

Kimmo Itäpää

Hitsausrobotin käyttöasteen parantaminen

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikan ko.

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatiotekniikka

Tekijä: Kimmo Itäpää

Työn nimi: Hitsausrobotin käyttöasteen parantaminen

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2021 Sivumäärä: 35 Liitteiden lukumäärä: 0

Työn toimeksiantaja oli Riikonen Group Oy, joka on Kihniössä toimiva metalliteollisuuden laitetoimittaja, joka tarjoaa asiakkailleen järjestelmätoimituksia mukaan lukien hitsaus-, koneistus- ja polttoleikkausvalmistusta, pintakäsittelyä sekä niihin liittyviä mekaanisia ja sähköisiä kokoonpanopalveluita. Työn tarkoituksena oli löytää ratkaisuja yrityksen hitsausrobotin tekemien hitsauspalkojen laadun parantamiseksi.

Työ aloitettiin kartoittamalla eri tuotteiden ongelmakohtia, jonka jälkeen tutkittiin jo silloitusvaiheessa mahdollisesti syntyviä virheitä. Työssä tehtiin myös 3-D-malli helpottamaan suunnittelua uuden tuotteen kiinnitykseen hitsausrobotille, mutta kiinnityksen suunnittelu jätettiin kesken, koska tuote tullaan valmistamaan tulevaisuudessa muualla. Lisäksi tehtiin myös muutama testikappale, joilla pyrittiin selvittämään vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa hitsipalkojen hitsaus.

Lopputuloksena saatiin valmistuserä tuotteita, joiden hitsausohjelmia muokattiin, ja jotka pääsivät läpi ultraäänitarkastuksesta, mutta joiden pintapalkoa piti korjata. Lisäksi työn aikana kertyi osaamista hitsausrobotin ohjelmoinnista.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: Seinäjoki University of Applied Sciences

Degree programme: Automation

Specialisation: Machine automation

Author/s: Kimmo Itäpää

Title of thesis: Increasing welding machine's utilization.

Supervisor(s): Jarkko Pakkanen

Year: 2021 Number of pages: 35 Number of appendices: 0

Subject of the thesis was given by Riikonen Group Oy, which is a metal industry machine supplier which provides system deliveries to its customers, including welding, machining and flame-cutting manufacturing, surface finishing and also mechanical and electrical assembly services related to them. The purpose of the thesis was to find solutions for improving the quality of welding beads that are made by the company's welding robot.

Project was started by mapping out problems in various products. After that imperfections of tack welding phase were investigated. 3D model of new product was also created to make it easier to design fixture for welding robot, but it was dropped out. A few test pieces were made to examine alternative ways for executing bead welding.

As an end result batch of products were made, which passed the ultrasonic inspection, but surface run needed fixing.

Keywords: welding bead, tack welding, ultrasonic inspection, surface bead, welding program

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ	3
Kuva- ja taulukkoluettelo	4
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 Johdanto	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Työn tavoite	7
1.3 Työn rakenne	7
1.4 Yrityksen esittely	7
2 MIG/MAG-hitsaus	9
2.1 MIG/MAG hitsauksen periaate	9
2.2 Hitsausvirheet	12
2.3 Robottihitsaus	13
3 Robotin ohjelmointi.....	15
3.1 Robotin osia	15
3.2 Robotin peruskäskyt.....	17
4 Hitsausrobotin käyttöasteen parantaminen – case Riikonen Group Oy	19
4.1 Esiselvitys	19
4.2 Hitsausjigin ja kiinnityksen suunnittelu	19
4.3 Robottiohjelmien muokkaus ja työohjeen tekeminen	21
4.4 Testikappaleiden valmistus ja hitsausohjelmien teko	22
5 Yhteenveto ja pohdinta	34
LÄHTEET	35

Kuva- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. MIG/MAG-hitsauksen periaate (Ionix, 2020).....	9
Kuva 2. 3-akselinen robottiportaali (Direct industry, 2021).....	13
Kuva 3. Käsivarsirobotti lineaariradalla (KUKA, 2021).	14
Kuva 4. Ohjausyksikkö (Motoman -ohjekirja).	15
Kuva 5. Käyttöpaneeli (Motoman -ohjekirja)	15
Kuva 6. Ohjauspaneeli (Motoman -ohjekirja).	16
Kuva 7. Silloitettu etulevy	20
Kuva 8. 3D-malli etulevystä 1.....	20
Kuva 9. 3D-malli etulevystä 2.....	21
Kuva 10. Testikappale 1, ylälevyn taivutuskuva	22
Kuva 11. Testikappale 1, pohjanlevyn mittakuva	23
Kuva 12. Testikappale 1, oikea reuna	24
Kuva 13. Testikappale 1, edestä.....	25
Kuva 14. Testikappale 1, vasen reuna	25
Kuva 15. Testikappale 2, vasen reuna	26
Kuva 16. Testikappale 2, edestä.....	26
Kuva 17. Testikappale 2, oikea reuna	27
Kuva 18. Testikappale 3, vasen reuna	27
Kuva 19. Testikappale 3, edestä.....	28
Kuva 20. Testikappale 3, oikea reuna	28

Kuva 21. Testikappale 4, oikea reuna	29
Kuva 22. Testikappale 4, edestä.....	29
Kuva 23. Testikappale 4 vasen reuna	30
Kuva 24. Testikappale 2, ylälevyn mittakuva	31
Kuva 25. Testikappale 2, pohjalevyn mittakuva	32
Kuva 26. Testikappale 5, silloitushitsattu	33
Kuva 27. Testikappale 5, sivusta	33
Taulukko 1. Liikekäskyt.....	17
Taulukko. 2 Kontrollikäskyt	18
Taulukko. 3 Testikappaleiden virhetaulukko	30

Käytetyt termit ja lyhenteet

a-mitta	Ideaalisen tasakylkisen pienahitsin korkeus, jonka suunnittelija määrittelee.
Hitsausjigi	Silloitushitsausta tai varsinaista hitsausta varten valmistettu kiinnitin.
Hitsausparametrit	Tiedot, jotka tarvitaan tietyn hitsausmenetelmän suorittamiseen.
Hitsipalko	Yhdellä kerralla työkappaleen päästä päähän hitsatessa muodostuva hitsaustulos.
Hitsirailo	Yhteen hitsattavien osien väliin jäävä, hitsattava tila
Pintapalko	Palko, joka jää hitsin pintaan.
Silloitushitsaus	Rakenteiden hitsaus lyhyillä siltahitseillä ennen varsinaista hitsausta.
Tunkeuma	Hitsin osa, joka on tunkeutunut perusaineen sisälle.
Välipalko	Palko, joka hitsataan pohjapalon ja pintapalon väliin.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Riikonen Group Oy:llä on käytössään Kihniössä Motoman-hitsausrobotti, jota käytetään useiden erilaisten tuotteiden saumojen hitsaamiseen. Hitsausaumojen laatu vaihtelee, minkä takia kappaleita joudutaan korjaamaan viimeistelyvaiheessa, mikä taas hidastaa kappaleiden valmistumista.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli löytää ratkaisuja yrityksen hitsausrobotin tekemän hitsausaumojen laadun parantamiseksi. Työssä tutkittiin, onko mahdollista parantaa saumojen laatua muokkaamalla robotin hitsausohjelmia vai pitääkö jotain muuttaa jo silloitushitsauksen aikana tai osien esivalmisteluvaiheissa.

1.3 Työn rakenne

Työn rakenne koostuu teoriaosasta ja käytännön osuudesta. Ensimmäisessä luvussa on johdanto, jossa käydään läpi työn tausta, tavoite, rakenne ja yrityksen lyhyt esittely. Toisessa luvussa käydään läpi MIG/MAG-hitsauksen pääperiaatteita. Kolmannessa luvussa kerrotaan robotin ohjelmoinnista. Neljännessä luvussa selvitetään tehty työn osuus. Viidennessä luvussa käydään läpi pohdintoja työstä ja parantamiskohteista.

1.4 Yrityksen esittely

Riikonen Group on metalliteollisuuden laitetoimittaja, joka tarjoaa asiakkailleen järjestelmätoimituksia mukaan lukien hitsaus-, koneistus- ja polttoleikkausvalmistusta, pintakäsittelyä sekä niihin liittyviä mekaanisia ja sähköisiä kokoonpanopalveluita.

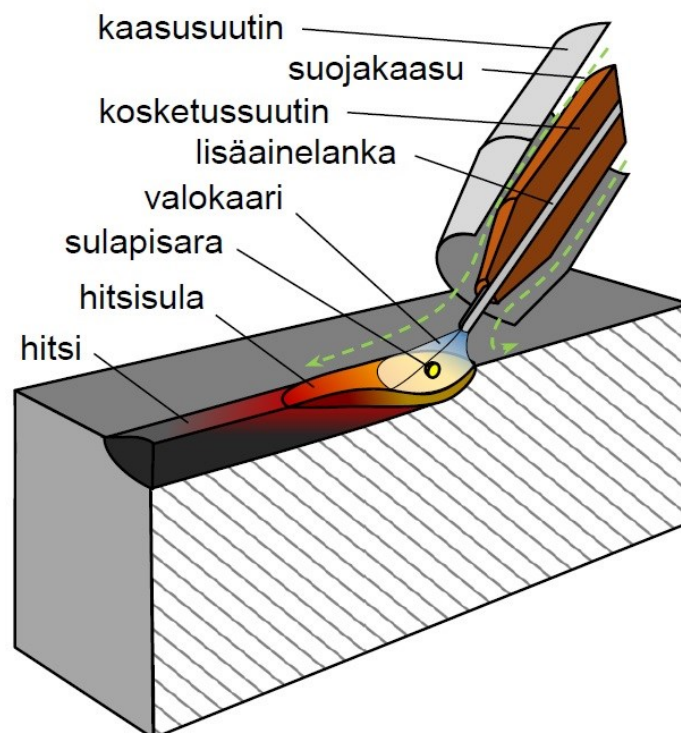
Riikonen Group palvelee asiakkaitaan tarjoamalla osa- ja laitekokonaisuuksia valmiiksi laitteiksi asennettuina. Riikonen Group on osa Tampereen konepajat Oy -konsernia, johon kuuluvat lisäksi myös Lehti Group Oy, Peatmax Oy sekä Metallipalvelu Hartikainen Oy. Riikonen Group Oy on ollut konsernissa vuodesta 2011 lähtien. (Riikonen Group Oy [viitattu 1.3. 2021].)

