohja jatkokehittää älykkäämpiä ja adaptiivisia kappalekohtaisia valmistusprosesseja. Tuloksissa pystyttiin ottamaan huomioon todellisissa kappaleissa ja kokoonpanoissa olevat laadulliset ja mitalliset erot.

Kieli
suomi

Sivuja 33
Liitteet 0
Liitesivumäärä 0

Asiasanat
käänteinen suunnittelu, robotit, laserkeilaus, hitsaus, simulaatio, konenäkö, mallipohjainen tuotemäärittely



THESIS
April 2024
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author
Mikko Törmä

Title
Exploitation of reverse modelling in a welding robot cell
Commissioned by
Karelia University of applied sciences

Abstract

This thesis developed a reverse engineering process based on laser scanning, which can be used in an assembly-specific robotic welding process. Welding paths based on reverse engineering can significantly alter the traditional way of programming welding robots. Traditional programming methods for robotic welding do not take into account the dimensional and shape differences of parts and assemblies to be welded together. Typically, the fluctuations in the accuracy of sheet metal manufacturing process cause dimensional changes at individual parts and assemblies. By combining laser scanning and reverse engineering, welding paths can be made part- and assembly-specific, allowing the welding process to adapt to the actual individual dimensional and shape variations of parts and assemblies.

The thesis was conducted for Karelia University of Applied Sciences. The developed process will be utilized at Karelia's Mechanical Engineering Departments machine technology laboratories in a robotic measurement-assisted test cell. Karelia's test cell integrates laser scanning, assembly, welding and measurement reporting in the automatic manufacturing of geometrically toleranced assemblies. The work utilized laser-scanned point data of welded structures, CREO modeling software, Ansys SpaceClaim reverse engineering software and Fanuc Roboguide WeldPro software.

The thesis successfully created part-specific welding paths through reverse engineering process. The obtained results were successful providing a solid foundation for further developing smarter and adaptive part-specific manufacturing processes. The results were able to take into account for the qualitative and dimensional differences present in actual parts and assemblies.

Language
Finnish

Pages 33
Appendices 0
Pages of Appendices 0

Keywords
reverse engineering, robots, laserskanning, welding, simulation, machine vision, model based definition (MBD)

Sisältö

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Johdanto | 5 |
| 1.1 | Opinnäytetyön aihe | 5 |
| 1.2 | Karelia-ammattikorkeakoulu | 5 |
| 2 | Käänteismallinnusprosessi | 6 |
| 2.1 | Käänteismallinnus..... | 6 |
| 2.2 | Käänteismallinnusohjelma | 7 |
| 2.3 | Käänteismallinnuksen käyttökohteet..... | 8 |
| 2.4 | Käänteismallinnuksessa käytetyt mittausmenetelmät..... | 8 |
| 2.5 | Käänteismallinnuksessa käytettävät mittalaitteet..... | 9 |
| 2.6 | Konenäön merkitys käänteismallinnuksessa | 10 |
| 2.7 | Laserkeilaimen toiminta käänteismallinnuksessa | 11 |
| 3 | Robottisolun toiminta ja robotin ohjelmointi..... | 14 |
| 3.1 | Robottisolun määritelmä | 14 |
| 3.2 | Robotin työkalut | 15 |
| 3.3 | Robottihitsattu kokoonpano | 16 |
| 3.4 | Robotisoidun kokoonpanon prosessikuvaus..... | 17 |
| 4 | Karelian robottisolun | 18 |
| 4.1 | Karelian robottisolun toiminta..... | 18 |
| 4.2 | Animaatio-ohjelma robotin ohjelmoinnin tukena | 21 |
| 4.3 | Automaation käsiohjain..... | 22 |
| 5 | Robottihitsattava kappale ja tolerointi | 23 |
| 5.1 | Kouru- ja etupääkappale..... | 23 |
| 5.2 | Kappaleen tolerointi | 24 |
| 6 | Tulokset | 25 |
| 6.1 | Laserkeilauksen luoma etupääkappale..... | 25 |
| 6.2 | Käänteismallinnus STL-mallista..... | 27 |
| 6.3 | 3D-mallin luominen STL-mallista | 28 |
| 6.4 | Reunakäyrän hyödyntäminen hitsausradan luomiseen | 29 |
| 6.5 | Hitsausradan ajaminen Roboguidessa | 30 |
| 7 | Pohdinta..... | 31 |
| | Lähteet..... | 33 |

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön aihe

Opinnäytetyön tavoitteena on hyödyntää käänteismallinnusta Karelian robottisolun toiminnassa. Käänteismallinnuksen avulla pyritään luomaan hitsausrata, joka muotoutuu kappaleen mukaan käyttäen konenäköä ja laserkeilausta. Hitsattavana kappaleena toimii Karelian jo valmiiksi mallinnettu kouru (kuva 10). Opinnäytetyön tarkoituksena on tarjota erilainen lähestymistapa robotisoituun hitsausprosessiin Karelia-ammattikorkeakoululle.

Opinnäytetyössä käsitellään käänteismallinnusprosessia, robottisolun toimintaa sekä hitsausrataa, joka mukautuu valmistettavan kouru kappaleen mukaiseksi. Lisäksi tarkastellaan Karelian oman robottisolun toimintaa ja Karelia-ammattikorkeakoulun historiaa.

1.2 Karelia-ammattikorkeakoulu

Karelia-ammattikorkeakoulu sijaitsee Joensuussa. Se perustettiin vuonna 1992. Siihen kuuluu kaksi kampusta Tikkarinne-kampus ja Wärtsilä-kampus. Opiskelijoita Kareliassa on yhteensä 4088 ja henkilökuntaa 310. Karelia-ammattikorkeakoulu on kokoluokaltaan pienempi kuin monet muut ammattikorkeakoulut Suomessa. (Karelia 2023).

Wärtsiläkampus sijaitsee Joensuussa, ja sen katuosoite on Karjalankatu 3. Siellä opiskellaan liiketaloutta, tekniikan aloja, matkailualaa ja luonnonvara-aloja. Wärtsiläkampus on kansainvälinen ja siellä opiskelee useita eri kansallisuuden omaavia opiskelijoita. Wärtsiläkampus on saanut nimensä sen yhteistyöstä Wärtsilä-yrityksen kanssa. (Karelia 2023).

Tikkarinnekampus sijaitsee myös Joensuussa ja sen katuosoite on Tikkarinne 9. Siellä opiskellaan sosiaali-, ja terveysalaa ja media-alaa. Opiskelijoiden tarvitsemat palvelut, kuten kirjasto, opiskelijapalvelut ja tutkimus- ja kansainvälisyyspalvelut sijaitsevat Tikkarinne-kampuksella. (Karelia 2023.)

2 Käänteismallinnusprosessi

2.1 Käänteismallinnus

Käänteismallinnus tarkoittaa virtuaalisesti tai konkreettisesti olemassa olevan kappaleen mallinnusta jälkikäteen (kuva 1). Kappaleesta tehdään rekonstruktio eli uusittu 3D-malli käänteismallinnusohjelmalla. Tässä monesti käytetään apuna konenäköä, jolloin rekonstruktioista tulee tarkempi. Konenäkö luo kappaleesta pistepilveä (Point cloud -data). Pistepilvi itsessään ei ole vielä täydellinen malli, vaan saadusta pistepilvidatasta prosessoidaan mallista enemmän käytettävä versio. Haluttava versio on triangulaarinen kasvopinta eli kolmioverkko-pinta, NURBS-pinta tai ihan perinteinen 3D-malli (Jianbin 2018, 42.)

Kappaleen tai kokoonpanon teon jälkeen voidaan käyttää myös käänteismallinnusta. Valmiin kappaleen kokoonpano skannataan laserkeilaimella. Tästä saatu dataa verrataan kappaleesta tehtyyn 3D-malliin. Pistedataa ja mallia vertaamalla nähdään kokoonpanossa mahdollisesti oleva puutteellisuus ja toleranssien mahdolliset viat. Käänteismallinnusta käytetään tässä korjaamaan nuo viat. Kappaletta muokataan jälkeinpäin käänteisesti. (Jianbin 2018, 42.)

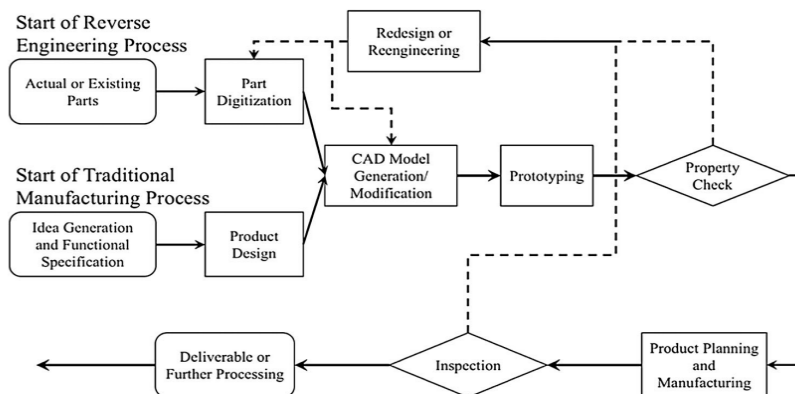


Fig. 1 Traditional vs. RE manufacturing process.

Kuva 1. Käänteismallinnusprosessi

Hitsauksen aikana tapahtuvat mitta- ja muodonmuutokset vaikuttavat merkittävästi kappaleen laatuun. Käänteismallinnettujen osien ja osakokoonpanojen avulla voidaan tehdä toleranssianalyysi käänteismallinnetuista uusista 3D-

malleista. Toleranssianalyysi perustuu todelliseen mitattuun valmistuksen aiheuttamaan muodonmuutokseen. Tästä saatua dataa voidaan käyttää prosessin kehittämiseen. Käänteismallintamisen kautta opitaan mitta- ja muodonmuutosprosessin käyttäytymistä. Tätä tietoa voidaan käyttää kehitettäessä älykkäämpiä ohjelmointiprosesseja robottisoluissa: mitta-avusteinen tuotanto, neuroverkko- ja tekoälypohjaiset ratkaisut tuotantosoluissa. (Väyrynen 2024.)

