

Kaaro Eiras

HITSAUSPROSESSIN AUTOMATISOINTI
NIVELVARSIROBOTIN AVULLA

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2015

HITSAUSPROSESSIN AUTOMATISOINTI NIVELVARSIROBOTIN AVULLA

Eiras, Kaaro
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2015
Ohjaaja: Heikkinen, Harri
Sivumäärä: 39
Liitteitä: -

Asiasanat: robotiikka, automaatio, hitsaus, pneumatiikka

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ja rakentaa automatisoitu hitsausprosessisolu.

Työ aloitettiin suunnittelemalla Creo Parametric 2.0 3D-suunnitteluohjelmalla erilaisia pohjaratkaisuja, jolla työn tilaajan tuotantokappaleita voitaisiin hitsata automaattisesti.

Eri pohjaratkaisuksista valittiin parhaimmat toteutustavat ja nämä yhdistettiin viimeiseen suunnitelmaan.

Viimeiseen suunnitelmaan tarvittavat osat hankittiin ja robottisolua aloitettiin kokoonpanemaan.

Robottisolu on edennyt tuotantokäyttöön, mutta toistaiseksi tilaajan antamat tavoitteet eivät ole täyttyneet kaikilta osin.

Projektia ei ollut rajattu kovinkaan tarkasti alusta lähtien ja tästä johtuen sille ei myöskään ole annettu aikarajaa. Projektia on rakennettu eteenpäin sitä mukaan, kun robottisolun tarpeet ovat kasvaneet.

WELDING PROCESS AUTOMATION WITH ARTICULATED ROBOT

Eiras, Kaaro

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

May 2015

Supervisor: Heikkinen, Harri

Number of pages: 39

Appendices: -

Keywords: robotics, automation, welding, pneumatics

The purpose of this thesis was to design and build automated welding process cell.

The work began by designing various layouts, which would allow an automated welding process for subscriber production parts. Designing was done with Creo Parametric 2.0 3D computer aided design software.

The best methods of implementation were selected from different layouts and those were combined to the last design. The parts needed for the last design were purchased and robot cell assembly began.

The robotic cell is now in production use, but so far all set objectives have not been achieved.

Since the beginning the project has not been very accurately defined and hence there has not been a set deadline either. The cell has continuously grown since the initial plans as the demands has gone higher.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MOTOSEAL COMPONENTS OY	6
3	PROJEKTIN MÄÄRITTELY JA TAUSTAT	7
3.1	Lähtökohdat	7
3.1.1	Universal Robots UR10.....	8
3.1.2	Hitsattavat kappaleet	9
3.2	Tavoitteet	10
4	SUUNNITTELU	12
4.1	Pöytä	12
4.2	Hitsaus- ja kokoonpanopiste	13
4.2.1	Vääntösylinteri	15
4.2.2	Kappaleiden kiinnitys	16
4.2.3	Hitsauskiinnittimen toiminta	16
4.3	Tarttuja	18
4.3.1	Tarttujan sormet.....	20
4.3.2	Tarttujan pitävyyden laskenta.....	20
4.4	Levy- ja akseliteline	23
4.5	Magneettiventtiilit.....	23
4.6	Hitsauskoneen hankinta ja toiminta	24
4.7	Hitsauspolttimen huoltoyksikkö	25
4.8	Robotin työkalu.....	26
4.9	Anturointi	27
4.10	Robotin suojaaminen hitsausvirroilta	28
4.11	Työkalun pikalukitussovite	29
4.12	Suojapellit	30
5	KOKOONPANO.....	31
6	OHJELMOINTI JA TESTAUS	32
6.1	PolyScope	32
6.2	Työkalupiste.....	34
7	TULOKSET JA PARANNUSEHDOTUKSET	35
8	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa automatisoitu hitsaus-solu nivelvarsirobotin avulla. Työ on tehty Raumalla sijaitsevalle Motoseal Components Oy:lle, joka valmistaa pääasiassa traktoreiden lokasuojia, sekä niihin liittyviä teräsrakenteita.

Opinnäytetyön mukaisesti suunnittelun ja rakentamisen perusteella voidaan nykyistä toimintatapaa tehostaa, valmistuskustannuksia vähentää sekä lisäksi tutustua osittain hiljattain hankittuun robottiin.

Kappaleiden kokoonpano tapahtuu robotin ja pneumaattisten toimilaitteiden voimin. Kokoonpanon jälkeen kappaleet liitetään yhteen MAG-kaarihitsauksella. Valmiit kappaleet siirretään robotin tarttujan avulla pöydälle työntekijän tarkastettavaksi ja lavatavaksi.

Työn laajuutta ja aikataulua ei ole sovittu kovinkaan tarkasti, koska työskentelin opinnäytetyön aikana ja työni jatkuu opinnäytetyön jälkeenkin Motoseal Components Oy:ssä.

Hitsaussolun suunnittelussa käytetään Creo Parametric 2.0 3D-suunnitteluohjelmaa.

Kiitän Motoseal Components Oy:n kehitys- ja laatuapäällikköä Jussi Heinoa mahdollisuudesta kehittää taitojani tämän opinnäytetyön aikana.

2 MOTOSEAL COMPONENTS OY

Motoseal Components Oy on Rauman Susivuorella sijaitseva metalli- ja muovialan yritys. Yhtiön toimintaperiaate sijoittuu muovin ja metallin yhdistämiseen, sekä näistä materiaaleista koostuvan paketin räätälöintiin asiakkaiden toiveiden mukaan. Päätuotteena ovat traktorin lokasuojat ja niiden teräsrakenteet.

Motoseal Oy on alkujaan perustettu vuonna 1979 ja samana vuonna Motoseal toimitti myös ensimmäiset traktorin lokasuojat Fordille. Vuodesta 1993 alkaen yritys on toiminut Motoseal Components Oy:n nimissä.

Nykyään Motoseal Components Oy:n tärkeimpiä asiakkaita ovat muun muassa Volvo, Valtra, JCB, Kubota, Weidemann ja Terex. Erilaisten muovi- ja metallituotteiden määrä on kasvanut viimevuosien aikana voimakkaasti.

Yhtiö työllistää noin 40 henkeä ja vuoden 2014 liikevaihto oli noin 5,9 miljoonaa euroa.

3 PROJEKTIN MÄÄRITTELY JA TAUSTAT

Kyseessä on projektityyppinen opinnäytetyö, jonka tavoitteena oli automatisoida hitsausprosessi nivelvarsirobottia apuna käyttäen. Työhön sisältyi alustavasti hitsauskiinnittimen suunnittelu, robotin tarttujan suunnittelu, kappaleenkäsittelyrobotin soveltaminen hitsaukseen soveltuvaksi, robotin ohjelmointi ja saatujen tulosten raportointi.

Robottia aloitettiin soveltamaan hitsaukseen sopivaksi, koska robotille ei ollut tarpeeksi käyttöä yhdessä työssä. Keveytensä ansiosta robottia voitiin siirtää paikasta toiseen ja sille oli tarkoitus rakentaa monia pienempiä automaattiseen toimintaan soveltuvia toimipisteitä.

Työtä aloittaessa oli selvää, että robottia ei ole tarkoitettu robottihitsaukseen. Tästä johtuvat mahdolliset ongelmat on osaksi huomioitu jo suunnitteluvaiheessa, mutta projektin edetessä tuleviin ongelmiin ei ole pystytty varautumaan.

3.1 Lähtökohdat

Hitsaus tapahtuu perinteisellä MIG/MAG-hitsauskoneella, jota ohjataan robotin logiikasta.

Itse suunniteltavat osat valmistetaan laserleikatusta S355 rakenneteräksestä. Näitä osia voidaan myös särmätä, jotta ylimääräiseltä hitsaukselta vältytään. Särmätyt osat ovat useimmiten siistimpiä, kestävämpiä ja mittatarkempia, kuin vastaavat hitsatut.

Laserleikkauksella ei kaikkia osia voida valmistaa riittävän mittatarkoiksi tai muutoin tarvittavia muotoja. Tämän tyyppiset osat valmistetaan koneistamalla Sten Böhler K460 kylmätyöteräksestä.

Böhler K460 on öljyyn karkeneva, mittansa pitävä työkaluteräs, joka soveltuu hyvin kulutuskestävyytensä ansiosta koneenrakennuksen osiin (Sten.fi www-sivut 2015).

Valmiit osat kiinnitetään toisiinsa pääasiassa ruuvien avulla. Mikäli tämä ei riitä, on hitsaus mahdollista.

3.1.1 Universal Robots UR10

Prosessin automatisointi tapahtuu nivelvarsirobotilla, joka on kevytrakenteinen kuusiakselinen Universal Robots A/S valmistama UR10 (Kuva 1) 10 kg nostokykyynevä kappaleenkäsittelyrobotti. Robotin toimintasäde on noin 1300 mm ja sitä ohjataan kosketusnäytöllisellä käsiohjaimella.

Toimintasäteessä on huomioitava, että robotti ei kykene siirtämään työkaluaan täysin oman jalustansa ylä- eikä alapuolelle.