2 MIG/MAG-hitsaus

2.1 MIG/MAG hitsauksen periaate

MIG/MAG-hitsauksessa eli metallikaasukaarihitsauksessa valokaari palaa suoja-kaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välissä. Sula metalli siirtyy pieninä pisaroina langan päästä hitsisulaan. Langansyöttölaite syöttää tasaisella nopeudella hitsauslankaa hitsauspistoolista valokaareen. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

Lisäaine siirtyy langan päästä hitsisulaan oikosulkusiirtymisenä tai suihkumaisena siirtymisenä. Oikosulkusiirtymisessä langan päästä hitsisulaan siirtyvä pisarat muodostavat hetkellisiä oikosulkuja (noin 30–200 kertaa sekunnissa), suihkumaisessa siirtymisessä lisäaine siirtyy pieninä pisaroina ilman oikosulkuja. Pisarakokoon vaikuttavat hitsausvirta ja -jännite, suojaakaasu sekä perusaineen ja lisäaineen koostumus. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)



Kuva 1. MIG/MAG-hitsauksen periaate (Ionix, [Viitattu 6.1.2021]).

Lyhytkaarihitsauksessa lisäaine siirtyy langan päästä sulaan oikosulkusiirtymisenä. Hitsausvirta on yleensä välillä 65–175 A ja hitsausjännite välillä 15–20 V. Valokaari palaa vain osan ajasta, joten tapahtuma on suhteellisen kylmä. Hitsisula on hyvin hallittavissa pienuutensa takia eri hitsausasennoissa sekä yhdeltä puolelta tapahtuvassa pohjapalon hitsauksessa. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

Sekakaarihitsauksessa aineensiirtyminen on yhdistelmä oikosulkusiirtymistä ja suihkumaista siirtymistä. Hitsausvirta on välillä 180–260 A ja hitsausjännite 20–25 V. Sekakaarihitsausta yleensä vältetään sen roiskeisuuden vuoksi. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

Kuumakaarihitsauksessa hitsausvirran noustessa pisarakoko pienenee ja aineensiirtyminen tapahtuu suihkumaisesti. Hitsausvirta on välillä 250–350 A ja hitsausjännite välillä 25–38 V. Jos kuumakaari on säädetty oikein, hitsin pinnasta tulee sileä ja roiskeita syntyy vähän. Lämmön siirtyminen voi kuitenkin aiheuttaa työkappaleeseen vetelyä. Kuumakaarihitsaus ei sovellu myöskään pohjapalon hitsaamiseen tai asentohitsaamiseen hitsisulan suuren koon vuoksi. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

Pitkäkaarihitsauksessa suojakaasuna toimii hiilidioksidi. Hiilidioksidilla hitsattaessa aineensiirtyminen on ainakin osittain oikosulkusiirtymistä myös suurilla hitsausarvoilla, joten tuloksena on paljon roiskeita ja karkea hitsin pinta. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

Pulssikaarihitsauksessa hitsausvirtaa pulssittamalla aineensiirtymä saadaan suihkumaiseksi, vaikka hitsausvirta olisikin alempana keskimääräisten kuumakaarihitsauksen arvoja. Yleensä pulssitaajuus on välillä 20–400 Hz ja huippuvirta jatkuvalla virralla hitsaukseen verrattuna kaksi kertaa suurempi. Pulssikaarihitsauksessa hitsausnopeus ja hitsiaineentuotanto ovat suurempia kuin lyhytkaarihitsauksessa. Siinä on myös vähemmän kappaleen muodonmuutoksia aiheuttavaa lämmöntuottoa kuin kuumakaarihitsauksessa. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

Suojakaasun tehtävänä on suojata kaaritilaa ja hitsisulaa ympäröivältä ilmalta ja se voi olla joko aktiivinen tai inertti kaasu. Suojakaasu vaikuttaa mm. aineensiirtymistapaan, hitsin tunkeumaan, palon muotoon ja tuottavuuteen. Suojakaasun perusteella hitsausprosessit jaetaan MIG- ja MAG-hitsaukseen. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista suojakaasua (Metal Active Gas), joka reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa, ja joka on tyypillisesti argonin ja hiilidioksidin, argonin ja hapen tai argonin, hapen ja hiilidioksidin seos tai puhdasta hiilidioksidia. MAG-hitsausta käytetään yleisesti rautapohjaisten metallien, kuten hiiliterästen ja ruostumattomien terästen kanssa. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

MIG-hitsauksessa puolestaan suojakaasu on inertti (Metal Inert Gas), eli se ei reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa. Suojakaasuna toimii argon, helium tai näiden seos. MIG-hitsausta käytetään ei-rautapohjaisten metallien, kuten alumiinien ja kuparin hitsaamisessa. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

Virtalähde, langansyöttölaite, monitoimijohto, hitsauspistooli ja maadoituskaapeli ovat laitteiston pääkomponentit. MIG/MAG-hitsaus sopii hyvin käsin hitsaukseen, mekanisoituun hitsaukseen ja myös robotisoituun hitsaukseen. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

MIG/MAG-hitsaukseen soveltuvat seostamattomat, niukkaseosteiset ja ruostumattomat teräkset sekä alumiini-, kupari- ja nikkeliseokset. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

MIG/MAG-hitsauksen etuihin kuuluvat:

- Lisäaineesta ei synny kuonaa
- Tuottavuus on hyvä
- Hitsaus on mahdollista suorittaa kaikissa asennoissa
- Lisäaineen hinta on edullinen
- Hitsausarvojen säätämiseen on monipuoliset mahdollisuudet
- Prosessin mekanisoiminen ja automatisointi on yksinkertaista (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

MIG/MAG-hitsauksen rajoituksia ovat:

- Herkkyys ilmavirtojen vaikutuksille
- Laserhitsauksessa on isompi tunkeuma (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

2.2 Hitsausvirheet

Hitsausvirhe on sanastostandardin SFS 3052 (2020, 20) mukaan ”hitsissä esiintyvä epäjatkuvuus tai poikkeama hitsin oletetusta geometriasta. Hitsausvirheitä ovat esim. halkeamat, vajaa hitsautumissyvyys, huokoisuus ja kuonasulkeumat”.

Hitsausvirhestandardin SFS- 6520-1 (2008, 23) mukaan taas virhe on ”poikkeama ihanteellisesta hitsistä” ja vika ”ei-sallittu virhe”, joka tulee korjata. Hitsiluokka määrittelee, millaiset virheet ovat sallittuja kyseisessä luokassa. Nämä luokat osoitetaan kirjaimilla B, C ja D (standardi SFS-EN ISO 5817 2014).

Hitsausvirheet ovat erilaisia valmistusvirheitä eli ne syntyvät rakenteiden valmistusvaiheessa. Myös aiemmat valmistuksessa syntyneet hitsausvirheet voivat vaikuttaa uusien virheiden syntyyn. Ne heikentävät kappaleiden välistä liitosta, joten niitä pyritään välttämään. Tosin kustannukset, työaika ja työn vaikeus kasvavat yleensä, kun pyritään virheettömyyteen. Hitsausaumojen virheet eivät aina tee niistä käytökelvottomia, jos liitokseen kohdistuvat kuormitukset ja olosuhteet eivät välttämättä sitä vaadi (Lukkari 2001.)

On olemassa myös suomeksi julkaistu kansainvälinen standardi, jossa on määritetty kaikki mahdolliset hitsausvirheet ja jokaiselle virheelle on määritetty oma numerotunnus. Tämä standardi on SFS-EN ISO 6520-1 (2008).

Hitsausvirheet on jaoteltu kuuteen pääryhmään, joissa päätyyppejä on 53 kappaletta ja niiden alatyyppejä on 69 kappaletta. Pääryhmät ovat:

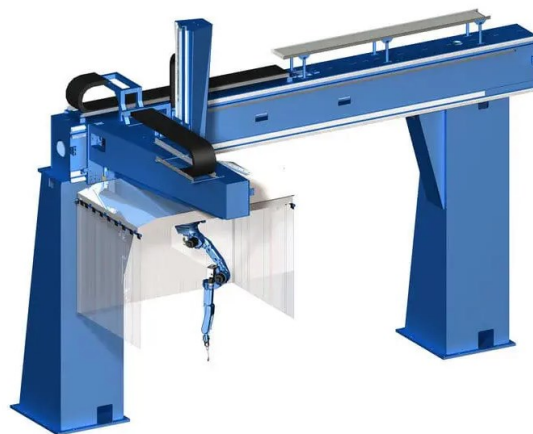
- halkeamat
- ontelot
- sulkeumat
- liittymisvirheet
- muoto- ja mittavirheet
- muut virheet. (Lukkari 2001.)

Hitsaussaumojen NDT-tarkastuksissa käytetään yleensä näitä standardin SFS-EN ISO 6520 mukaisia numerotunnuksia. Hitsausvirheet voidaan jakaa myös karkeasti kolmeen ryhmään, vaikka tätä jakoa ei ole tehty standardeissa:

- muotovirheet
- pintavirheet
- sisäiset virheet.