2.2 Käänteismallinnusohjelma

Tässä opinnäytetyössä käänteismallinnusohjelmana käytetään Ansys SpaceClaimia, joka on yksi parhaita 3D-mallinnusohjelmia tähän tarkoitukseen. SpaceClaimin käyttäminen vaatii totuttelua, mikäli käänteismallinnus tai Ansysin ohjelmat ovat käyttäjälle uusia. Karelia-ammattikorkeakoulun pääasiallisena mallinnusohjelmana on Creo 3 ja 6. Niitä on käytetty tässä työssä Model based definition (MBD) mallien tekemiseen, ja pistetiedon mallintamiseen reunaikäyrälle. SpaceClaim ja Creo eroavat käytöltään merkittävästi toisistaan. Ohjelmistojen työkaluja käytetään eri tavoin, vaikka mallinnuksessa päädytään samaan lopputulokseen.

Ansysin ohjelmasta löytyy ratkaisu moneen mallinnuksessa vastaan tulleisiin ongelmiin. Se pystyy luomaan kuluneiden osien geometrian uudelleen. Vanhojen osien 3D-mallit katoavat helposti ja niitä pitää päivittää, joten mallinnukset sekä päivitykset malleihin onnistuvat ohjelmalla. Ansys SpaceClaim antaa näihin ongelmiin nopean ratkaisun. Ohjelma lupaa uusille käyttäjille helppokäyttöisyyttä. (Ansys 2021.)

Osien mallinnus on erilaista SpaceClaimilla. Esimerkiksi pelkän kuution tekeminen vaatii totuttelua Creoon verrattuna. SpaceClaimissa on "pull" työkalu, jolla piirretty muoto vedetään (pull) haluttuun mittaan. Särmäys on erilaista, sillä kun Creossa laitetaan vain asteluku ja määritetty suunta, niin Ansysella valitaan reunakulma, johon säädetään sisä- tai ulkosäde, joka nimetään haluttuun mittaan. Ohjelman käyttö vaatii totuttelua, vaikka ohjelman tekijät lupaavat helppokäyttöisyyttä.

2.3 Käänteismallinnuksen käyttökohteet

Käänteismallinnusta voidaan hyödyntää monissa eri teollisuuden vaatimissa muodoissa. Alla listaus käänteismallinnuksen käyttökohteista:

- Kuluneiden osien geometrian palauttaminen (Ansys 2021).
- Kadonneen osan geometrian palauttaminen (ansys 2021).
- Kappaleen käytön demonstrointi (Jianbin 2018, 42).
- Monimuotoisen STL-tiedoston muuntaminen 3D-malliksi (Ansys 2021).
- Kokoonpano mallien optimointi. Esimerkiksi jos malli on raskas ja se on usealla eri osalla mallinnettu. Optimointi keventää mallia ja tekee siitä tarkemman (Ansys 2021).
- Orgaanisten mallien ja pintojen muokkaus (Ansys 2021).
- Laseskannauksen epäpuhtauksien siistiminen (Ansys 2021).

Käyttökohteita käänteismallinnukselle on paljon. Tässä työssä keskitytään siihen, millä tavoin voidaan parantaa automatisoidun robottisolun toimintaa.

2.4 Käänteismallinnuksessa käytetyt mittausmenetelmät

Ennen käänteismallinnusta kappale mitataan, saadut mittaustulokset vaikuttavat kokoonpanossa kappaleiden paikkaan, jolloin hitsausradasta tulee kappalekohdainen. Mittaustuloksen on oltava riittävän tarkka käänteismallinnusta varten, oikean mittalaitteen valinta on erityisen tärkeää. Mittauslaitteistoilla on olemassa erilaisia vaatimuksia ja ne on hyvä ottaa huomioon.

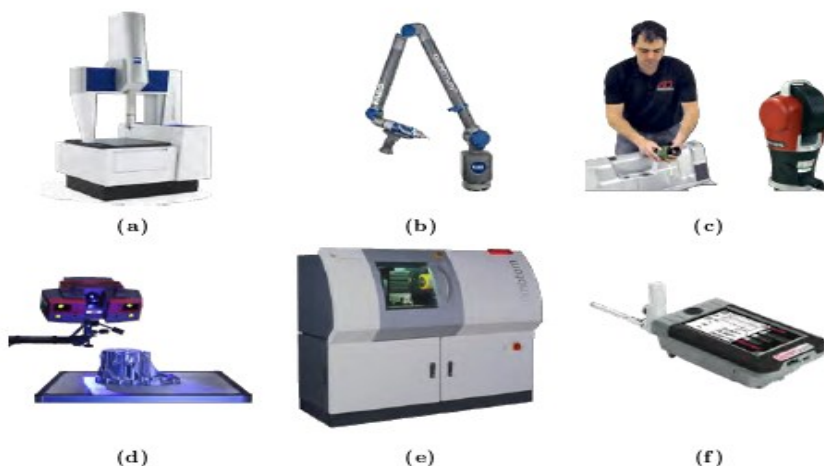
Mittajärjestelmältä vaaditaan tiettyjä seikkoja, että mittaus tulokseen voidaan luottaa ja sen perusteella tehdä kokoonpano. Mittajärjestelmän on oltava riittävän herkkä mittaamaan pienet viat, ja huomata mahdolliset suuremmat viat kappaleesta. Mittaukseen käytettävän ajan on oltava kohtuullinen. Kappaleen pääreunojen mittausaika ja tarkastusaika on oltava pienempi kuin manuaalisesti suoritettavilla menetelmillä. Kustannuksien on oltava pienemmät sen elinkaaren aikana verrattuna vastaavaan manuaaliseen laitteeseen. Järjestelmän on oltava heti käyttöön otettavissa nykyisessä toimipaikassa, muuttamatta asetuksia.

Järjestelmän on oltava turvallinen, että ihmiset voivat työskennellä mittauskoneen ympärillä. (Lyngby 2019, 15.)

2.5 Käänteismallinnuksessa käytettävät mittalaitteet

Mittausmenetelmiä ja laitteita on olemassa erilaisia:

- Coordinate measuring machine (CMM), jossa kosketustunnistin mittaa kappaleen pinnalta pisteitä (kuva 2, a).
- Käsikäyttöinen CMM Faro Arm (kuva 2, b).
- Käsikäyttöinen API-Laser anturi (kuva 2, c).
- GOM-rakenteinen valoskanneri (kuva 2, d).
- GE tietokonetomografiaskanneri (kuva 2, e).
- Starret pinnankarheusmittari (kuva 2, f).



Kuva 2. Käänteismallinnuksessa käytettävät mittalaitteet.

Kaikilla näillä järjestelmillä on omat edut, kustannukset ja rajoitteet. Nykyaikaisessa valmistuksessa käytetyin 3D-mittauslaite on koordinaattimittauslaite CMM. Tavanomainen kosketustunnistin Zeiss Prismo (kuva 2, kohta a) ja käsikäyttöinen Faro Arm (kuva 2, kohta b) ovat CMM-tekniikalla toimivia mittalaitteita. CMM koostuu mitta-anturista, joka mittaa pisteitä optisesti tai kosketuksen kautta, sekä liikkumisjärjestelmästä, joka liikuttaa mitta-anturia mitatun pinnan päällä. CMM:t mittaavat aina piste kerrallaan. Laitteella voidaan ajaa myös skannaus, missä mitta-anturi ottaa useita pisteitä halutulta pinnalta. Laitteella voidaan ajaa myös yksittäisiä pisteitä eli näytteenottopisteitä tietyllä taajuudella.

CMM-järjestelmät voivat olla myös hybridejä optisten tekniikoiden ja kosketustunnistintekniikoiden välillä. Esimerkiksi käsikäyttöisillä API-laser anturilla (kuva 2, kohta c) voidaan mitata kosketusanturin sijainti. CMM:n etu on tarkkuus mitaustuloksissa. Huono puoli on hitaus, kun mitataan monta pistettä samalla ohjelmalla. Sekä mitattaessa kappaleet on tuotava mittalaitteen läheisyyteen, joten niiden ulottuvuus on rajallinen. (Lyngby 2019, 16.)

2.6 Konenäön merkitys käänteismallinnuksessa

Konenäkö perustuu yleensä kameraan, joka antaa koneelle kyvyn ”nähdä”. Konenäköä hyödyntävät robotit ovat itsenäisempiä ja toimivat konenäön avulla. Koneen liikkeet eivät ole täysin ohjelmoituja, vaan ne mukailevat liikkeensä konenäön käyttäjän haluamalla tavalla. Syvyyskameraa käytetään apuna lukemaan kappaleen mallin muodot. Sen jälkeen robotti poimii kasasta halutun kappaleen. Järjestelmään on valmiiksi syötetty kappaleen mallin muodot ja robotti vertaa näitä muotoja keskenään. Konenäön kuvatessa oikean kappaleen se lajittelee sen oikeaan paikkaan. (Välimäki & Niemelä 2023, luku 2.)

Tässä opinnäytetyössä konenäkö perustuu laserkeilaimeen, joka poikkeaa merkittävästi edellä mainitusta syvyyskamerasta. Laserkeilain on suurten kappaleiden mittaamiseen soveltuva mittalaite, jota käytetään tuotantokappaleiden mittaamiseen tuotanto-olosuhteissa. Laserkeilaimilla on olemassa erilaisia käyttötapoja. Niitä voidaan käyttää käsin, robotilla tai esimerkiksi artikuloitun käsivarren avulla. Tässä opinnäytetyössä käytetään Karelialla käytössä olevaa robotin avulla toimivaa laserkeilaustekniikkaa. Laserkeilaimen avulla mitattavia kappaleita ovat esimerkiksi suuret antennit, laivapotkurit ja siipiprofiilit. Erilaisia käyttökohteita laserkeilamelle on olemassa monia:

- Suurten kokoonpanotyökalujen asettelu ja valmistus lentokoneiden valmistuksessa.
- Suurten osien kokoonpaneminen ja asemointi robottien avulla (mittavusteinen robotisoitu tuotanto).
- Käänteismallinnus autoteollisuudessa. Käsin muotoillut ajoneuvojen savimallit voidaan digitoida ja käänteismallintaa 3D-malleiksi, joista

valmistetaan jyrsimällä ohutlevytyökalut ja muotit ajoneuvojen kuoriosien syvävetämistä varten.

- Työstökoneiden ja koordinaattimittauskoneiden volymetrinen kalibrointi. (Väyrynen 2024.)

2.7 Laserkeilaimen toiminta käänteismallinnuksessa

Laserkeilain on työkalu, joka nimensä mukaisesti skannaa kappaletta lasersäteiden avulla (kuva 3). Lasersäteiden avulla kone mittaa millintarkasti luoden siitä pistedataa. Saadusta pistedatasta (Point cloud scan data) muodostuu kolmioverkkopintaa.