Kuva 1. Universal Robots UR10 laitekokonaisuus (Bachmann-ag.com www-sivut 2015)

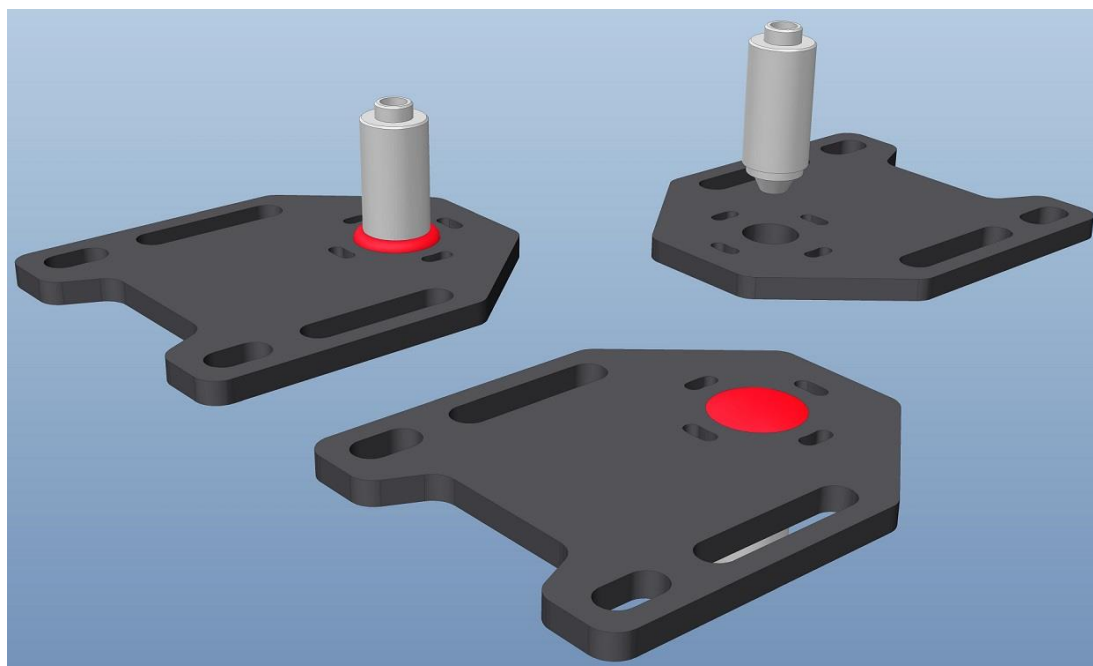
Moderni UR10 edustaa niin sanottua robottien uusinta sukupolvea. Tämä tarkoittaa, että perinteisiin robottimalleihin verrattuna UR -robotteihin on sisäänrakennettu tur-

vallisuusominaisuudet, jotka mahdollistavat robotin käyttämisen ihmisten läheisyydessä ilman suojausta. Tämän tyyppisiä robotteja kutsutaan myös yhteistyöroboteiksi (engl. collaborative robot).

Universal Robots yhteistyörobottien turvajärjestelmä on TÜV Nordin sertifioima ja testaama standardien EN ISO 13849:2008 Pl d ja EN ISO 10218-1:2011 lausekkeen 5.4.3 mukaisesti. (Posicraft.fi www-sivut 2015.)

3.1.2 Hitsattavat kappaleet

Robotti kuljettaa kappaleet (Kuva 2) hitsauskiinnittimeen, jonka jälkeen robotti myös hitsaa kappaleet. On tärkeää, että kappaleet sovitetaan tarkasti toisiinsa, joten hitsauskiinnittimeen tarvitaan hyvät ohjaukset kappaleiden paikoitukseen ja tukevat kiinnitykset.



Kuva 2. Esimerkki hitsattavasta kappaleesta. Punaisella on merkitty hitsauskohdat

3.2 Tavoitteet

Tärkeimmät tavoitteet työtä suunniteltaessa olivat seuraavat:

- Hitsattavat kappaleet hitsataan tarkasti toisiinsa.
- Keskeytyksetön kokoonpano ja hitsaus 40 kappaleen erälle miehittämättömänä, jonka jälkeen työntekijä varmistaa laadulliset seikat, tyhjentää valmiiksi hitsatut kappaleet ja asettaa uudet kappaleet hitsattavaksi.
- Hitsauskiinnittimellä tulee hitsata muitakin vastaavanlaisia, mutta eri paksuuk-silla olevia levyjä. On mahdollista, että tulevaisuudessa levyjä tullaan suunnittelemaan erimuotoisia, mutta ainoana yhdistävä tekijänä on tähtikuvio (Kuva 3).
- Nopeat asetusajat.
- Kuumakaarihitsauksena vähäisten hitsausroiskeiden vuoksi, jolloin jälkityös-tön määrä vähenee. Myös hitsausnopeus ja hitsin laatu paranee samalla.
- Erilaisia hitsipalon muotoja.



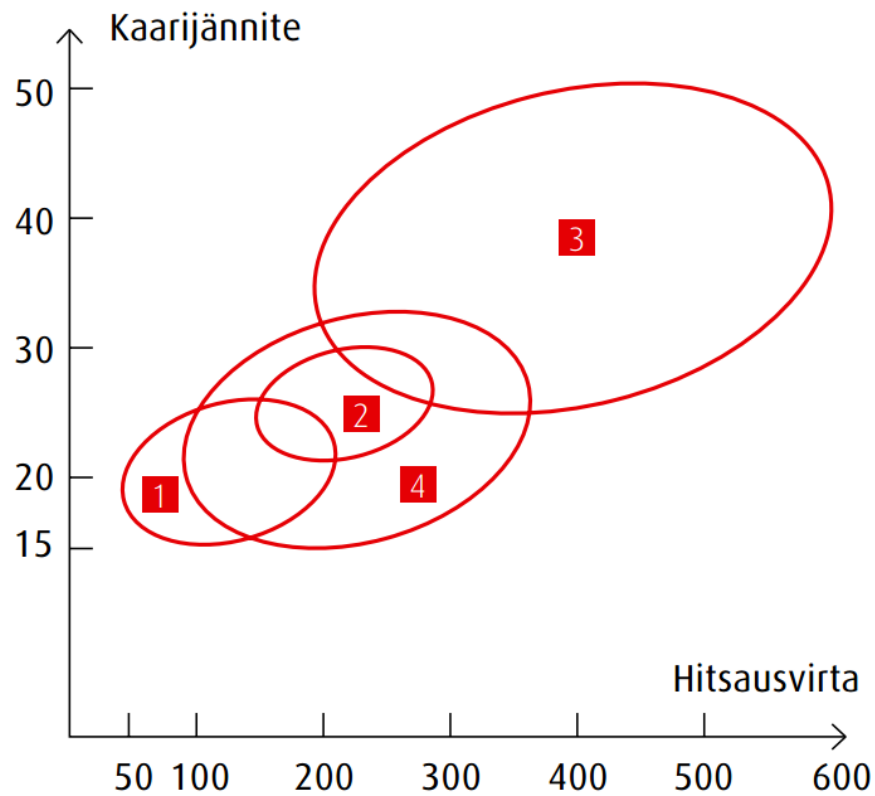
Kuva 3. Tähtikuvio

Kuumakaarihitsauksessa kaariteho on niin suuri, että valokaari palaa jatkuvasti ilman oikosulkuvaiheita. Kaaritehon kasvaessa siirtyvän lisäaineen pisarakoko pienenee. Riittävä tehon nostaminen saa aikaan argon-seosteisilla suojakaasuilla lisäaineen pään muodostumisen kartiomaiseksi pisaroiden siirtyessä suihkumaisesti hitsisulaan.

Kuumakaaren käyttö tarvitsee suurta hitsaustehoa (Kuva 4), mikä taas johtaa suureen lisääinemäärään aikayksikössä ja suureen tunkeumaan. Suuren hitsisulan takia kuuma-kaari ei sovellu asentohitsauksiin. (Lepola & Makkonen 2009, 115-116.)

Kaarialueet

1 Lyhytkaari 2 Välikaari 3 Kuumakaari 4 Pulssikaari (sykekaari)



Kuva 4. MIG-/MAG hitsauksen kaarityyppien virta- ja jännitealueet (AGA.fi www-sivut 2015)

4 SUUNNITTELU

Suunnittelun apuna käytettiin PTC Creo Parametric 2.0 3D-suunnitteluohjelmaa. Hitsauskiinnittimestä tehtiin muutamia suunnitteluehdotuksia, joista otettiin ideoita lopulliseen suunnitelmaan.

Kuumakaarihitsauksessa hitsisulan määrä on korkea, joten sitä ei voida käyttää asentohitsauksessa painovoimasta johtuvien hitsausvalumien vuoksi. Koska kappale hitsataan kahdelta puolelta, tulee kappale kääntää hitsauksen puolivälissä hitsausvalumien estämiseksi.

4.1 Pöytä

Pöytä (Kuva 5) ja siihen kuuluva robotin jalusta oli jäänyt ylimääräiseksi aikaisemmasta projektista. Pöytä oli vapaasti käytettävissäni tähän projektiin.



Kuva 5. Pöytä, jalusta ja robotin toimintasäde visualisoituna

4.2 Hitsaus- ja kokoonpanopiste

Aikaisempaa kokemusta hitsauskiinnittimien suunnittelusta ei ollut, joten työ aloitettiin teorian opiskelusta.

Hitsauskiinnitin on robottihitsauksessa oleellinen hitsauslaitteiston osa. Robottihitsauksessa hitsauskiinnittimen tehtävänä on pitää kaikki hitsattavat osat oikeassa asemassa toisiinsa nähden koko hitsauksen ajan. Tällöin hitsauskiinnitin muodostaa kiinteän, suurehkon kokonaisuuden, joka on suunniteltava ja valmistettava huolella, jotta se toimisi odotetulla tavalla. (Leino & Meuronen 1987, 3.)

Hyvin suunnitellun hitsauskiinnittimen tunnusmerkkejä ovat muun muassa:

- Hitsattavat kohdat ovat robotin ulottuvissa.
- Robotti kykenee hitsaamaan kaikki hitsit.
- Hitsauksen paluuvirran reitti on varma ja harkittu.
- Robotin ei tarvitse kiinnittimen vuoksi tehdä turhia liikkeitä.
- Edulliset hitsausasennot.
- Hitsattavat osat voidaan ladata ja valmis kappale poistaa esteettä.

(Leino & Meuronen 1987, 12.)

Kun kappaleen osat on paikoitettu hitsauskiinnittimeen, tarvitaan kiinnitysvoima, joka pitää osat paikallaan hitsauksen ajan. Kiinnitysvoiman tuottamisessa tarvitaan useimmissa tapauksissa erillisiä kiinnitinkomponentteja. Mikäli kappale käännetään hitsauksen aikana ylösalaisin, tulee kiinnitysvoimien kyetä pitämään kappale paikoillaan. (Leino & Meuronen 1987, 35.)