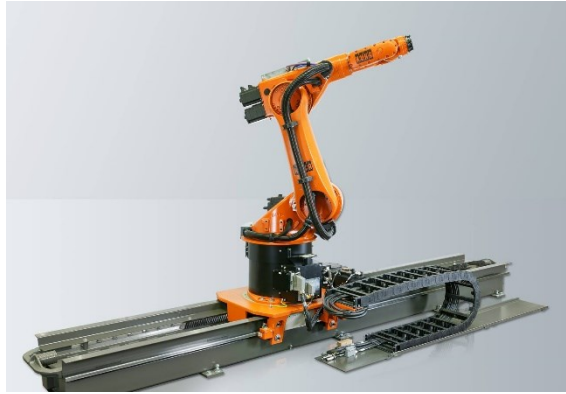
2.3 Robottihitsaus

Robottihitsausta on nimitys, jota yleisesti käytetään automatisoidusta hitsauksesta, jossa käsivarsirobotti kuljettaa hitsauspoltinta hitsauksen aikana. Hitsattava kappale kiinnitetään kiinteään tai liikkuvaan hitsauskiinnittimeen. Liikkuva hitsauskiinnitin voi olla kiinni käsittelylaitteessa, jossa on numeerisesti ohjattavat akselit tai esimerkiksi toinen käsivarsirobotti. Tavallisesti käsivarsirobotti ja käsittelylaite toimivat synkronoidusti keskenään ja myös käsittelylaitteen akseleita ohjataan robotin ohjausjärjestelmällä. Työaluetta voidaan kasvattaa asentamalla käsivarsirobotin käsivarsi lineaariradalle (kuva 3) tai 1–3-akseliseen portaaliin (kuva 2) esim. roikkumaan ylösalaisin. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)



Kuva 2. 3-akselinen robottiportaali (Direct industry, [Viitattu 4.1.2021]).

Yleisesti robottihitsauksessa käytetään hitsausmenetelmänä MIG/MAG-hitsausta, mutta myös TIG-hitsausta, kaarijuottoa, plasmahitsausta, laserhitsausta tai hybridi-hitsausta voidaan käyttää hitsausmenetelmänä (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)).



Kuva 3. Käsivarsirobotti lineaariradalla (KUKA, [Viitattu 4.1.2021]).

Robottihitsaussolun ohjelmoinnin voi tehdä online-ohjelmoinnilla tai etäohjelmointityökalun avulla. Opettamalla ohjelmoinnissa, eli online-ohjelmoinnissa ohjelmointi suoritetaan manuaalisesti liikuttamalla hitsausrobottia sekä käsittelylaitetta robottihitsaussolun sisällä haluttuihin pisteisiin ja tallentamalla pisteiden koordinaatit sekä muut käskyt robotin muistiin. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

Etäohjelmoinnissa, eli offline-ohjelmoinnissa ohjelmointi suoritetaan tietokoneohjelmistolla 3D-ympäristössä, johon työkappaleen 3D-malli sekä hitsaussolun 3D-malli sijoitetaan. Ohjelmointi tapahtuu samalla tavalla, kuin online-ohjelmoinnissa opettamalla robotille ja käsittelylaitteelle liikepisteet ja muut käskyt, mutta robotti voi jatkaa työskentelyä hitsaamossa samalla, kun ohjelmointia suoritetaan tietokoneella. (Ionix, [Viitattu 6.1.2021].)

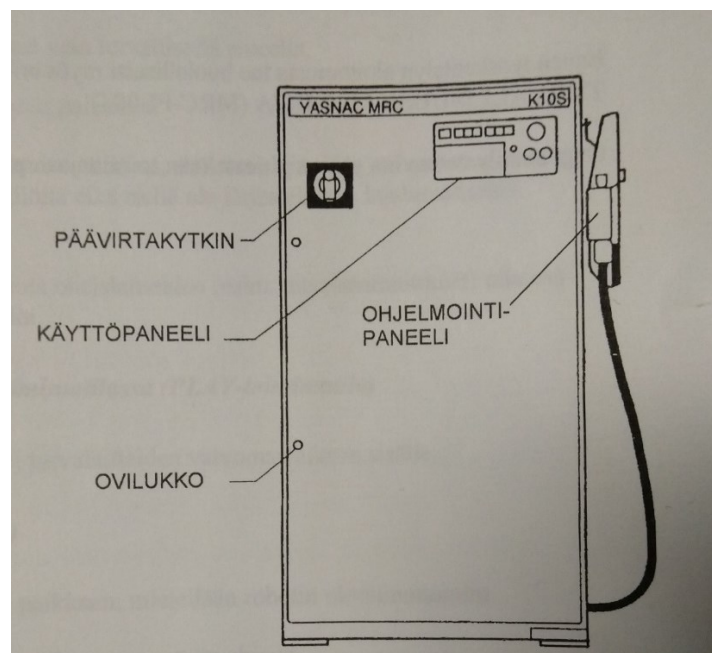
Etäohjelmointiohjelmistoon kannattaa investoida silloin, jos tuotteiden sarjakoot ovat pieniä ja online-ohjelmointiin kuluttaisi liikaa aikaa hitsaussolun varsinaisesta työskentelystä (Ionix, [Viitattu 6.1.2021]).

Automaattista railonseurantaa käytetään lähes aina robottihitsauksessa ja se perustuu joko hitsausjännitteen seurantaan tai suoritetaan konenäön avulla (Ionix, [Viitattu 6.1.2021]).

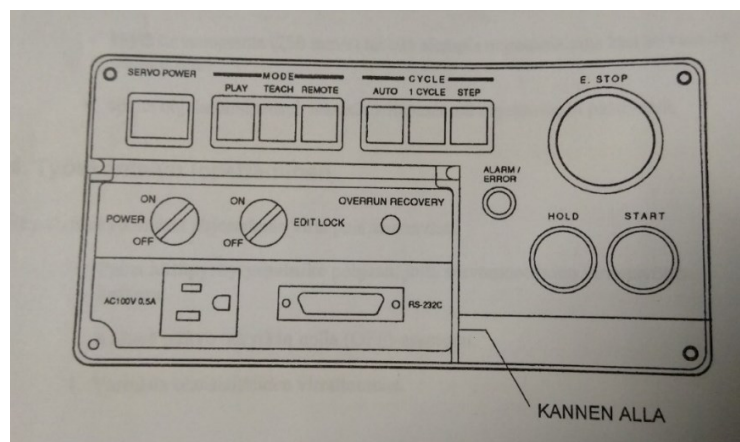
3 Robotin ohjelmointi

3.1 Robotin osia

Robotin pääosiin kuuluvat ohjausyksikkö, käyttöpaneeli ja ohjelmointipaneeli. Käyttöpaneelista suoritetaan ohjelmien ajaminen. Käyttöpaneelista voi valita robotin toimintatilan kolmesta vaihtoehdosta: Ohjelman suoritus (PLAY), ohjelmointi (TEACH) ja kaukokäyttö (REMOTE). (Motoman MRC käyttöohje 2003, 12.)

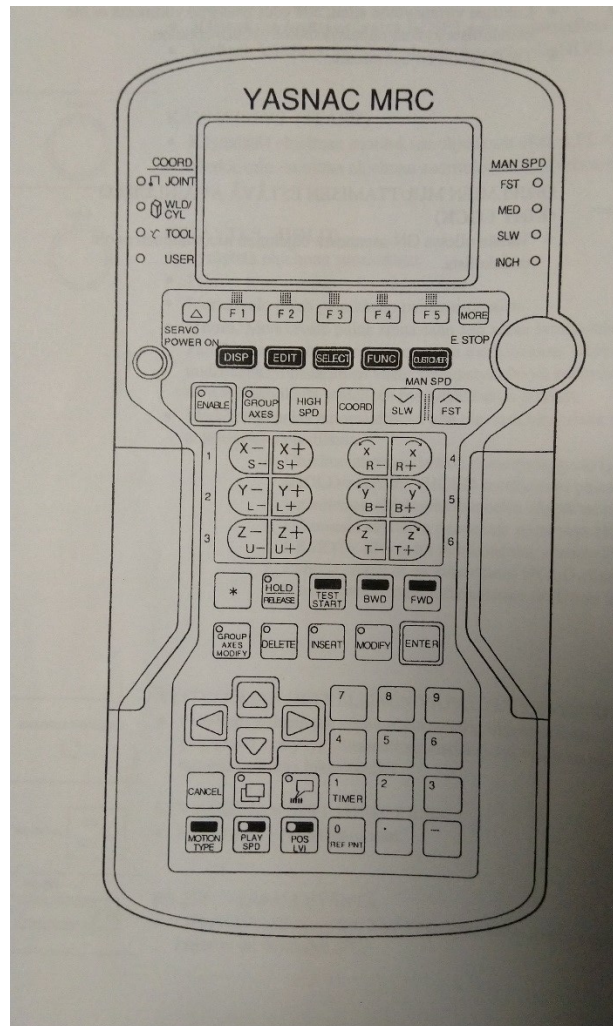


Kuva 4. Ohjausyksikkö (Motoman MRC käyttöohje 2003, 12)



Kuva 5. Käyttöpaneeli (Motoman MRC käyttöohje 2003, 12)

Ohjelmointipaneelilla ohjelmoidaan robotin liikkeet askel kerrallaan, kun robotti on asetettu ohjelmointitilaan. Ohjelmointipaneelit ovat yleensä käsissä pidettäviä hallintalaitteita ja voivat olla langallisia tai langattomia. (PCMag Digital Group, [Viitattu 15.3.2021].)



Kuva 6. Ohjauspaneeli (Motoman MRC käyttöohje 2003, 16)

3.2 Robotin peruskäskyt

Robotin toiminta perustuu ohjelmaan kirjoitetuille käskykomennoille. Seuraaviin luetteluihin 1 ja 2 on merkitty yleisimpiä Motoman-hitsausrobotin peruskäskyjä ja niiden selityksiä.