Perinteinen kappaleiden mittaaminen koordinaattimittakoneella on tyypillisesti sidottu mittahuoneeseen ja kappaleet on tuotava koordinaattimittakoneen työpöydälle mittaamista varten. Laserkeilain on vastaavasti liikuteltava mittakone ja laitteisto voidaan asettaa lähellä mitattavaa kappaletta niin sisä- kuin ulko-olosuhteissa.

Laserkeilain on mittausepävarmuudessa koordinaattimittakonetta huonompi, mutta mittaustarkkuus riittää isojen hitsattujen ja koneistettujen kappaleiden mittaamiseen. Skannaamalla tehdyn laserkeilausmittauksen mittausepävarmuus U on laitevalmistajien mukaan luokkaa $U = +/-60 \mu\text{m} + 5 \mu\text{m}/\text{m}$. Tämä tarkkuus riittää hyvin isojen hitsattujen rakenteiden mittaamiseen, joissa kappaleiden geometriset muoto- ja tasomaisuustoleranssit ovat millimetrejä. (Estler, Edmundson, Peggs & Parker 2002, luku 7.)

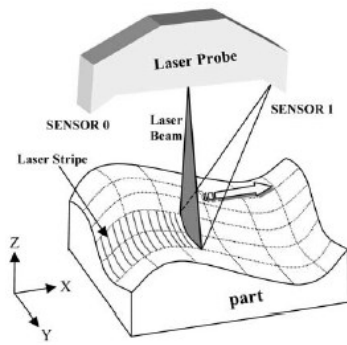


Fig. 1. Laser scanning mechanism.

Kuva 3. Tässä kuvassa on havainnollistettu 3D-laserskannerin mekanismi. Laserraita heijastetaan kappaleen pinnalle ja CCD-kamera havaitsee heijastuneen säteen. Kuvankäsittelyn ja trianguloinnin avulla menetelmällä saadaan kolmiulotteiset koordinaatit. (Son, Park & Lee 2002, 890.)

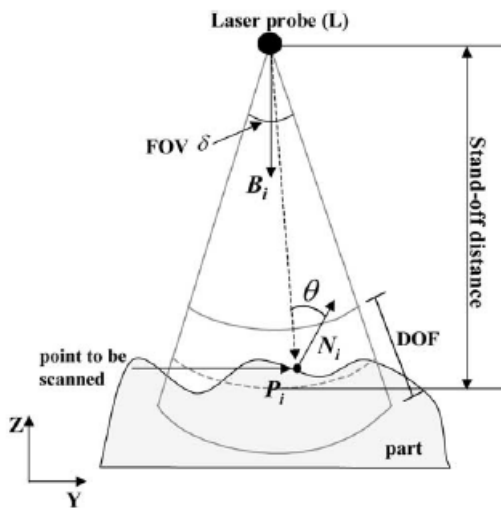
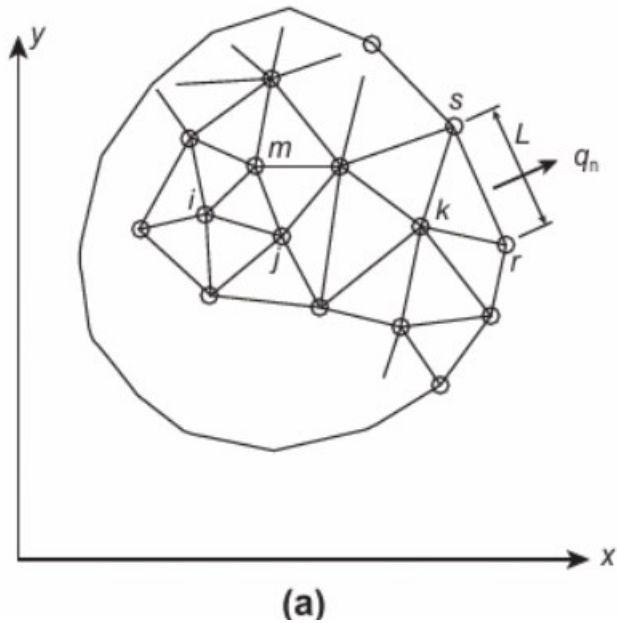


Fig. 2. Constraints for laser scanning.

Kuva 4. Laserkeilaimen rajoitteet.

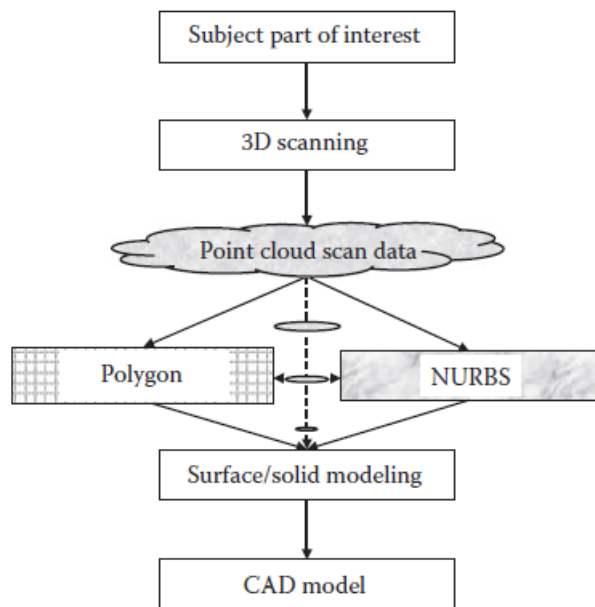
Laserskannerin ottaessa kuvan järjestelmä löytää automaattisesti optisen tarkennuksen ja pitää etäisyyden kappaleeseen. Käyttäjä ei voi muuttaa laserjuovan pituutta tai seisontaetäisyyttä (kuva 4). Koska laserskanneri koostuu optisista antureista ja mekaanisista liikkuvista osista, on eri rajoitteiden täytyttävä mitattaessa tiettyä pistettä kappaleesta. (Son, Park, Lee 2002, 890.)



Kuva 5. Kolmioverkkopinta (Zienkiewicz & Taylor, 120)

Laskennallisesti kolmioverkko (triangular mesh) rakentuu, kun konenäkö käyttää koordinaattitietoja pisteiden luomiseen. Pisteistä muodostuu kolmioita ja kolmioista kolmioverkkoa (kuva 5). Kolmioverkkopinnasta muodostuu lopulta varsinainen 3D-malli.

Ansyst SpaceClaim -ohjelma näyttää mallin pinnan kolmioverkon avulla. Tämän jälkeen mallista voidaan tehdä "solid" malli, jota voidaan muokata haluttuihin mittoihin. Käänteismallinnusohjelmasta saatu "solid" malli, eli varsinainen 3D-malli on helpommin hyödynnettävissä. Tämän jälkeen mallin päälle voidaan rakentaa uutta dataa ohjelman työkalujen avulla (kuva 6). Saadun mallin avulla voidaan myös visuaalisesti hahmottaa kappaleen poikkeamat.



Kuva 6. Käänteismallinnuksen prosessikuvaus konenäköä käytettäessä. (Wang 2010)

3 Robottisolun toiminta ja robotin ohjelmointi

3.1 Robottisolun määritelmä

Robottisolu on kone. Robottisolu on konetta koskeva määritelmä, kuten mainitaan konedirektiivissä. Kone on luotu aina joltain käyttötarkoitusta varten, ja se määritellään sen mukaan. Koneita löytyy valtava määrä erilaisia, ja robottisolu lukeutuu niihin. Yksittäinen robotti on puolivalmiste, joka ei sellaisenaan pysty vielä työntekoon. (Välimäki & Niemelä 2023, luku 4.)

Robottisolun toiminta voi olla esimerkiksi linjastomaista toimintaa tai enemmän solumaista toimintaa. Autoteollisuudessa on olemassa paljon linjastoja auton osien hitsaamiseen, maalaamiseen ja kokoonpanoon linjastomaisesti robottien avulla. Solumainen toiminta perustuu yhden tai useamman robotin tekemään yhteistyöhön. Solu eroaa siinä määrin linjastosta, että pienellä alueella on yksi tai useampi robotti.

Yksittäisestä robotista voidaan käyttää myös nimitystä ”yhteistyörobotti”. Tällaiset ”cobotit” ovat enemmän kanssa käymisessä ihmisen kanssa kuin esimerkiksi robottisolun robotit. Yhteistyörobotit ovat helposti liikuteltavia ja ohjelmoitavia työkavereita, joille voi ”antaa luvan” törmätä samassa työtilassa olevaan ihmiseen, Asimovin lakia noudattaen. Yhteistyörobotit ovat useiden yritysten ensimmäinen robottihankinta, ja ne eroavat merkittävästi maahan pultattavista ja aidattavista isoista teollisuusroboteista. (Välimäki & Niemelä 2023, luku 1.)

Yleensä yksittäistä robottia ei pidetä erityisen hyödyllisenä sellaisenaan, vaan sitä pidetään teollisuuden näkökulmasta puolivalmisteena. Kun yksittäiselle robotille löydetään oikeanlainen käyttötarkoitus ja siihen sopiva työkalu, siitä hyöttyy esimerkiksi hitsaamisessa, pakkaamisessa, laadunvarmistuksessa ja mittauksissa. (Välimäki & Niemelä 2023, luku 4.)

3.2 Robotin työkalut

Robottia ei pidetä vielä täydellisenä työvälineenä, koska se tarvitsee työkalun tekemään siitä hyödyllisen koneen. Robotteihin voidaan esimerkiksi kiinnittää työkaluiksi:

- Tarttujia, kuten magneettitarttuja.
- Hitsauspoltin, MIG/MAG sopivat hyvin robotin käytettäväksi.
- Jäysteen- ja purseenpoiston työkalut.
- Maaliruisku, joten robotti pystyy myös maalaamaan.

Edellä on mainittu vain osa markkinoilla olevista erilaisista työkaluista. Moniin ihmisen käyttämiin manuaalityökaluihin on olemassa versio, joka käy robotille. Robotti itsessään ei ole hyödyllinen, vaan työkalu tekee siitä hyödyllisen. Työkalut voidaan yleisesti jakaa kahteen ryhmään, tarttujiin ja prosessityökaluihin. (Välimäki & Niemelä 2023, luku 10.)