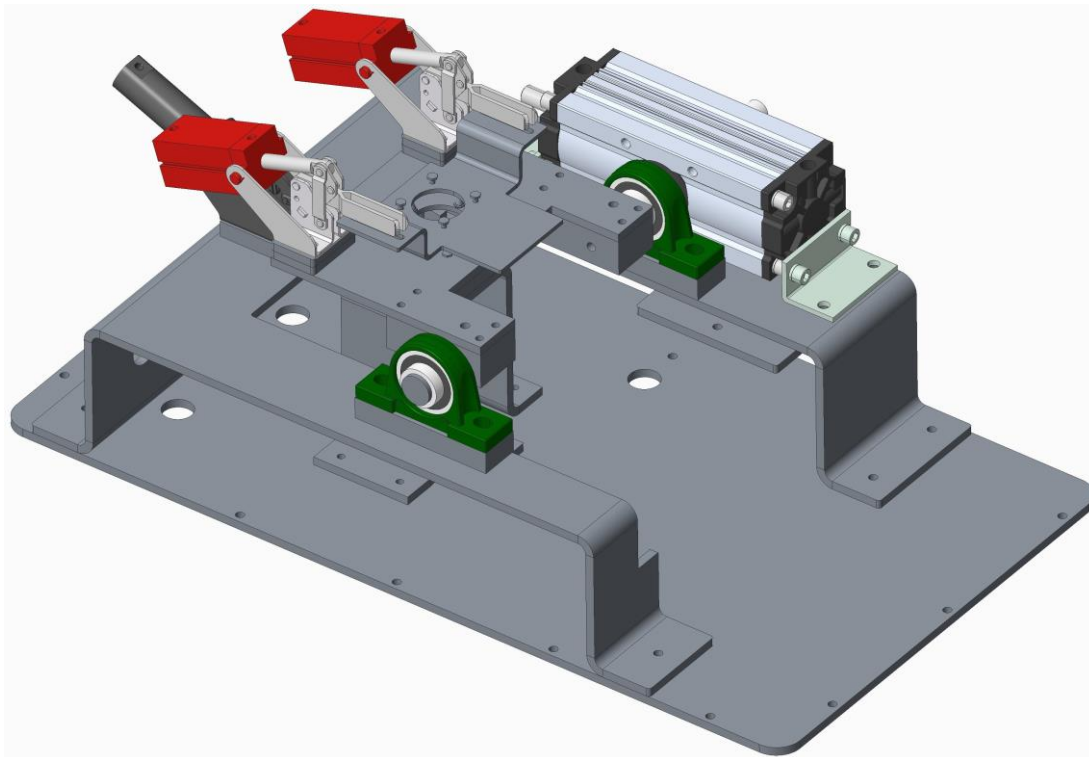
Roiskeet ovat merkittävin kiinnittimen tarkkuutta ja toimivuutta käytössä heikentävä tekijä. Roiskeiden määrä riippuu lisäaineesta, suoja- ja hitsausparametreista ja -asennosta. Kokonaan niiden muodostumista ei nykytekniikalla voida estää. (Leino & Meuronen 1987, 72.)

Hitsattavan kappaleen suojaamiseksi roiskeilta voidaan käyttää kiinteitä tai irrallisia suoja. Niiden valmistusmateriaaliksi voidaan valita kupari tai alumiini, joihin roiskeet eivät tartu. (Leino & Meuronen 1987, 72.)

Tärkein yksittäinen asia suunniteltaessa oli kappaleiden paikoitus tarkasti toisiinsa. Levyistä löytyvä tähtikuvio on kaikissa vastaavanlaisissa osissa, joita hitsauskiinnittimellä on tarkoitus hitsata. Kappaleiden paikoituksessa päätettiin käyttää tätä kuviota apuna, jotta erilaisten kappaleiden hitsauksessa asetajat olisivat nopeammat.

Käytännöllisyyden ja nopeuden vuoksi kappale oli hyvä pitää kiinni hitsauskiinnittimessä (Kuva 6) koko hitsausprosessin ajan. Edellä mainituista seikoista johtuen koko hitsauskiinnittimestä suunniteltiin kääntyvä.

Hitsauskiinnittimen tarvitsi kääntyä vain 180 asteen verran. Välimuotoja kääntymisestä ei tarvittu. Tästä johtuen vain kaksiasentoisen kääntymisen käyttö oli hyväksyttävissä.



Kuva 6. Hitsauskiinnitin jalustoineen.

Hitsaus- ja kokoonpanopiste on suunnitteluvaiheen tärkein yksittäinen osakokoonpano. Kaikki muut osat ovat suunniteltu niin, että ne ovat yhteensopivia tämän osakokoonpanon kanssa.

4.2.1 Vääntösyylinteri

"Vääntösyylinterillä saadaan aikaan kääntyvä liike, esim. 90°, 180°, 270° ja 360°." (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 73).

Hitsauskiinnittimen kääntämiseen valittiin pneumaattinen vääntösyylinteri (Kuva 7) sen yksinkertaisuuden, varmatoimisuuden ja hinnan vuoksi. Esimerkiksi sähkömoottorin käyttäminen kääntämisessä olisi vaatinut lisää ohjauslogiikkaa.

Vääntösyylinterin akseli pyörii tarkasti 180 astetta vain paineilman avulla. Tavallisten pneumatiikkasyylinterien tavoin myös vääntösyylinteriä voidaan ohjata magneettiventtiilien ja robotin logiikan avulla.



Kuva 7. Työssä käytettävä SMC:n valmistama CRA1-Z vääntösyylinteri (Directindustry.com www-sivut 2015)

Vääntösynterinin tukena toimivat UCP 207 35 millimetrin akselille sopivat laakeripukit.

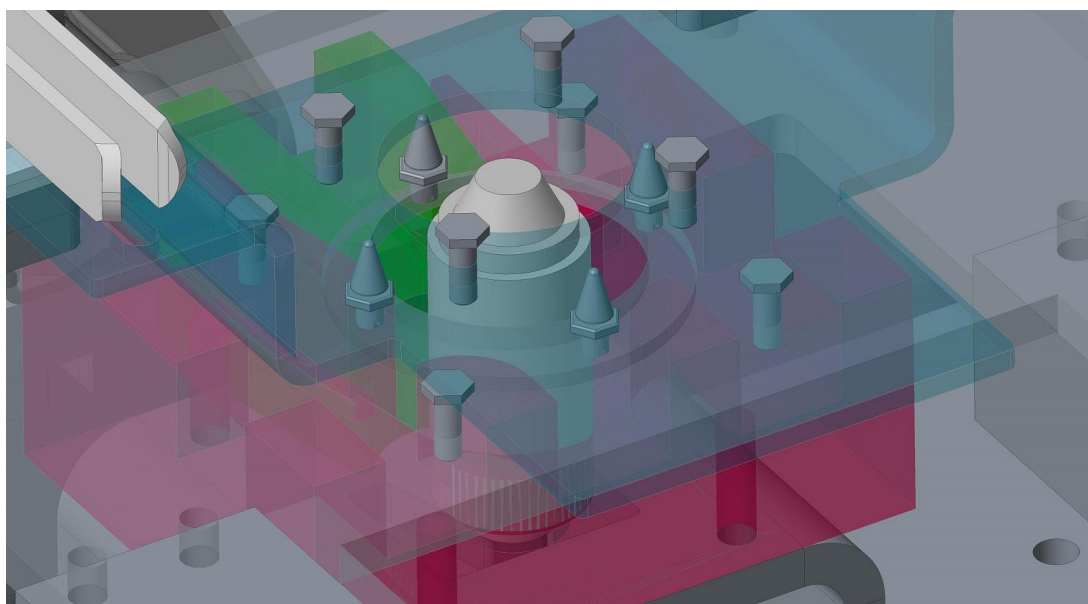
4.2.2 Kappaleiden kiinnitys

Kappaleiden kiinnitykseen ja paikoitukseen päätettiin käyttää pneumaattisia sylintereitä. Niiden käyttö vastaavissa automaatiojärjestelmissä on yleistä. Lisäksi ohjaus voidaan helposti hoitaa robotin logiikan ja magneettiventtiileiden avulla.

Sylintereiden paikoituksessa on otettu huomioon paineilmaletkut, jotka muutoin voisivat tarttua muihin osiin tai hankautua rikki. Letkut on pyritty viemään kauemmas hitsaustapahtumasta, jotta hitsausroiskeet eivät polttaisi letkuja. Tarvittaessa markkinoilta löytyy roiskesuojattuja letkuja.

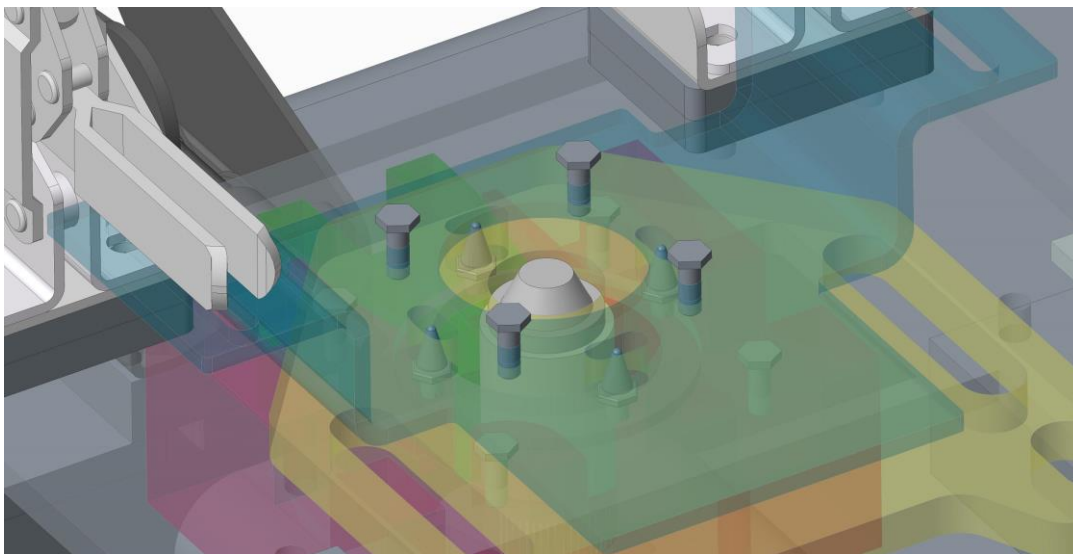
4.2.3 Hitsauskiinnittimen toiminta

Robotin tarttuja ottaa akselin akselitelineestä ja kuljettaa tämän hitsauskiinnittimelle. Akseli tiputetaan reikien läpi aina paikallaan olevaan hitsauskiinnittimeen (Kuva 8). Pneumaattinen sylinteri lukitsee akselin paikoilleen. Akseli ohjautuu aina tarkasti oikeaan paikkaan pyöreän muotonsa vuoksi.