Luettelo 1. LIIKEKÄSKYT (Motoman MRC käyttöohje 2003, 194)

KÄSKY	SELITYS	LISÄMÄÄREET
MOVJ (Move Joint)	Siirtymäliike ohjelmoituun pisteeseen robotin optimoimina liikkeinä	VJ = liikenopeus prosentteina 0.01–100.0 % PL = paikoitustarkkuus 0–4
MOVL (Move Linear)	Suoraviivainen liike ohjelmoituun pisteeseen käyttäen lineaarista interpolaatiota	V = liikenopeus mm/s (0.1–1500) tai cm/min (0.6–9000) VR = kulmanopeus työkalupisteen ympäri 0.1–180 °/s VE = ulkoisen akselin liikenopeus 0.01–100 %
MOVC (Move Circular)	Ympyräliike ohjelmoituun pisteeseen (vaatii kolme pistettä)	V = liikenopeus mm/s (0.1–1500) tai cm/min (0.6–9000) VR = kulmanopeus työkalupisteen ympäri 0.1–180 °/s VE = ulkoisen akselin liikenopeus 0.01–100 %
REFP (Reference Point)	Referenssipiste (=apupiste)	REFP <numero> (0 - 8) esim. hitsauksen vaaputuksen referenssipisteet

Luettelo 2. KONTROLLIKÄSKYT (Motoman MRC käyttöohje 2003, 197)

KÄSKY	SELITYS	LISÄMÄÄREET
JUMP	Hyppy toiseen ohjelmaan tai tunnukseseen	Tunnus (esim. *123) Job: ohjelman nimi IG#(tuloryhmän nimi) B-muuttuja
CALL	Kutsuu aliohjelman (Siirtyy aliohjelmaan)	Job: aliohjelman nimi IG#(tuloryhmän nimi) B-muuttuja
END	Ohjelman loppukäsky	Ei ole
NOP	Ohjelman aloituskäsky (ensimmäinen rivi)	Ei ole
TIMER	Robotti pysähtyy määrätyksi ajaksi	T=aika (sekunneissa) (vaihteluväli 0.01–655.35 sekuntia)
PAUSE	Robotti pysähtyy ohjelmallisesti (uudelleenkäynnistys START-painikkeesta)	IF + syntaksi
STOP	Robotti pysähtyy ohjelmallisesti katkaisten servovirrat)	IF + syntaksi
IF + syntaksi	JOS-ehto (liittyy muihin ohjeisiin)	vertailuelementti 1, vertailuelementti 2 = yhtäsuurus <> erisuuruus <= pienempi tai yhtä suuri kuin >= suurempi tai yhtä suuri kuin < suurempi kuin > pienempi kuin

4 Hitsausrobotin käyttöasteen parantaminen – case Riikonen Group Oy

4.1 Esiselvitys

Yrityksellä on käytössään kaksi hitsausrobottia, yksi Cloosin ja yksi Motomanin robotti, johon tässä työssä keskitytään. Robotin tyyppi on Motoman SK6 ja kontrolleri Yasnac MRC.

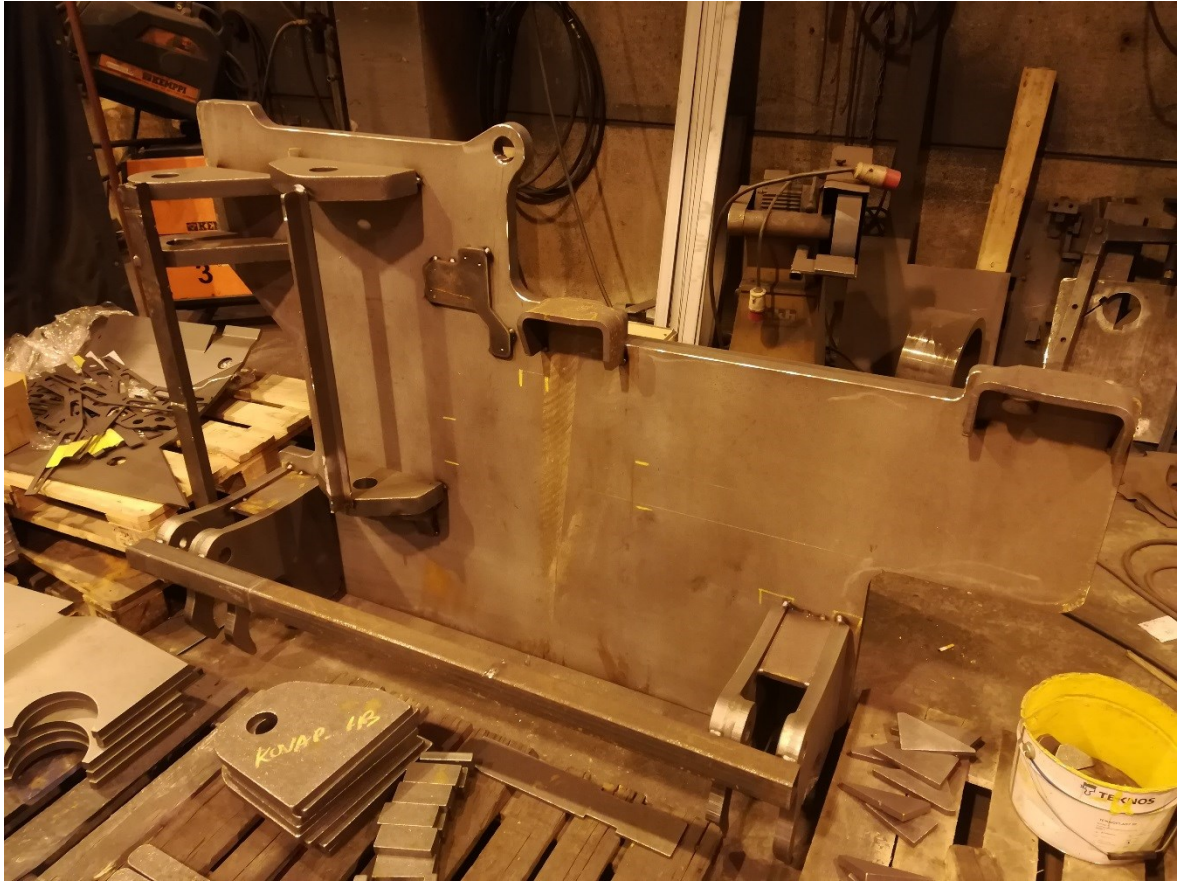
Ensimmäiseksi selvitettiin lähtötilanne. Yrityksen Motoman-robotin railonseuranta poikkeaa välillä hitsattavasta railosta ja robotti hitsaa sauman väärään kohtaan. Railolta poikkeamisia tapahtuu lähinnä ympyräkaaren muotoisilla liikeradoilla, mutta myös osassa V- ja puoli-V-railoissa.

Työssä tutkittiin myös, syntyykö poikkeamia jo silloitushitsausvaiheessa tai polttoleikkauksessa. Polttoleikkeitä mitattiin ja huomattiin n. 1–2 mm:n eroja verrattuna mittakuviin, mikä voi osaltansa vaikuttaa myös robotin hitsauksen laatuun.

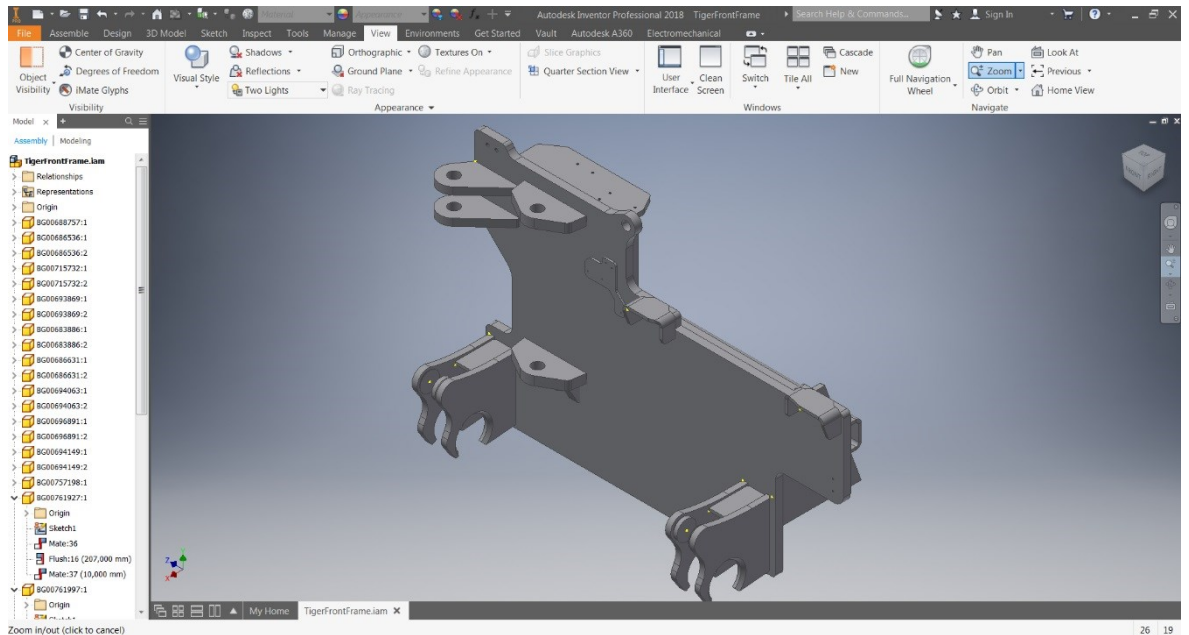
4.2 Hitsausjigin ja kiinnityksen suunnittelu

Ensimmäisenä aloitettiin mallintamaan 3D-malleja tutkittavan tuotteen osista helpottamaan jigien suunnittelua. Mallintamiseen käytettiin Autodesk Inventor 2013 LT -ohjelmistoa, johon yrityksellä on lisenssi. Mallintamisen aikana huomattiin, että Inventorin LT -versiolla voi mallintaa osia, mutta niitä ei voi yhdistää kokoonpanoksi. Etulevy piti siis mallintaa yhtenä osana. Myöhemmin mallinnettiin myös osat erikseen ja tehtiin kokoonpanomalli allekirjoittaneen kotitietokoneella Autodesk Inventor 2018 -opiskelijaversiolla.