Valmistajat ilmoittavat robottien hyötykuormat eli raja-arvot, mikä on hyvä muistaa valittaessa työkalua. Robottien tekemät liikkeet ovat oikeanlaisia ja tarkkoja, kunhan robotin hyötykuormaa ei ylitetä. Tarttuja käytettäessä tässä pitää olla tarkkana. Esimerkiksi työkalu ja työkalun kytkentäkotelot painavat 6 kg ja

hyötykuorma on 10 kg, jolloin käsiteltävä kappale ei voi olla yli 4 kg painoinen. (Välimäki & Niemelä 2023, luku 10.)

3.3 Robottihitsattu kokoonpano

On tilanteita, kuten monimutkaiset hitsausmuodot ja sijainnit, joissa robotti ei ole ihanteellinen. Tässä tapauksessa ihmisen kädenjälki korostuu hitsauksessa. Robotti on parhaimmillaan hitsauksessa, kun tehdään lineaariliikkeitä ja toisteista työvaihetta. Ihmiselle yksitoikkoinen ja puuduttava hitsaustyövaihe on helppoin antaa robotin hoidettavaksi. Hitsaavan robotin ja hitsaajan ilmeisin ero on se, että robotti jaksaa tehdä tarvittaessa vuorokauden ympäri töitä.

Ihmisen ja robotin erot ovat isoimmat tasalaatuisessa työnjäljessä, työtunneissa, uuden oppimisessa ja työympäristössä. Robotin edut nostavat koko ajan tasoaan. Siksi teollisuuden automaatio yleistyy entisestään ja robotit lisääntyvät. On kuitenkin tärkeä muistaa, ettei kaikkea voida automatisoida ja ihmisen työpanosta ei saa vähätellä robotin rinnalla.

Käänteismallinnuksen käyttäminen robotin hitsausradan suunnittelussa parantaa laatua merkittävästi. Hitsausrata on kappalekohtainen, joka pienentää hitsausvälyksiä ja a-mittoja. Pienemmät a-mitat mahdollistavat muodonmuutosten paremman hallinnan. Ilman käänteismallinnusta hitsisaumat ylimitoitetaan, koska todellisissa kappaleissa hitsisaumat eivät osu tavoiteltuun kohtaan. Hitsattujen kokoonpanojen mittatarkkuus paranee, kun hitsausprosessin laatua hallitaan.

Robottien liiketyypit voivat olla joko ympyrä-/kaariliikkeitä tai lineaariliikkeitä. Lineaariliikkeet ovat suorita ratoja, mitkä robotti ajaa. Lineaariliike perustuu tallennettuihin pisteisiin, joissa robotti käy ohjelmaa ajettaessa. Ympyrä-/kaariliikkeissä hyödynnetään robotin niveliä, joita löytyykin yleisimmistä teollisuuden roboteista kuusi kappaletta. Nivelen liikkuminen perustuu ohjelmaan tallennettuihin nivelkulmiin, joihin robotti liikkuu ohjelmaa ajettaessa.

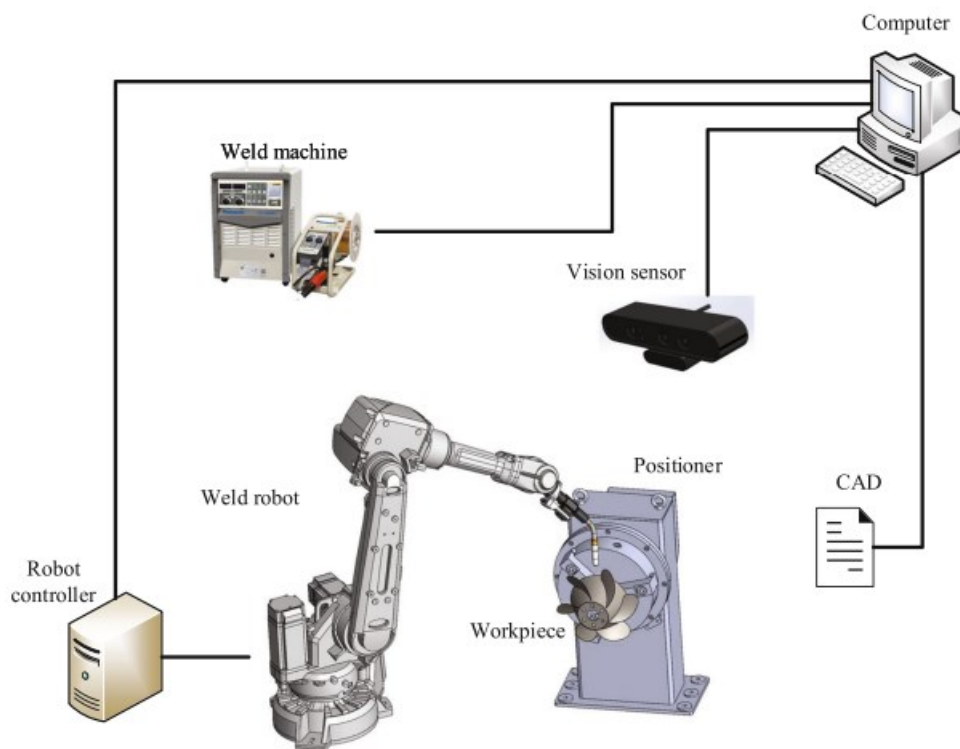
(Välimäki & Niemelä 2023, luku 5.)

Yksi robotin merkittävistä eduista on kyky tuottaa tasalaatuista jälkeä. Hitsauksessa esimerkiksi lineaariliikkeet ovat sille helppo ohjelmoida. Tarvitaan vain aloituspiste, lineaariliike ja lopetus. Tähän vielä robotin liikkeet hitsisauman kohtaan siirtymiseen ja lopetuspisteestä kotiasemaan. Tarvittaessa hitsipillin asentoa voidaan erikseen ohjelmoida kokoonpanon vaatimiin asentoihin. Ohjelmoinnissa on otettava huomioon kaikki edellä mainitut seikat. Tässä opinnäytetyössä hyödynnän RoboGuide WeldPRO -simulointiohjelman, jonka ohjelmointiprosessi eroaa hieman konkreettisen robotin ohjelmoinnista.

3.4 Robotisoidun kokoonpanon prosessikuvaus

Automatisoitu kokoonpano (kuva 7) koostuu kahdesta vaiheesta, jotka ovat offline ja online. Offline-osiossa suunnittelijan on poimittava koko järjestelmän syöttöparametrit (reunakäyrien ohjauspisteet), vastaavanlaisessa suunnitteluohjelmistossa. Nämä parametrit ovat sidoksissa kappaleesta luotuun 3D-malliin, jonka avulla robotin ohjelma muuntuu automaattisesti kappaleen mukaiseksi. Tämän jälkeen 3D-malli muunnetaan pistepilveksi. Tällöin se on ideaali laserkeilaimelle, kun kappaleen asentoa tunnistetaan. (Fang, Ding, Tian, & Zheng 2022, 1641.)

Online-osiossa on kolme vaihetta. Hitsausradan suunnittelu, työkappaleen asennon tunnistus ja robotin ohjelmointi. Hitsausradan suunnittelu perustuu reunakäyrien ohjauspisteisiin. Ohjelmisto käyttää reunakäyristä saatua dataa hitsausradan ja hitsipillin asennon luomiseen. Tämän jälkeen laserkeilain mittaa kappaleen pistepilven avulla ja paikoittaa sen oikeaan kohtaan. Laserkeilaimesta saatu koordinaattitieto siirtyy hitsausrobotille, joka silloitushitsaa osat yhteen. (Fang, Ding, Tian, & Zheng 2022, 1641.)



Kuva 7. Robotisoidun kokoonpanon prosessikuvaus.

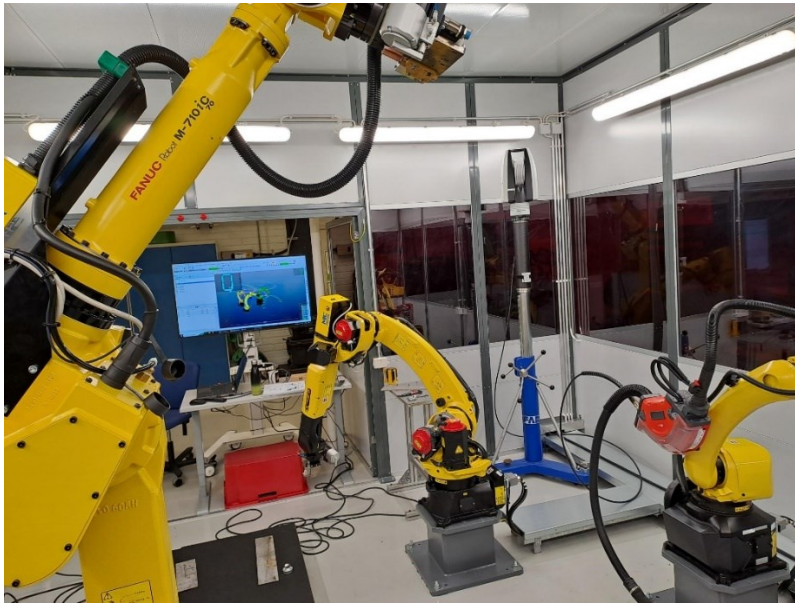
4 Karelian robottisolu

4.1 Karelian robottisolun toiminta

Hitsaavan robottisolun toiminta Karelialla on monen robotin yhteistyötä. Konenäktyökalua pitävä robotti kuvaa osat ennen kokoonpanoa ja viestii, mistä tarttujatyökalun omaava robotti ottaa siitä kiinni. Tarttujarobotit hakevat osat ja pitävät niitä paikoillaan. Seuraavaksi hitsaava robotti tulee ja liittää osat yhteen. Valmis kokoonpano muodostuu, kun yksi tarttuja pitää tehtyä kokoonpanoa kiinni ja toinen tarttuja hakee seuraavan osan hitsausta varten paikalleen. Lopuksi robotit palaavat kotiasemiin, ja pääkokoonpanoa kiinni pitävä tarttujarobotti vie valmiin kokoonpanon lavalle. Lopputuloksena on erittäin tarkasti tehty kokoonpano.

Karelian robottisolu koostuu neljästä robotista. Joten variaatioita hitsaukseen ja kokoonpanoon on yhtä monta kuin ohjelmia kappaleille. Solussa on käytössä 2-tarttuja-, yksi konenäkö- ja yksi hitsausrobotti. Näillä pystytään tekemään paljon

erilaisia kokoonpanoja. Omalle kourukappaleellekin on tehty jo entuudestaan oma ohjelma, joten sitä parannetaan käänteismallinnuksen avulla.