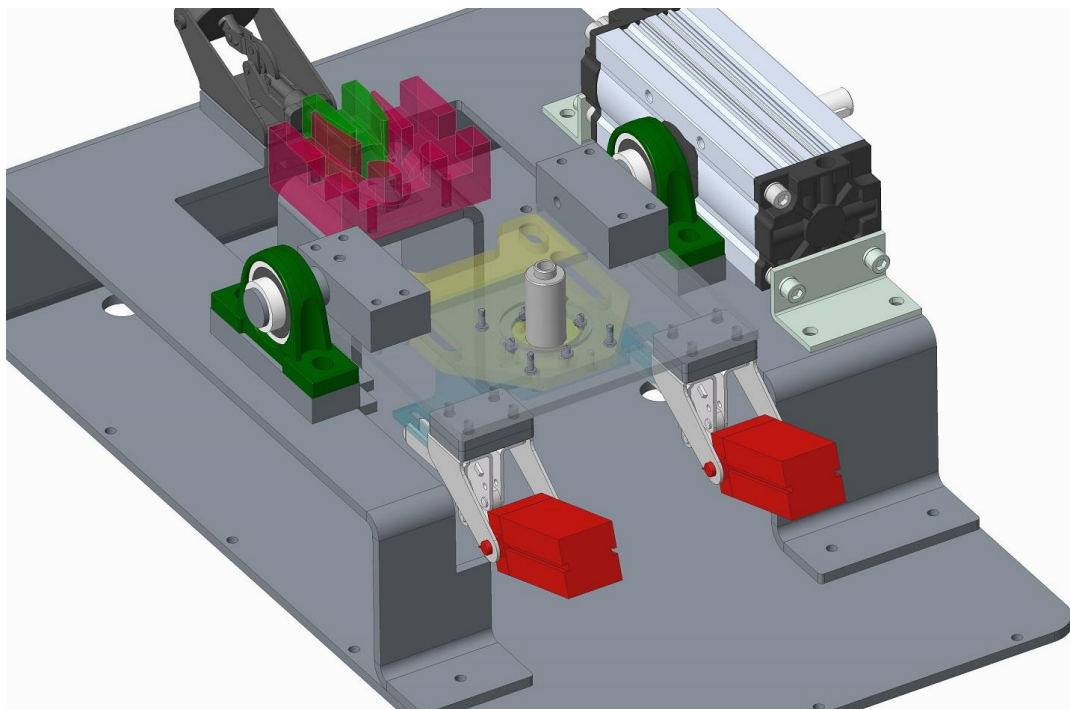
Kuva 8. Akseli on paikoillaan punaisella merkityssä hitsauskiinnittimessä.

Päällimmäisenä oleva läppä avautuu pneumaattisten sylintereiden voimin. Robotti kuljettaa levyn hitsauskiinnittimelle tarttujan avulla. Levy tiputetaan kartionmuotoisten ohjaustappien (Kuva 9) avustuksella oikeaan paikkaan akseliin nähden. Läppä sulkeutuu ja samalla levy lukittuu hitsauskiinnittimestä ja läpistä löytyvien ruuvien väliin. Osat hitsataan toisiinsa päältä.



Kuva 9. Levy ja akseli ovat paikoillaan hitsauskiinnittimessä.

Akselin sylinteri avautuu ja vääntösylinteri kääntää hitsauskiinnittimen 180 astetta (Kuva 10). Kappaleet hitsataan vielä paremmin toisiinsa pienahitsillä akselin ympäri. Vääntösylinteri kääntää täysin hitsatun kappaleen takaisin alkuasentoonsa. Läppä aukeaa ja robotti nostaa tarttujan avulla hitsatun kappaleen pois hitsauskiinnittimestä. Valmis kappale siirretään pöydälle työntekijän tarkastettavaksi ja lavattavaksi.



Kuva 10. Vääntösynterin kääntämä hitsauskiinnitin.

4.3 Tarttuja

Olisi ollut nopeampaa mekanisoida kappaleiden siirtäminen muulla tavoin, kuin robotin tarttujan avulla. Tarkkaa tietoa levyjen ulkomuodoista ei kuitenkaan ole, joten levyn paikoitus oikeaan kohtaan esimerkiksi sylintereiden avulla olisi ollut mahdotonta.

Robotin työkalulla tarkoitetaan sitä mekaanista osaa, jota robotti siirtää asemasta toiseen. Työkaluista tavallisin on tarrain. Toinen ryhmä on johonkin prosessiin osallistuvat työkalut, muun muassa hitsauspistooli, maalausruisku, liimasuutin tai näiden kombinaatio. (Aalto ym. 1999, 60.)

Markkinoilta löytyy robottitarraimien valmistajia. Yleensä tarrain joudutaan kuitenkin rakentamaan sovelluskohtaisesti, yksinkertaisimmillaan muotoilemalla vakiotarttujaan uudet tartuntapinnat. (Aalto ym. 1999, 64.)

Tarttuja ja työkaluja suunniteltaessa on katsottava koko automatisointitehtävää kokonaisuutena, jossa tarraimen tai työkalun suunnittelu on vain pieni, mutta tärkeä osa.

Yleistä tarttujan suunnittelussa on yksinkertainen rakenne, pieni koko ja paino, luotettava tartunta, tartuttavien kappaleiden keskitys ja perustilassa kiinni oleva tarttuja. (Aalto ym. 1999, 65.)

Muotosulkeutuvan tarttujan suunnitleminen työhön osoittautui varsin haastavaksi, koska nostettavat kappaleet ovat erimuotoisia ja kokoisia. Tästä johtuen työhön valittiin tarttuja, joka kykenee puristamaan osat riittävän tiukasti kitkavoiman avulla.

Tarttujaksi valikoitui paineilmalla toimiva Gimatic DH5526-NC (Kuva 11). Tarttujassa on kaksi vastakkaiseen suuntaan liikkuvaa sormeä, jotka sulkeutuessaan mekaanisesti lukitsevat ja keskittävät kappaleet.

Lisäksi tarttujasta löytyy jousi, joka pyrkii sulkemaan sormet vakioasennossa. Tällä estetään kappaleiden odottamaton tippuminen esimerkiksi sähkökatkosten aikana.

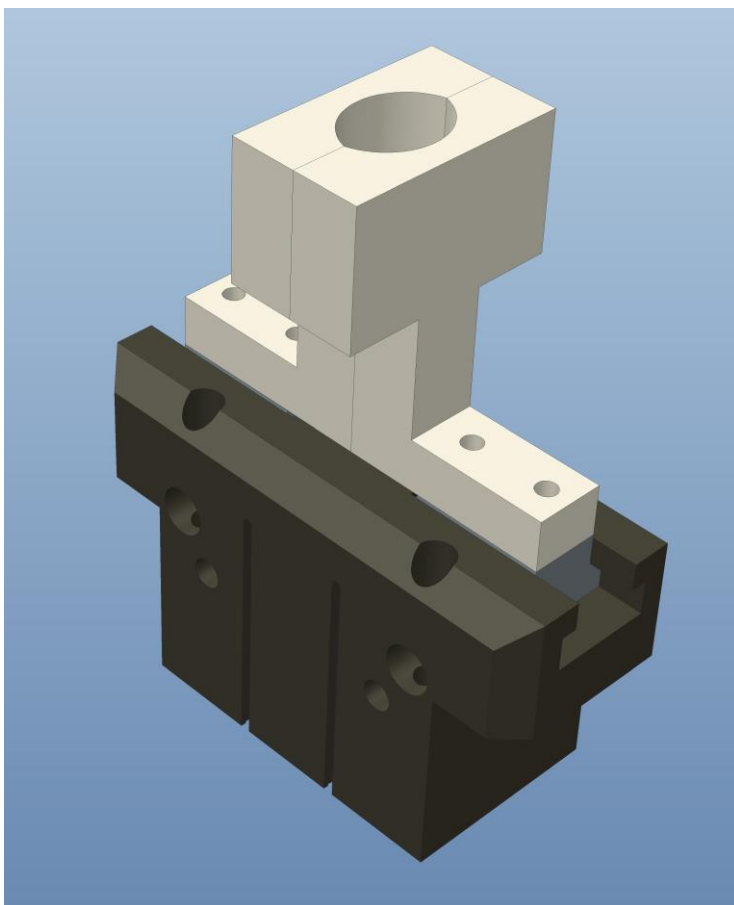


Kuva 11. Gimatic DH-sarjan tarttuja (Directindustry.com www-sivut 2015)

4.3.1 Tarttujan sormet

Saman tarttujan piti pystyä keskittävästi ja tukevasti nostamaan 35 mm akseleita ja 10–12 mm teräslevyjä. Tämän lisäksi levyt ja akselit oli ladottava niin, että kyseisellä tarttujalla niiden nostaminen onnistuu ongelmitta.

Erilaisia tarttujen sormia suunnittelin useita erilaisia. Hitsauskiinnittimen ulkomuodon varmistuttua vain yhdet sormet (Kuva 12) olivat toimivat valittuun hitsauskiinnittimeen.



Kuva 12. Gimatic DH5526-NC tarttuja ja tarttujan sormet

4.3.2 Tarttujan pitävyyden laskenta

DH5526-NC:n puristuksen tuottaman kitkavoiman riittävyys voidaan todeta, kun tiedetään suurimman nostettavan kappaleen massa, tarttujan sormien ja levyn välisen kontaktin kitkakerroin, tarttujan etäisyys levyyn ja robotin kiihtyvyys.