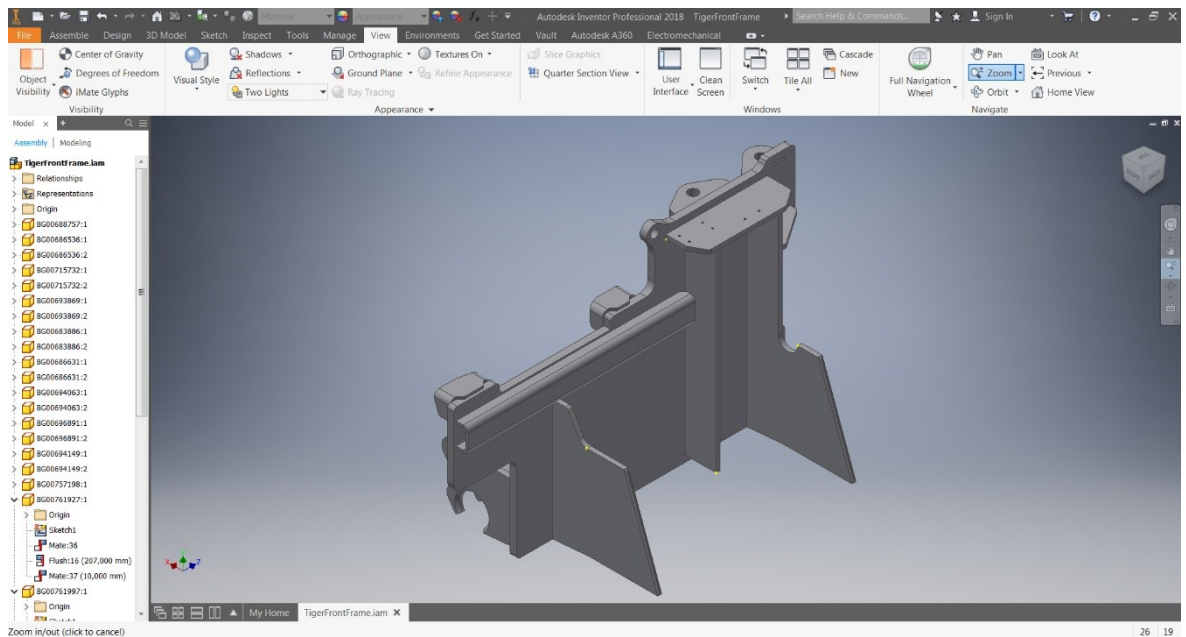
3D-mallilla oli tarkoitus helpottaa kappaleen kiinnityksen suunnittelua robottiin, mutta myöhemmin selvisi, että sen suunnittelu on turhaa, koska Riikosella tehdään vain prototyyppi ja varsinainen tuote ulkomailla. Kuvassa 7 nähdään silloitettu tuote.



Kuva 7. Silloitettu etulevy



Kuva 8. 3D-malli etulevystä 1



Kuva 9. 3D-malli etulevystä 2

Etulevyn mallintamisen jälkeen aloitettiin mallintamaan etulevyn kiinnitysjiä robotia varten. Jigin mallinnus jäi kesken, kun ilmoitettiin, että jatkossa etulevyä valmistetaan muualla ja vain prototyyppikappale kootaan Riikonen Groupissa. Kuvissa 8 ja 9 nähdään tuotteen 3D-malli Autodesk Inventorissa.

4.3 Robottiohjelmien muokkaus ja työohjeen tekeminen

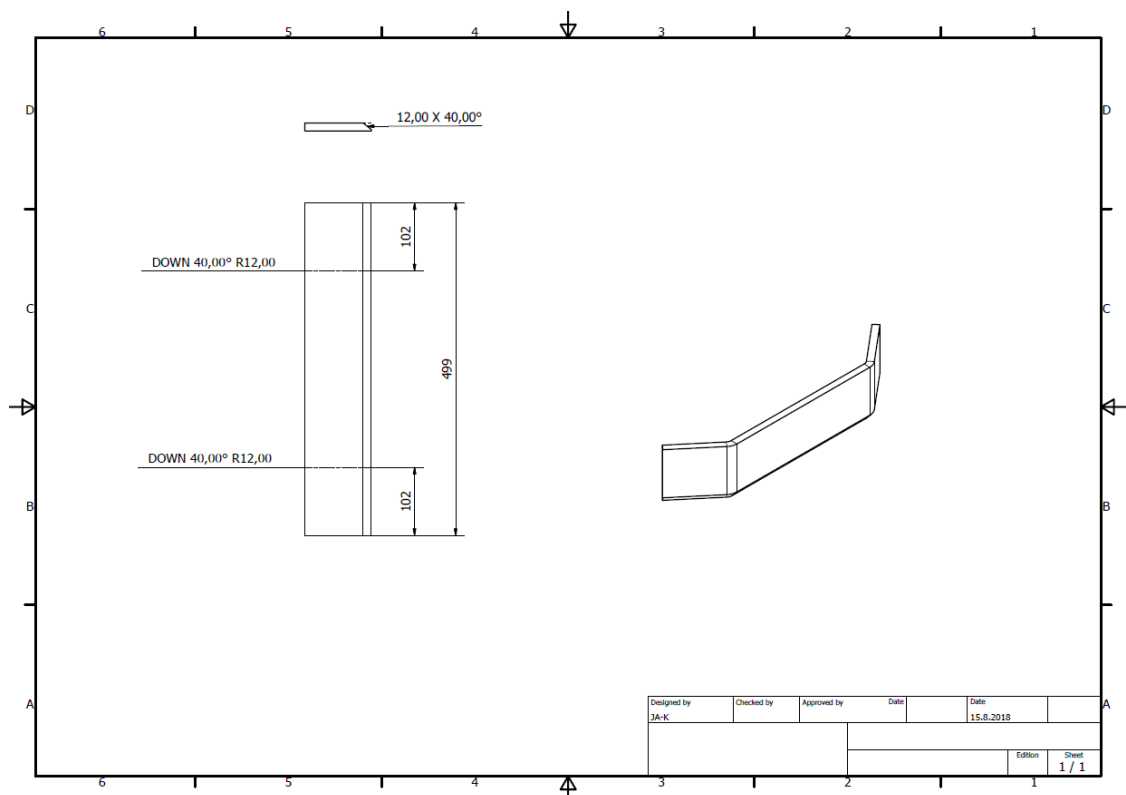
Yrityksellä on ollut ongelmia hitsaussaumojen kanssa erityisesti 8-pyöräisten telien kohdalla. Tällöin päätettiin, että yritetään korjata saumojen laatua muokkaamalla robotilla olevia ohjelmia. Ohjelmia muokattiin, mutta ongelmat korjaantuivat, kun robottiin vaihdettiin uusi taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajalla ohjataan esimerkiksi robotin servomootoreita. Koska taajuusmuuttajan vaihdon jälkeen robotin tekemän hitsaussauman laatu parani, päätettiin kumota ohjelmiin tehdyt muutokset. Muokkauksen jälkeen saatiin tehtyä kuitenkin erä tuotteita, jotka pääsivät läpi ultraäänitarastuksesta. Tuotannon työntekijöillä oli myös toive työohjeen tekemisestä, koska sitä ei ennestään ollut ja kyseistä teliä tehdään hyvin harvoin. Työohjetta ei kuitenkaan tehty ajanpuutteen vuoksi.

4.4 Testikappaleiden valmistus ja hitsausohjelmien teko

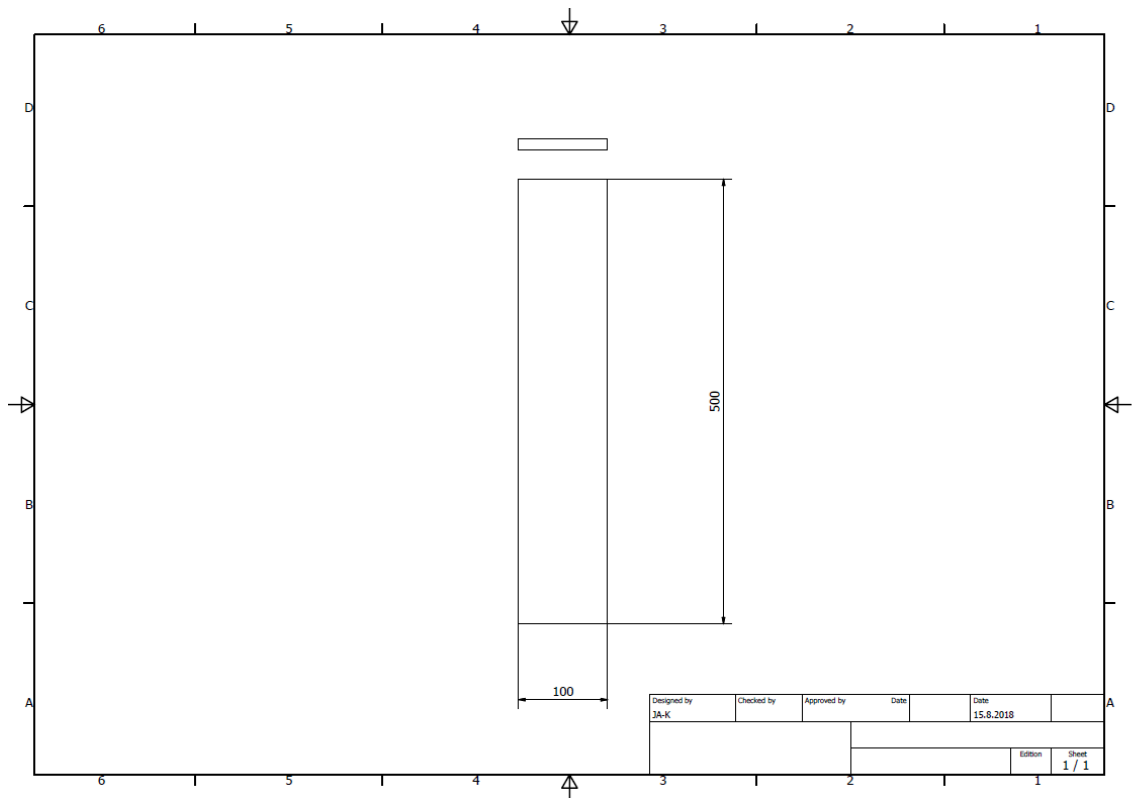
Päätettiin tehdä myös muutama testikappale, joiden avulla saataisiin mahdollisesti löydettyä keinoja hitsausseamujen laadun parantamiseen. Samalla saataisiin koke-
musta myös robottiohjelmien teosta.