Kuva 8. Robottien kalibrointia Karelian robottisolussa laserkeilaimen avulla.

Karelia-ammattikorkeakoulun konetekniikan laboratorioihin on rakennettu Teollisuus 4.0 -viitekehityksen mukainen, älykkääseen robotiikkaan, mittaamiseen, simulaatioihin, virtualisaatioon ja digitalisaatioon perustuva tuotannollinen koeympäristö (kuva 8). Koeympäristöön on rakennettu neljän Fanuc teollisuusrobotin ympärille mittaohjautuva MAP-tuotantokoesolu (MAP-cell, Metrology Assisted Production cell) hitsattujen ja koneistettujen rakenteiden valmistukseen. Karelian ratkaisu yhdistää konenäkökamera-prosessin, laserkeilauksen, robotisoidun kokoonpanon kokoonpantavien osien paikoituksen korjauksella, jigittömän hitsaamisen ja mittaraportoinnin geometrisesti toleroidun mallin päälle yhdeksi automaattiseksi prosessiksi. Solu valmistaa hitsatun ja laserkeilaamalla mitatun kokoonpanon täysin automaattisesti ilman kiinnittimiä. Koesolusta on rakennettu fyysisen valmistusympäristön ja fyysisen valmistusprosessin lisäksi simulaatioympäristöt (Fanuc Roboguide ja Metrologic X4 ja Metrologic Silma ohjelmointiympäristöt). Solun toimintaperiaate on seuraava:

- Operaattori asettaa kokoonpantavat levyosat osat työpöydälle
- Pääkokoonpano robotti 1 poimii pääkokoonpano-osan lavalta 2D konenäkökameralla ja vie osan työalueelle. Pääkokoonpano-osa on kiinni robotin 1 tarttujassa (magneetti tai 2–3 leuka tarttuja) koko valmistuksen ajan

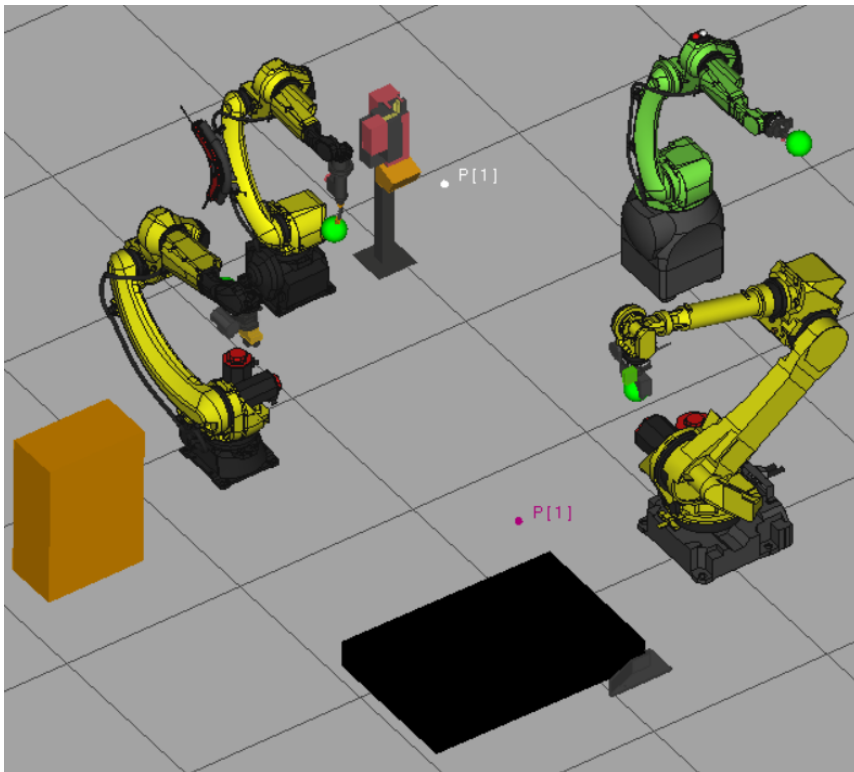
- Karelian Leica laserkeilaimen, laserskanneri kiinnitetään robotin 4 istukkaan manuaalisesti. Jonka jälkeen laserkeilain (majakka) asennetaan suojakopin yläkulmaan.
- Robotti 4 laserkeilaa robotin 1 tarttujassa olevan pääkoonpano-osan työalueella.
- Robotti 2 poimii 2D kamerajärjestelmällä alikoonpano levyosan lavalta konenäköjärjestelmällä ja vie työalueelle.
- Robotti 4 laserkeilaa alikoonpano-osan.
- Pääkoonpano-osan ja alikoonpano-osan laserkeilatuista pistetaistoista lasketaan lopullinen kokoonpano kohta. Alikoonpano-osan paikka korjataan mittaamisen perusteella oikeaan kohtaan, suhteessa pääkoonpano-osaan (kuuden vapausasteen paikoituksen korjaus laserkeilaamisen perusteella, osien geometriset toleranssit sekä koordinaatit yhdistetään suunnitellun mukaiseksi kokoonpanoksi).
- Robotti 3 silloitus hitsaa levyosat kiinni pääkoonpanoon (silloitus ennen viimeistelyhitausta).
- Robotti 2 panostaa loput mitatut alikoonpano-osat pääkoonpanoon
- Robotti 4 laserkeilaa ja korjaa kaikkien alikoonpano-osien paikan suhteessa pääkoonpano osaan
- Robotti 3 silloitus hitsaa osat

Solussa kyetään kokoonpantaville osille laskemaan laserkeilaus datasta kuuden vapausasteen paikoituksen korjaus kokoonpantavien osien todelliselle tarkalle paikoitukselle. Prosessi ottaa tällöin huomioon kappaleiden valmistuksesta johtuvien mittamuutoksien aiheuttaman hajonnan ja kompensoi kokoonpanoprosessin kappalekohtaiseksi. Samalla kappaleista ja kokoonpanon muodostumisesta syntyy mittaraportit sekä päästään havainnoimaan valmistus- ja kokoonpanoprosessin virhelähteitä. Laserkeilausdataa kyetään myös lisäksi käyttämään kappalekohtaisten hitsausratojen laskemiseen. Tässä opinnäytetyössä Karelia on antanut selvitettäväksi ja kokeellisesti testattavaksi, miten käänteismallinnustyökaluja voidaan hyödyntää kappalekohtaisten hitsausrobotiratojen tekemisessä. Kappalekohtaiset hitsausradat on merkittävä kehitysaskel hitsausprosessin kehittämisessä. Laserleikatuissa ja taivutetuissa levyosissa, joista tehdään hitsattuja kokoonpanoja, on aina valmistusteknistä hajontaa, joka tulisi kyetä ottamaan hitsaus ja kokoonpano prosessissa. Käänteismallintamisen

avulla voidaan hakea ratkaisua kappalekohtaisten hitsausratojen generoimiseen. (Väyrynen 2024.)

4.2 Animaatio-ohjelma robotin ohjelmoinnin tukena

Robottisolun ohjelmointi suoritetaan käyttäen käsiohjainta tai tietokonetta. Nykyään ohjelmointia helpottaa markkinoille tulleet animaatio-ohjelmat (kuva 9), joissa robotin toiminnan näkee virtuaalisesti. Tämä onkin hyvä vaihtoehto niille yrityksille, jotka eivät vielä tiedä pystytäänkö heidän tuotantoansa tehostamaan automaation avulla. Animaatio-ohjelmassa voidaan luoda robotille ohjelma, jossa se käsittelee kappaleen esimerkiksi hitsaten, hioten tai tarttuen. Tällä tavoin nähdään ennen varsinaisia robottihankintoja robotin kyvykkyys toimia eri prosesseissa.



Kuva 9. Karelian robottisolu Roboguide WeldProssa

Animaatio-ohjelman avulla tehty robotin ohjelmointi eroaa kuitenkin merkittävästi oikean robotin käytöstä, joten sitä ei voi täysin verrata oikean robotin ohjelmointiin tai käyttöön. Esimerkiksi animaatio-ohjelman käytössä ei tule esille robotin todellisen toimintaympäristön vaatimia viiveaikoja eikä mahdollisia törmäyksiä.

Animaatio-ohjelmiin voi luoda omia 3D-malleja joko erillisellä mallinnusohjelmalla tai hyödyntämällä suoraan animaatio-ohjelman sisältä löytyviä työkaluja. Monimutkaiset mallit kannattaa luoda siihen tarkoitetuilla ohjelmilla. Näitä malleja voivat olla esimerkiksi hitsausta vaativat levykokoontimet tai robotin käsittelyä vaativat koneenosat. Linjastossa kulkevat paketit, joiden käsittelyyn käytetään robottia, on helpompi luoda suoraan animaatio-ohjelmalla. Yksinkertaiset muodot on helppo mallintaa animaatio-ohjelmalla, eikä niitä tarvitse siirtää toisesta 3D-mallinnusohjelmasta. Tässä opinnäytetyössä käytetään Fanucin Weldpro-animaatio-ohjelmistoa ja mallit tehdään Ansys SpaceClaimin ja Creo6:n avulla.

4.3 Automaation käsiohjain

Käsiohjaimen pääasialliset käyttökohteet ovat ohjelmointi, robotin tilan tarkistaminen (I/O-asento), robotin liikuttaminen sitä ohjelmoitaessa sekä vikatilanteissa, joissa robotin siirtäminen turvalliseen asentoon on tarpeen. Käsiohjaimet toimivat samalla periaatteella kaikilla valmistajilla. Ohjainten erot valmistajilla saattavat olla joystickin olemassaolo, kosketusnäyttö, ohjaimen toiminnot, erilaiset napit ja ohjausjärjestelmien erot. (Välimäki & Niemelä 2023, luku 5.)

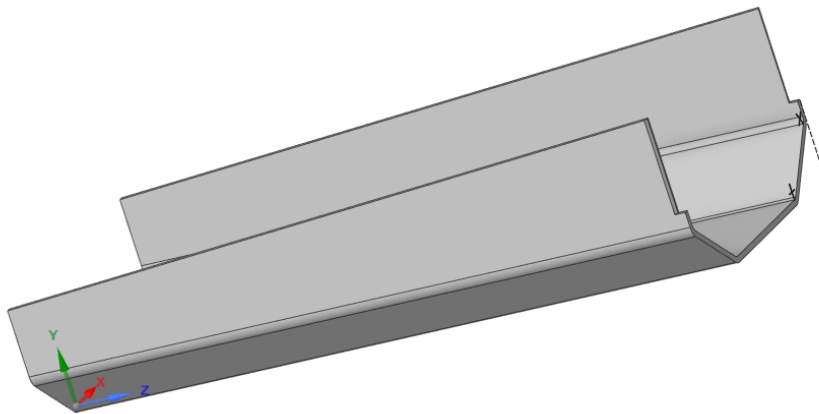
Robotin käyttöohjelma luodaan käsiohjaimella antamalla liikekäskyjä ja määrittelemällä "touch up" -pisteitä. Pisteet tallentuvat ohjelmaan ja niistä muodostuu pistesarja eli ajettava käyttöohjelma. Pisteisiin usein lisätään toimintoja. Tartuntakäskyt ja irrotuskäskyt ohjelmoidaan pisteisiin erikseen. Hitsausrobottia käytettäessä liikkeet ohjelmoidaan määrittämällä kaksi pistettä. Pisteiden välillä ajetaan tarkka liike hitsausnauman vaatimusten mukaan. Hitsausrobotilla on sama periaate, mutta liikenopeus ja hitsipillin asento ohjelmoidaan sauman mukaan.

5 Robottihitsattava kappale ja tolerointi

5.1 Kouru- ja etupääkappale

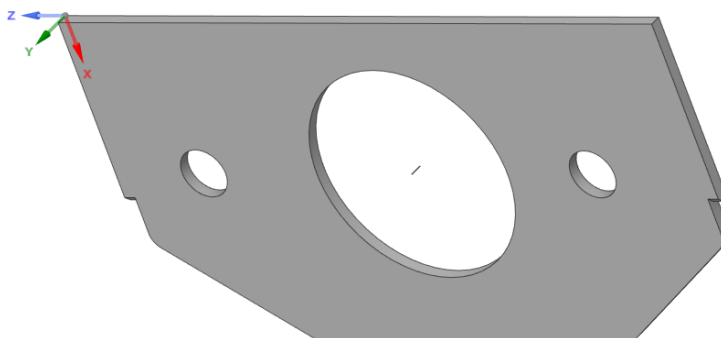
Opinnäytetyössä käännteismallinnukseen käytetään kahta osaa, jotka ovat kouru (kuva 10) ja etupääkappale (kuva 11). Kappaleet ja niistä luotu kokoonpano (kuva 12) on geometrisesti toleroitu.

Ansys
2023 R2

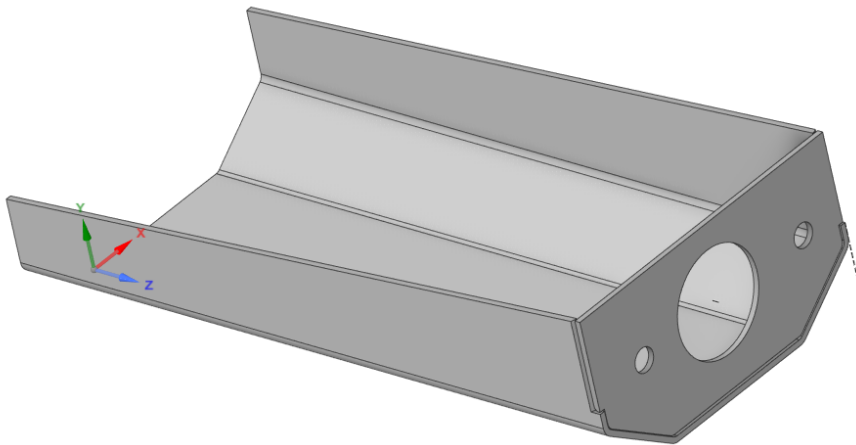


Kuva 10. Kourukappale

Ansys
2023 R2



Kuva 11. Etupääkappale



Kuva 12. Kokoonpano

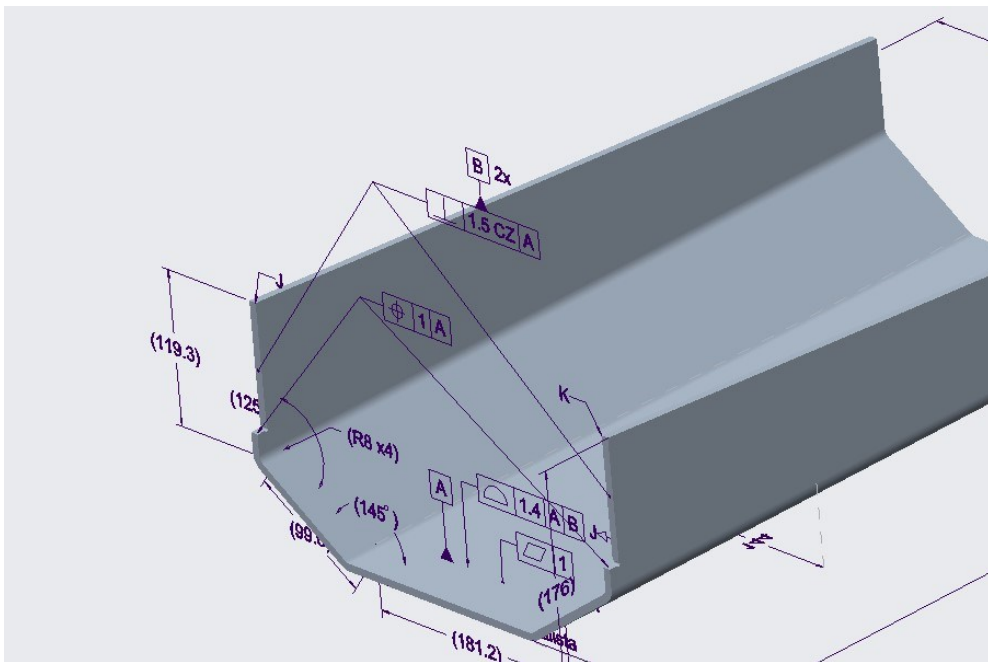
Hitsisaumalle on tehty tilaa tekemällä viisteet kourukappaleen ulkoreunalle ja pieni viiste etupääkappaleeseen. Hitsisauma hitsataan pystysuorille ulkoreunoille ja alareunaan sisäpuolelle. Kappaleilla on yhden millimetrin etäisyys alareunassa, jotta hitsisauma mahtuu väliin.

Kouru- ja päätykappale valmistetaan kuuden millimetrin pellistä. Pelti leikataan plasmalla tai laserilla. Molemmista kappaleista hiotaan leikkauksen jälkeen purseet ja roiskeet pois. Tämän jälkeen kourukappaleeseen tehdään särmäys kahdeksan millimetrin säteellä, jossa on 35° ja 55° kulmat. Viimeistellyt kappaleet hitsataan ja lopullisessa viimeistelyssä hitsauksessa tulleet purseet hiotaan pois.

5.2 Kappaleen tolerointi

Kouru- ja etupääkappale ovat geometrisesti toleroituja standardiluokituksen ISO 1101:2017 mukaan. Näille kappaleille on määritetty suunnitteluvaiheessa nimellisgeometria, mutta esimerkiksi laserleikkaus- ja mittauslaitteiden epätarkkuuden takia valmiista tuotteesta ei saada täsmälleen nimellisgeometriasta. Kappaleiden tulee toimia suunnitellusti, joten niiden mitoille ja muodoille asetetaan toleransseja, eli sallittuja poikkeamia nimellisgeometriasta. (Peltola 2020, 6.)

Mallipohjainen tuotemäärittely MBD on teollisuuden uusi järjestelmä piirustusten korvaamiseksi (Rapinoja 2021, 5). Tässä työssä on hyödynnetty sen tuomia etuja 3D-mallista tehtyihin piirustuksiin (kuva 13). Attribuuttitieto ja Product and manufacturing information (PMI) esitetään 3D-mallissa annotaatioiden avulla (kuva 11). Tuote- ja valmistustiedon PMI esittämiseen käytetään samoja standardoituja merkintätapoja ja symboleita kuin piirustuksissa. Mallin sisältämä attribuuttitieto ei ole näkyvässä 3D-näkymässä, vaan annotaatioiden avulla. Mallipohjaiseen tuotemäärittelyyn on tässä työssä hyödynnetty Creo6 -ohjelmaa.



Kuva 13. Mallipohjainen tuotemäärittely (MBD) kourukappaleesta.

6 Tulokset

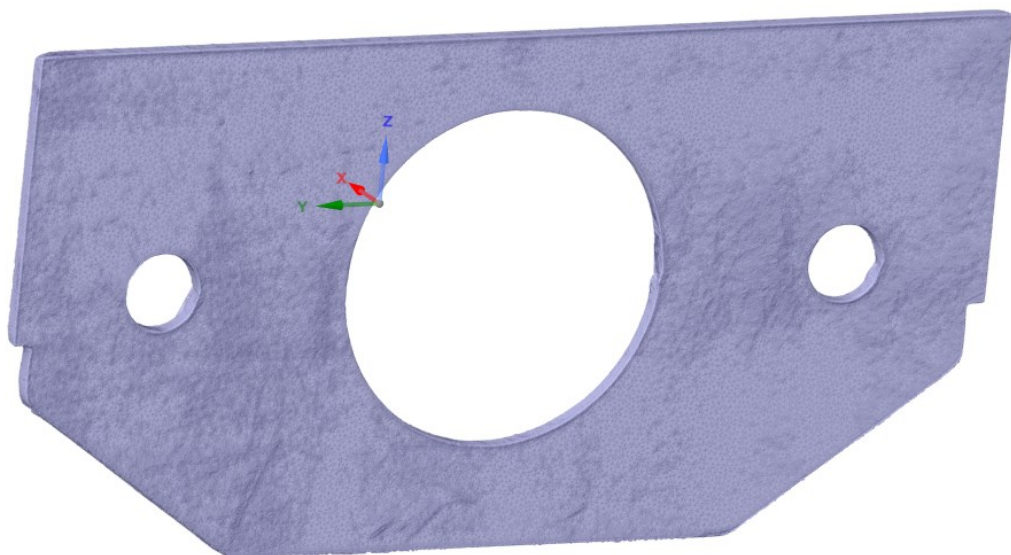
6.1 Laserkeilauksen luoma etupääkappale

Karelia-ammattikorkeakoulun laserjäljittäjä (Leica Absolute Tracker AT960) seuraa laserskannerin (Leica T-Scan5) liikkeitä ja kerää skannausdatan. Tämä data tallennetaan pistepilviksi PolyWorks -ohjelmistoon, joka luo pistepilvestä meshmallin. Mesh-tieto tallennetaan STL-muodossa (kuva 12).

Laserkeilaitussa STL-mallissa oli erilaisia poikkeamia. Reikiä (180 kpl), päällekkäistä kolmioverkkoa, koordinaatisto vinossa ja heijastuspintojen muodostamia vääristymiä. Viat korjattiin Ansys SpaceClaimin -työkalujen avulla. Pintojen korjaamiseen käytettiin ohjelmassa olevaa "autofix facets" -työkalua. Koordinaatiston siirtäminen tehtiin "move"-työkalun avulla.



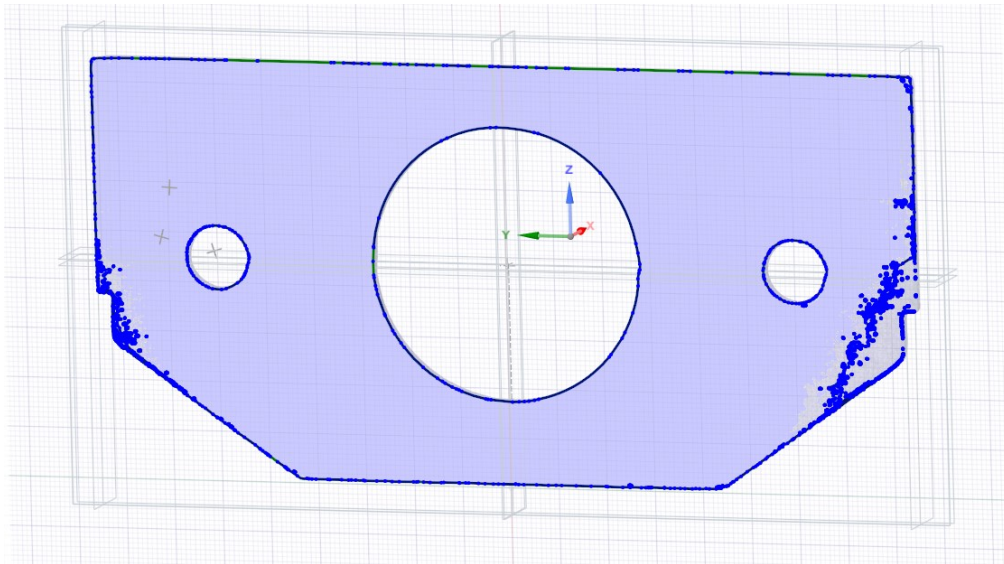
Kuva 14. Etupään STL-malli.



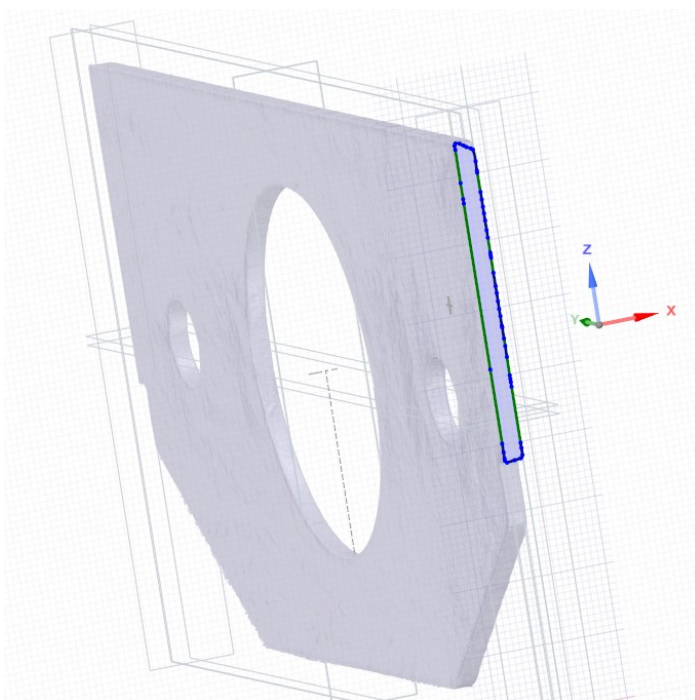
Kuva 15. Etupään STL-malli korjattu versio.

6.2 Käänteismallinnus STL-mallista

Käänteismallinnus korjatusta STL-mallista (kuva 15) tehtiin kappaleeseen asetettujen aputasojen avulla. Taso mallinnetaan riittävän syvälle kappaleen pinnasta reunakäyrän esiin saamiseksi (kuva 14).



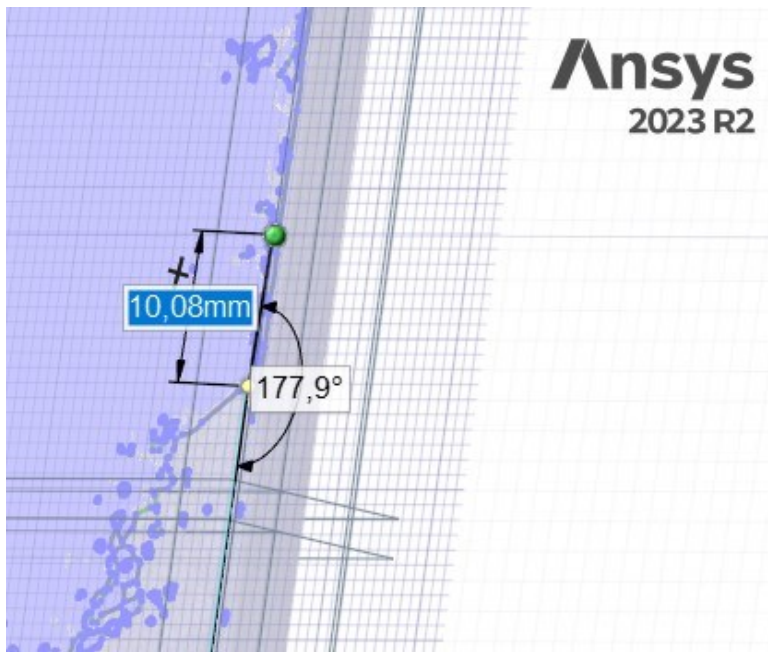
Kuva 16. STL-malliin mallinnettu aputaso etupääkappaleen edestä.



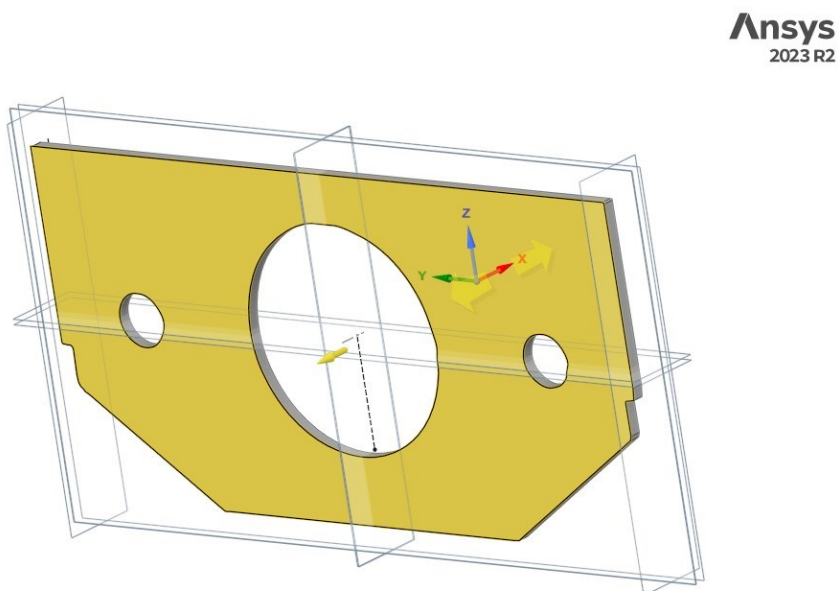
Kuva 17. STL-malliin mallinnettu taso sivulta.

6.3 3D-mallin luominen STL-mallista

Reunakäyrää (kuva 16) mukailleen kappaleeseen mallinetaan viivat ja käyrät (kuva 18). Etupääkappaleeseen tulee kolme erillistä reunakäyrää, joista luodaan hitsausrata. Kaikki reunakäyrät mallinetaan käännteismallinnuksella STL-mallista.

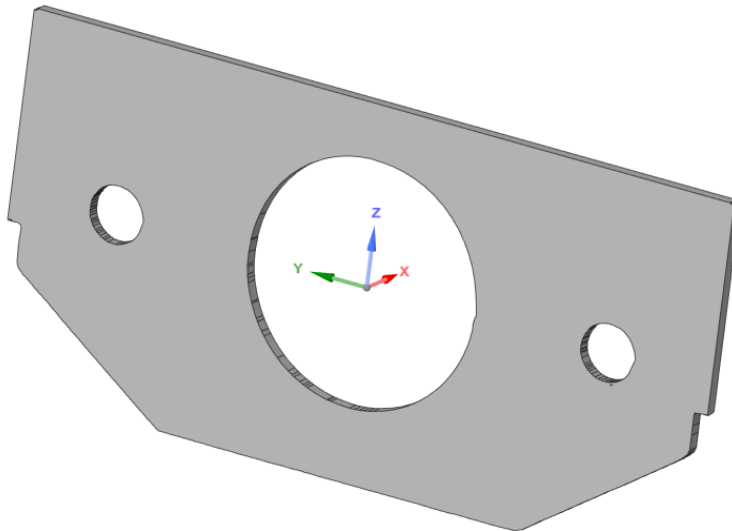


Kuva 18. Reunakäyrää mukailleen mallinnettu viiva.



Kuva 19. Mallinnetun käyrän vetäminen pull-työkalulla lopulliseen solidi-muotoon.

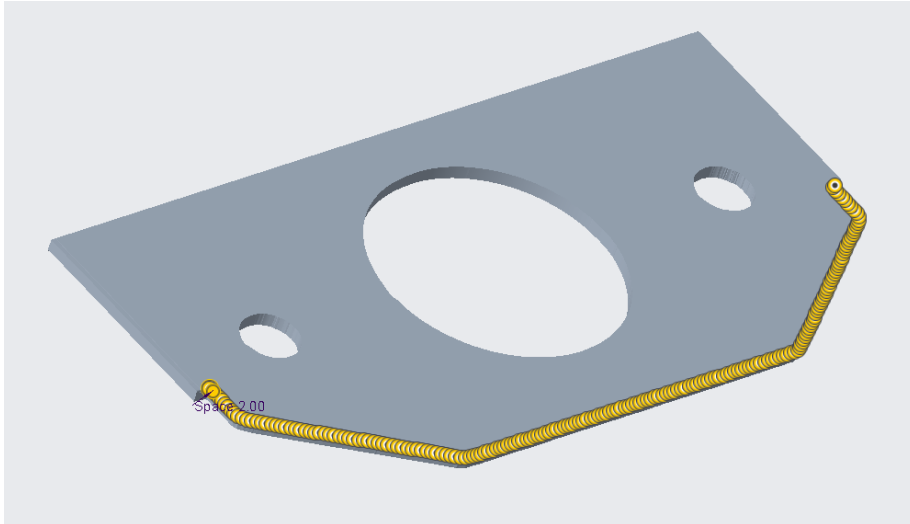
Solidin 3D-mallin tekemiseen STL-mallista tarvittiin mallinnettuja reunakäyrän viivoja ja käyriä. Pull-työkalun avulla (kuva 19) mallinnetuista käyristä saatiin mallinnettua solidi 3D-malli (kuva 20). Mallista tehtiin konkreettisen kappaleen mittoja vastaava eli kuusi millimetriä paksu.



Kuva 20. Etupääkappaleen käänteismallinnettu solidi 3D-malli.

6.4 Reunakäyrän hyödyntäminen hitsausradan luomiseen

Ennen kun kappaletta voi siirtää Roboguide Weldpro -ohjelmaan, kappaleeseen täytyy luoda pistetietoa (kuva 21). Pistetieto mallinnetaan reunakäyrälle Creo6 -ohjelmassa. Pisteet mallinnetaan kahden millimetrin välityksellä toisiinsa. Valmis 3D-malli tallennetaan IGES-versiona, jotta se voidaan siirtää Roboguide Weldpro -ohjelmaan.

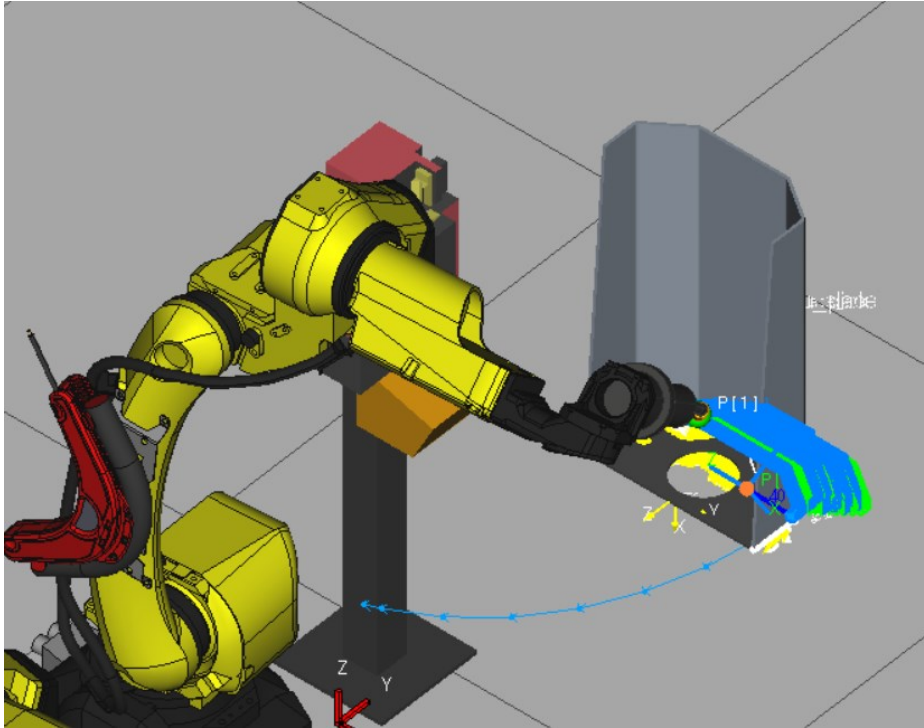


Kuva 21. Creossa mallinnettu pistetieto reunakäyrällä.

6.5 Hitsausradan ajaminen Roboguidessa

Kappale tuodaan Roboguide Weldpro -ohjelmaan IGES-tiedostona. Tiedostoon eli malliin luodut pisteet muokataan ohjelman target group-työkalun avulla koordinaatistoksi. Koordinaatisto on animaatio-ohjelman hitsauspolttimen työkalupiste. Koordinaatistoja muokataan siten, ettei robotti törmää kappaleeseen. Koordinaatistojen asennon avulla määritetään robotin tekemät liikkeet.

Valmiista koordinaattitiedosta luodaan ohjelma, jossa robotin hitsaustyökalun pää saadaan seuraamaan koordinaattien pisteitä (kuva 22). Aloituspisteeseen lisätään lähestyminen ja viimeiseen pisteeseen poistuminen. Käsiohjaimen avulla hitsauksen aloitus- ja lopetuspiste lisätään ohjelmaan. Valmiin ohjelman voi ajaa läpi käsiohjaimen avulla.



Kuva 22. Roboguide Weldpro hitsausrata.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli hyödyntää käänneismallinnusta hitsaavassa robottisolussa. Käänneismallinnuksen hyödynnettävyyttä robottisolussa on tutkittu vähän. Robottien ohjelmoinnissa ei oteta huomioon kappalekohtaisia muuttujia, kuten mitta- ja muodonmuutoksista aiheutuvia vääristymiä. Työn tavoitteena oli onnistuneesti parantaa käänneismallinnuksen avulla robotin ajaman hitsausradan tarkkuutta. Tavoite saavutettiin, ja käänneismallinnuksen voi todeta olevan hyödyllinen hitsaavassa robottisolussa.

Tässä työssä luotu reunakäyrä sisältää kaksi vapausastetta, koska hitsausrataa varten luotu malli on tasomainen. Kolmas vapausaste antaisi lisää tarkkuutta hitsaukseen. Yhteen hitsattavien osien etupää- ja kourukappaleen hitsaamiseen käänneismallinnus kahdella vapausasteella soveltuu hyvin, koska kolmas vapausaste ei ole niin olennainen. Taso tehtiin yhden millimetrin syvyyteen STL-malliin, josta 3D-malli luotiin. Hitsauslangan pituus vaihtelee hitsauksen aikana. Millimetrin sisäinen heitto kappaleen pinnassa ei vaikuta tässä työssä käytettävien kappaleiden laatuun merkittävästi, koska kappaleet ovat pienempiä. Tällä tavoin käytettynä käänneismallinnuksesta ei olisi niin paljoa hyötyä isommissa

hitsauskokoönpanoissa, joissa muodonmuutokset ja kappaleen mittavirheet vaikuttavat reunakäyrän tarkkuuteen.

Karelialla käytetty robottisolu on aikaansa edellä ja saadut tulokset tästä työstä vievät ajattelua kappalekohtaisesta hitsauksesta vieläkin eteenpäin. Tulokset toimivat hyvänä pohjana jatkokehittää älykkäämpiä ja adaptiivisia kappalekohtaisia valmistusprosesseja. Tulevaa kehitystä aiheeseen saadaan, kun hitsausrata ja siihen käytettävä reunakäyrä luotaisiin kolmella vapausasteella.

Isossa kuvassa tämä työ on pieni yksityiskohta tuotantoketjun sisällä. Kehityksen näkökulmasta työ onnistui. Robottihitsaukseen liitetyt aiheet käytiin johdonmukaisesti läpi. Konenäköä hyödyntäen tehty käänteismallinnus oli isoin osa tätä työtä, joten sen käsittely oli perusteellisempi. Robottihitsaus ja animaatio-ohjelma käsiteltiin käänteismallinnuksen hyödyntämisen näkökulmasta. Lopputulokseen olen tyytyväinen, ja tätä aihetta on mahdollista kehittää eteenpäin.

Lähteet

- Ansys. 2021. Reverse engineering brochure 2021. <https://www.ansys.com/content/dam/product/3d-design/spaceclaim/ansyspaceclaim-reverse-engineering-brochure.pdf>. 6.12.2023
- Estler, W., Edmundson, K., Peggs, G & Parker, D. 2002. Large-Scale Metrology - An Update. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607617028> 11.12.2023
- Fang, W., Ding, L., Tian, X. & Zheng, F. 2022. A robot welding path planning and automatic programming method for open impeller. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-022-10415-9#Sec2> 11.12.2023
- Jianbin, X. 2018 Integration of CAD/CAPP/CAM. Berliini Saksa, De Gruyter, Inc. E-Book central. 2.12.2023
- Karelia. 2023. Tutustu meihin <https://www.karelia.fi/tutustu-meihin/> 10.12.2023
- Lynghby, R. 2019. Autonomous Optical Inspection of Large Scale Freeform Surfaces. Technical University of Denmark. Sovelletun matematiikan ja tietojenkäsittelytieteen laitos. <https://orbit.dtu.dk/en/publications/autonomous-optical-inspection-of-large-scale-freeform-surfaces> 10.2.2024
- Peltola, J. 2020. Koneistettavan kappaleen mallipohjainen tuotemääritys. Tampereen yliopisto. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/122954/Peltola-Jaakko.pdf?sequence=2&isAllowed=y> 15.2.2024
- Rapinoja, J-P. 2021. Opastusta mallipohjaisen tuotemäärityksen (MBD) käyttöön. <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/12/MBD-opas.pdf> 4.2.2024
- Son, S., Park, H. & Lee, K. 2002. Automated laser scanning system for reverse engineering and inspection. International Journal of Machine Tools & Manufacture. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695502000305> 5.2.2024
- Taylor, R. & Zienkiewicz, O. 2013 The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. 7. painos. Britannia: Butterworth-Heinemann. E-Book Central. 5.12.2023
- Välimäki, K. & Niemelä, M. 2023. Teollisuuden robotiikka. 1. painos. Keuruu: Suomen Robotiikkayhdistys ry. Karelia Finna. 12.12.2023
- Väyrynen, J. 2024. Opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. 19.1.2024
- Wang, W. 2010. Reverse Engineering: Technology of Reinvention. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/pkamk-ebooks/detail.action?docID=581727> 5.1.2024