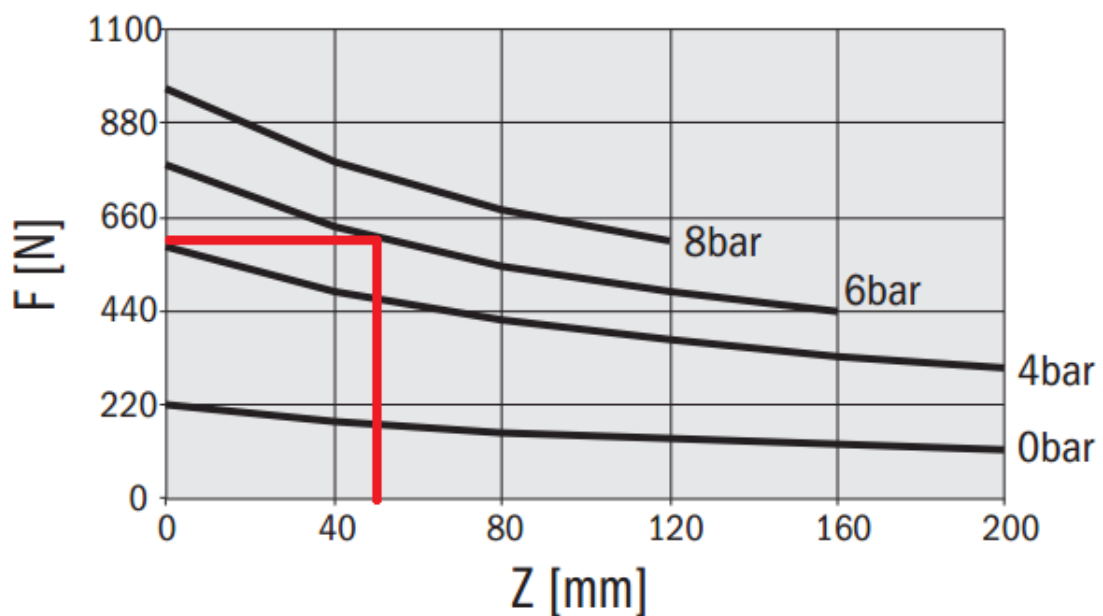
Suunnittelussa on huomioitu robotin alustavat liikkeet Creo Parametricin avulla. On oletettavaa, että robotin siirtäessä kappaleita ovat kappaleet jossakin kohtaa yhden-suuntaisia maan vetovoiman ja tarttujan sormien kanssa.

Massaltaan suurin nostettava on valmiiksi hitsattu kappale. Tarttuja nostaa tämän kappaleen laserleikatun levyn reunasta. Laserleikattujen levyjen pinnoissa käytetään ruostetta ehkäisevää öljyä, joten tarttujan sormien ja levyn pinnan välisen kontaktin kitka oletetaan voidelluksi. Näin ollen laskennassa käytetään levossa olevaa voidellun teräs-teräs kontaktin kitkakerrointa.

Kappaleen kiihtyvyys a robotin käsivarren päässä on maksimissaan noin 2 m/s^2 .

Eri lähteissä voideltu teräs-teräs kontaktin lepokitkakertoimen μ suuruus vaihtelee 0,1 ja 0,15 välillä. Laskennassa on käytetty arvoa 0,12. (Mäkelä, Soinen, Tuomola & Öistämö 2010, 190.)

Tarttujan valmistaja tarjoaa laskentakäyrän (Kuva 13) tarttujan yhden sormen puristusvoimalle suhteessa etäisyyteen. Etäisyys tarttujan pinnasta levyyn on 50 millimetriä.



Kuva 13. Gimatic DH5526-NC tarttujan yhden sormen puristusvoima suhteessa etäisyyteen (Gimatic.com www-sivut 2015)

Kuvasta 13. näemme, että laskennassa käytettävä voima F on tällöin noin 600 newtonia.

Näillä arvoilla voidaan laskea varmuuskertoimen η suuruus. Tällä tavoin pyritään ehkäisemään kappaleen hallitsematon irtoaminen tarttujasta.

$$\eta = \frac{2\mu F}{m(g + a)}, \text{ jossa}$$

$\mu = \text{lepokitkakerroin}$

$F = \text{tarttujan puristuksen voima [N]}$

$m = \text{kappaleen massa [kg]}$

$g = \text{putoamiskiihtyvyys [m/s}^2\text{]}$

$a = \text{kappaleen kiihtyvyys [m/s}^2\text{]}$

$$\eta = \frac{2 \times 0,12 \times 600 \text{ N}}{3,5 \text{ kg} \times (9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 3,484 \approx 3,5$$

Suurempaa, eli varmatoimisempaa tarttujaa työhön ei voida myöskään valita robotin kantokyvyn riittämättömyyden vuoksi.

Jos tarttujan sormien puristuksen tuottama kitkavoima todetaan liian alhaiseksi käytännön kokeissa, voidaan tilannetta parantaa esimerkiksi:

- Muuttamalla robotin kulkurataa niin, että kappale ja tarttujan sormet eivät ole yhdensuuntaisia maan vetovoiman kanssa.
- Vähentämällä robotin kiihtyvyyttä.
- Lisäämällä sormien pintaan paremman kitkakertoimen omaavaa ainetta.

Kappaleiden massan nostamisesta aiheutuvan vääntömomentin oletetaan olevan niin pieni, että sitä ei ole laskennassa otettu huomioon.

4.4 Levy- ja akseliteline

Tavoitteena oli, että robotti hitsaa 40 kappaletta keskeytyksettömästi. Pöydällä on tilaa vähän, eikä myöskään robotin kantama ole kovin suuri. Oli haastavaa saada kaikki 40 akselia ja levyä mahtumaan pöydälle niin, että tarttujan sormet mahtuvat ottamaan uuden levyn koskematta muihin osiin.

Samaa levytelinettä yritettiin soveltaa myös muille levypaksuuksille, mutta se osoitautui erittäin hankalaksi. Levytelineen tarvitsee tukea levyä niin, että levyjen sijainti robotin koordinaatistossa pysyy toistuvana. Jos levy ei ole ohjelman mukaisissa koordinaateissa ei levy myöskään asetu riittävän tarkasti kokoonpanopisteellä akseliin nähdessä.

Toistaiseksi levyteline on ainut osa, joka tarvitsee vaihtaa toiseen työtä vaihdettaessa.

4.5 Magneettiventtiilit

Kaikkien pneumaattisten sylintereiden ohjaamiseen käytettiin SMC:n valmistamia vähävirtaisia VF-sarjan magneettiventtiileitä (Kuva 14). Yksi VF-sarjan magneettiventtiili kuluttaa vain noin 1,55 wattia. (SMC.fi www-sivut 2015)



Kuva 14. Erikokoisia SMC VF-sarjan venttiileitä (Directindustry.com www-sivut 2015)

Vähävirtaisuutta tarvittiin, koska robotin sisäisen virtalähteen kokonaisantoteho on vain noin 30 wattia (Universal Robots www-sivut 2015).

4.6 Hitsauskoneen hankinta ja toiminta

Releohjauksella korvataan hitsauspolttimen kaksitoiminen kytkin, jota painamalla hit-saaja tavanomaisesti aloittaa ja pysäyttää hitsauksen.

Releen ohjaus onnistuu robotin digitaaliulostulosignaalin avulla, jolloin releen kärjet sulkeutuvat ja toisiopuolen virtapiiri kytkeytyy. Tällöin hitsauskoneesta suojakaasun virtaus, langansyöttö ja hitsausvirtapiiri kytkeytyvät päälle. Vastaavasti taas releen kärkien vapauduttua hitsaus loppuu.

Relettä käyttäessä robotin ja hitsauskoneen virtapiirit saadaan myös erotettua toisis-taan mahdollisten häiriöiden, esimerkiksi oikosulun varalta.

Kuumakaarihitsaus vaatii hitsauskoneelta suuria tehoja. Suuret hitsausvirrat taas tuot-tavat paljon lämpöä. Työhön etsittiin siis tehokasta nestejäähdytettyä MIG/MAG-hitsauskonetta.

Vertailuja eri valmistajien hitsauskoneiden kesken ei paljonkaan tehty. Läheinen Kemp-pin jälleenmyyjä yhdessä Kempin edustajan kanssa myi Kempin FastMig M 420 hit-sauslaitteiston normaalia edullisempaan hintaan. Valintaan vaikutti myös nopea toimi-tus.

Kemppi FastMig M 420 laitekokonaisuus (Kuva 15) toimitettiin yhdessä MXF 65 lan-gansyöttölaitteiston, FastCool 10 nestejäähdytysjärjestelmän, MMT 42W nestejääh-dytetyn hitsauspolttimen ja MS 300 synergisen hitsauspaneelin kanssa.



Kuva 15. Kemppi FastMig M 420 laitekokonaisuus (Welding-russia.ru www-sivut 2015)

4.7 Hitsauspolttimen huoltoyksikkö

Hitsauspolttimen huoltoyksikkö poistaa hitsauspolttimen kaasuholkin sisäpinnalle muodostuvat hitsausroiskeet mekaanisesti pyörivällä kalvaimella.

Huoltoyksikön toimintaa ohjataan magneettiventtiilien ja robotin logiikan kautta.

Huoltoyksikkö oli vanha käytöstä poistunut yksikkö. Pienellä kunnostuksella, kuten puhdistuksella, sylintereiden tiivisteiden vaihdolla ja uusilla liittimillä yksikkö voitiin

ottaa käyttöön tähän projektiin. Magneettiventtiilit vaihdettiin myös vähävirtaisempiin malleihin.

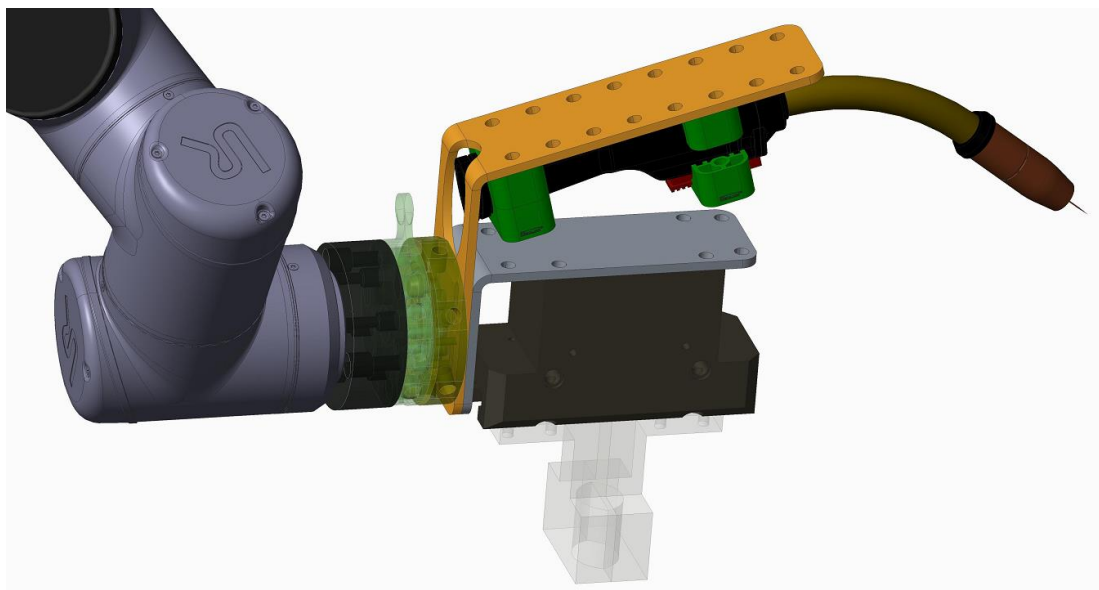
4.8 Robotin työkalu

Jo ennen hitsauspisteen suunnittelua mietin vaihtoehtoja hitsauspolttimen sijainnille. Koska erilaisia hitsipalon muotoja vaadittiin, oli loogisinta kiinnittää hitsauspoltin robotin käsivarteen.

Muualle asennetun hitsauspolttimen puhdistus olisi myös muodostunut vaikeaksi toteuttaa. Tällöin robotin olisi pitänyt kuljettaa huoltoyksikkö hitsauspolttimelle, mutta huoltoyksikön massan vuoksi tämä ei ollut mahdollista.

Työssä yhdistettiin hitsauspoltin ja tarttuja (Kuva 16). Pidikkeen suunnittelussa tärkeää oli pitää tarttuja mahdollisimman lähellä robotin työkalulaippaa. Etäisyyden kasvassa myös momenttivarsi kasvaa ja robotin servomoottorit joutuvat suuremmalle rasitukselle.

Oli myös tärkeää pitää tarttujan sormet suojassa hitsauksesta tulevilta roiskeilta. Roiskeet sormien sisäpinnalla olisivat saattaneet aiheuttaa epätarkkuuksia levyjen ja akselien paikoituksessa.



Kuva 16. Robotin työkalu kokonaisuudessaan

4.9 Anturointi

"Digitaalisella signaalilla on kaksi sovittua tilaa: aktiivinen ja deaktiivinen. Tila voidaan viestiä kytkintietona tai jännitetietona. Normaaleja jänniteviestitasoja ovat 0 V ja 24 V." (Aalto ym. 1999, 52.)

Sähköisten tulosignaalien avulla robotti voi lukea antureiden tiloja. Lähtösignaaleilla robotti voi ohjata oheislaitteita. Robotin lähtöjä ja tuloja käsitellään robotin ohjelmassa samaan tapaan kuin ohjelmoitavissa logiikoissa. Tässä tapauksessa robotin ohjelmisto korvaa kokonaan ohjelmoitavan logiikan käytön. (Aalto ym. 1999, 52.)

Sähköisiä ohjauksia varten sylinterin männän asento on voitava tunnistaa. Sylinterin sidepultteihin tai urajohteeseen voidaan kiinnittää reed-anturi. Tämä kielikoskettimin varustettu herkkä anturi reagoi mäntään kiinnitettyyn kestromagneettipalaan. Reed-anturit toimitetaan yleensä NO -tyyppisinä ja varustettuina vianhakua auttavilla merkinantoleidillä. (Keinänen ym. 2007, 73.)

Vääntösylinterin anturointi on erittäin tärkeää vikatilanteiden sattuessa ja niiden estämisessä. Esimerkiksi vikatilanne, jossa robotin käsivarsi olisi edelleen vääntösylinterin liikealueella ja vääntösylinteri kytkeytyisi päälle, saattaisi robotin käsivarsi vääntyä vääntösylinterin aiheuttamasta voimasta.

Vääntösylinterin asennon tunnistamiseen on käytetty SMC:n valmistamia D-A93L reed-antureita. Robotin logiikka ymmärtää näin siirtyä vääntösylinterin liikealueelle vasta, kun reed-anturi on kytkeytynyt.

Anturointi myös nopeuttaa automaation toimintaa. Kun vääntösylinteri on kääntynyt asentoonsa voi robotti aloittaa heti seuraavan vaiheen.

Robotin tarttujasta löytyy myös puolijohdeanturi, joka toimii vastaavalla periaatteella, kuin reed-anturi. Puolijohdeanturin tarkoitus on tunnistaa onko robotti löytänyt kappaleen silloin, kun sen pitäisi.

Tilanteessa jossa esimerkiksi levy puuttuisi sille määrätystä paikasta levytelineessä, jatkaisi robotti toimintaansa ilman anturia.

Antureiden vikaantuessa on ohjelmaan rakennettu takaisinkytkentöjä. Tämä tarkoittaa sitä, että robotti tarkistaa antureiden tilan myös silloin, kun niiden pitäisi olla pois päältä. Esimerkiksi vääntösyylinterin kääntyessä ohjelma tarkistaa anturilta, että vääntösyylinteri on kääntynyt ja sen, että vääntösyylinterin toinen anturi on pois päältä.

4.10 Robotin suojaaminen hitsausvirroilta

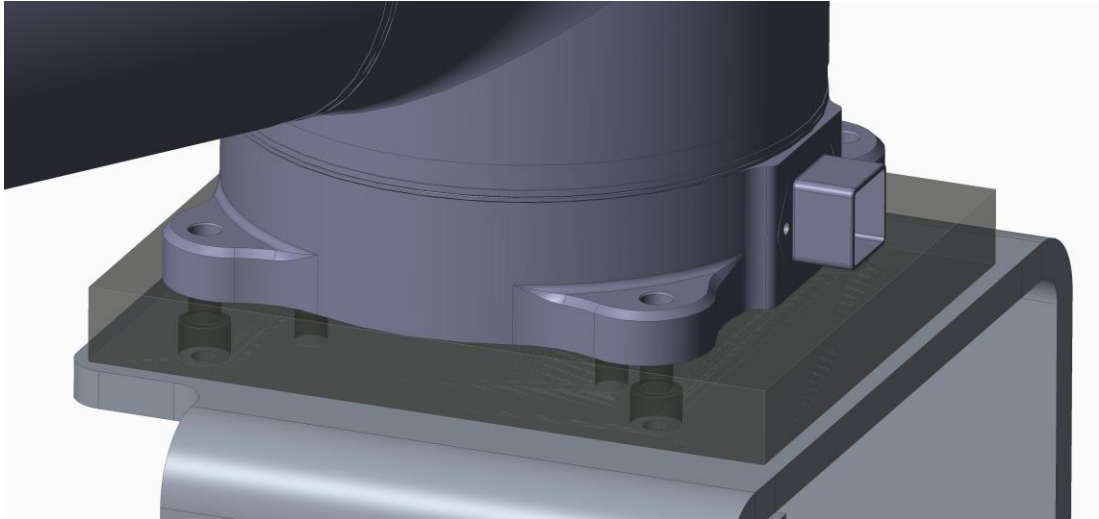
Robotti on kappaleenkäsittelyyn tarkoitettu, joten sitä ei ole suojattu mitenkään hitsausvirtoja vastaan valmistajan toimesta.

Tärkeintä robotin suojauksessa on, että hitsauksen virtapiiri on erotettu robotin rungosta. Muutoin suuret hitsausvirrat kulkeutuisivat robotin herkkien toimilaitteiden, kuten servomoottoreiden lävitse tuhoten nämä.

Monet vastaavat ratkaisut, kuten hitsausrobotit mukaan lukien ovat rakennettu niin, että robotille on rakennettu oma jalustansa ja hitsaus tehdään kokonaan erillisellä pöydällä.

Tässä projektissa pöytä on valmiiksi rakennettu robotin jalustan kanssa, joten keskityn erottamaan virtapiirit toisella tavalla.

Eräs tapa erottaa virtapiirit on rakentaa sähköä johtamattomasta aineesta eristekerros (Kuva 17) jalustan ja robotin rungon väliin.



Kuva 17. Robotin rungon ja jalustan välinen eriste

Hitsauspolttimen ja robotin työkalulaipan välinen yhteys tarvitsee myös erottaa virtapiireistään, koska robotti on yhteydessä muihin virtapiireihin robotin kytkentäkaapelin kautta. On mahdollista, että hitsauksen paluuvirta kulkisi tätä kautta takaisin robotin toimilaitteiden lävitse.

4.11 Työkalun pikalukitusovite

Robottia on tarkoitus siirtää tulevaisuudessa eri työpisteiden välillä. On tärkeää vähentää siirtämiseen tarvittavaa aikaa ja taas uudelleen asennettaessa on tärkeää, että kaikki ovat tarkasti samalla paikalla, kuin pois ottaessa.

Robotin ohjelma tarvitsisi ohjelmoida aina uudelleen, jos robotin työkalun sijainti muuttuu muihin osiin nähden.

Robotin kiinnityksessä jalustaan on käytetty erityisen pieniä toleransseja, jotta robotti voitaisiin uudelleenasennettaessa palauttaa tarkasti samaan paikkaan.

Tarttujan ja hitsauspolttimen pidikkeelle, eli työkalulle on hankittu pikalukitusovite (Kuva 18).

QC90-A on robotin puolelle tuleva sovite ja vastaavasti QC90-B on työkalun puolelle tuleva sovite. Sovitteet kiinnitetään robottiin ja työkaluun ruuvien avulla. Jatkossa sovitteita ei tule irrottaa ruuveistaan, vaan ne irtoavat toisistaan vääntämällä punaisesta kahvasta.



Kuva 18. Pikalukitussovitteet QC90 (Gimatic [www-sivut](http://www.gimatic.com) 2015)

4.12 Suojapellit

Robotin turvallisuusominaisuus sallii robotin käytön ilman suojausta, mutta jokaisesta sovelluksesta on tästä huolimatta tehtävä riskianalyysi. Tässä tapauksessa kappaleet ovat kuumia ja teräviä, joten on turvallisuuden vuoksi robottisolun eristettävä suojapellein. Myös valokaaren eristys suojapeltien avulla on suotavaa.

Suojapellit ovat suunniteltu moduulirakenteisesti. Tarvittaessa solun kokoa voidaan myöhemmin muuttaa.

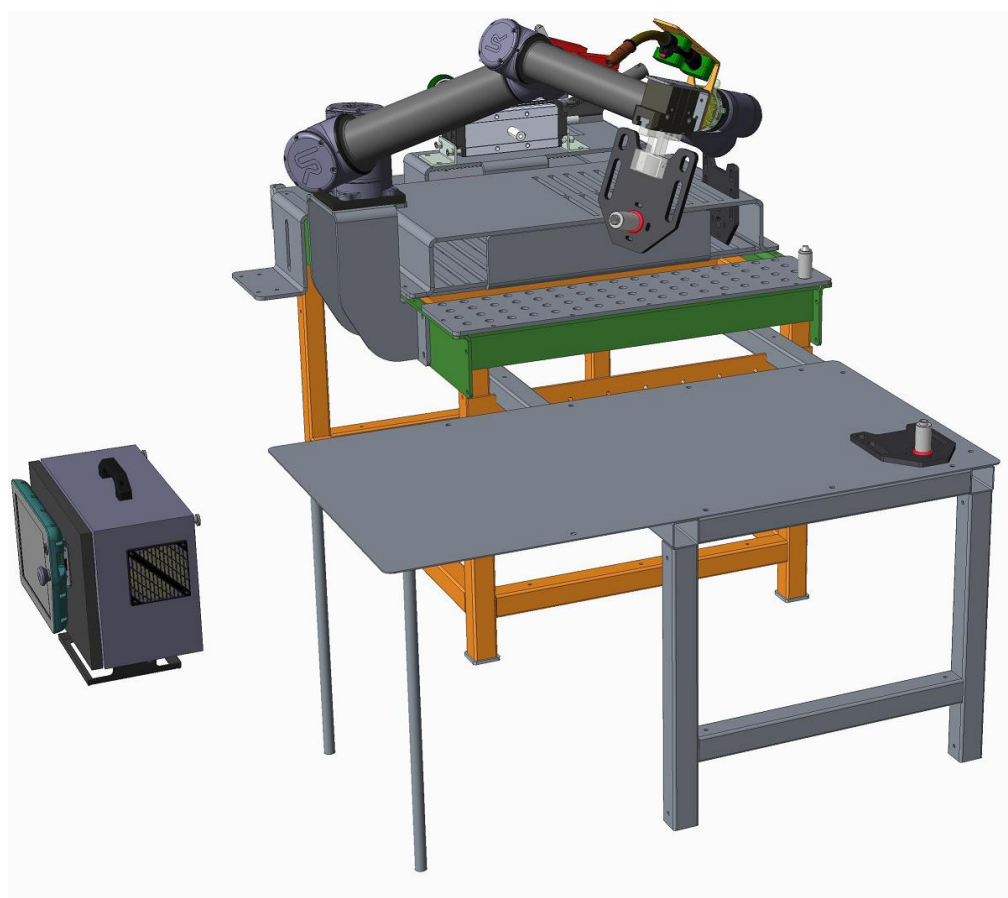
5 KOKOONPANO

Osien kokoonpano (Kuva 19) oli nopea vaihe, koska kokoonpano oli otettu huomioon hyvin jo suunnittelussa.

Osien paikoitus toisiinsa onnistui helposti ruuvien avulla. Ruuvireikien paikat vastasivat riittävän tarkasti suunnitelmissa huomioon otettuja valmistustoleransseja.

Eristeiden asennuksen jälkeen on yleismittarin jatkuvuusmittauksella todettu, että virtapiirit eivät ole suljettuja keskenään.

Jatkuvuusmittaus on nopea resistanssimittaus, jolla tarkistetaan onko virtapiiri avoin vai suljettu. Digitaaliyleismittarilla, jossa on jatkuvuussummeri, voi tehdä jatkuvuus-testauksia helposti ja nopeasti. Mittari hälyttää havaitessaan suljetun piirin, joten näyttöä ei tarvitse lainkaan katsoa testauksia tehdessä. (EDU.fi www-sivut 2015.)



Kuva 19. Tähänastinen kokoonpano

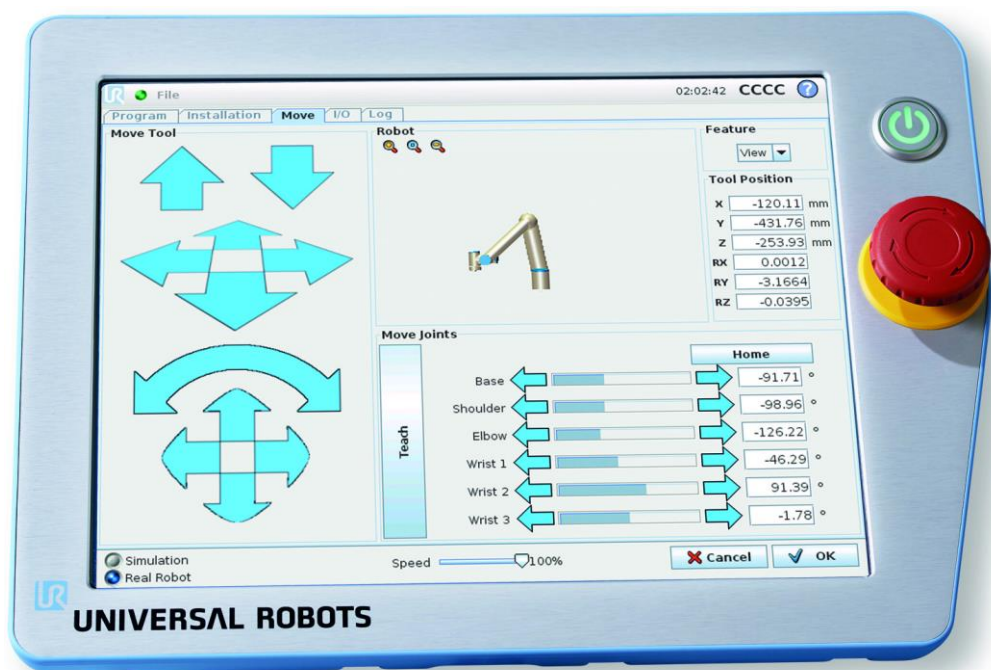
6 OHJELMOINTI JA TESTAUS

Aikaisempaa kokemusta ei nivelvarsiroboteista ole koulussa käydyn opetuksen lisäksi. Kouluttautuminen robotin ohjelmistoon tapahtui itsenäisesti.

Samalla, kun robottia ohjelmoi voi robotin liikerataa seurata pisteestä pisteeseen ja näin todeta, että esimerkiksi törmäilyjä ei tapahdu.

6.1 PolyScope

UR10 ohjelmointi tapahtuu kosketusnäytöllä varustetusta käsiohjaimesta (Kuva 20), josta löytyy Universal robotsin valmistama helppokäyttöinen PolyScope ohjelmointiympäristö.



Kuva 20. Käsiohjain PolyScope ohjelmistolla. (RNA Automation www-sivut 2015)

Tärkeimpiä PolyScopen ohjelmointikäskyjä ovat:

MoveJ Liikekomento. Nopein ja akseliystävällisin liikerata vapaisiin tiloihin, joissa ei törmäysmahdollisuutta ole.

MoveL Liikekomento. Lineaariliikerata pisteestä pisteeseen. Komento on tarkoitettu ahtaisiin tiloihin tai työliikkeisiin.

MoveP	Liikekomento. Komennolla voidaan toteuttaa kaariliike kolmen pisteen avulla. Käytetään työliikkeissä, kuten akselin hitsauksessa.
Wait	Odotuskomento. Odottaa esimerkiksi määrätyn ajan tai digitaalitulon tilan muuttumista.
Set	Asetuskomento. Muuttaa esimerkiksi digitaalilähdön tilaa.
Pattern	Voidaan määrittää toistuvan kuvion sijainti karteesisessa koordinaatistossa. Komentoon voidaan sisällyttää myös liikeradat. Käytetään levyjen ja akseleiden poiminnassa.

PolyScopen lisäksi robottia voidaan ohjata URScriptillä. URScript on robotin ohjelmointikieli, jolla ohjataan robottia skripti tasolla. Skripteillä voidaan suorittaa komen-
toja, joita ei toistaiseksi ole PolyScopeen lisätty. Komennot ovat vaativampia ja kir-
joitusasultaan muistuttavat Python ohjelmointikieltä.

Vaikka PolyScope ohjelmistoa mainostetaan helposti lähestyttäväksi ja helposti käy-
tettäväksi oli ohjelmointi ylivoimaisesti aikaa vievin osuus koko opinnäytetyöstä.

Ohjelmointiin käytettyä aikaa lisäsi huomattavasti robotin turvallisuusominaisuudesta
johtuvat pysähtymiset ja niiden minimointi.

Akselin ympäri menevän hitsaussauman laadullinen ja ulkonäöllinen parantaminen
osoittautui erityisen aikaa vieväksi. Hitsaussauman ohjelmapisteiden muuttaminen ei
läheskään aina parantanut hitsin laatua toivotulla tavalla.

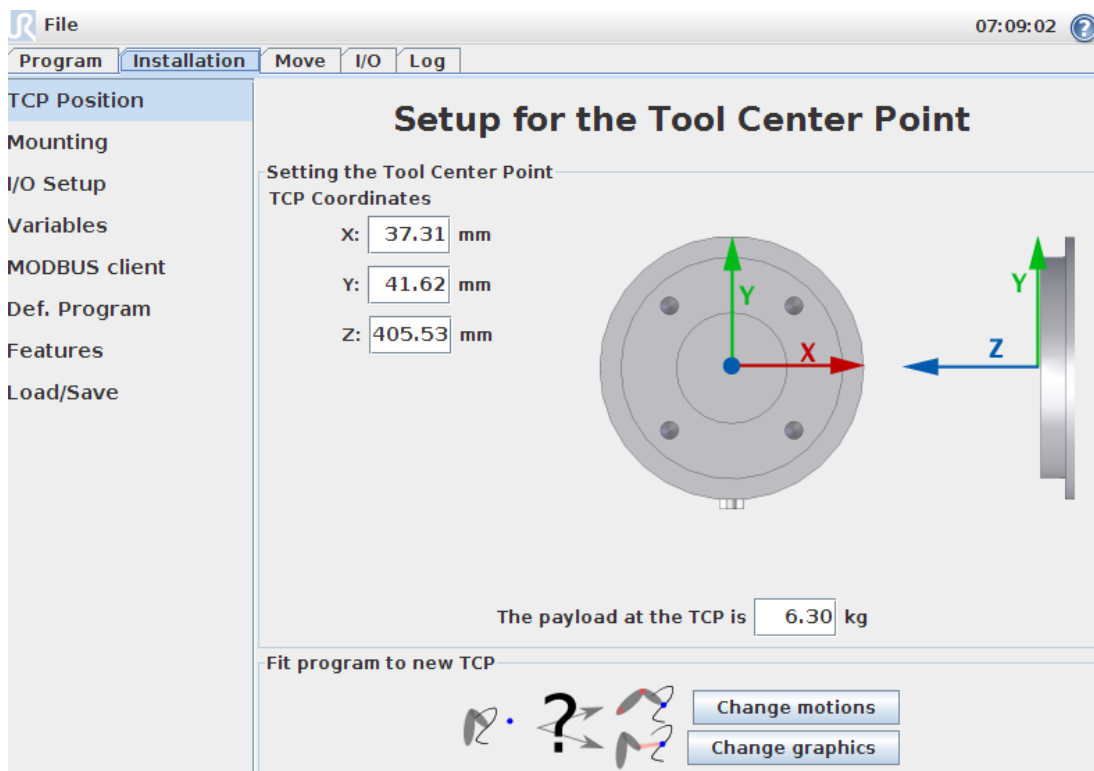
Sarjatuotannossa hitsauspisteiden paikat säilyvät samana kappaleesta toiseen, mutta
hitsauksen laatu saattoi vaihdella paljonkin kappaleiden välillä.

Hitsaussauman parantamiseen sain paljon apua kokeneilta robottihitsareilta, mutta
tästä huolimatta hitsauksen laatua ei onnistuttu saamaan täydelliseksi.

6.2 Työkalupiste

Työkalukoordinaatisto on karteesinen koordinaatisto, joka sidotaan työkalumäärittelyllä kiinni haluttuun kohtaan robotin työkalua lähtien työkalulaippaan sidotusta koordinaatistosta. Näin robotti kykenee siirtämään työkaluaan haluttujen parametrien mukaisesti, esimerkiksi hitsauksessa hitsauslankaa akselin ympäri. (Aalto ym. 1999, 21.)

Työkalupisteen määrittäminen onnistuu helposti PolyScopen asetuksista (Kuva 21). Työkalupiste pitää mitoittaa hitsauslangan päähän, jotta robotin ohjelmisto osaa siirtää työkalua oikealla tavalla hitsauksen aikana.



Kuva 21. Työkalupisteen ja työkalupisteessä sijaitsevan massan määrittäminen

7 TULOKSET JA PARANNUSEHDOTUKSET

Hitsauskiinnitin, tarttuja ja hitsaustapahtumat toimivat suunnitellulla tavalla. Kokonaisuudella on jo hitsattu useita satoja kappaleita, mutta täysin haluttuihin tavoitteisiin ei ole toistaiseksi päästy.

Robotti ei mahdu nostamaan levytelineestä täyttä 40 kappaleen erää, koska se törmää runkoonsa viimeisiä kappaleita nostettaessa.

Levyteline olisi hyvä korvata levymakasiinilla, johon levyt voitaisiin pinota päällekkäin. Pneumaattisten sylinterit työntäisivät uuden levyn yksi kerrallaan robotin tarttujalle. Tällä tavalla kappalemäärää voitaisiin nostaa tuntuvasti. Tätä ei toistaiseksi ole voitu toteuttaa, koska robotin sisäiset digitaaliulostulot ovat kaikki käytössä.

Useat laitevalmistajat tarjoavat laajennussarjaa, jolla digitaalilähtöjen ja digitaalitulojen määrää voidaan kasvattaa tuntuvasti. Sarjaa ei ole vielä hankittu, mutta se on todennäköistä tulevaisuudessa.

Robotin turvallisuusominaisuus pysäyttää ohjelman ajoittain ja ilmoittaa törmäyksen tapahtuneen. Törmäystä ei ole kuitenkaan tapahtunut.

Ongelma johtuu ilmeisesti siitä, että robotin ohjelmisto olettaa myös painopisteen sijaitsevan työkalupisteessä. Kombinaatiotyökalun todellinen painopiste valmiiksi hitsatun kappaleen kanssa sijaitsee yli 250 millimetrin päässä asetetusta työkalupisteestä. On todennäköistä, että robotin ohjelmisto ajattelee näin suurta massasta johtuvaa voimien muutosta törmäykseksi. Painopisteen muutosta tullaan kokeilemaan lähitulevaisuudessa URScriptin avulla.

Hitsauskomento on tällä hetkellä vain yksisuuntainen. Tämä tarkoittaa sitä, että robotin logiikka ei saa minkäänlaista vahvistusta hitsauksen aloituksesta. On mahdollista, että esimerkiksi hitsauslangan loppuessa robotti jatkaa työskentelyään tätä ymmärtämättä. Tämä ei ole vakava ongelma, koska seuraavassa kokoonpanovaiheessa robotti

törmää edelliseen kappaleeseen ja robotin turvaominaisuus keskeyttää ohjelman. Törmäys ei kuitenkaan ole tavoiteltu keskeytysmuoto.

Kempin FastMig M 420 ymmärtää lopettaa langansyötön, jos valokaari ei tuntemattomasta syystä syty silloin, kun sen pitäisi. Syttymiseen liittyvien ongelmien korjaamiseksi on suunnitteilla viedä hitsauskoneen langansyöttölaitteiston moottorilta komento robotin logiikkaan releen avulla. Robotilta voidaan näin kysyä hetki hitsauskonnnon alkamisen jälkeen varmennus hitsauksen alkamisesta.

Valmiisiin kappaleihin syntyy pieni määrä roiskeita ja ne joudutaan poistamaan työntekijän toimesta. Roiskeiden määrää koitetaan vähentää vaihtamalla suojakaasu puhtaampaan, paremmin kuumakaarihitsaukselle sopivampaan.

Konetta suunniteltaessa on turvallisuus ollut jatkuvasti päälimäisenä ajatuksena. Ennen varsinaista sarjatuotannon alkua koneeseen tullaan tekemään turvallisuuteen liittyvät pakolliset seikat, kuten riskianalyysi ja CE-merkintä. Suojapeltien väliin asennetaan turvaloverho, joka pysäyttää prosessin, jos valoverhon säde katkeaa esimerkiksi ihmisen toimesta.

Hitsaussavut ovat epämiellyttäviä hengittää. Savunpoistoon tarvitaan huuva, mutta sitä ei ole vielä suunniteltu, koska tarkkaa loppusijoituspaikkaa ei ole vielä määritetty. On todennäköistä, että valmis robottisolu tullaan sijoittamaan jonkin entisen käsihitsauspisteen paikalle.

8 YHTEENVETO

Pelkästään robottihitsaukseen UR10 ei ole mielestäni hyvä valinta, mutta en tois-
taiseksi väitä etteikö sitä voisi myös siinä käyttää. Perinteisiin hitsausrobotteihin on jo
rakennettu ominaisuuksia, kuten syttymisen tarkistaminen.

Vaikeuksista huolimatta on UR10 mielestäni erittäin suorituskykyinen robotti hin-
taansa nähden. Uskon, että tämän tyyppisten robottien käyttö tulevaisuudessa tulee li-
sääntymään voimakkaasti, koska yksinkertaisten ohjelmien tekeminen on tehty erittäin
helpoksi.

Työ on ollut mielestäni erittäin laaja ja siitä johtuen olen päässyt käyttämään lähes
kaikkea koulusta oppimaani tietoa hyväksi tässä työssä.

Työn tähänastiseen saavutukseen olen tyytyväinen ja uskon, että solu tullaan lähitule-
vaisuudessa saamaan täysin toimivaksi.

LÄHTEET

- AGA www-sivut. Kaarityyppien virta- ja jännitealueet. Viitattu 17.5.2015.
http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fi/imagenes/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI634_122347.pdf
- bachmann engineering ag www-sivut. UR10 laitekokonaisuus. Viitattu 26.4.2015.
<http://www.bachmann-ag.com/vertretungen/universalrobotsur.aspx>
- Direct Industry www-sivut. Magneettiventtiilien kuva. Viitattu 28.4.2015.
<http://www.directindustry.com/prod/smc-france/5-way-solenoid-valve-pilot-operated-compact-16465-1036997.html>
- Gimatic www-sivut. Tarttujan tiedot. Viitattu 28.4.2015.
<http://www.gimatic.it/Gimatic/ProductsFiles/Catalogs/en/dh.pdf>
- Gimatic www-sivut. Pikalukitussovitteen tiedot ja kuva. Viitattu 28.4.2015.
<http://www.gimatic.it/Gimatic/ProductsFiles/Catalogs/en/qc.pdf>
- Heikki, A., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J. & Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/Metallitekniikka.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Leino, K. & Meuronen, I. 1987. Hitsauskiinnittimen suunnittelu. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Lepola, P., Makkonen, M. 2009. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOYpro Oy.
- Mäkelä, M., Soininen, Lauri., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2010. Tekniikan KAAVASTO. 9. P. Tampere: Tammertekniikka/Amk-Kustannus oy.
- Opetushallituksen www-sivut. Jatkuvuusmittaus. Viitattu 28.4.2015.
http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_y1_yleismittarit_ja_niiden_kaytto.html
- Posicraft Oy www-sivut. 2014. UR10 turvallisuusstandardit. Viitattu 26.4.2015.
<http://www.posicraft.fi/fi/tuotteet/universal-robots>
- RNA Automation Ltd www-sivut. UR käsiohjaimen kuva. Viitattu 28.4.2015.
<http://www.rnaautomation.com/blog/meet-universal-robots-simple-flexible-affordable/>

Stén & Co Oy Ab www-sivut. Böhler K460 tuotetiedot. 2003. Viitattu 26.4.2015.
<http://www.sten.fi>

Universal Robots A/S www-sivut. Robotin tiedot. Viitattu 28.4.2015.
http://www.universal-robots.com/media/8764/ur10_user_manual_en_global.pdf

Welding-russia www-sivut. FastMig M 420 laitekokonaisuus. Viitattu 26.4.2015.
<http://www.welding-russia.ru/catalog.html?itemid=10188>