Ensimmäiseksi luotiin Autodesk Inventorilla 3D-mallit testikappaleiden osista, joista tehtiin mittakuvat, taivutuskuvat ja DXF-kuvat osien polttoleikkausta varten. Testi-
kappaleiden teossa käytettiin 12 mm:n paksuista S355J2-rakenneterästä. Testikap-
paleella 1 oli tarkoitus testata erilaisia tapoja toteuttaa puoli-V-railojen ja kulmallisten
railojen hitsaus.

Yrityksessä ohjeistettiin jättämään levyjen väliin pieni väli juurituilla, hitsaamaan kä-
sin kappaleen toiselta puolelta railon pohjaa vasten hitsausseama ja avaamalla railo
kulmahiomakoneella paremman tunkeuman saavuttamiseksi. Kuvissa 10 ja 11 näh-
dään ensimmäisen testikappaleen pohjan ja seinän mitta- ja taivutuskuvat.



Kuva 10. Testikappale 1, ylälevyn taivutuskuva



Kuva 11. Testikappale 1, pohjanlevyn mittakuva

Osien pohjaan hitsattiin myös silloitushitsauksella putki, jotta osat saatiin kiinnitettyä pyörityspöydässä olevaan pikakiinnitysstukkaan.

Alla on pieni otos robotille tehdystä ohjelmasta ja kommentteja, mitä osissa ohjelmakomennoissa tapahtuu.

```

0000 000 NOP //Kotipiste
0001 001 MOVJ VJ=50.00 //Nivelliike ja liikenopeus prosentteina
0002 002 MOVJ VJ=100.00
0003 CALL JOB:KATKASU //Kutsutaan langankatkaisuohjelmaa
0004 003 MOVJ VJ=100.00
0005 004 MOVJ VJ=100.00
0006 005 MOVJ VJ=100.00
0007 006 MOVJ VJ=100.00

```


0008	007	MOVJ	VJ=100.00	
0009	008	MOVJ	VJ=25.00	//Liike lähestymispisteeseen
0010	009	REFP	1	//Referenssipisteet, joilla määritetään
0011	010	REFP	2	//railonhakuun ja vaaputukseen tarvittavat
0012	011	REFP	3	//seinät ja railon etenemissuunta
0013		SENSON	COMARC CAF#(3)	//Railonseuranta päälle
0014		ARCON	AC=300 AV=30.0 T0.01 V=7	//Hitsausarvot
0015	012	MOVL		//Railon hitsaus lineaariliikkeellä
0016		SENSOF	COMARC	//Railonseuranta pois päältä

Hitsausrobotin peruskomennot paremmin selitettynä löytyvät tämän opinnäytetyön luvusta 3.

Ensimmäisessä testikappaleessa (kuva 12) oikean reunan hitsaussauman päätepiste olisi saanut olla lähempänä kaarevan kulman keskipistettä. Nyt sauma jäi hieman vajaaksi pituudesta. Havaittavissa oli myös hieman reunahaavaa.



Kuva 12. Testikappale 1, oikea reuna

Testikappaleen edessä (kuva 13) oleva pitkä hitsaussauma oli muuten onnistunut, mutta pintapalon lähtöpiste olisi voinut alkaa lähempänä kaarevan kulman keskipistettä. Saumassa on havaittavissa myös hieman reunahaavaa. Tähän on luultavasti vaikuttanut osaltaan sauman vajaa a-mitta.



Kuva 13. Testikappale 1, edestä

Vasemman reunan (kuva 14) hitsauspalkkojen lopetuspisteitä olisi voinut siirtää myös kauemmaksi, jotta pintapalon lopetus olisi mennyt levyn kulmaan asti. Tässäkin saumassa on havaittavissa hieman reunahaavaa.



Kuva 14. Testikappale 1, vasen reuna

Toisessa testikappaleessa (kuvat 15 ja 16) on havaittavissa samoja ongelmia kuin ensimmäisessäkin. Hitsausnaamojen pituudet ovat jääneet vajaaksi. Hitsausohjelmaa ei muokattu testikappaleiden välissä, joten tämä oli odotettavissa.



Kuva 15. Testikappale 2, vasen reuna

Toisessa testikappaleessa oli kuitenkin myös parannusta ensimmäiseen kappaleeseen. Reunahaavaa ei ollut havaittavissa, koska a-mitta oli tällä kertaa oikea. Hyväksyttävä tämäkään kappale ei kuitenkaan ole.



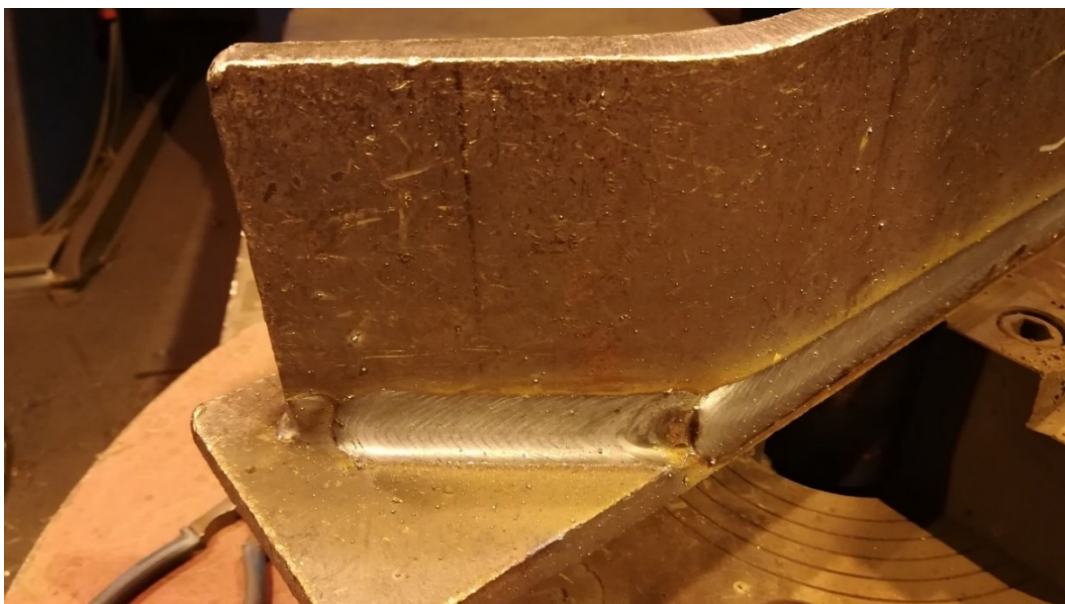
Kuva 16. Testikappale 2, edestä

Toisen testikappaleen oikeassa reunassa (kuva 17) on havaittavissa samat ongelmat kuin ensimmäisessäkin. Sauman pituus on jäänyt vajaaksi. A-mitta on kuitenkin oikea ja reunahaavaa ei ole havaittavissa.



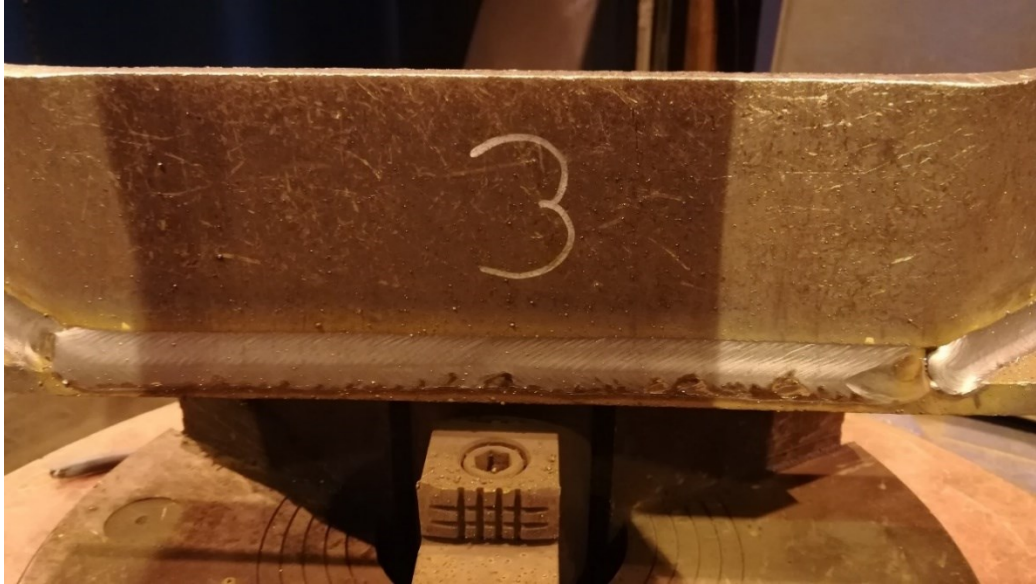
Kuva 17. Testikappale 2, oikea reuna

Kolmatta testikappaletta (kuva 18) vaivaavat samat ongelmat kuin ensimmäistäkin testikappaletta. Vasen reunasauma on jäänyt vajaaksi ja reunahaavaa on havaittavissa. A-mitta vaikuttaa olevan kuitenkin oikea.



Kuva 18. Testikappale 3, vasen reuna

Etusauma kolmannessa kappaleessa on muuten hyvä, mutta reunahaavaa on havaittavissa (kuva 19). Reunahaava voi johtua myös esimerkiksi liian korkeasta käärijännitteestä, virrasta tai liian nopeasta hitsausnopeudesta. Sauman aloituspistettä olisi voinut myös siirtää alkamaan lähempänä pyöreän kulman keskipistettä.



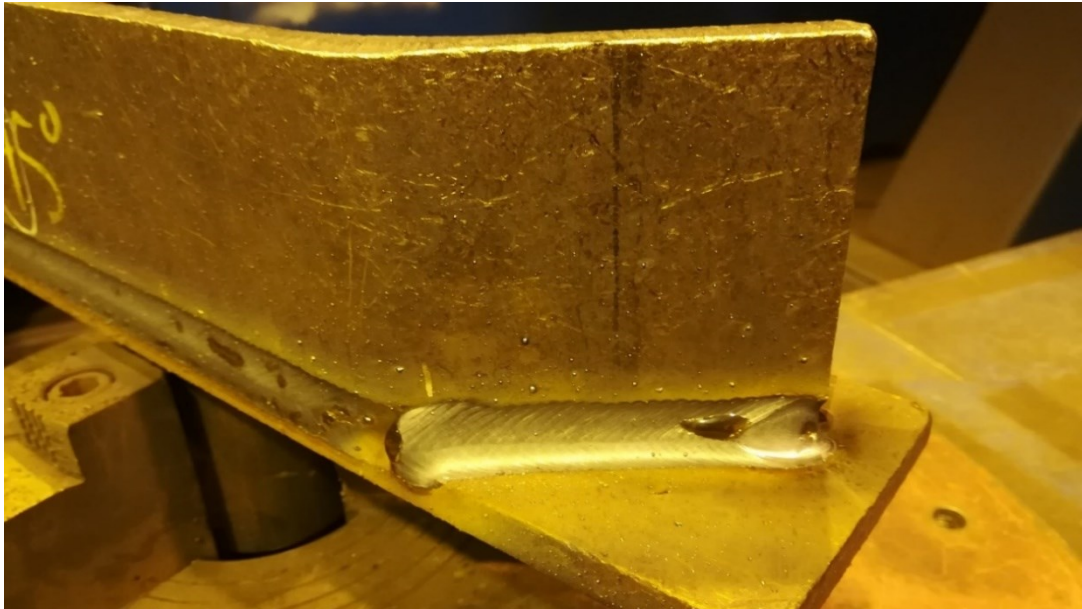
Kuva 19. Testikappale 3, edestä

Kolmannen testikappaleen oikeassa reunassa (kuva 20) reunahaavaa ei ole juurikaan havaittavissa. Myös sauman pituus on hyvä. A-mitta on myös hyvä.



Kuva 20. Testikappale 3, oikea reuna

Neljännessä testikappaleessa oli havaittavissa huomattavasti enemmän reunahaa-
vaa kaikissa saumoissa (kuvat 21 ja 22). Joko pintapalon tai pohjapalon a-mitta on
jäänyt vajaaksi, koska railot eivät ole täyttyneet kunnolla.



Kuva 21. Testikappale 4, oikea reuna

Kaikissa testikappaleissa oli myös ongelmana vajaa hitsin tunkeuma. Tämä saattaa
johtua siitä, että silloitushitsauksessa railon juurta ei avattu tarpeeksi kulmahio-
koneella. Muita mahdollisia syitä ovat liian suuri juuripinta tai liian pieni ilmarako.



Kuva 22. Testikappale 4, edestä

Kuten kaikissa testikappaleissa, myös neljännessä vasen reuna (kuva 23) on jäänyt pituudeltaan lyhyeksi. Myös a-mitta on jäänyt vajaaksi sekä reunahaavaa havaittavissa. Tämä olisi korjaantunut muokkaamalla hitsausohjelmaa, mutta haluttiin testata myös kappaleiden tasalaatuisuutta.



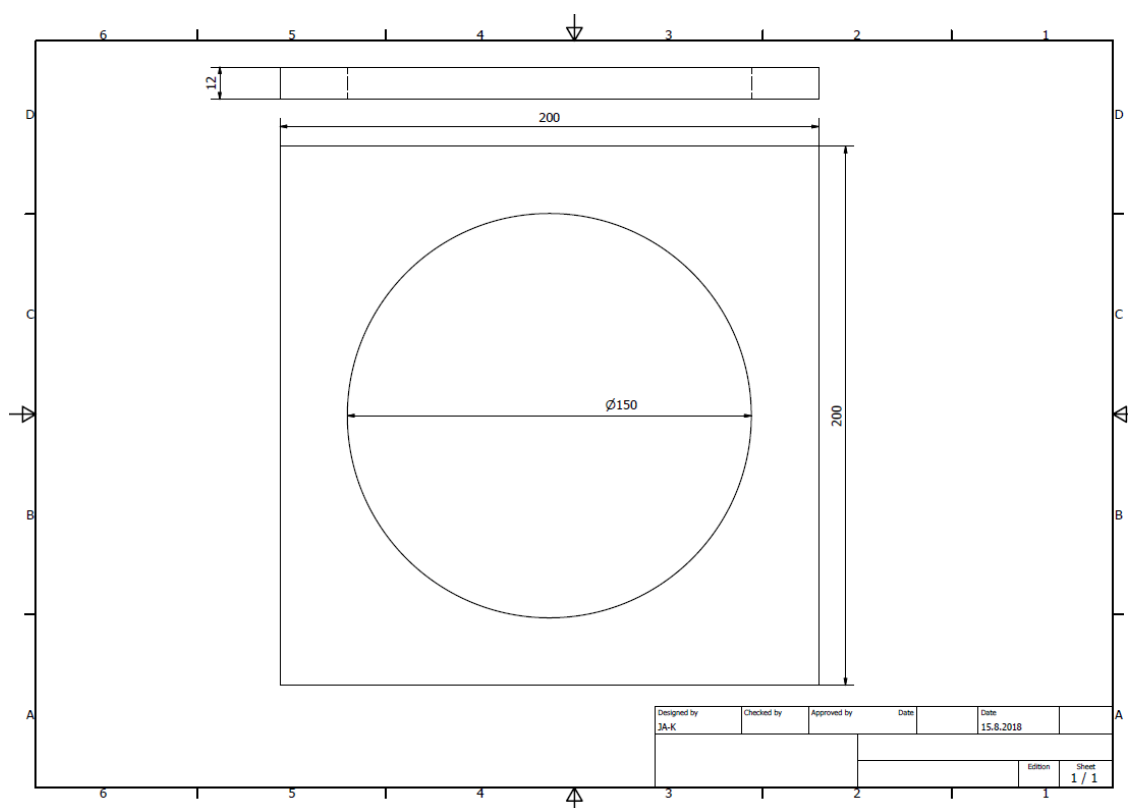
Kuva 23. Testikappale 4 vasen reuna

Taulukko 3. Testikappaleiden virhetaulukko

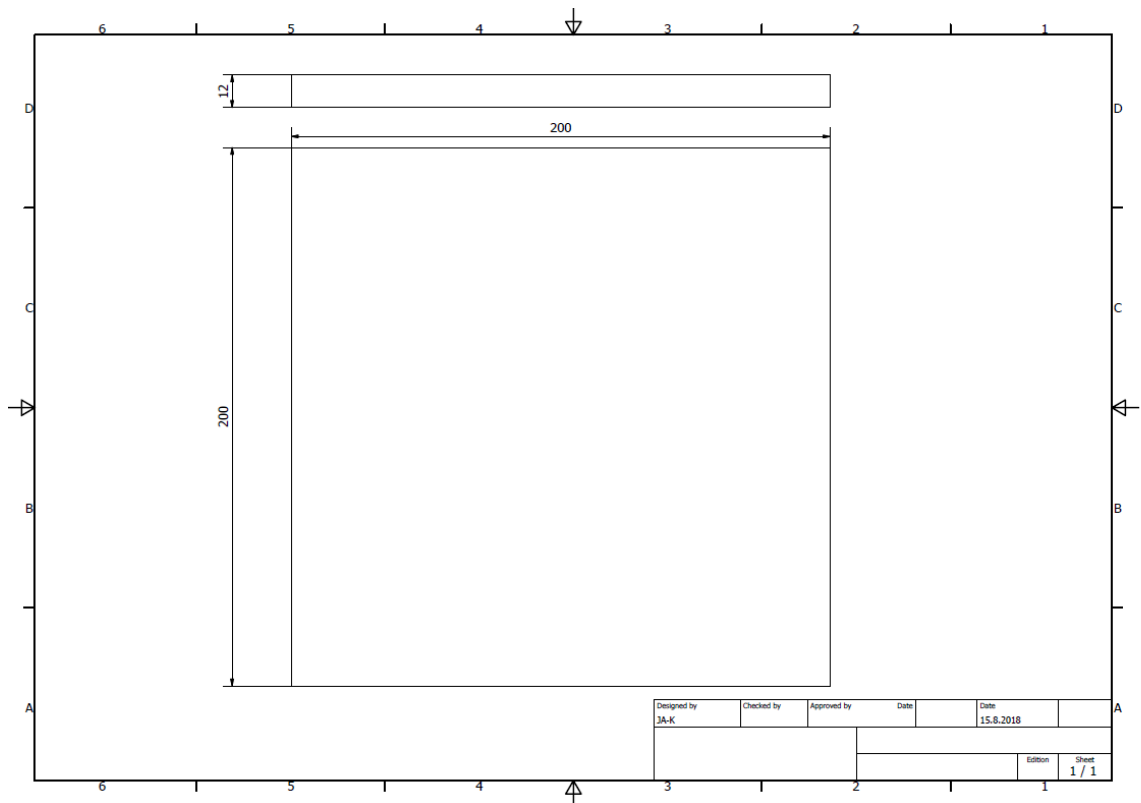
	Vajaa sauman- pituus	Riittämätön tunkeuma	Reunahaava	Vajaa A-mitta
Kappale 1	x	x	x	x
Kappale 2	x	x		
Kappale 3	x	x	x	
Kappale 4	x	x	x	x

Taulukkoon 3 on merkitty vielä testikappaleiden virheitä tiivistettynä. Hitsausohjelmaan ei tehty muutoksia, jotta nähtiin kappaleiden tasalaatuisuus. Kaikissa kappaleissa oli sauman pituus vajavainen ja pohjapalon tunkeuma riittämätön, mikä havaittiin ultraäänikuvauksella. Testikappale kaksi oli laadultaan paras, koska siinä pintapalkojen a-mitta oli oikea ja reunahaavaa ei ollut havaittavissa. Sekään ei kuitenkaan ollut tarpeeksi hyvä riittämättömän tunkeuman ja vajaan saumanpituuden takia.

Tehtiin myös toisenlainen testikappale, jolla testattiin ympyrän muotoisten liikeratojen ja samalla tavallisen suoran pienahitsin hitsausta. Yrityksellä on ollut ongelmia myös joidenkin tuotteiden ympyrän muotoisten liikeratojen kanssa. Seuraavassa on Autodesk Inventorilla luodut mittakuvat (kuvat 24 ja 25) testikappaleen osista.



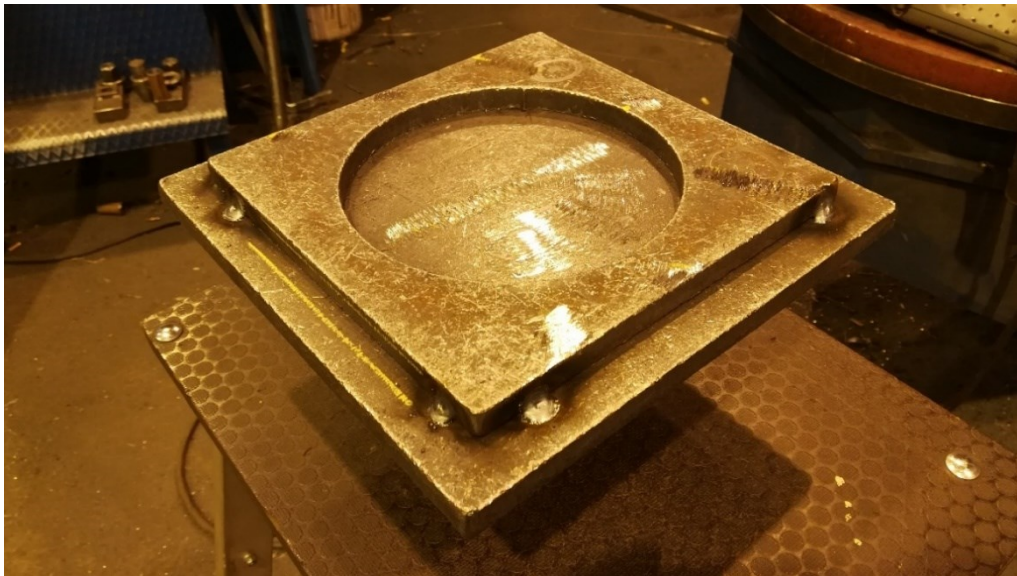
Kuva 24. Testikappale 2, ylälevyn mittakuva



Kuva 25. Testikappale 2, pohjalevyn mittakuva

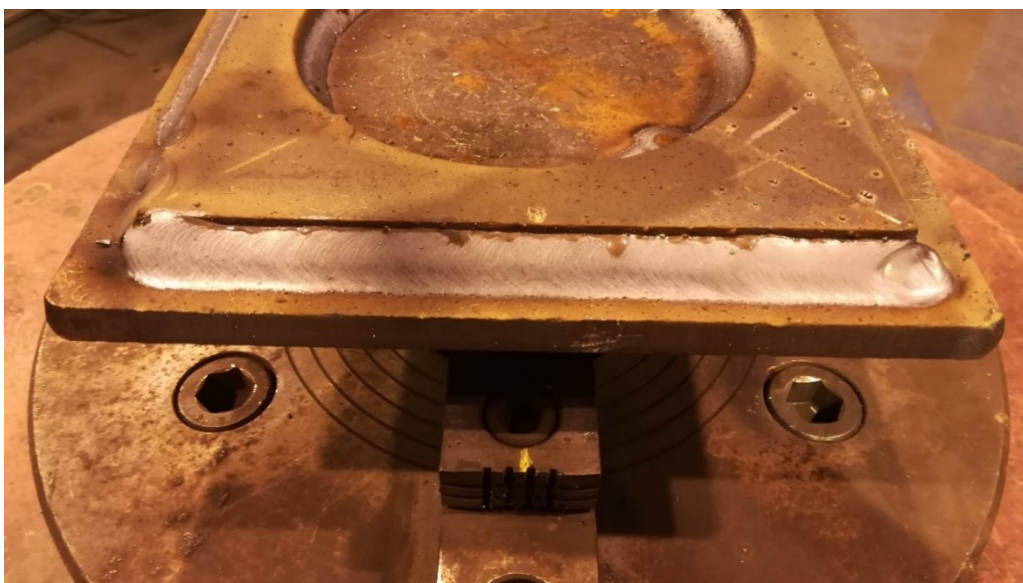
Työssä saatiin luotua neljä testikappaletta, joiden suorat pienahitsit onnistuivat hyvin, mutta ympyrän muotoisissa liikeradoissa robotti poikkeaa lopussa radalta. Ohjelma toteutettiin niin, että pyörityspöytä, johon kappale on kiinnitetty, pysyy paikallaan ja käsivarsirobotin akselit liikkuvat radan mukaisesti. Toinen vaihtoehto olisi ollut pyörittää pyörityspöytää ja ohjelmoida käsivarsirobotti tekemään vain vaaputusliikettä hitsatessa. Monessa yrityksen tuotteessa ympyröiden keskipisteet eivät ole kuitenkaan keskellä pyörityspöytää, joten ohjelmaa ei voi suorittaa näin. Näin toteutettuna robotti vaatii enemmän liikkumistilaa ja ohjelmointi oli hieman hankalampaa.

Seuraavassa on kuva 26 silloitushitsatusta testikappaleesta. Kappaleen pohjaan on hitsattu pala putkea, että kappaleen saa kiinnitettyä robotin pyörityspöytään.



Kuva 26. Testikappale 5, silloitushitsattu

Kuvassa 27 huomaa, että kappaleen reunasauma on hyvä, mutta ympyränmuotoisen sauman loppupää on poikennut pois liikeradalta. Näitäkin testikappaleita oli neljä kappaletta ja kaikissa oli samanlaiset ongelmat. Muuten hitsausaumoissa ei ollut ongelmia.



Kuva 27. Testikappale 5, sivusta

5 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän työn aikana valmistettiin erä tuotteita, jotka pääsivät läpi ultraäänitarkastuksesta, mutta joiden pintapalkoa piti korjata. Tämä saavutettiin muokkaamalla robotin hitsausohjelmia kyseisten tuotteiden kohdalla. Robottiin vaihdettiin kuitenkin uusia osia, jonka jälkeen robotin hitsaamien hitsauspalkojen laatu parani. Tämän takia ohjelmat palautettiin alkuperäiseen muotoonsa.

Työn aikana opeteltiin robottiohjelmien tekoa alusta alkaen yrityksen laitteistolla tekemällä muutama testikappale. Testikappaleita oli kuitenkin liian vähän, jotta niistä olisi ollut hyötyä mahdollisten ongelmakohtien ratkaisussa. Tämän aikana kävi selväksi, että juuripalko vaikuttaa paljon pohjapalon tunkeumaan.

Opinnäytetyön tekoon vaikutti myös paljon se, että opinnäytetyön tekijä oli samaan aikaan töissä toisessa yrityksessä, joten aikaa ei ollut aina tarpeeksi opinnäytetyön tilaajayrityksessä olemiseen.

Parannuskohteena, johon yritys voisi keskittyä on polttoleikkeiden laadun parantaminen. Tasainen polttoleikkeiden laatu helpottaa robottia pysymään oikealla liikeraldalla. Yritys voisi myös harkita etäohjelmointisovellusten hankkimista, jolloin tuotantoa ei tarvitse pysäyttää ohjelmien muokkaamista varten.

LÄHTEET

Direct Industry. Ei päiväystä. Yaskawa Robot a portale HD. [Verkkolähde]. Virtualexpo Group. [Viitattu 4.1.2021]. Saatavana: <https://www.directindustry.it/prod/yaskawa-europe-gmbh/product-14473-796203.html>

Ionix. Ei päiväystä. MIG/MAG-HITSAUS. Ionix Oy. [Viitattu 6.1.2021]. Saatavana: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/kaarihitsaus/migmag-hitsaus/>

Ionix. Ei päiväystä. ROBOTIHITSAUS. [Verkkojulkaisu]. Ionix Oy. [Viitattu 6.1.2021]. Saatavana: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/robottihitsaus/>

KUKA. Ei päiväystä. KUKA linear unit KL 1000-2. [Verkkolähde]. KUKA Robotics Corporation. [Viitattu 4.1.2021]. Saatavana: https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/robot-periphery/linear-units/kl-1000_2

Lukkari, J. 2001. Hitsien laatu ja hitsausvirheet. [Verkkojulkaisu]. Esab Oy. [Viitattu 3.2.2021]. Saatavana: http://www.esab.fi/fi/fi/support/documentation/educational/upload/hitsien_laatu_ja_hitsausvirheet.pdf

Motoman MRC käyttöohjeet. 2003.

Pcmag Digital Group. Ei päiväystä. Teach pendant. [Verkkojulkaisu]. Ziff Davids, LLC PCMAG DIGITAL GROUP. [Viitattu 15.3.2021]. Saatavana: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/61185/teach-pendant>

Riikonen Group. Ei päiväystä. Riikonen Group on metalliteollisuuden sopimusvalmistuksen joustava kokonaistoimittaja. [Verkkojulkaisu]. Tampereen konepajat Oy. [Viitattu 1.3.2021]. Saatavana: <http://www.tampereenkonepajat.com/yri-tys/riikonen-group/>

SFS-EN ISO 3052. 2020. Hitsaussanasto. Yleistermit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

SFS-EN ISO 5817. 2014. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). hitsiluokat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

SFS-EN ISO 6520-1. 2008. Hitsaus ja lähiprosessit. Geometristen hitsausvirheiden luokittelu metallisissa materiaaleissa. Osa 1: Sulahitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto