

Ilkka Keskinen

Kappaleenkäsittelylaitteen suunnittelu robotille

Jobotics Oy

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Ilkka Keskinen

Työn nimi: Kappaleenkäsittelylaitteen suunnittelu robotille

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2020

Sivumäärä: 58

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Jobotics Oy, joka on teollisuusrobottien huoltoihin ja korjauksiin sekä robottisolujen suunnitteluun, toteutukseen ja käyttöön-ottoihin erikoistunut yritys. Yrityksen toimipiste on Ylihärmässä Etelä-Pohjanmaalla, josta käsin se toimii koko maassa. Työn tarkoituksena oli suunnitella grillityyppinen kappaleenkäsittelylaite hitsausrobotin apulaitteeksi. Suunniteltavan rakenteen ha- luttuiin olevan modulaarinen ja helposti räätälöitävissä kunkin asiakkaan tarpeiden ja hitsattavien kappaleiden mukaisesti.

Tällaisen rakenteen suunnittelu vaati myös sopivien toimilaitteiden ja ohjauksen kar- toittamisen sekä valinnan. Opinnäytetyön teoriaosuudessa selvitettiin, mistä kappaleenkäsittelylaite koostuu ja millaisia robottihitsaukseen soveltuvia hitsausmenetel- miä on käytössä. Kappaleenkäsittelylaitteen tarkoitusta, rakennetta ja toimilaitteita tutkittiin tarkemmin. Tarkoitus on optimoida hitsattavan sauman asento hitsauspro- sessissa ja samalla tehdä prosessista entistä tehokkaampi ja nopeampi. Erityyppis- ten servomootoreiden eroavaisuuksia ja ominaisuuksia sekä niiden ohjauskompo- nenttien toimintaa selvitettiin. Lisäksi tutkittiin servojärjestelmään soveltuvan vaih- teiston teknisiä vaatimuksia. Valmistusystävällisyyden näkökulmia, kuten standar- dointia ja modulaarisuutta, huomioitiin mekaanisen rungon rakennetta ajatellen.

Työn tuloksena valmistui suunnitelma hitsausrobotin kappaleenkäsittelijänä toimi- vasta grillistä, jolle valittiin tarkoituksenmukaiset toimilaitteet ja logiikkaohjain. Suun- niteltu grilli täyttää kaikki yrityksen sille asettamat vaatimukset. Lopputulos oli hyvin asiakasvarioituvaa ja modulaarinen sekä kykenevä käsittelemään vaadittua 300 kg:n kuormaa. Asiakaskohtaisesti varioitavia ominaisuuksia ovat voimansiirron ja ohjaus- tavan valinta sekä käsiteltävien kappaleiden ulkoisten mittojen määrittely. Samalla suunniteltiin yrityksen eräälle omalle tuotteelle hitsauskiinnitin, jota voitaisiin mah- dollisesti hyödyntää omassa tuotannossa tai demosolussa.

Avainsanat: robotiikka, hitsaus, servotekniikka, hitsauskiinnitin, tuotekehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Ilkka Keskinen

Title of thesis: Designing a workpiece positioner for an industrial robot

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2020

Number of pages: 58

Number of appendices: 0

The mandator of the thesis was Jobotics Oy, which is a company specialised in both maintenance and repair of industrial robots and in design, execution and commissioning of robot cells. The company's office is in Ylihärmä, South Ostrobothnia, from which it operates in the whole country. The purpose was to design a grill-type workpiece positioner as an auxiliary device for an industrial robot. The mandator's wish was that the design of the structure would be modular and easy to modify according to the needs of the customer and welded workpieces.

Designing this kind of structure demanded surveying and designating suitable actuators and control devices. In the theory part of the thesis, the assembly of the workpiece positioner and different welding methods used in robotic welding were clarified. The purpose, assembly and actuators of workpiece positioner were more closely examined. The purpose was to optimize the position of the weld in the welding process and to make the process faster and more efficient. The characteristics of and differences in different kinds of servomotors and the function of their control devices were inspected. In addition, the requirements for a transmission working as part of a servosystem were examined. The perspective of manufacturing friendliness was also acknowledged regarding the structure of the mechanical frame.

As a result of the thesis, a plan was made for a grill working as a workpiece positioner for an industrial robot, with suitable actuators and a designated logic controller. The designed grill fulfils all the requirements set by the company. The result was very well customer modifiable and modular in structural design along with being able to manipulate the required 300 kg load. The customer modifiable characteristics were selecting a transmission module and a control method along with the designation of the workpiece dimensions. As a by-product in the process, a welding fixture for a certain product by the company was designed. It could be possibly utilized in the company's own production or in a demo cell.

Keywords: robotics, welding, servotechnics, welding fixture, product development

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvioluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Yritysesittely.....	8
1.2 Työn tausta ja tavoite	8
1.3 Työn rajaus	9
1.4 Työn rakenne	9
2 HITSaus JA ROBOTIIKKA.....	10
2.1 Hitsausmenetelmät	10
2.1.1 Puikkohitsaus.....	11
2.1.2 MIG-/MAG-hitsaus	11
2.1.3 TIG-hitsaus	12
2.1.4 Plasmahitsaus.....	12
2.1.5 Vastushitsaus ja pistehitsaus	13
2.1.6 HPDL (High Power Diode Laser)	14
2.1.7 FSW (Friction Stir Welding).....	15
2.1.8 Hybridihitsaus	15
2.2 Hitsausmenetelmät robotiikassa	16
2.2.1 Railonhaku ja seuranta	16
2.2.2 Optinen railonseuranta.....	17
2.3 Kappaleenkäsittelylaitteet	20
2.4 Käsittelylaitteiden toimintaperiaate.....	26
2.4.1 Servomootorit.....	27
2.4.2 Servovahvistin.....	29
2.4.3 Ohjelmoitava logiikka	30
2.4.4 Voimansiirto	33
3 VALMISTUSYSTÄVÄLLINEN SUUNNITTELU	35

3.1 Valmistettavuus.....	35
3.2 Kokoonpantavuus	38
3.3 Standardointi ja modulointi.....	40
4 KAPPALEENKÄSITTELYLAITTEEN SUUNNITTELU.....	41
4.1 Lähtötilanne	41
4.2 Mekaniikkasuunnittelu.....	41
4.3 Vaihteiston valinta	44
4.4 Ohjaus ja toimilaitteiden kartoitus.....	46
4.4.1 Servomoottori.....	47
4.4.2 Servokäyttö	47
4.4.3 PLC.....	48
4.5 Jigin suunnittelu demokappaleelle	48
5 TULOKSET	50
6 YHTEENVETO.....	54
LÄHTEET	56

Kuvioluettelo

Kuvio 1. Etäisyyden kolmiomittaus (soveltaen Pires ym. 2006, 78).	18
Kuvio 2. Railon geometrian mittaus (soveltaen Pires ym. 2006, 110).	19
Kuvio 3. IRBP L (RobotStudio 2019).....	21
Kuvio 4. IRBP R (RobotStudio 2019).....	22
Kuvio 5. IRBP K (RobotStudio 2019)	23
Kuvio 6. IRPB A (RobotStudio 2019)	24
Kuvio 7. IRBP B (RobotStudio 2019)	25
Kuvio 8. IRBP D (RobotStudio 2019).....	26
Kuvio 9. Kvadranttipiirros (soveltaen Airila 2000, 19).....	30
Kuvio 10. PLC laitteiston elementit (soveltaen Keinänen ym. 2010, 223).	31
Kuvio 11. Vaihteistomoduli (Solid Edge 2020)	42
Kuvio 12. Suunnitellun grillin rakenne (Solid Edge 2020)	44
Kuvio 13. Voimansiirron suorituskäyrät (NCP 4.2).....	46
Kuvio 14. Suunniteltu hitsausjigi (kuvan selkeyttämiseksi kaksi moduulia on piilotettu) (Solid Edge 2020).....	49
Kuvio 15. Suunnittelun tulos, valmis grilli demokappale kiinnitettynä (Solid Edge 2020).....	52
Kuvio 16. Valmis grilli (Solid Edge 2020)	52
Kuvio 17. Grilli sivulta kuvattuna (Solid Edge 2020).....	53

Käytetyt termit ja lyhenteet

Grilli	Kappaleenkäsittelylaitteen tyyppi, jossa kappaletta pyöritetään pyörityskäytöllä toisesta päästä ja tuetaan laakeroinnilla toisesta päästä.
MIG/MAG	Yleinen hitsausmenetelmä, jonka nimi tulee englanninkielisistä sanoista: Metal-arc (metallikaari), Inert Gas (inertti- nen kaasu) / Metal-arc (metallikaari), Active Gas (aktiivinen kaasu).
TIG	Yleinen hitsausmenetelmä, jonka nimi tulee englanninkielisistä sanoista: Tungsten-Inert-Gas.
DFM	Valmistettavuus eli DFM tulee sanoista Design For Manufacturability. Tuotteen suunnittelu valmistusystävälliseksi.
DFA	Tuotteiden kokoonpantavuus, DFA tulee sanoista Design For Assembly. Tuotteen suunnittelu kokoonpanoystävälliseksi.
Jigi	Työstettävän kappaleen työstön aikana paikoillaan pitämiseen tarkoitettu kiinnitin.
Hitausmomentti	Pyörimisliikkeessä vastaa kappaleen etenemisliikkeen massaa. Mitä suurempi hitausmomentti kappaleella on, sitä suurempi momentti tarvitaan kappaleen pyörimisliikkeen kiihdyttämiseen halutussa ajassa.
CODESYS	Controller Development System on esimerkiksi logiikoiden ohjelmointiin tarkoitettu IEC 61131-3 normin mukainen ohjelmointiympäristö.

1 JOHDANTO

1.1 Yritysesittely

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Jobotics Oy, jonka toimipiste on Ylihärmässä Kankaankylässä. Jobotics on teollisuusrobottien huoltoihin ja korjauksiin sekä robottisolu- lujen suunnitteluun, toteutukseen ja käyttöönottoihin erikoistunut yritys, joka toimii Etelä-Pohjanmaalta käsin koko maassa. Yritys toteuttaa ABB:n robottien huollot ja vikakorjaukset ja on myös ABB Roboticsin yhteistyökumppani. Projektit kuuluvat yri- tyksen palveluihin huoltojen lisäksi. Jobotics suunnittelee ja toteuttaa laajemmatkin robottikonaisuudet asiakkaan toivomusten mukaan. Haastavatkin toimitukset on- nistuvat hyvän ammattitaidon ja kattavan yhteistyöverkoston avulla. Palveluihin kuu- luvat myös robottien käyttöönotot. Työntekijöitä tällä hetkellä on omistajan lisäksi yksi kausityöntekijä.

1.2 Työn tausta ja tavoite

Jobotics Oy:ssä on todettu, että käytetyille ja ilman optiota oleville roboteille asen- nettavalle ulkoiselle apulaitteelle olisi kysyntää. Tällaista apulaitetta, esimerkiksi ro- botin ulkoisena akselina toimivaa kääntöpöytää, ei ole tarjolla kyseisiin robotteihin kilpailukykyiseen hintaan. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella grillityyppinen pyörityspöytä teollisuusrobotin apulaitteeksi, jonka pääasiallinen käyttö olisi nimen- omaan robottihitsauksessa. Suunniteltavan rakenteen haluttiin olevan modulaari- nen ja helposti räätälöitävissä kunkin asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Kyseessä on siis myytäväksi tarkoitettu tuote yritykselle, joka haluaa kehittää ja automatisoida hitsausprosessiaan. Asiakkaan tarpeiden mukaisesti räätälöityä grilliä voitaisiin tar- jota yritykseen, jolla jo on hitsausrobotti mutta ei kappaleen käsittelylaitetta. Vaihto- ehtoisesti Jobotics Oy voisi tarjota asiakkaalle valmista hitsaussolua sisältäen kai- ken tarpeellisen, muun muassa robotin ja sen kanssa tämän työn käsittelemän grillin kappaleenkäsittelylaitteeksi. Grillin lopulliset mitat ja käsittelykykyvaatimus selviävät vasta kunkin asiakkaan kohdalla, jonka tarpeiden mukaan grilli mitoitettaisiin.

1.3 Työn rajaus

Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella mahdollisimman monelle asiakkaalle räätälöitävissä oleva ratkaisu ensisijaisesti hitsausrobotin grillityyppiselle kappaleen käsittelylaitteelle ja kartoittaa toimilaitteet, joilla sitä voitaisiin operoida robotin kanssa toimittaessa. Työn tarkoituksena ei ole tuottaa lopullisia valmistuskuvia, vaan ratkaisumalli, jonka pohjalta lopullinen kullekin asiakkaalle räätälöity grilli valmistettaisiin. Laitteen runko teetetään joka tapauksessa alihankintana, joten valmiita ostokomponentteja suositaan mahdollisimman paljon. Kokoonpano sen sijaan suoritetaan itse. Yrityksen oma osaaminen on robotiikassa, automaatiassa ja elektroniikassa, joten metallin työstö pyritään jättämään mahdollisimman vähälle.

1.4 Työn rakenne

Alussa työn teoriaosuudessa käydään läpi hitsauksen ja robotiikan kehitystä ja erilaisia hitsausmenetelmiä ja kerrotaan niiden soveltuvuudesta robottihitsaukseen. Sen jälkeen kerrotaan robottihitsauksesta ja siihen liittyvistä menetelmistä. Seuraavaksi käsitellään kappaleenkäsittelylaitteita ja niiden rakennetta. Teoriaosuuden lopussa käydään läpi valmistusystävällisen suunnittelun perusteita. Sovellusosuudessa käydään läpi kappaleenkäsittelylaitteen suunnittelua ja toimilaitteiden valintaa sekä käydään läpi työn tuloksia ja niihin päätymistä. Lopussa on yhteenveto opinnäytetyöstä.

2 HITS AUS JA ROBOTIIKKA

Hitsauksella tarkoitetaan kappaleiden liittämistä toisiinsa käyttäen lisäainetta tai ilman lisäainetta siten, että kappaleiden yhteen liittyminen tapahtuu joko sulattamalla liitospinnat, voimakkaalla plastisella muokkauksella tai diffuusion avulla. Nykyaikainen hitsausteknologia juontaa juurensa 1900-luvun vaihteeseen, kun kaasuhitsaus ja kaarihitsaus kehittyivät merkittävästi. TIG-hitsaus ja MIG/MAG-hitsaus puolestaan kehitettiin 1940-luvulla. (Vanninen & Ihalainen 2000, 281.)

Vuonna 1962 General Motors otti autotehtaassaan käyttöön ensimmäisen teollisuusrobotin. George Devolin ja Joseph Engelbergerin kehittämä UNIMATE suoritti pistehitsausta kokoonpanolinjan läpi kulkeviin autoihin. Hitsausrobotit alkoivat yleistyä kuitenkin vasta 1980-luvulla, jolloin muutkin autovalmistajat alkoivat seurata General Motorsin esimerkkiä ja käyttää robotteja pistehitsauksessa. (RobotWorx 2013.)

Vuonna 1974 ABB, silloinen ASEA, esitteli ensimmäisen mikroprosessoriohjatun ja sähkökäyttöisen teollisuusrobotin markkinoille. Vuotta myöhemmin 1975 se toi markkinoille ensimmäisen robottihitsausaseman sisältäen robotin, kappaleenkäsittelylaitteen ja kaarihitsauslaitteiston. (Isla 2013.)

2.1 Hitsausmenetelmät

Hitsausmenetelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään. Nämä ryhmät ovat sulahitsaus ja puristushitsaus. Sulahitsauksessa hitsattavien liitoskohtien pinnat kuumennetaan sulaksi, jolloin liitos saadaan aikaan yhteen sulamisella ilman puristusta. Sulahitsausta voidaan suorittaa lisäaineella tai ilman sitä. Lisäaineen sulamislämpötila on suunnilleen sama kuin perusaineen. Sulahitsaus menetelmät voidaan edelleen jakaa ryhmiin, joita ovat esimerkiksi metallikaarihitsaus ja kaasukaarihitsaus. Puristushitsauksessa yhteen liittämiseen ei käytetä lisäainetta. Menetelmässä liitettävät pinnat kuumennetaan tahdasmaiseen lämpötilaan ja puristetaan yhteen määrättyllä voimalla, jolloin syntyy kiinteä liitos. Puristushitsaus menetelmät voidaan myös jakaa ryhmiin, joita ovat esimerkiksi vastushitsaus ja kitkahitsaus. (Lepola & Makkonen 2005, 8.)

2.1.1 Puikkohitsaus

Puikkohitsaus on metallikaarihitsausta päällystetyllä lisääineella, eli se on sulahitsausprosessi. Riittävä hitsauslämpötila saadaan aikaiseksi valokaaren avulla, joka palaa perusaineen ja elektrodin välillä. Elektrodina toimii päällystetty ja samalla lisääineena toimiva sulava hitsauspuikko. Lisäaine siirtyy valokaareissa pisaroina ja puikon päällysteestä syntyvä kaasu sekä hitsipalon pinnalle muodostuva kuona suojaavat sulaa lisäainetta sekä hitsisulaa ilmassa olevan hapen haitallisilta vaikutuksilta. Puikkohitsaus soveltuu menetelmänä ja lisääineiden laajan valikoiman puolesta muun muassa seostamattomille, niukkaseosteisille, ja ruostumattomille teräksille, valuraudalle, alumiinille ja sen seoksille sekä kuparille ja sen seoksille. (Vaninen & Ihalainen 2000, 289.) Puikkohitsaus ei sovellu robottihitsaukseen ja se onkin aina käsinhitsausta eikä sitä voida mekanisoida lisääineen lyhyen määrämittana (ESAB, [viitattu 7.5.2020]).

2.1.2 MIG-/MAG-hitsaus

MIG on lyhenne sanoista Metal-arc (metallikaari), Inert Gas (inerttinen kaasu). Inerttinen kaasu tarkoittaa reagoimatonta, eli se on passiivinen kaasu. Inerttisinä suoja-kaasuina käytetään siis jalokaasuja, kuten argonia (Ar) tai argonin ja heliumin (He) kaasuseoksia. MIG-hitsausta käytetään ei-rautametallien, kuten alumiinin, titaanin ja kuparin hitsaukseen. MAG on lyhenne sanoista Metal-arc (metallikaari), Active Gas (aktiivinen kaasu). Aktiivinen kaasu siis reagoi hitsisulan kanssa. Aktiivisena suoja-kaasuna käytetään hiilidioksidin (CO₂) ja argonin (Ar) kaasuseosta, (esim. 75 % Ar + 25 % CO₂) tai argonin ja hapen (O₂) kaasuseosta (esim. Ar 98 % + O₂ 2 %). MAG-hitsausta käytetään terästen hitsaamiseen. MIG-/MAG-hitsaus on puoliautomaattinen hitsausmenetelmä, jossa suhteellisen ohutta lisäainelankaa syötetään langansyöttölaitteen avulla vakionopeudella suoja-kaasulla suojattuun hitsisulaan. Lisäaine ja perusaine sulavat niiden välille syttyvän valokaaren vaikutuksesta. Suoja-kaasu johdetaan hitsauskohtaan hitsauspistoolin kaasusuuttimen läpi. MIG-/MAG-hitsaus on tätä nykyä, puikkohitsauksen ohella, eräänlainen yleishitsausmenetelmä, jota voidaan käyttää hyvin laajalti mitä erilaisimmissa hitsaussovelluksissa. MIG-/MAG-menetelmän käytössä on lukuisia etuja: sillä voidaan hitsata melkein kaikkia

metallimaisia materiaaleja vaihtelevilla materiaalivahvuuksilla (1-30 mm tai yli), tehokas kaikissa hitsausasunnoissa, suuri nopeus ja hitsiaineentuotto, ei vaadi säännöllisiä pysähdyksiä esimerkiksi elektrodin vaihdon takia, lisäksi vaatii vain minimaalista sauman puhdistusta hitsauksen jälkeen, sillä kuonaa ei muodostu juuri ollenkaan. (Lepola & Makkonen 2005, 103.) Etujensa takia prosessi soveltuu erittäin hyvin robottihitsaus sovelluksiin (Pires, Loureiro & Bolmsjö 2006, 37).

2.1.3 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus nimi tulee englanninkielisistä sanoista Tungsten-Inert-Gas welding. TIG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa kulumattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä palaa valokaari. Valokaari sulattaa perusaineen hitsisulaksi. Hitsaustapahtumaa ja elektrodin kuumaa kärkeä suojaa ilman hapen haitallisilta vaikutuksilta kaasusuuttimen kautta johdettu suojakaasu. Suojakaasuina käytetään argonia, heliumia tai näiden seosta, argon-helium seoskaasua. Hitsaus voidaan suorittaa joko lisäaineella tai ilman. Jos lisäainetta käytetään, se tuodaan valokaaren kuumentamaan hitsisulaan sivusta erikseen käsin tai koneellisesti langan muodossa. TIG-hitsaus soveltuu etenkin ohuiden ainevahvuuksien hitsausmenetelmäksi laatuvaatimusten ollessa suuret. Tyypillisimpiä käyttökohteita ovat ohuiden ruostumattomien terästen hitsaus, alumiinin, kuparin ja useiden erikoismetallien, kuten titaanin, hitsaus, korkeapaineputkien pohjapalkojen hitsaus (hyvä sulan ja lisäaineen tuonnin hallinta), useat automaattihitsaussovellutukset, kuten ruostumattomien putkien pituussaumojen hitsaus. (Lepola & Makkonen 2005, 159.) Ilman lisäainetta hitsattaessa TIG-hitsaus voidaan robotisoida erittäin helposti, mutta lisäainetta tarvittaessa vaaditaan erikoisratkaisuja (Pires ym. 2006, 28).

2.1.4 Plasmahitsaus

Plasmahitsaus on kaarihitsausmenetelmä. Plasmahitsauksessa käytetään erittäin korkeaan lämpötilaan (10 000 - 30 000 °K) kuumennettua plasmatilassa olevaa kaasua. Menetelmä muistuttaa periaatteeltaan jonkin verran TIG-hitsausta. Plasmahitsauksessa käytetään yleisesti samanlaista kulumatonta tungsten-elektrodiä kuin

TIG-hitsauksessakin. Plasmahitsauksessa valokaari palaa elektrodin ja työkappaleen välillä ja hitsaustapahtuma suojataan kaasulla. Erona TIG-hitsaukseen plasmahitsauksessa on apuvalokaari, joka palaa elektrodin ja kaasusuuttimen välillä. Apuvalokaaren tehtävänä on varsinaisen plasmakaaren sytyttäminen. Lisäksi valokaareen johdetaan elektrodin kautta erillistä ns. plasmakaasua plasmatilan aikaansaamiseksi. Kaasumaiset aineet esiintyvät joko yksiatomisina kaasuina (esim. argon ja helium) tai kahden atomin muodostamina molekyyleinä (esim. vety ja typpi). Kaasun lämpötilan noustessa tapahtuu kaksiatomisilla kaasuilla dissosiaatio, jolloin molekyyli hajoaa atomeiksi. Lämpötilan edelleen kasvaessa alkaa atomin elektroniradalta irrota elektroneja, jolloin kaasuun muodostuu positiivisesti varautuneita ioneja sekä kaasussa vapaasti liikkuvia negatiivisesti varautuneita elektroneja. Tätä kutsutaan kaasun ionisaatioksi. Plasmakaasulla ymmärretään tällaista korkeaan lämpötilaan kuumennettua kaasua, joka on osittain dissosioitunut ja ionisoitunut. Plasmatilaiselle kaasulle on ominaista erittäin suuri lämpösisältö, vapaista elektroneista johtuva erinomainen sähkönjohtokyky sekä hyvä lämmönjohtokyky. (Vanninen & Ihalainen 2000, 304.) Plasmahitsauksen robotisointi antaa lisää joustavuutta helpon hitsausnopeuden ja lämmöntonin säätelyn avulla (RobotWorx 2016).

2.1.5 Vastushitsaus ja pistehitsaus

Vastushitsaus on puristushitsausmenetelmä, jossa sähkövirran ja liitoskohdan suuren vastuksen avulla synnytetään tarvittava hitsauslämpö. Vastushitsausmenetelmät jaetaan kahteen ryhmään. Ryhmät ovat päittäisliitosten hitsausmenetelmät, joita ovat leimu- ja tyssähitsaus ja limiliitosten hitsausmenetelmät, joita puolestaan ovat piste-, käsnä- ja kiekkohitsaus. Vastushitsaus soveltuu useimpien metallien liittämiseen. (Vanninen & Ihalainen 2000, 311.)

Pistehitsaus on yleisesti käytetty vastushitsausmenetelmä. Pistehitsauksessa hittavat kappaleet, esimerkiksi ohutlevyt, puristetaan liitoskohdastaan kahden seoskuparisen elektrodin väliin. Virta kytketään ja pidetään kytkettynä, jolloin matalajännitteinen, suuri virta synnyttää elektrodien väliin kappaleiden kosketuspisteen kohdalle runsaasti lämpöä. Virran voimakkuuden, kytkemisajan ja puristusvoiman

ollessa säädetty oikein lämpötila ylittää sulamispisteen kappaleiden välisillä rajapinnoilla ja muodostaa pistemäisen hitsisulan. Virta-ajan jälkeen, eli virran kytkeydyttyä pois, jälkipuristusajalla vesijäähdytetyt elektrodit tukevat ja jäähdyttävät jähmettyvää hitsiä. Hitsin jäähdyttyä ja saavutettuaan riittävän lujuuden elektrodit irtoavat kappaleesta ja hitsi on valmis. (Lepola & Makkonen 2005, 255.) Muun muassa autoteollisuus käyttää runsaasti pistehitsausta ohutlevyliitosten valmistuksessa sen tehokkuuden ja taloudellisuuden ansiosta, minkä takia se onkin vastushitsausmenetelmistä eniten robotisoitu menetelmä (Pires ym. 2006, 54).

2.1.6 HPDL (High Power Diode Laser)

Diodilaser on suuritehoiseen metallien hitsaukseen soveltuva laite. Se koostuu useasta, teholtaan noin 1 watin, diodilaserelementistä. Diodielementtejä kasataan noin 20 diodin nippuihin. Laserin hitsauksen edellyttämä teho saavutetaan liittämällä nippuja päällekkäin. Yhdessä ne muodostavat niin kutsutun lasermoduulin. Lasermoduulin tyypillinen teho on noin 700-1000 wattia. Useiden kilowattien tehoinen diodilaser saadaan yhdistämällä usean lasermoduulin tuottamat säteet samalle optiselle akselille käyttämällä tarkoituksen mukaista erikoisoptiikkaa. Diodilaserin säteen laatu on huonompi ja polttopisteen koko suurempi kuin muissa yleisimmissä lasereissa. Tämän takia se soveltuu hitsausmenetelmänä ainoastaan sulattavaan hitsaukseen, mutta ei syvätunkeumahitsaukseen. Diodilaserin käyttämät aallonpituudet ovat tyypillisesti 800-1000 nm, joten sädettä on mahdollista ohjata optisella kuidulla. Suuritehoisen diodilaserin käyttökustannukset ovat alhaiset diodien pitkän eliniän ja korkean hyötysuhteen, noin 30 %, ansiosta. HPDL-laitteisto on kevyt ja kompakti ja voidaan helposti liittää pienenkin käsittelykyvyn robotteihin (alle 25 kg). Menetelmä on yleistymässä termoplastisten eli lämpömuovautuvien materiaalien hitsauksessa, jossa se on korvaamassa perinteisempiä menetelmiä. (Pires ym. 2006, 53-54.)

2.1.7 FSW (Friction Stir Welding)

Perinteisessä kitkahitsauksessa kappaleet liitetään yhteen liikuttamalla niitä toisiaan vasten, josta syntyy kitkan tuottamaa lämpöä. Painettaessa ja samaan aikaan liikuttaessa kappaleita toisiaan vasten syntyy hitsaamiseen vaadittava lämpö ja yhteen liittyminen. Vuonna 1991 kehitettiin Iso-Britanniassa The Welding Institutessa (TWI) uusi kitkahitsausmenetelmä, jota kutsutaan kitkahitsaukseksi pyörivällä työkalulla. Tässä menetelmässä käytetään pyörivää kulutusta kestävästä työkalusta, joka painetaan hitaasti liitettävien pintojen sisään melkein koko ainevahvuuden matkalta. Työkalun luoma paine ja pyörimisliike aiheuttaa kitkaa ja lämpöä, joiden avulla hitsaus tapahtuu. Työkalua liikutetaan sen jatkuvasti pyöriessä vakionopeudella liitettävien kappaleiden läpi liitossaumaa pitkin. Liitettävien kappaleiden tulee olla hyvin kiinnitetty, jotta ne eivät liikkuisi prosessin suurien voimien vaikutuksesta. Työkalun kitkan aiheuttama lämpötila ei ole kuitenkaan niin korkea kuin useimpien metallien sulamislämpötila, vaan se luo pehmenneen plastisoituneen alueen työkalun ympärille. Plastisoitunut materiaali sekoittuu yhteen pyörimisliikkeen vaikutuksesta ja luo kiinteän liitoksen kappaleiden välille. (ESAB, [viitattu 3.5.2020].) Menetelmä soveltuu robotisoitavaksi ja se luo menetelmälle uusia mahdollisuuksia monikaarevien saumojen hitsauksen muodossa, mutta se vaatii myös robotilta paljon prosessin aiheuttamien suurien voimien takia (Pires ym. 2006, 64).

2.1.8 Hybridihitsaus

Hybridihitsauksella tarkoitetaan kahden eri hitsausmenetelmän yhdistämistä samaan prosessiin. Yleisin käytetty hybridihitsausmenetelmä on laserin ja kaarihitsauslaitteiston yhdistelmä. Tällaista hybridiprosessia kuvaillaan samanaikaisella keskitetyn lasersäteen ja valokaaren tuomisella hitsattavaan saumaan. Tämä yhdistelmä tarjoaa monia etuja, kuten suuresti kasvanut railotoleranssi. Prosessi toimii siten, että kaarihitsausmenetelmä tuo sopivan määrän lisäainetta railon täyttöön samalla kun laser tuo syvän tunkeuman ja suuren nopeuden (Shi 2003). Muut edut, joita kahden hitsausprosessin yhteisvaikutuksella saavutetaan, ovat vähäinen ja hyvin hallittavissa oleva lämmöntuonti sekä parempi hyötysuhde. Kaarihitsausmenetelmän tuomalla lisäaineella ja lisälämmöllä myös hitsin mikrorakennetta, kovuutta

ja sitkeyttä pystytään hallitsemaan. Hitsattavien saumojen sijainti ahtaissa paikoissa sen sijaan on haittapuoli kaarihitsauspään liikuttelulle, joka ei välttämättä mahdu näin ollen kaikkein ahtaimpiin väleihin. (Väisänen 2008.)

2.2 Hitsausmenetelmät robotiikassa

Robottihitsaus on kehitetty, jotta voitaisiin tyydyttää teollisuuden tarpeet korkealaatuisista hitseistä ja lyhyemmistä jaksoajoista. Robottihitsauksen ensimmäinen sukupolvi oli kaksivaiheinen hitsausjärjestelmä, jossa robotti kulkee kahdesti hitsattavan sauman yli. Ensimmäisessä vaiheessa etsitään hitsattava railo ja tutkitaan sen geometria, minkä jälkeen tulee varsinainen railonseuranta ja hitsaustapahtuma. Toisen sukupolven järjestelmä toimii tosiaikaisesti, samaan aikaan etsien railoa ja seuraten sitä eli ensimmäisen sukupolven kaksi ylitystä on vähentynyt yhteen. Kolmannen sukupolven järjestelmä kykenee tosiaikaisen railonseurannan ja geometrian hahmottamisen lisäksi reagoimaan äkkinäisiin ja suunnittelemattomiin railon muutoksiin. Yleisimpiä robotisoituja hitsausmenetelmiä ovat MIG-/MAG-hitsaus, pistehitsaus, TIG-hitsaus, laserhitsaus ja plasmahitsaus. (Pires ym. 2006, vii.)

2.2.1 Railonhaku ja seuranta

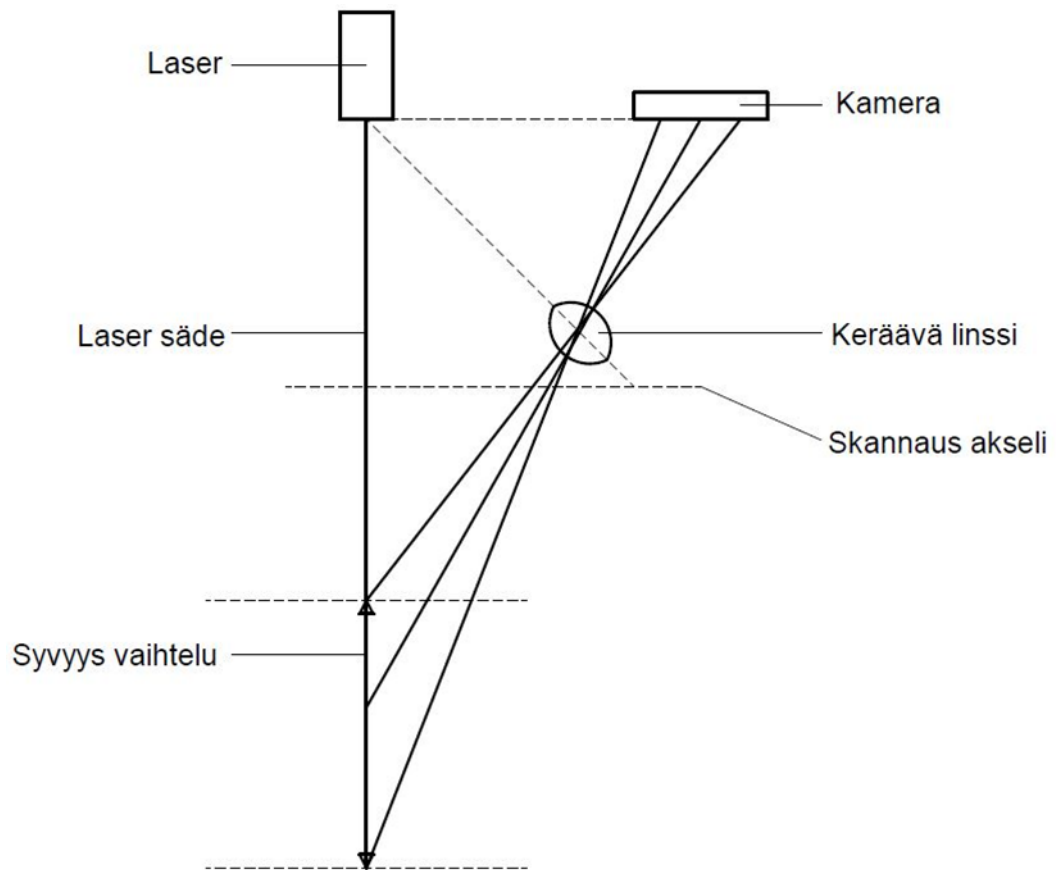
Railonhakua ja seurantaa tarvitaan robotisoidussa hitsauksessa hitsien paikoittamiseen. Railonhaun toteutustavoista tyypillisin on menetelmä, jossa käytetään kosketukseen perustuvaa sähköistä anturointia. Tähän tarkoitukseen käytetään useimmiten hitsauspistoolin kaasusuutinta tai lisäainelankaa ja hitsausvirtalähdettä. Hitsauspistoolin koskettaessa hitsattavan kappaleen pintaa saa robotin ohjaus paikkatiedon hitsausvirtapiirin sulkeutumisesta. (Jääskeläinen 2010.)

Railonseuranta voidaan toteuttaa käyttämällä levitysliikettä ja valokaarta itsessään anturina. Toimintaperiaate on, että mitataan virran muutosta, kun etäisyys työkalupaleen ja hitsauspistoolin välillä vaihtelee. Menetelmä on suhteellisen helppo ja halpa toteuttaa ja se onkin hyvin yleinen menetelmä robotisoidussa kaarihitsauk-

sessä. Tämä menetelmä ei tosin kykene kovin tarkkaan hitsaukseen, ja levitysliikkeen takia saumasta tulee leveämpi kuin suoralla liikkeellä hitsatusta saumasta. (Pires ym. 2006, 84-87.)

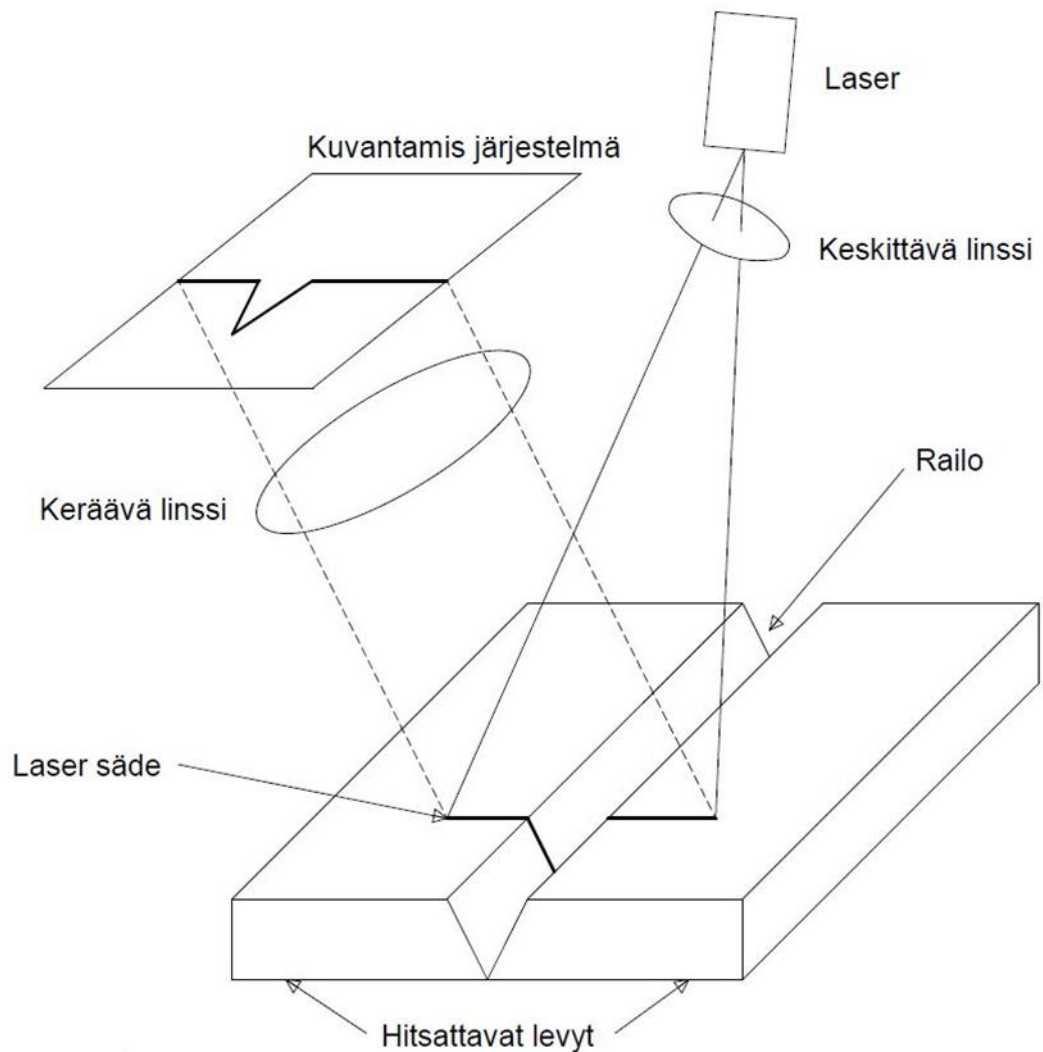
2.2.2 Optinen railonseuranta

Optiset anturit käyttävät seuraavaa peruseriaatetta hitsaussauman paikan tunnistukseen kaarihitsauksessa: lasersädettä liikutetaan edestakaisin sauman ylitse ja kamera, jota käytetään mittaamaan hitsaussauman ominaisuuksia, toimii yhdessä lasersäteen kanssa. Menetelmästä on olemassa muunnelmia, joista esimerkkinä lasersäde voi olla lineaarisen sijaan myös ympyrämäinen. Tällaisessa tapauksessa anturi on joustavampi ja tunnistaa helpommin saumoja nurkissa. Etäisyyden mittaamiseen käytetään kolmiomittausta. (Kuvio 1.) Lasersäde keskitetään kohteeseen, jolloin kohteen heijastuskulman perusteella pystytään määrittämään kohteen etäisyys. Jos kohde on lähellä anturia, heijastuskulma lähtevän säteen ja heijastuvan säteen välillä on suuri, kun taas kohteen ollessa kauempana kulma on pienempi. Etäisyyden tunnistus anturin ja kohteen välillä on toteutettu keskittämällä saapuva lasersäde tunnistimeen, useimmissa tapauksissa kameraan. (Pires ym. 2006, 78.)



Kuvio 1. Etäisyyden kolmiomittaus (soveltaen Pires ym. 2006, 78).

Yleensä kolmiomittausta käytetään hitsauksessa railonseurantaan, ja tämä vaatii sauman geometrian mittaamista. Tämä saavutetaan käyttämällä skannaustekniikkaa, jossa lasersädettä kuljetetaan sauman yli poikittain (Kuvio 2.). Skannauksen aikana anturi saa sauman profiilista kaksiulotteisen kuvan matriisin muodossa 2D-koordinaatteina. Robotin liikkuesssa saadaan mukaan myös kolmas ulottuvuus, jolloin saumasta saadaan myös 3D-kuva. (Pires ym. 2006, 79-80.)



Kuvio 2. Railon geometrian mittaus (soveltaen Pires ym. 2006, 110).

Useimmissa tapauksissa optisia railon seuranta-antureita, jotka perustuvat kolmiomittaukseen, käytetään nimenomaan pitämään robotti oikealla radalla eli railon päällä, jotta hitsi tulee oikeaan kohtaan. Anturilta voidaan saada myös paljon muuta tietoa, kuten railon leveys ja tilavuus sekä sovitusvirheet. Näitä lisätietoja voidaan hyödyntää reaaliaikaisesti niin kutsutussa adaptiivisessa hitsauksessa, jossa hitsausarvoja ja robotin rataa korjataan saadun informaation mukaisesti parhaan laadun saavuttamiseksi. (Pires ym. 2006, 80.)

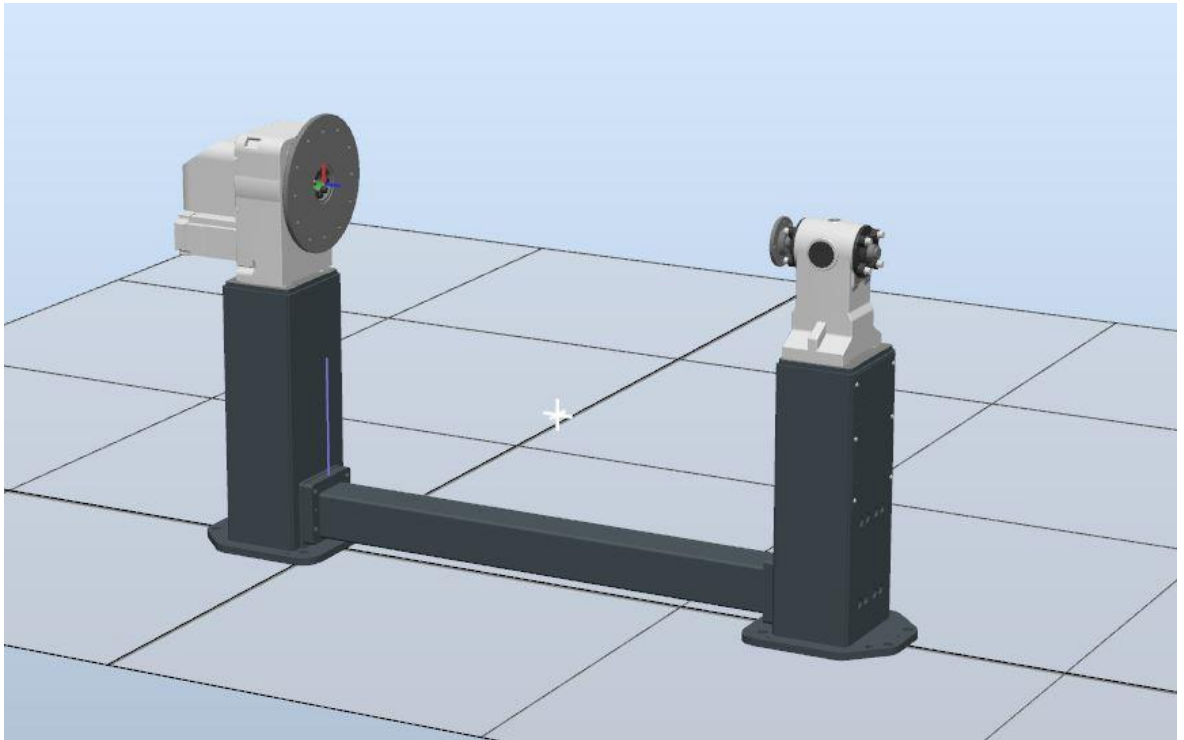
2.3 Kappaleenkäsittelylaitteet

Saatavilla olevien käsittelylaitteiden vaihtoehtojen ja niiden ominaisuuksien tiedostaminen auttaa valitsemaan sopivan käsittelylaitteen valmistusprosessiin laadun parantamiseksi ja jaksoaikojen lyhentämiseksi ja tarjoamaan huipputasoisista hitsausta. Käsittelylaitteen tarkoitus on optimoida hitsattavan sauman asento hitsausprosessissa (Pashkevich, Dolgui & Semkin 2003). Tätä varten käsittelylaite mahdollistaa 360 asteen kierron ja pääsyn osan luokse mistä suunnasta tahansa kiertyvän akselin kautta. Sen käyttö mahdollistaa tehokkaamman tuotannon ja laadukkaamman hitsin. (RobotWorx 2017.)

Suunniteltaessa robottihitsausasemaa on tärkeää ymmärtää, miten kappaletta tulee kääntää, jotta robotti voi sitä hitsata. Oikean tyyppisen käsittelylaitteen valinta riippuu tuotteen rakenteesta, sovelluksesta ja siitä miten kappaletta tulee kääntää hitsauksen optimoimiseksi. Laitteen kapasiteetti voi vaihdella tyyppin, koon ja käsittelykyvyn suhteen ja jokainen variaatio soveltuu erityisiä sovellusvaatimuksia varten. (RobotWorx 2017.)

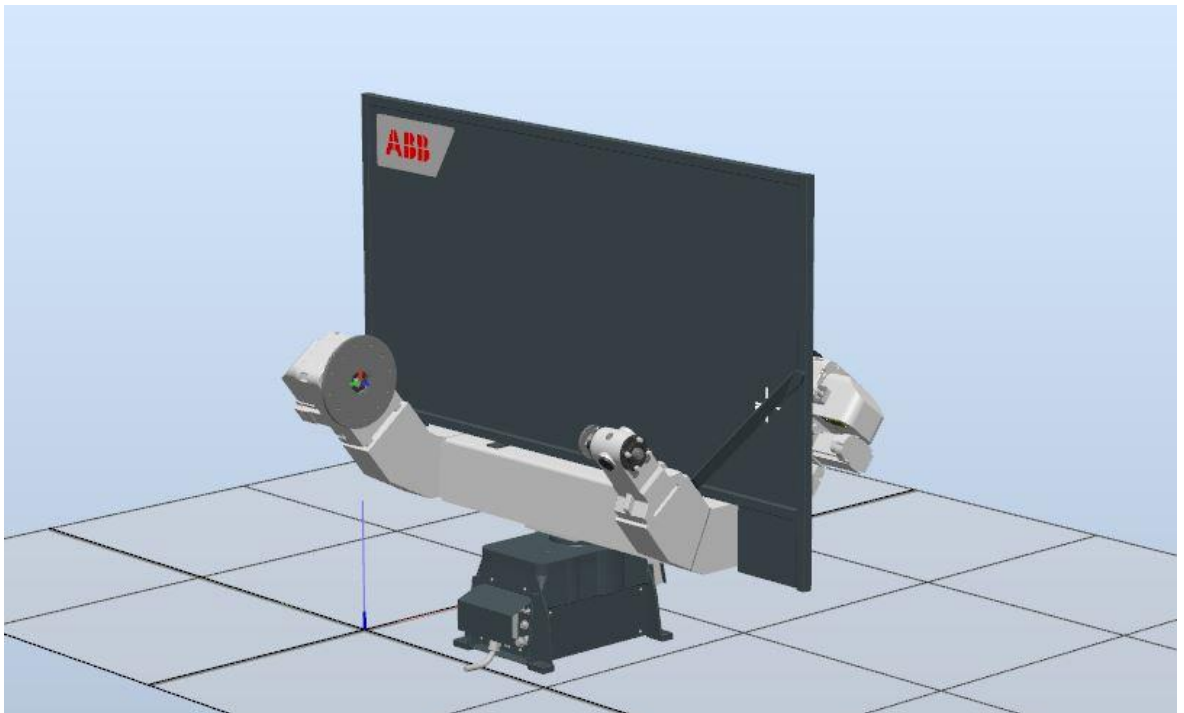
Yksiakselinen käsittelylaite on edullisin saatavilla oleva perusmalli. Se voidaan asentaa lattialle tai pöydälle helpottamaan yksinkertaisten ja pienten osien hitsausta. Kiinnityksen tukena voidaan pitkien tai raskaiden kappaleiden kanssa käyttää pylkkää kiinnityksen tukevoittamiseksi tai kuorman jakamiseksi. (RobotWorx 2017.)

Esimerkkeinä yksiakselisesta käsittelylaitteesta ja sen kaksoisasetemaversiosta ovat IRBP L ja IRBP R ABB:n, Industrial Robotic Positioner (IRBP) -valikoimasta. IRBP L (Kuvio 3.) on tarkoitettu kappaleille, joita joudutaan kääntämään yhden akselin suhteen saadakseen kappaleen optimaaliseen asentoon. Se soveltuu kappaleille, joiden kanssa joudutaan käyttämään päätypylkkää apuna. Käsittelykyky työkappaleelle on 5000 kg:aan asti. (ABB IRBP L, [Viitattu 3.5.2020].)



Kuvio 3. IRBP L (RobotStudio 2019)

IRBP R (Kuvio 4.) on tarkoitettu kappaleille, joita joudutaan kääntämään yhden akselin suhteen saadakseen kappaleen optimaaliseen asentoon. Se tarjoaa kaksois-asemaratkaisun, jossa samanaikaisesti robotti työskentelee toisella puolella ja toisella puolella puretaan valmiit tuotteet pois asemasta ja lastataan uudet työstettävät työkappaleet asemaan. Se soveltuu kappaleille, joiden kanssa joudutaan käyttämään päätypylkkää apuna. Asema vaihtaa puolta kääntymällä pystyakselin suhteen 180 astetta. Käsittely kyky työkappaleelle on 1000 kg:aan asti. (ABB IRBP R, [Viitattu 3.5.2020].)

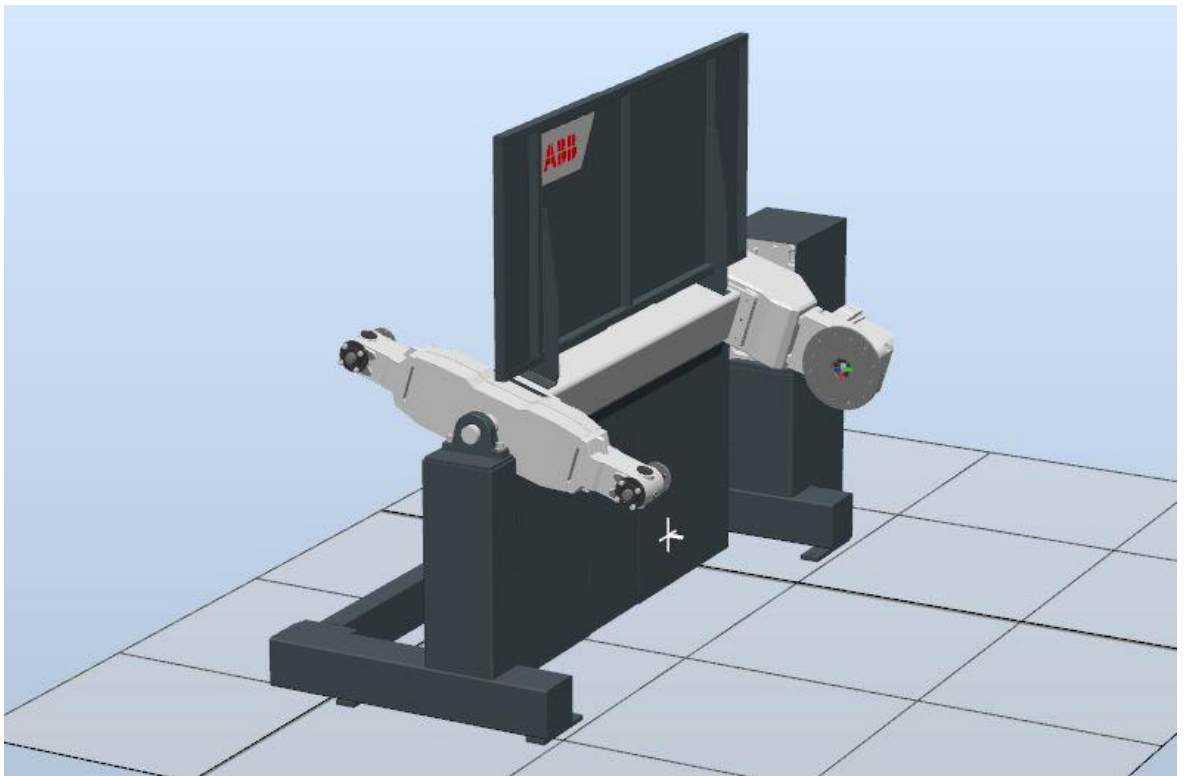


Kuvio 4. IRBP R (RobotStudio 2019)

Kahden aseman yhdistelmä, ”Ferris Wheel Positionerin” nimelläkin kutsuttu käsittelylaite tarjoaa parhaan lattia-alatehokkuuden. Se soveltuu keskikokoisista suuriin kappaleisiin, joiden pituus vaihtelee kolmesta viiteen metriin asti. Autoteollisuus käyttää tämän tyyppisiä laitteita paljon niiden suurien kappaleiden käsittelykyvyn, pienen lattia-alan käytön ja nopean tahtiajan ansiosta. Tämän tyyppisessä käsittelylaitteessa varsinainen kappaleen kääntö tapahtuu edelleen yhdellä kääntyvällä akselilla. Työkappale voidaan kiinnittää kahdelle puolelle käsittelylaitetta, jonka molemmilla puolilla on servo-ohjattu päätykappale ja päätypylkkä. Ne kääntyvät lisäksi keskellä olevan akselin ympäri ikään kuin nimensä mukainen maailmanpyörä. Kahden aseman avulla käyttäjä voi purkaa ja lastata toisen puolen asemaa, kun samaan

aikaan toista puolta hitsataan. Asemien välissä on suojalevy, joka suojaa käyttäjää hitsausroiskeilta ja valokaaren säteilyltä. (RobotWorx 2017.)

Esimerkkinä ”Ferris Wheel Positioner” tyyppisestä laitteesta ABB:n valikoimasta on IRBP K (Kuvio 5.). Se on tarkoitettu kappaleille, joita joudutaan kääntämään yhden akselin suhteen saadakseen kappaleen optimaaliseen asentoon. Se tarjoaa kaksoisasema ratkaisun, jossa samanaikaisesti robotti työskentelee toisella puolella ja toisella puolella puretaan valmiit tuotteet pois asemasta ja lastataan uudet työstettävät työkappaleet asemaan. Se soveltuu kappaleille, joiden kanssa joudutaan käyttämään apuna päätypylkkää. Asema vaihtaa puolta, kääntymällä vaaka akselin suhteen 180 astetta. Käsittely kyky työkappaleelle on 1000 kg:aan asti. (ABB IRBP K, [Viitattu 3.5.2020].)

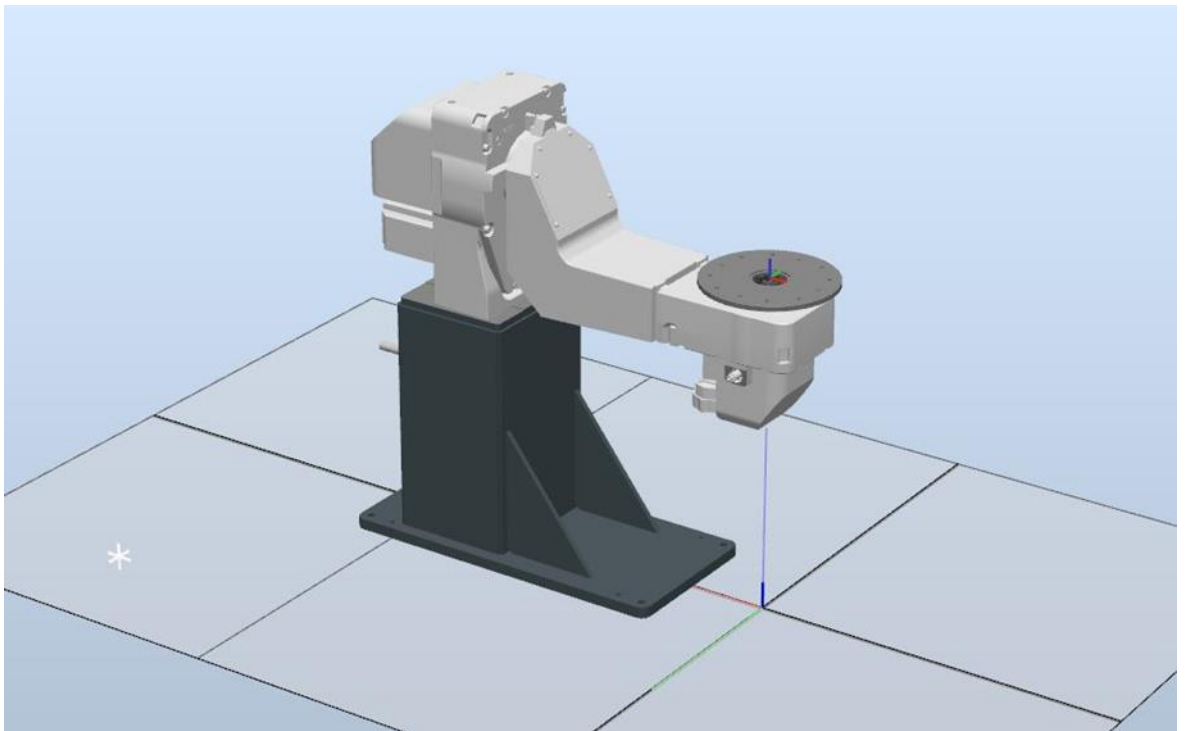


Kuvio 5. IRBP K (RobotStudio 2019)

Moniakselisia käsittelylaitteita voidaan toteuttaa erilaisilla yhdistelmillä pyörityspöytiä, kara- ja päätypylkkiä hyödyntämällä. Näin voidaan toteuttaa esimerkiksi ”kallistus ja kääntö”-tyyppinen käsittelylaite. Tämä lisää joustavuutta erikokoisten ja monimutkaisten kappaleiden hitsattavuudessa. Käsittelylaitteita voidaan asentaa seiniin, radalle tai muille pinnoille parantamaan ulottuvuutta. Myös robottia voidaan

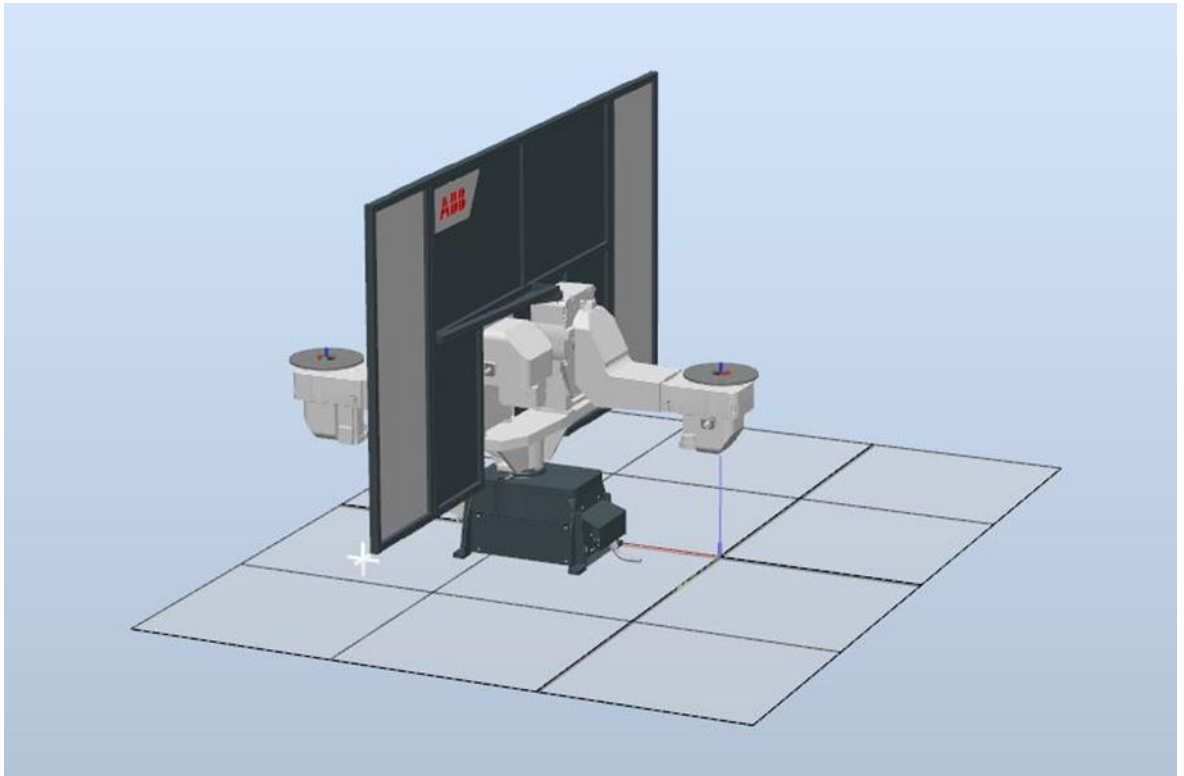
käyttää kappaleen käsittelylaitteena toiselle hitsaavalle robotille. Hitsattavat kappaleet, jotka ovat suuria, laatikkomaisia tai putkimaisia, voivat vaatia tällaisen ratkaisun käyttöä. (RobotWorx 2017.)

Esimerkkejä moniakselisista käsittelylaitteista, ABB:n valikoimasta, löytyy useita. IRBP A (Kuvio 6.) on tarkoitettu työkappaleille, joita joudutaan kääntämään kahden akselin suhteen saadakseen kappaleen optimaaliseen asentoon. Sen käsittely kyky työkappaleelle on 750 kg:aan asti. (ABB IRBP A, [Viitattu 3.5.2020].)



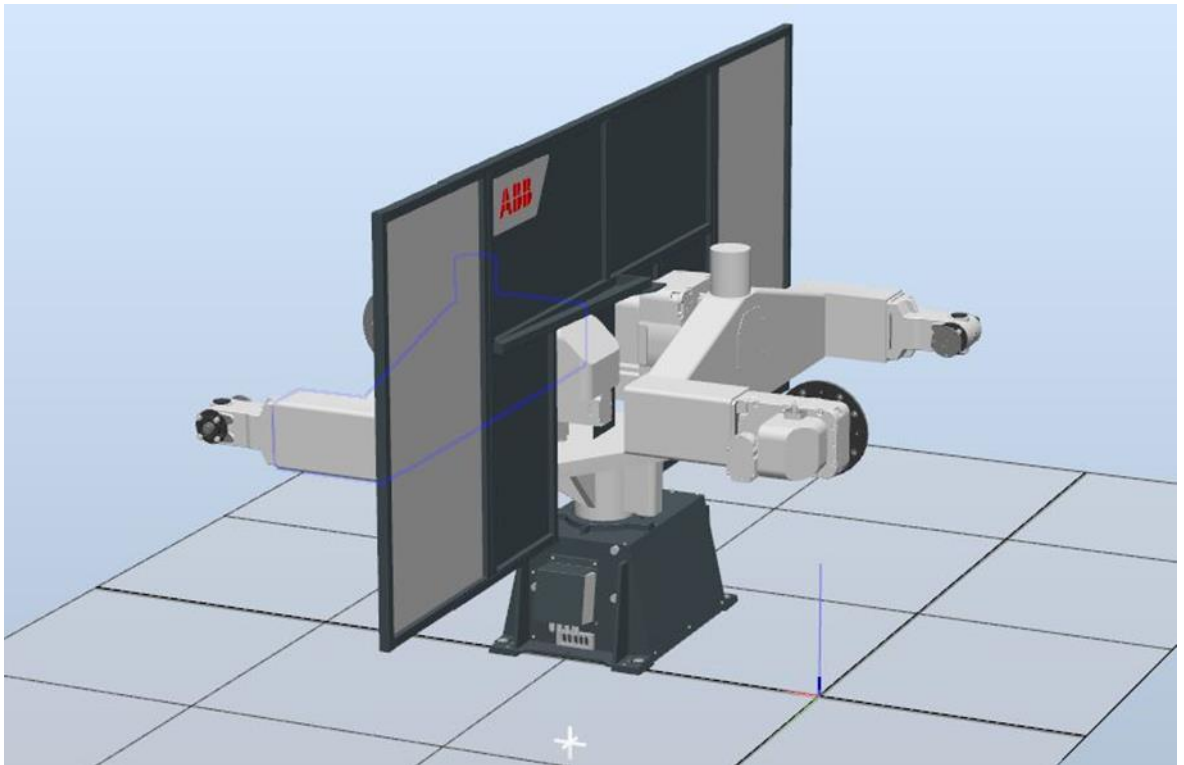
Kuvio 6. IRPB A (RobotStudio 2019)

IRBP B (Kuvio 7.) on tarkoitettu työkappaleille, joita joudutaan kääntämään kahden akselin suhteen saadakseen kappaleen optimaaliseen asentoon. Se tarjoaa kaksoisasema ratkaisun, jossa samanaikaisesti robotti työskentelee toisella puolella ja toisella puolella puretaan valmiit tuotteet pois asemasta ja lastataan uudet työstettävät työkappaleet asemaan. Käsittely kyky työkappaleelle on 750 kg:aan asti. (ABB IRBP B, [Viitattu 3.5.2020].)



Kuvio 7. IRBP B (RobotStudio 2019)

IRBP D (Kuvio 8.) on tarkoitettu työkappaleille, joita joudutaan kääntämään kahden akselin suhteen saadakseen kappaleen optimaaliseen asentoon. Se tarjoaa kaksoisasema ratkaisun, jossa samanaikaisesti robotti työskentelee toisella puolella ja toisella puolella puretaan valmiit tuotteet pois asemasta ja lastataan uudet työstettävät työkappaleet asemaan. Se soveltuu kappaleille, joiden kanssa joudutaan käyttämään päätypylkkää apuna. Käsittely kyky työkappaleelle on 600 kg:aan asti. (ABB IRBP D, [Viitattu 3.5.2020].)



Kuvio 8. IRBP D (RobotStudio 2019)

2.4 Käsittelylaitteiden toimintaperiaate

Käsittelylaitteet toimivat samalla periaatteella kuin teollisuusrobotitkin. Toimilaitteet, jotka mahdollistavat käsittelylaitteen toiminnan, ovat servomoottori ja vaihteisto. Pyörivän akselin kulmaa seurataan jatkuvasti paikanmittausanturilla, joka antaa jatkuvasti paikkatakaisintietoa ohjausjärjestelmälle. Koska anturin asemaa luetaan useita tuhansia kertoja sekunnissa, saadaan nivelen asematiedon lisäksi tieto akselin liikesuunnasta, nopeudesta ja kiihtyvyydestä. Kaikkia näitä käytetään akselin

paikkasäädössä. Akselin kulman mittauksesta saadaan lopulta selville, missä asennossa käsittelylaitteen akseli on ja voidaan varmistua, että se on asennossa, jota siltä on pyydetty. (Aalto ym. 1999, 19-30.)

2.4.1 Servomoottorit

Tavallisesti automaatiolaitteissa käytetään servomoottoreita. Eri rakennevaihtoehtoja servomoottoreille on olemassa tasasähkö- eli DC-servomoottori, harjaton DC-servomoottori ja vaihtosähkö- eli AC-servomoottori. Vaihtosähkömoottori voi olla synkroni- eli tahtimoottori tai asynkroni- eli epätahtimoottori. Tavanomaiset harjalliset DC-moottorit ovat olleet hyvien servokäyttöominaisuuksiensa ansiosta yleisimpiä servomoottoreita. Suurin syy moottorityypin käytön vähenemiselle onkin ollut virrankääntäjä eli kommutaattori, joka hiiliharjoineen rajoittaa moottorin suorituskykyä ja aiheuttaa huollon tarvetta. Moottori koostuu kiinteästä staattorista, pyörivästä roottorista eli ankkurista, kommutaattorista ja hiiliharjapareista. Staattorin osana on kenttäjärjestelmä, joka koostuu yhdestä tai useammasta kestopagneettiparista ja rautaikeestä. Roottorissa eli ankkurissa on ankkurikäänitys. Käämien päät on yhdistetty virrankääntäjään eli kommutaattoriin. Tasajännitelähteenä toimivasta servovahvistimesta saatava ankkurivirta johdetaan yhden tai useamman hiiliharjaparin avulla kommutaattoriin ja sieltä ankkurikäänitykseen. Hiiliharjaparista toinen harja on kytketty jännitelähteeseen positiiviseen ja toinen negatiiviseen napaan. Kun ankkurikäänityksen johtimessa kulkee virta, johtimen ympärille muodostuu magneettikenttä. Magneettivuon tiheys on verrannollinen ankkurivirran voimakkuuteen. Staattorin kestopagneetit kehittävät toisen magneettikentän ja johtimeen kohdistuu voima magneettikenttien yhteisvaikutuksesta. Johtimen ollessa kohtisuorassa kestopagneettien aikaansaamaan magneettivuohon nähden kehittyvä voima on suurin. Kestomagneettien aikaansaaman magneettivuon tiheys, johtimessa kulkeva virta ja johtimen pituus ovat suoraan verrannollisia kehitetyn voiman suuruuteen. Kommutointia eli virrankääntöä tarvitaan, jotta roottorin johdinkäämitykseen kohdistuvat voimat aikaansaisivat samansuuntaiset vääntömomenttialkiot. Kokoonsa nähden moottori tuottaa suuren vääntömomentin, jos siinä on tehokkaat kestopagneetit, suurta virtaa sietävä, runsaasti johdinta sisältävä sekä kauaksi pyörimisakselilta sijoitettu ankkurikäänitys. (Airila 2000, 4-5.)

DC-moottorin antama vääntömomentti (T) on suoraan verrannollinen ankkurivirtaan I : $T = K_T I$

Verrannollisuuskerroin K_T on moottorikohtainen momenttivakio (Nm/A). (Airila 2000, 11)

Harjaton DC-servomoottori eroaa tavanomaisesta DC-servomoottorista siten, että kestopagneettien ja käämityksen paikkaa on vaihdettu keskenään ja kommutointi toteutetaan elektronisesti. Roottorissa on yksi tai useampia kestopagneetteja ja staattorikämmityksiä taas yleensä on kolme. Ne on sijoitettu 120 asteen vaihekulmaan toisiinsa nähden. Moottoria voidaan käyttää eri tekniikoilla, joita ovat unipolaari- eli yksinapaisuuskäyttö ja bipolaari- eli kaksinapaisuuskäyttö. Unipolaari tekniikassa moottorin käämit toimivat aina samanmerkkisenä magneettisena napana. Kolmikäämistä harjatonta DC-moottoria voidaan käyttää myös bipolaaritekniikalla, jolloin moottorin hyötysuhde on parempi. Virta johdetaan käämityksessä vuorotellen kumpaankin suuntaan, jolloin jokaisella käämillä aikaansaadaan magneettinen pohjois- ja eteläkohtio. (Airila 2000, 19-20.)

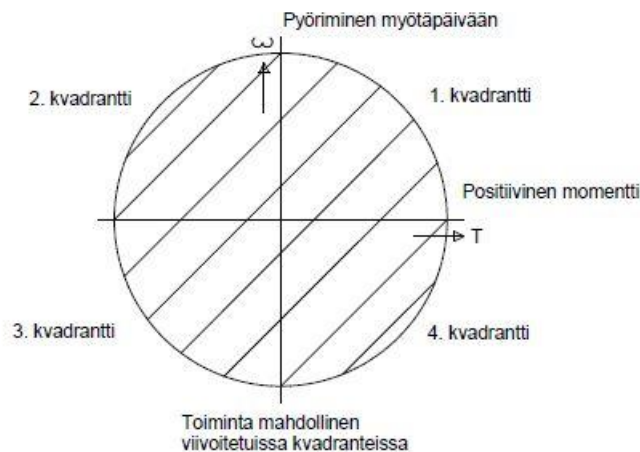
Vaihtosähköservomoottorit toimivat perinteisen vaihtosähkömoottorin tapaan. Käämeihin syötetään sinimuotoista vaihtojännitettä, jolla moottorin pyörimisnopeutta ja momenttia säädetään. Tahtimoottori muistuttaa rakenteeltaan harjatonta DC-servomoottoria. Tahtimoottorissa on kestopagneetoitu roottori, joka pyörii staattorikämmityksen aikaansaamassa magneettikentässä. Ohjaus tapahtuu syöttämällä tahtimoottorin käämeihin sinimuotoista kolmivaihejännitettä, jonka taajuudella roottori pyörii. Nopeudensäätö toteutetaan muuttamalla jännitteen syöttötaajuutta. Verkkojännite tasasuunnataan taajuusmuuttajaan kuuluvalla tasasuuntaajalla. Halutun taajuista pääpiirteissään sinimuotoista kolmivaihejännitettä tuotetaan taajuusmuuttajan invertteriosalla. Moottorissa häviöitä aiheuttavia suuritaajuuksisia komponentteja kuitenkin jää aina jännitteeseen. Virran syöttöä ohjaavana anturina käytetään tavallisesti resolveria. (Airila 2000, 27.)

Epätahtimoottori toimii oikosulkumoottoriperiaatteella ja siksi hyötysuhdekin on huonompi. Staattorikämmityksessä kulkeva kolmivaihevirta indusoi roottorin suljettuun häkkikämmitykseen virran, jolla saadaan aikaan toinen magneettikenttä. Magnetoivan virran suuruus riippuu muun muassa jättämästä eli roottorin pyörimistaajuuden

ja jännitteensyöttötaajuuden erosta. Oikosulkumoottorin sovittamista takaisinkytkettyihin järjestelmiin hankaloittaa sen epälineaariset ominaisuudet. Moottorin momenttia ja pyörimisnopeutta voidaan kuitenkin säätää staattorikäimitykseen johdettavan vaihtojännitteen taajuutta ja amplitudia muuttamalla. Tarvittava elektroniikka on kuitenkin monimutkainen ja varsin kallis, mikä rajoittaa moottorin käyttöä. (Airila 2000, 27.)

2.4.2 Servovahvistin

Servovahvistimen tehtävänä on syöttää servomoottorille sen tarvitsema virta ja säätää moottorin ankkurivirtaa ja pyörimisnopeutta ohjearvon mukaisesti. Päätehtävänsä lisäksi vahvistin hoitaa erilaisia suojaus- ja valvontatehtäviä, joilla pyritään saavuttamaan servojärjestelmän moitteeton toiminta ja estämään laitevauriot. Servovahvistimesta käytetään myös nimitystä ajuri (drive). Yleensä servovahvistimet on toteutettu analogiatekniikalla. Säättöpiirit ja etuvahvistimet on toteutettu operaatiovahvistimilla ja pääteasteessa käytetään transistoreja, tyristoreja tai mosfettejä. Servovahvistimen lähtö voi olla jatkuvaa tai pulssin leveyden moduloimaa (Pulse-Width Modulation). Tavallisesti käytetty ohjausjännite on ± 10 V DC. Useimmiten servovahvistin sisältää takaisinkytkennän, jonka avulla servomoottorille menevää virtaa voidaan rajoittaa. Vahvistimen syöttöjännite on joko AC tai DC, sillä useimmiten vahvistimessa on sisäinen jännitestabilointi. Servojärjestelmä voi toimia nopeus, asema tai momenttiservona. Nopeusservona toimiessaan servomoottori pyörii ohjausjännitettä vastaavaa nopeutta. Siksi servovahvistimissa on takaisinkytkentä takogeneraattorista. Servokäytön monipuolisuutta kuvataan kvadranttipiirroksella (Kuvio 9.), joka muodostuu positiivisen ja negatiivisen pyörimisnopeuden ja vääntömomentin nelikentästä. Nelikvadranttikäytössä voidaan moottoria kiihdyttää ja jarruttaa molempiin pyörimissuuntiin. Tyypillisesti servojärjestelmässä voidaan moottorin pyörimisnopeutta säätää alueella 0-5000 1/min. Vääntömomenttia säädetään myös, minkä ansiosta moottoria voidaan käyttää vaativissa kohteissa kuten robo-teissa ja työstökoneissa. (Fonselius, Rinkinen & Vilenius 1998, 131.)

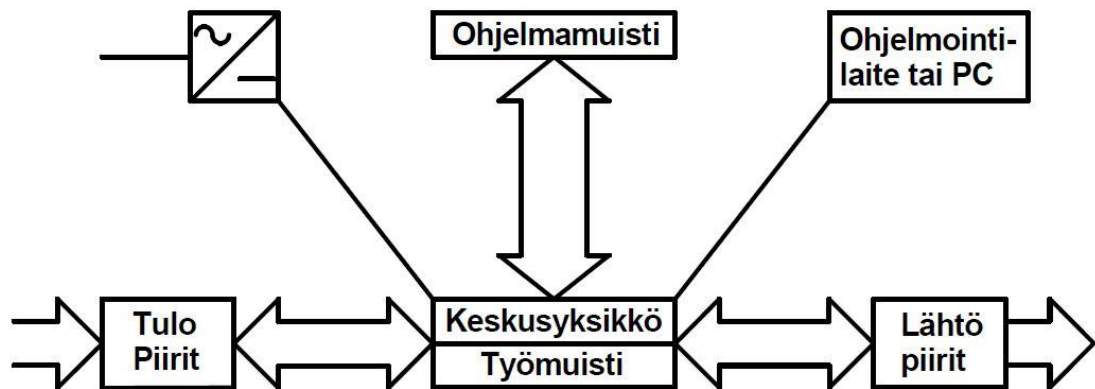


Kuvio 9. Kvadranttipiirros (soveltaen Airila 2000, 19).

2.4.3 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka on mikroprosessorilla varustettu pieni tietokone, jota käytetään reaaliaikaisten automaatioprosessien, esimerkiksi koneiden tai tuotantolinjojen ohjaukseen. Ohjelmoitava logiikka eli PLC (Programmable Logic Controller) toimii oleellisena osana ohjelmoitavaa ohjausjärjestelmää. Anturit ja lähestymiskytkimet, jotka havainnoivat järjestelmän tilaa, kytketään logiikan tuloihin. Toimilaitteet, kuten sähkömoottorit, releet, merkkilamput ja magneettiventtiilit kytketään logiikan lähtöihin. Järjestelmän tilaa valvotaan tosiaikaisesti logiikan muistiin kirjoitetulla ohjelmalla. Toiminta perustuu jatkuvaan ohjelmakiertoon, joka sisältää ohjelmajakson ja päivitysjakson. Ohjelmakierto alkaa lukemalla kaikkien tulojen ja lähtöjen tila ja tallentamalla tulos keskusyksikön erikoismuistiin (I/O-muistiin). Tämän jälkeen käydään läpi kaikki ohjelmamuistiin tallennetun ohjelman ohjelmarivit. Tulos käsitellään ja toteutetaan siinä järjestyksessä, kun ohjelmaa luetaan. Ohjelman PÄÄLLE- ja POIS-käskyt toteutetaan lähdoille vasta, kun ohjelmakierrossa on päästy ohjelman loppuun ja END-käsky on luettu. Kokonaisselausaika, eli yhden ohjelmakierron pituus, riippuu ohjelman pituudesta. Selausaika (Scanning time) on luokkaa 0,0005-0,1 ms/ohjelmarivi. Ohjelmase-lausta voidaan havainnollistaa sylinterillä, joka pyörii jatkuvasti lukupään ohi. (Keinänen ym. 2010, 223.)

Ohjelmoitavien logiikoiden toiminta perustuu ohjelmointikielen, jonka peruselementit muodostuvat logiikkaporteista ja muista käskysanoista, joilla käsitellään esimerkiksi ajastimia, laskureita tai apumuisteja. Komennot ovat standardisoimattomia ja ne vaihtelevat eri logiikkavalmistajilla. Kuitenkin, jos hallitsee yhden valmistajan logiikkaohjelmoinnin, oppii toisen valmistajan logiikkakielen käsikirjojen avulla varsin helposti. Nykyisin logiikan ohjelmoinnissa ovat yleistyneet Windows-pohjaiset ohjelmointiohjelmat, jotka tekevät ohjelmoinnista sujuvampaa ja mahdollistavat ohjelmointia eri periaatteilla. Yleisesti käytössä olevat kolme eri ohjelmointiperiaatetta ovat käskylista (STL, "Statement List"), kosketinkaavio (LAD, "Ladder Diagram") ja logiikkasymbolien käyttö (FUP, "Function Plan"). (Keinänen ym. 2010, 223.) Alla olevassa kuviossa (Kuvio 10.) on esitetty PLC-laitteiston elementit.



Kuvio 10. PLC-laitteiston elementit (soveltaen Keinänen ym. 2010, 223).

Tulopiirit (input) kytkevät kentältä tulevat signaalit ohjelmoitavaan logiikkaan. Signaaleja voi tulla valokennoilta, käsi- tai lähestymiskytkimiltä tai esimerkiksi releiden apukoskettimilta. Signaalit ovat yleensä binäärisiä eli kaksitilaisia viestejä, mutta käytössä on myös analogiatuloja, jotka voivat vastaanottaa mittaustietoa sekä pulssituloja, jotka mahdollistavat pulssiantureiden lähettämän viestin käsittelyn. Tulopiirit on eristetty logiikan herkästä elektroniikasta optoerotuksella. Tuloviesti ei siirry suoraan sähköisenä viestinä kentältä logiikan käsittelyyn, vaan välitykseen käytetään valodiodin ja fototransistorin muodostamaa optoerotinta. Myös nimitystä galvaninen erotus käytetään samasta asiasta. Tulopiirien tila ilmaistaan valodiodilla (LED). Valo palaa, kun tulo on päällä (1). Valo ei pala kun, tulo ei ole päällä (0).

Tulojen tila, päällä tai pois on nähtävissä myös ohjelmointilaitteen monitorointitilassa tai ohjausohjelman online-tilassa. (Keinänen ym. 2010, 225.)

Lähtöpiirit (output) ohjaavat järjestelmän toimilaitteita kuten magneettiventtiileitä, merkkilamppuja, kontaktoreita ja releitä. Yleisesti lähdöt ovat joko rele- tai transistorilähtöjä. Relelähdöillä voidaan ohjata tasasähkön lisäksi noin 2 ampeerin vaihtovirtaa (250 V AC). Toimintaviive näille on noin 10 millisekuntia. Transistorilähdöt on tarkoitettu tasasähkölle, jonka käyttöjännite koneautomaatiossa on yleisesti 24 V DC. Virran voimakkuus on yleensä alle 2 ampeeria. Transistorilähdöt vaativat samanlaisen optoerotuksen kuin tulopuolella. Toimintaviive transistorilähdölle on noin 0,2 millisekuntia. (Keinänen ym. 2010, 225.)

Keskusyksikkö (CPU) suorittaa PLC:lle ohjelmoidut käskyt yksi kerrallaan. Nykyisissä logiikoissa keskusyksikkö on lähes poikkeuksetta toteutettu mikroprosessorilla. Mikroprosessori mahdollistaa loogisten operaatioiden lisäksi aritmeettiset laskutoimitukset. Näiden toteuttamiseksi keskusyksikkö vaatii ainakin yhden työrekisterin, jota kutsutaan myös akuksi. Keskusyksikössä on jonkin verran käyttäjän luku- ja kirjoitusmuistia (RAM) työmuistina. (Keinänen ym. 2010, 225.)

Ohjelmamuistiin tallennetaan kirjoitettu ohjelma. Se sisältää kaiken informaation, jolla automatisoitu laitteisto toimii. Logiikan muistikoko ilmoitetaan useimmiten mahdollisten ohjelmavien määränä, yksikkönä on 1 K = 1024 käskyä. Muistien koko vaihtelee pienten logiikoiden 0,25 K muistista isojen järjestelmien 256 K muisteihin. Logiikan muisti koostuu yleensä 16-bittisistä sanoista. Yleisimmät käytössä olevat muistityypit ovat:

- CMOS-RAM- puolijohdemuisti on luku- ja kirjoitusmuistia, johon voidaan tallentaa ja josta voidaan lukea tietoa milloin tahansa. RAM-muisti on ns. haihtuvaa muistia, mikä tarkoittaa, että siihen tallennetut tiedot häviävät sähkönsyötön katketessa. Tämä voidaan estää patterivarmistuksella.
- EPROM- lukumuisti on käyttäjän ohjelmoitavissa. Vaatii erillisen ohjelmointilaitteen ja ohjelmamuutokset ovat hankalia. Säilyttää tietonsa ilman syöttöjännitettä. EPROM- muistin tyhjennys tapahtuu UV-valolla.

- EEPROM-muistit ovat luku ja kirjoitusmuisteja. Tiedot tallennetaan niihin ja ne poistetaan niistä sähköisesti kulloinkin käytössä olevan ohjelmointilaitteen avulla. Nämä muistit ovat kestmuis-teja; ne eivät tyhjene sähkökatkoksen aikana ja ne eivät tarvitse paristotuentaa. (Keinänen ym. 2010, 225-226.)

Ohjelmointilaitte on logiikan keskeinen komponentti. Sitä käyttäen kirjoitetaan ohjausohjelma, joka siirretään ohjelmamuistiin. Myös ohjelma testaaminen ja vianhaku voidaan suorittaa ohjelmointilaitteella. Se on fyysisesti taskulaskimen näköinen laite. Siinä on nestekide- eli LCD-näyttö, toimintopainikkeet, käsky-, operandi- ja numeeriset painikkeet, kohdistinpainikkeet, suorituspainike ja liitäntäkaapeli. Nykyisin ohjelmointilaitteen lisäksi käytetään laajasti ohjelmointiohjelmistoa, jonka käyttämiinseen tarvitaan PC-tietokone ja liitäntäkaapeli. Yleensä kommunikointi tapahtuu PC:n RS232 C-portin kautta. Ohjelmointi voidaan suorittaa, kuten aikaisemmin mainittu, kirjoittamalla käskylistaa, piirtämällä kosketinkaaviota tai yhdistämällä logiikkasymboleja. Suosituin lienee rele- eli kosketinkaavion käyttö. (Keinänen ym. 2010, 225.)

2.4.4 Voimansiirto

Yleensä servojärjestelmän osana tarkkojen ja nopeatempoisten liikkeiden hallintaan käytetään jonkinlaista vaihteistoa. Vaihteen ensiöakseli kytketään nopeakäyntiseen servomoottoriin ja vaihteen toisioakseli tuottaa prosessiin vaikuttavan liikkeen kuten robotin jäsenen kiertymän. Mekatroniikkavaihteen riittävät dynaamiset ominaisuudet ja hyvä tarkkuus ovat keskeisiä ominaisuuksia. Pitkäaikaiskestävyys täydellä momentilla ja pyörimisnopeudella ei ole välttämätöntä, mutta vaihteen tulee olla luotettava jaksottaisessa kuormituksessa. Mekatroniikkavaihteiden tehonsiirtokyky vaihtelee minivaihteiden kymmenestä watista robottivaihteiden muutamaan kilowattiin. (Airila 2000, 27.)

Muotosulkeiset vaihteet ovat ainoa sopiva vaihtoehto, koska ne säilyttävät liikkeiden tahdistuksen. Välityssuhteen tulee olla suuri ja pysyvä vakiona myös hetkellisesti ja eri kuormilla. Servokäyttöön soveltuvat ainoastaan vaihteet, joissa on pieni välitys koska suuri välitys tekee säädön epävakaaksi. Jotta servojärjestelmän värähtely olisi

mahdollisimman pientä, vaihteen tulee olla myös mahdollisimman jäykkä. Pieni hitausmomentti on eduksi nopeissa kiihdytyksissä ja jarrutuksissa. Vaihteen alhainen lepokitka vähentää hukkaliikettä ja mahdollisesti jopa pienentää toimilaitteiden mitoitusarvetta. Pieni liikekitka muun muassa vähentää lämpöongelmia suljetuissa rakenteissa ja helpottaa säätöjärjestelmän toimintaa. Vähäinen hystereesi on tarkan säätämisen perusehto. (Airila 2000, 27.)

Tavallisimpia mekatroniikkavaihteita ovat joustokehävaihde eli harmoninen vaihde (Harmonic Drive), syklovaihde (Cyclo Drive) ja kiertovektorivaihde (Rotary Vector Gear, "RV-vaihde"). Rakenteeltaan kaikki edellä mainitut ovat kuitenkin koaksaalivaihteita, koska ensiö- ja toisioakseli ovat samansuuntaisia perättäisiä akseleita. Käytössä on myös jonkin verran tarkkuuskierukkavaihteita erilaisina muunnoksina. Yksiportaisen kierukkavaihteen akselit ovat suorassa kulmassa. Pienen välityssuhteen sovelluksissa hammashihnavaihde on suosittu. Vaatimattomissa kohteissa myös ketjuvaihde on mahdollinen vaihtoehto. Molemmissa tapauksissa akselit ovat yhdensuuntaiset. Pienten askelmoottoreiden yhteydessä käytetään mikroplaneettavaihteita, joiden rakenne on myös koaksaalinen. Monenlaiset muutkin muotosulkeiset erikoisratkaisut ovat mahdollisia. (Airila 2000, 27.)

Pienen välyksen ja alhaisen hystereesin saavuttaminen samanaikaisesti voi olla hyvinkin vaikeaa. Esimerkiksi välyksen pienentäminen vaikkapa hammaskosketusta tiukentamalla lisää kitkaa ja siten hystereesiä. Vaihteessa kannattaa siis pyrkiä itsessään pienen välyksen sijasta mahdollisimman vähäiseen hukkaliikkeeseen, joka sisältää välyksen ja hystereesin yhteisvaikutuksen. Hyvässä servovaihteessa pitäisi pyrkiä pieneen hukkaliikkeeseen, alle 6:teen ja parhaimmillaan 1-2 kulmaminuuttiin. (Airila 2000, 29.)

3 VALMISTUSYSTÄVÄLLINEN SUUNNITTELU

Valmistettavuus eli DFM tulee sanoista Design For Manufacturability ja sisältää menetelmiä ja järjestelyjä, jotka yksinkertaistavat tuotekonstruktion valmistamista ja alentavat tuotteen valmistuskuluja. DFM on tietokantapohjainen systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, joka suosituksiaan ja peruseriaatteitaan hyödyntäen tähtää siihen, että tuote olisi helpompi valmistaa. Edellä mainitut DFM:n apuvälineet myös parantavat tuotteen toimintaa, luotettavuutta, ulkonäköä ja huollettavuutta sekä vähentävät tuotteen ympäristökuormitusta. Pää tavoitteena kuitenkin on aina valmistuskulujen alentaminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13.)

Tuotteiden kokoonpantavuus, DFA, tulee sanoista Design For Assembly. DFA myös on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, jonka tavoitteena on tuotteen rakenteen kautta kokoonpanon yksinkertaistaminen. Usein yksinkertaistaminen tapahtuu tuotteen osien toimintojen yhdistämisellä ja osien kokonaismäärän vähentämisellä. DFM:n tavoin DFA auttaa myös tuotetta toimimaan paremmin ja luotettavammin, näyttämään siistimmältä ja helpottamaan huoltoa ja tuotteen ympäristökuormitusta. DFA:n mukaisen tuotteen modulaarisen rakenteen ansiosta asiakaskohtainen räätälöinti onnistuu helposti. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 69.)

3.1 Valmistettavuus

Kun tuote suunnitellaan valmistettavuutta ajatellen, edellyttää sen valmistaminen merkittävästi vähemmän investointeja automaatioon, kuin mitä vanhan tuotteen valmistuksen automatisointi olisi tullut maksamaan. On ollut tapauksia, joissa investoinnit automaatioon ovat vähentyneet jopa 90 %, kun valmistettavuus on merkittävästi huomioitu suunnittelussa. Työvoimakustannukset saadaan pidettyä alhaalla ja valmistuskustannuksia voidaan alentaa optimoimalla nykyinen tuotesuunnitelma sekä muokkaamalla tuotteen rakennetta DFM-menetelmiä hyödyntäen. Pelkkä automaatiotason nosto, huomioimatta valmistettavuuden näkökulmia, aiheuttaa tuotannon joustavuuden menetystä ja suuria investointeja. DFM-menetelmien hyödyntämisellä on tarkoituksena saada sama tuotannollinen tulos aikaan pienemmillä investointikuluilla ja riskeillä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 14-15.)

Tuotekehityksen aivan alussa päätetään tuotteen suunnittelu-, valmistus-, markkinointi-, jakelu- ja huoltomenetelmät. Yhdessä nämä asiat muodostavat tuotekonseptin. Kehitysprojektin alussa tulisi löytää suunnittelu- ja valmistuskonsepti, joka tarjoaa parhaat tulevaisuudennäkymät. Tässä vaiheessa asetetaan tuotekonseptin tavoitteet ja vaatimustaso. Seuraavassa vaiheessa valittua suunnittelu- ja valmistuskonseptia käytetään lähtökohtana varsinaiselle tuotekehitykselle. Tässä vaiheessa haetaan parhaita vaihtoehtoja suunnittelu- ja valmistusmenetelmille. Parhaimmillaan saavutetaan suunnittelualusta, jossa yhdistyvät suunnittelun, tuotannon ja markkinoinnin tavoitteet. Tuotekonsepti päätetäänkin neljällä tasolla, jotka ovat yritystaso, tuoteperhetaso, rakennetaso ja komponenttitaso. Yritystasolla tutkitaan ja vertaillaan uutta kehitettävää tuotetta ja yrityksen muita tuotteita. Yritystasolla varmistetaan, ettei kehitetä ja valmisteta päällekkäisiä tuotteita ja että eri tuotteissa käytetään samoja teknisiä ratkaisuja, mikäli mahdollista. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16.)

Tuoteperhetasolla tutkitaan ja vertaillaan erilaisia tuotevariantteja. Tuoteperhetason suunnittelu pitkälti määrää tuotteen eliniän markkinoilla. Se myös antaa hyvät lähtökohdat uusien tuotteiden kehitykseen vanhojen hyväksi todettujen ratkaisujen pohjalta. Uusia tuotteita saadaan kehitettyä esimerkiksi skaalaamalla uutta tuotetta edellistä kookkaammaksi ja tehokkaammaksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16.)

Rakennetasolla taas pyritään ymmärtämään, miten tuotteen rakenne ja tuotantolaitteiden rakenne sopivat yhteen. Suunnittelija voi hyödyntää tuntemustaan tuotannon kriittisistä kohdista. Esimerkiksi hitaaksi todettua testausta voidaan tehostaa yhdistämällä rakenteita ja näin vähentää testattavien osien lukumäärää. Tuotteen sisäisen kustannusrakenteen perusteella voidaan löytää kohteet, joilla on suurin vaikutus tuotteen hintaan. Vertailemalla omaa tuotetta muiden valmistajien vastaaviin voidaan löytää kohteet, joissa oma tuote eroaa kriittisesti muista. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 17.)

Komponenttitasolla tulisi keskittyä kriittisiin komponentteihin, kuten kalliisiin osiin sekä sellaisiin osiin, joiden saanto valmistuksessa on heikko tai joihin liittyy muita ongelmia. Komponenttitasolla tulee olla tietoinen uusista valmistusmenetelmistä, joita on kehitetty edellisen tuotteen suunnittelun jälkeen sekä varmistua, että ulkopuoliset osatoimittajat kehittävät myös komponenttejaan DFM-menetelmillä. Joskus

osien tuotekehitys kannattaakin jättää osien valmistuksesta vastaavan alihankkijan tehtäväksi. Komponenttitasolla on myös varmistuttava osien saatavuudesta ja löydettävä luotettavat toimittajat valmistustoiminnan varmistamiseksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 17.)

Tuotekonseptin suunnittelu täytyy alkaa ylimmältä tasolta, eli yritystasolta ja edetä siitä alemmille tasoille. Tämä siksi, että ylemmillä tasoilla tehdyt päätökset antavat pohjan ja perustan alempien tasojen päätöksille. Yritystasolla päätetään suurista linjoista, standardoinnista, tuotteiden ulkoasusta ja muista yrityksen kannalta tärkeistä tekijöistä. Nämä kaikki päätökset ohjaavat alempien tasojen suunnittelua. Esimerkiksi yritystasolla tehty standardisointipäätös käyttää samaa etupaneelia kaikissa tuotemalleissa vaikuttaa merkittävästi osan vuotuiseseen tarpeeseen ja mahdollistaa tehokkaamman tuotantomenetelmän valinnan. Mikään päätös yhden osan kannalta komponenttitasolla ei ole niin merkittävä kuin päätös konstruktivisen suunnittelun tasolla. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 18.)

Lukuisista DFM-projekteista saatu kokemus on osoittanut, että seitsemän yleistä mittaria ovat olennaisia arvioitaessa tietyn tuotekonstruktion vaikutusta valmistettavuuteen.

1. Tuotekustannukset: kiinteät kustannukset (varastointi, laadun valvonta, ostot, tilat yms.), muuttuvat kustannukset (työvoima, materiaalit) ja kokoonpantavuusindeksit
2. Laatu: tuotteen kyky noudattaa sille asetettuja vaatimuksia. Puutteet laadussa nähdään lattiatasolla laadunvalvontaongelmina korjauksina ja romutuksina. Kalleimmat laatuongelmat näkyvät takuukorjauksina ja reklamaatioina.
3. Joustavuus: muuntautumiskyky eli kyky siirtää suunnitellut tuotekehitykselliset muutokset valmiiseen tuotteeseen.
4. Riski: tuotekonstruktion aiheuttama jatkuva valmistuksen riskialttius. Tuotantovolyymin nopea kohottaminen, ramp-up, vaarantuu.

5. Lämpimenoaika: perustuotteen kyky saavuttaa nopea läpimenoaika valmistuksessa. Asiakaskohtainen räätälöinti ei saa lisätä läpimenoaikaa kohtuuttomasti.
6. Tehokkuus: tehokkuus henkilöstö- ja talousresurssien hyödyntämisessä.
7. Ympäristövaikutukset: osien materiaalien kierrätettävyys. Valmistusprosessin ympäristövaikutukset ja tuotteen purettavuus. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 20-21.)

3.2 Kokoonpantavuus

Yleisesti voidaan todeta, että kokoonpantavuus on tärkeämpää kuin valmistettavuus, koska kokoonpanotyö on työvoimavaltaisempaa kuin osien valmistus. Myös osien lukumäärän vähentäminen DFA:n avulla vaikuttaa merkittävästi tuotantokustannuksien vähenemiseen, kun valmistettavien ja kokoonpantavien osien määrä vähenee. Kokoonpanotyön vaiheita tuotekonstruktion vaatimuksina tarkastellaan seuraavista näkökulmista:

- osien syöttäminen, sisältää osan orientaation ja erottelun
- kappaleenkäsittely, tapahtuu robotilla tai käsin
- liitosten toteutus
- kokoonpanotyön laadun valvonta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 70.)

Professori Geoffrey Boothroydin mukaan osien välttämättömyydelle konstruktiossa on vain kolme hyväksyttävää perustetta:

1. Osan on oltava erillinen, jos tuotteen toiminnan kannalta sen on oltava eri materiaalia kuin viereiset osat, esim. sähkön eristysmateriaali >< sähkön johdemateriaali.

2. Osan on oltava erillinen, jos osa liikkuu viereisiin osiin nähden eikä tätä liikettä voida aikaansaada osan materiaalin tai muodon elastisuutta hyväksikäyttäen. Esim. pyörivä akseli >< kiinteä liukulaakeri.
3. Osan on oltava erillinen, jotta tuotteen kokoonpano tai purku ovat mahdollisia, esim. vaihdelaatikon puolikkaiden jakotaso on välttämätön. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 70.)

Edellä mainitusta voidaan havaita, että esimerkiksi ulkonäköseikkoja tai osien kiinnitystä toisiinsa ei huomioida välttämättömyyskriteereissä. Tämän mukaan jokaiseen kaupalliseen tuotteeseen suunnitellaan ”turhia” osia tarkoituksellisesti. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 70.)

Kun halutaan vähentää kokoonpanon osien lukumäärää, voidaan esimerkiksi yhdistää eri osien toimintoja yhteen samaksi osaksi. Näin huomattava määrä käsittelyjä ja liitoksia jää kokoonpanosta pois. Liitos on aina potentiaalinen laaturiski konstruktiossa. Lisäksi osien lukumäärällä konstruktiossa on suora vaikutus tuotteen kiinteisiin kuluihin. Osien yhdistäminen todennäköisesti monimutkaistaa uusia syntyviä osia jonkin verran, mutta useimmiten kustannus on kuitenkin pienempi kuin valmistettaessa kaksi erillistä osaa. Poisjätetyn osan vaikutukset kiinteisiin kustannuksiin ovat mittavat, sillä niitä ei tarvitse

- suunnitella
- valmistaa ja kokeilla prototyyppiä
- valmistaa tuotteen kokoonpanoa varten
- testata
- valvoa, onko saapunut kokoonpanoa varten
- varastoida
- poistaa epäkuranttina kirjanpidosta

- kierrättää ja lopulta hävittää
- ostaa ja kuljettaa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 71.)

3.3 Standardointi ja modulointi

Yleisesti standardoinnilla ja moduloinnilla tarkoitetaan erilaisten toimintojen, nimikkeiden ja osien lukumäärän vähentämistä. Pyrkimyksenä on kokonaiskustannusten alentaminen. Standardisointi ja modulointi on erityisen kannattavaa tuotantotekniikassa, kun sarjatoon pienuus rajoittaa automatisoinnin kannattavuutta. Hitsattavan tuotteen standardointi ja modulointi lähtee siitä, että tuote jaetaan sopiviksi toiminnallisiksi ja fyysisiksi kokonaisuuksiksi eli moduuleiksi. Moduuli soveltuu mahdollisimman moniin yrityksen valmistamiin tuotteisiin tai useaan kohteeseen samassa tuotteessa. Samalla moduulilla voi olla myös useita käyttökohteita. Esimerkiksi samaa korvaketta voidaan käyttää ajovalojen, astinlaudan jne. kiinnityksessä. Rakenteessa on moduulien lisäksi tiettyjä rakenneosia, jotka ovat tuote- tai tuotevariaatiokohtaisia. Standardoinnin ja moduloinnin tuloksena saadaan tuoteperheitä, jotka koostuvat moduuliosista. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 83.)

4 KAPPALEENKÄSITTELYLAITTEEN SUUNNITTELU

Yrityksen päätöksen mukaan käsittelylaite pitäisi olla yksiakselinen, jolloin se edustaisi edullisinta markkinoilla olevaa käsittelylaitetyyppiä. Se pitäisi voida asentaa lattialle tai pöydälle helpottamaan yksinkertaisten ja pienten osien hitsausta. Pitkien tai raskaiden kappaleiden kanssa voidaan käyttää pylkkää kiinnityksen tukevoittamiseksi tai kuorman jakamiseksi. Esikuvana suunniteltavalle tuotteelle toimisi ABB:n valikoimasta löytyvä, jo edellä esitelty Industrial Robotic Positioner L (Kuvio 3. IRBP L).

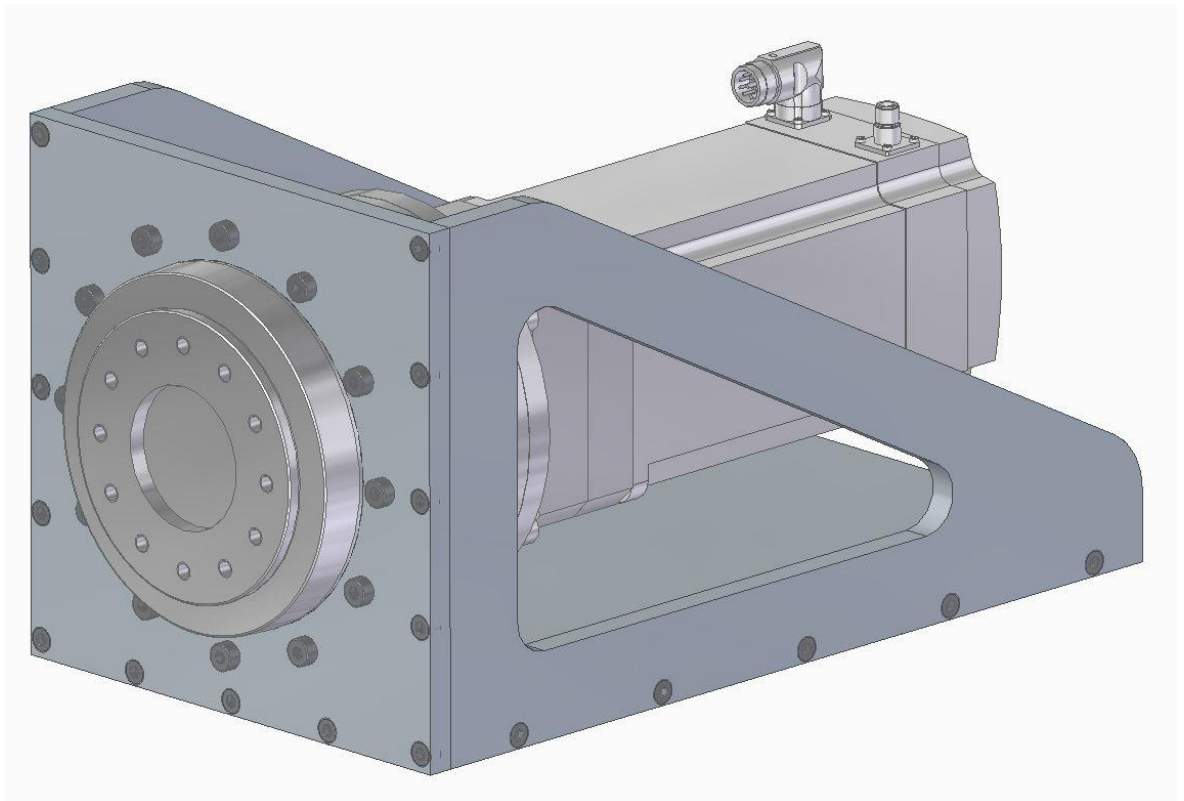
4.1 Lähtötilanne

Grillityyppiselle käsittelylaitteelle asetettiin seuraavat vaatimukset, joiden rajoissa se tulitaisiin toteuttamaan. Yrityksessä todettiin, että massa, jota grillin tulisi kyetä käsittelemään, olisi 300 kg sisältäen mahdollisen kiinnittimen eli jiggin. Pituussuunnassa tilaa käsiteltävälle kappaleelle ja jigille tulisi olla vähintään 1200 mm. Pyörähdyshalkaisija käsiteltävälle kappaleelle ja jigille puolestaan pitäisi olla ainakin 1000 mm. Rakenteen haluttiin olevan myös mahdollisimman modulaarinen, jotta kokonaisuus olisi helposti räätälöitävissä kullekin asiakkaalle sopivaksi. Näiden lähtötietojen perusteella aloitettiin grillin suunnittelu ja komponenttien kartoitus.

4.2 Mekaniikkasuunnittelu

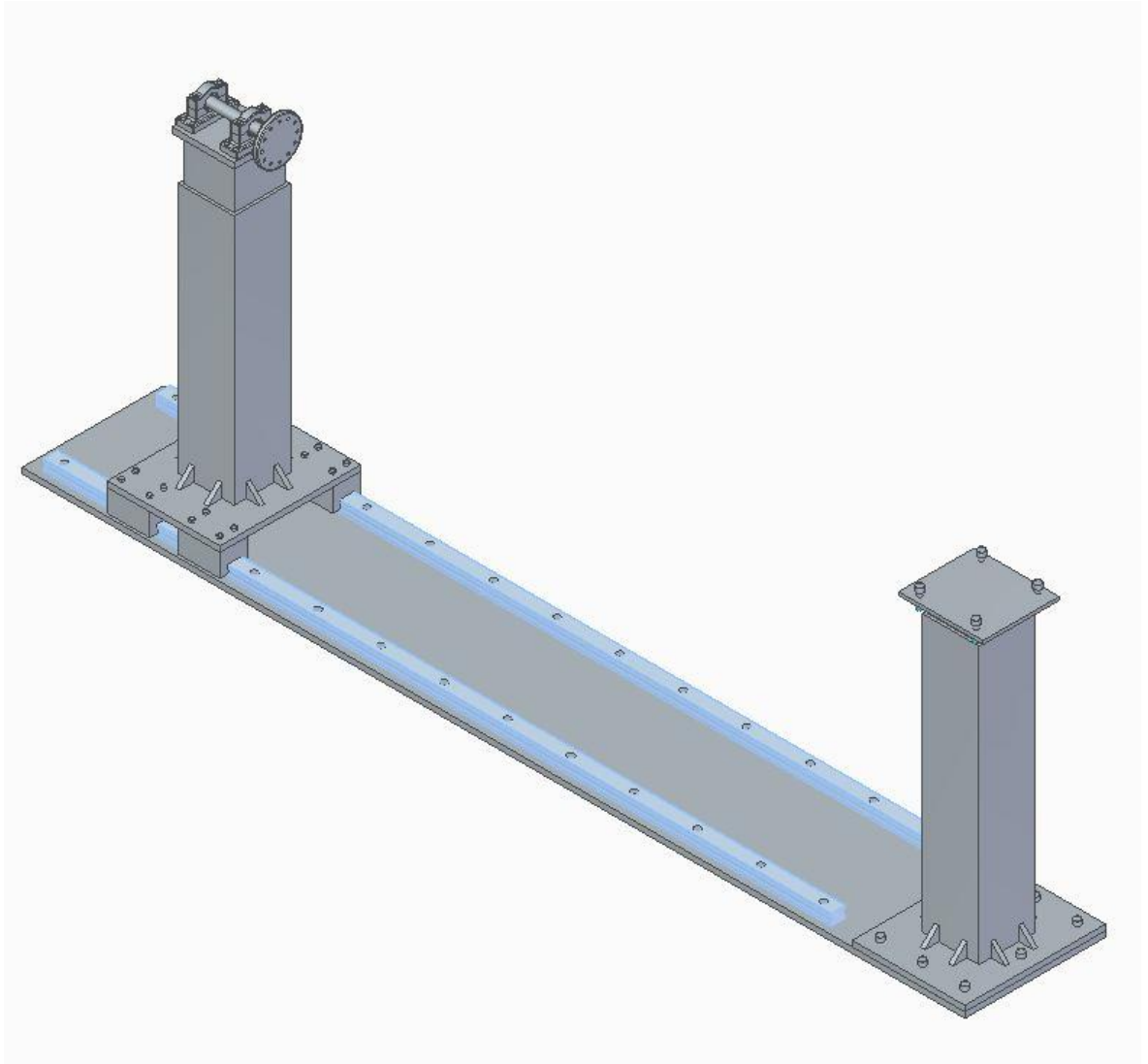
Suunnittelun alkumetreillä päätettiin, että ensimmäiseksi pitäisi valita tarkoitukseen sopiva vaihteisto eli pyörittäjä, johon lopulta käsiteltävä kappale ja jigi kiinnitetään. Vaihteiston kiinnittäminen muuhun rakenteeseen saattaisi vaikuttaa merkittävästi suunniteltavaan konstruktion. Vaihteistoja kartoitettaessa löydettiin kaksi potentiaalista vaihteistoa ja päätettiin, että toinen niistä valittaisiin käytettäväksi grillissä. Kolmaskin vaihtoehto huomioitiin eräänlaisena erikoistapauksena, jos tulee vastaan asiakas, jolla on ABB:n robotti, jossa onkin ulkoisen akselin optio, jota voidaan hyödyntää tässä tapauksessa. Vaihtoehdoiksi siis valikoituivat saksalaiset Weissin NC

220T, hammashihnavetoinen kierukkavaihteisto ja Neugartin PLFN 200 planeetta-
vaihteisto. Kolmas vaihtoehto olisi käyttää ABB:n omaa vaihteistoa MTD 250:ä, joka
soveltuisi suoraan ulkoisen akselin optiolle eikä vaatisi ylimääräisiä ohjainkom-
ponentteja. Vaihtoehdot huomioon ottaen todettiin, että järkevintä olisi modulaari-
suuden ja asiakasräätelöinnin kannalta suunnitella grillin runko sellaiseksi, että sii-
hen voidaan kiinnittää mikä tahansa kolmesta vaihtoehdosta ilman muutoksia pe-
rusrakenteeseen. Näin ollen vaihteiston kiinnitysalusta grilliin suunniteltiin mahdolli-
simman yksinkertaiseksi; levy, johon kaikki vaihteistot saataisiin kiinnitettyä samalla
ruuvijaolla. ABB MTD voitaisiin kiinnittää suoraan ruuveilla, ja kahdelle muulle suun-
niteltaisiin erilliset adapterit. Vaihteistot kiinnitetään adaptereihin vaihteistomoduu-
leiksi, jotka voidaan kiinnittää samalla jaolla olevilla neljällä ruuvilla grillin runkoon
samoin kuin ensimmäinenkin. Vaihteiston valinta muuttuikin vaihteistomoduulin
suunnitteluksi, mikä helpottaa ja yksinkertaistaa kokonaisuuden suunnittelua ja val-
mistusta. Kuviossa 11. on nähtävissä suunniteltu vaihteistomoduuli Neugartin vaih-
teistolle.



Kuvio 11. Vaihteistomoduuli (Solid Edge 2020)

Seuraavaksi suunniteltiin jalusta vaihteistomoduulille ja pylkälle. Ne suunniteltiin valmistusystävällisyyden ja standardoinnin näkökulmasta samasta teräsprofiilista. Vaihteistopään täytyi olla kiinteä, mutta pylkän jalustan taas liikuteltava. Liikuteltavalla pylkän jalustalla tavoiteltiin asiakasrätälöinnin helpottamista ja parempaa joustavuutta, jotta mahdollisimman monenlaisia kappaleita ja jigejä pystyttäisiin käyttämään. Liikuteltavuusominaisuus toteutetaan asentamalla pylkän jalusta kahden lineaarijohteen varaan. Tämän ansiosta kappaleiden ja jigien pituus voisi vaihdella paljonkin tarpeen mukaan. Pylkän laipan akseli on kelluvasti asennettu, ja se voi liikkua vapaasti akselinsa suuntaisesti 50 mm. Tämä helpottaa kappaleiden kiinnitystä ja lievittää mahdollisia aksiaalikuormia. Jalustojen rakenne suunniteltiin kaksiosaiseksi. Konstruktion suunniteltiin kaksi sisäkkäistä teräsprofiilia, joiden avulla grillin työskentelykorkeutta ja pyöritettävän kappaleen halkaisijaa voidaan säätää tarpeen mukaan. Jalustat ja johteet voidaan pultata lattiaan sellaisenaan tai asentaa pohjalevyn kanssa. Pohjalevy helpottaa etenkin lineaarijohteiden asennusta. Rakenteella pyrittiin yksinkertaisuuteen ja pieneen määrään erilaisia osia. Suunnittelun grillin rakenne on kuvattuna kuviossa 12.



Kuvio 12. Suunnitellun grillin rakenne (Solid Edge 2020)

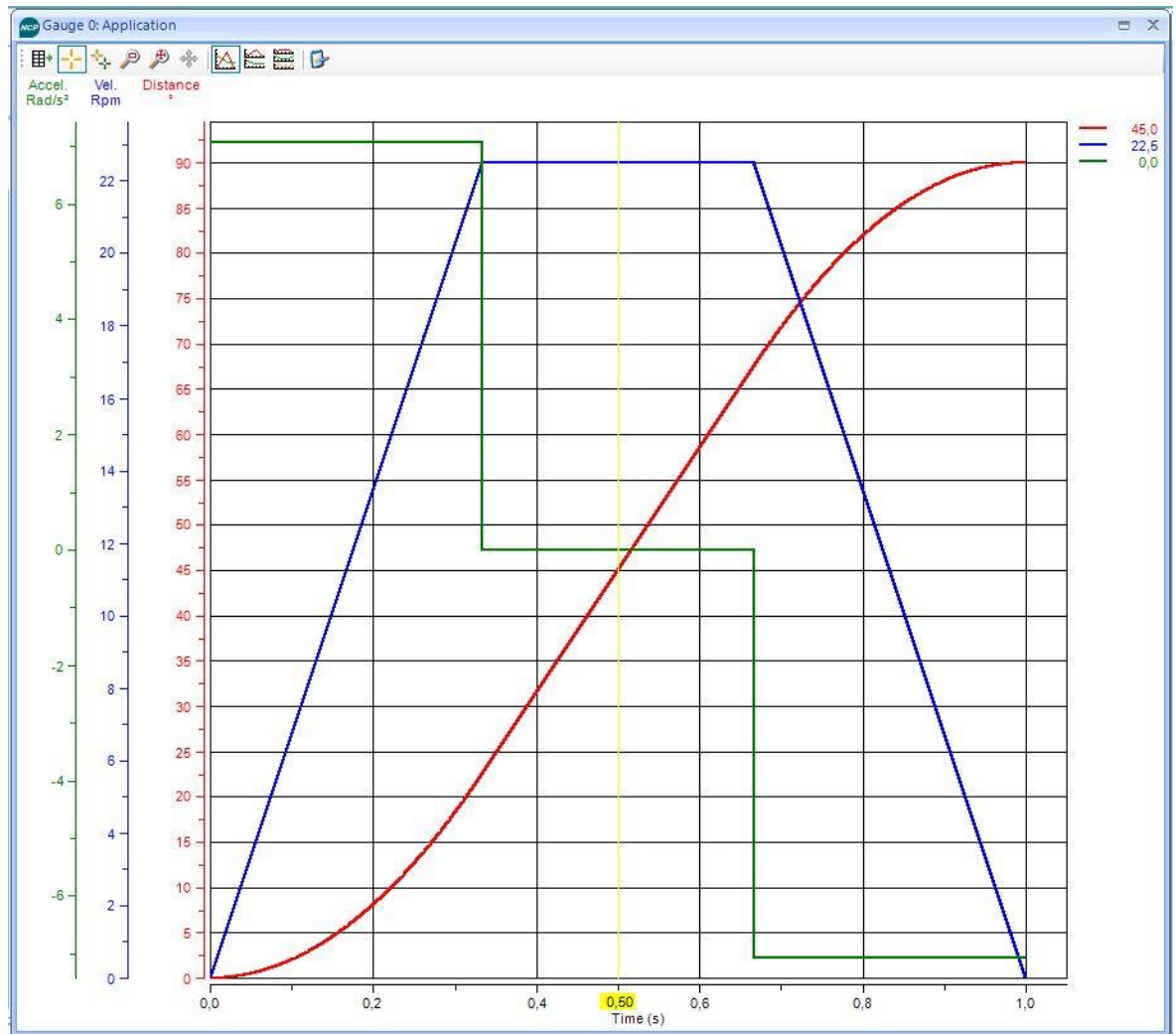
4.3 Vaihteiston valinta

Yrityksessä päätettiin, että ensisijaisesti käytettäisiin Neugartin PLFN 200 -vaihteistoja, jota tutkittiin tarkemmin. Selvitettiin, miten hyvin vaihteisto selviää suunnitellun maksimikuorman ja esimerkkinä toimivan demokappaleen ja sen hitsausjigin käsittelystä. Tähän tarkoitukseen käytettiin Neugartin kotisivuilta ladattavaa Neugart Calculation Program (NCP 4.2) -nimistä mitoitusohjelmaa. Sen avulla simuloitiin vaihteiston ja myös servomoottorin kokema rasitusta valituilla kuormilla. NCP-ohjelmiston katalogista löytyi suunniteltu servomoottori ja vaihteisto, joiden muodostaman voimansiirtojärjestelmän suoritusarvoja pystyttiin tarkastelemaan. Apuna käytettiin

erästä yrityksen omaa hitsattavaa tuotetta, jolle suunniteltiin grilliin kiinnitettävä hitausajuri.

Esimerkkinä toimineen demokappaleen ja sen jigin yhdistelmälle (massa noin 85 kg) sekä vaaditulle maksimikuormalle saatiin hitausmomentit SolidEdge- ja NCP 4.2 -ohjelmistojen laskelmista. Demokappaleen ja jigin hitausmomentti oli $2,8 \text{ kgm}^2$ ja maksimikuorman pahin mahdollinen hitausmomentti oli 108 kgm^2 . Simuloinnissa käytettiin seuraavia arvoja: kappaleen maksimi pyöritysnopeus 22,5 RPM, jolla saavutettiin 90 asteen kääntö per sekunti. Täyteen kierrokseen eli 360 asteen pyörähdykseen kului 4 sekuntia. Tämä todettiin riittäväksi nopeudeksi suunnitellulla maksimikuormalle. Nopeuden saavuttamiseksi moottori pyörii maksimissaan nopeudella 1440 RPM ja tuottaa vääntöä 14,39 Nm. Näillä moottorin arvoilla vaihteisto tuottaa maksimiväännön 763,4 Nm saavuttaakseen vaaditun nopeuden 22,5 RPM. Näiden lukujen antamien tulosten perusteella todettiin PLFN 200 -vaihteiston välityssuhteella 64:1 sopivan tähän tarkoitukseen.

PLFN 200 on suorahampainen kaksiportainen planeettavaihteisto. Valitulla 64:1:n välityssuhteella sisäinen hitausmomentti on $0,0007218 \text{ kgm}^2$. Hukkaliike on standardivälityksellä $< 3 - < 5$ kulmaminuuttia ja valinnaisella tiukemmalla välityksellä < 1 kulmaminuuttia. Vaihteiston jäykkyys on puolestaan 442 Nm per kulmaminuutti. Vaihteistolla on siis varsin hyvät servovaihteen ominaisuudet, sillä se on jäykkä ja tarkka ja sillä on pieni sisäinen hitausmomentti. Kuviossa 13. on nähtävissä vaihteiston suorituskäyrät kiihtyvyydelle, nopeudelle ja kuljetulle matkalle eli pyörähdykselle asteina. Kuvio on yllä mainitusta tilanteesta, jossa vaihteistoa kuormitetaan suunnitellulla maksimikuormalle.



Kuvio 13. Voimansiirron suorituskäyrät (NCP 4.2)

4.4 Ohjaus ja toimilaitteiden kartoitus

Toimilaitteista ensimmäinen valittava on servomoottori, joka määrittää samalla servokäytön, ja näiden kahden valinnan jälkeen on loogista valita saman valmistajan logiikka niitä ohjaamaan. Etukäteen ei oltu päätetty servojärjestelmän käyttöjännitettä, joten se voisi olla vaihtovirta tai tasavirta yhtä lailla. Vaihtoehtoiksi valittiin kolme eri valmistajaa, Festo, Beckhoff ja Omron, joiden valikoimia tutkittiin. Lopulta vertailujen jälkeen yrityksessä päätettiin, että käytettäisiin Feston tuotteita, joiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta tässä arvioidaan.

4.4.1 Servomoottori

Servomoottoriksi valikoitui Festo EMMS-AS-140-L-HS-RMB. EMMS = Motor, AS = AC synchronous, 140 = Flange size, L = Long, HS = High voltage Standard, R = Angled connector, adjustable, M = Absolute encoder, multi-turn, B = With brake. Kyseessä on vaihtovirta-tahtimoottori, jonka nimellisvääntö on 20,05 Nm ja maksimi vääntö 48,8 Nm. Vääntönsä puolesta moottori on tehdyn simuloinnin perusteella sopivan kokoinen. Simuloinnissa moottorin keskimääräinen ulosotto vääntö oli 11,67 Nm ja maksimi 14,39 Nm. Moottorin nimelliskierrosnopeus on 2000 RPM ja maksimi 2210 RPM. Simuloinnin mukaan moottorilta vaaditaan 1440 RPM pyörimisnopeus, jotta kappale pyörisi vaaditulla 22,5 RPM:n nopeudella. Muita moottorin nimellisarvoja ovat teho 4,8 kW, virta 7,4 A, maksimivirta 20 A ja momenttivakio 2,72 Nm/A. Suoritusarvojensa perusteella moottori vaikuttaa sopivalta suunniteltuun tarkoitukseen. Moottorin nimellisvääntö 20,05 Nm riittää hyvin kattamaan maksimikuorman aiheuttaman 14,39 Nm rasituksen. Kierrosnopeudella mitattuna moottorin suorituskyky 2000 RPM riittää myös hyvin vaadittuun 1440 RPM:n nopeuteen. Seuraavan, saman mallisarjan, pienemmän moottorin suorituskyky ei riitä simuloinnin mukaisiin vaatimuksiin.

4.4.2 Servokäyttö

Servokäytöksi valittiin Festo CMMP-AS-C10-11A-P3-M0, joka on EMMS-AS moottoreille suunniteltu servokäyttö. CMMP = Motor controller, premium, AS = AC synchronous, C10 = 10 A, 11A = 3 x 230 ... 480 V AC, P3 = 3 – phase, M0 = No slot. Kyseessä on vaihtovirta-servokäyttö, jonka käyttöjännite on 400 V AC, ulosotto virta 10 A, tehollinen huippuvirta 20 A, galvaanisesti erotettuja digitaalisia tuloja on 10, lähtöjä 5, analogisia tuloja on 2 (± 10 V) ja lähtöjä 2 (± 10 V). Voidaan operoida vääntö-, nopeus- tai asentokäyttönä, aikaoptimoidusti (kuten Kuviossa 13. näkyvä sininen nopeus käyrä (trapetsoidin muotoinen)) tai ilman nykiviä liikkeitä (S-muotoisesti), 255 asentoasetusta, vapaasti ohjelmoitavat tulot ja lähdöt. Sopivalla ohjaimella ohjattuna CMMP-AS voi suorittaa liikkeitä usean akselin mukaan, kuten hitsaavan robotin, ja määrittää itsenäisesti vaaditun liikenopeuden kahden pisteen välillä toivotussa ajassa.

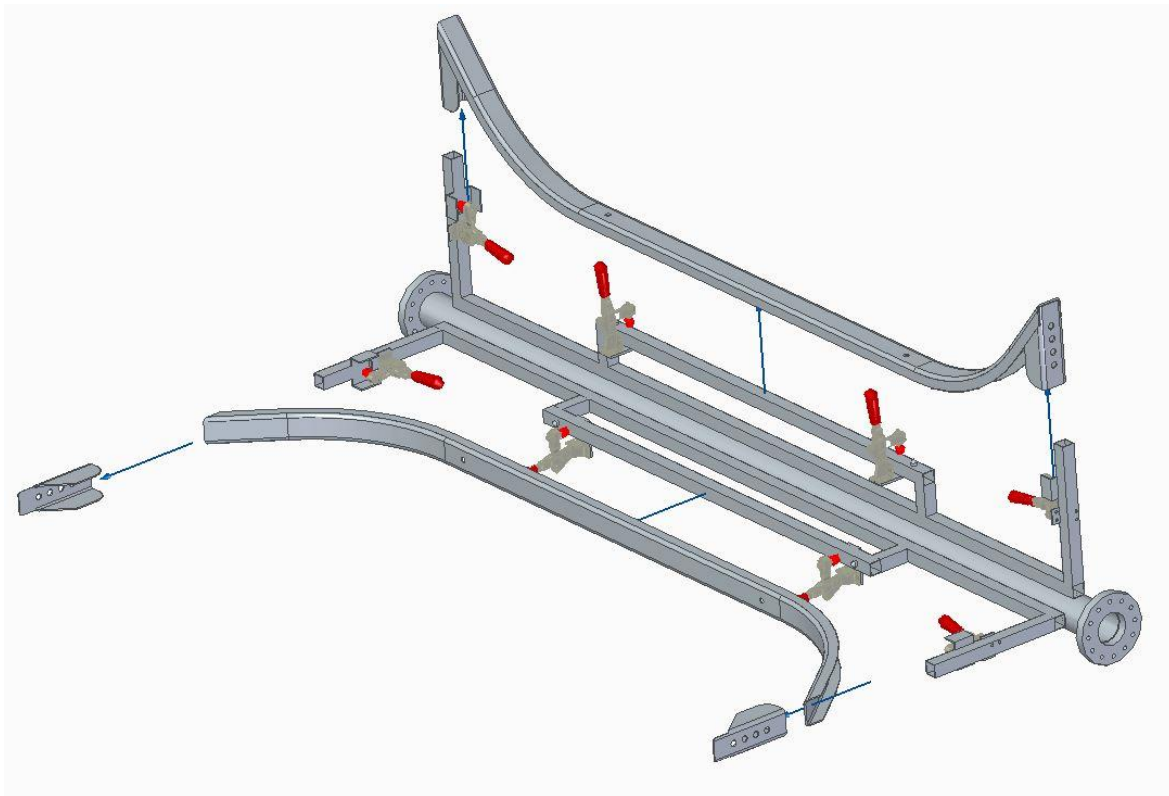
4.4.3 PLC

Ohjaavaksi logiikaksi valittiin Festo Automation system CPX-E. Siinä on kaksiytiminen 766 megahertsin keskusyksikkö, jossa on 512 megabittiä RAM-muistia. Luku-nopeus on noin 0,2 ms / 1 K. Muistiväline Micro SD kortti tai USB muistitikku 32 gigabittiin asti. Ohjelmamuistia logiikassa on 12 megabittiä. Logiikka on modulaarinen eli esimerkiksi tulo- ja lähtöpiirit ovat omia moduuleja, jotka liitetään päämoduuliin eli keskusyksikköön. Moduuleita voidaan lisätä tarpeen mukaan, mutta niiden maksimimäärä on kuitenkin kymmenen. CPX-E pystyy toimimaan itsenäisenä ohjaimena tai esimerkiksi robotin alaisuudessa vastaanottavana ohjaimena välittäen robotin ohjaimen antamat käskyt servokäytölle ja sen kautta servomoottorille. CPX-E:n ohjelmointiohjelmistona toimii ilmainen CODESYS. Grillille muodostui kaksi vaihtoehtoista ohjaustapaa. Ensimmäinen tapa olisi käyttää grilliä kommunikoimalla robotin ohjaimen ja grillin ohjausjärjestelmän kanssa. Tässä tapauksessa grillin ohjausjärjestelmä toimii vastaanottavassa tilassa robotin ohjauksen alaisuudessa ja välittää pyydettyjä liikekomentoja servokäytölle, joka ohjaa servomoottoria kääntymään halutun kierrosmäärän halutulla nopeudella. Servomoottori kääntää planeetavaihteistoa, jonka laipassa työstettävä kappale on lopulta kiinni. Servomoottorin takaisinkytkentä välittää tiedon halutun aseman saavuttamisesta servokäytölle, ohjausjärjestelmälle ja lopulta robotille. Tiedon saatuaan robotti voi aloittaa hitsauksen. Toinen tapa olisi käyttää pelkästään grillin omaa ohjainta ja operoida sen kääntöä esimerkiksi operaattorin nappia painamalla. Grilli kääntyisi esimerkiksi jokaisella painalluksella 90 astetta kerrallaan.

4.5 Jigin suunnittelu demokappaleelle

Grillin suunnittelun ja toiminnan havainnollistamisen avuksi suunniteltiin yrityksen eräälle osalle hitsausjigi, joka voitaisiin oikeasti kiinnittää suunniteltuun grilliin ja hitsata robotilla. Jigi suunniteltiin koostuvaksi neljästä identtisestä moduulista, joihin kuhunkin saataisiin kiinnitettyä hitsattava tuote, sekä runkoputkesta, johon moduulit kiinnitetään. Tällaisella rakenteella saadaan yhdellä työkierrolla neljä valmista hitsattua tuotetta. Itse hitsattava tuote koostuu kolmesta osasta, keskellä olevasta kaariosasta ja kahdesta kaaren päihin hitsattavasta kiinnitysosasta. Hitsattavat osat

kiinnitettäisiin jigiin Destaco-kiinnittimillä. Kuviossa 14. on esitelty valmista hitsausjigiä.



Kuvio 14. Suunniteltu hitsausjigi (kuvion selkeyttämiseksi kaksi moduulia on piilotettu) (Solid Edge 2020)

5 TULOKSET

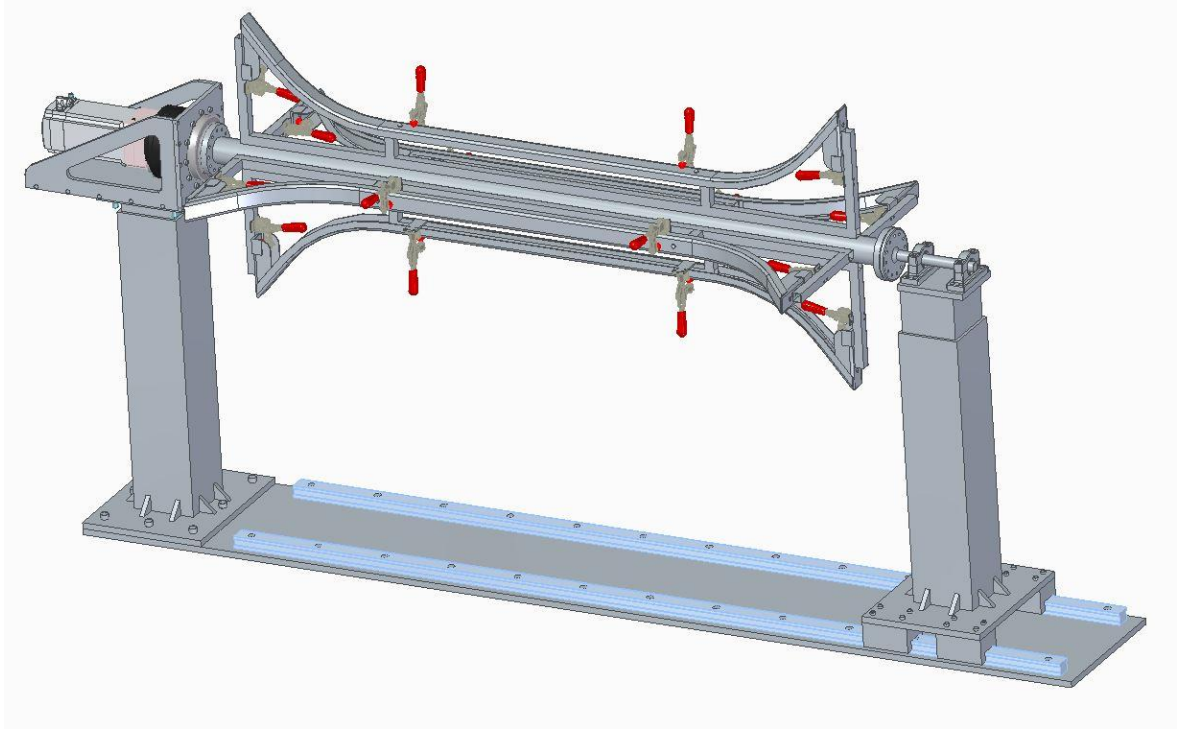
Toimeksiantajan määrittämien vaatimuksien mukainen grilli saatiin tämän työn tuloksena suunniteltua. Ominaisuuksiltaan se täyttää kaikki annetut vaatimukset. Laitteen rakenteesta saatiin toivotulla tavalla helposti räätälöitävä ja modulaarinen. Rakenteesta saatiin toivotulla tavalla helposti asiakaskohtaisesti räätälöitävä ja modulaarinen. Se koostuu vaihteistomodulistista, korkeussäädettävistä vaihteistomodulin ja pylkän jalustasta. Vaihteistomodulleja on teoriassa kolme eri vaihtoehtoa: Neugart, ABB ja Weiss. Vaikka Weissin vaihteistoa tuskin käytetään, sille suunniteltiin varmuuden vuoksi samanlainen adapteri kuin Neugartin vastaava. Vaihteiston jalusta suunniteltiin kiinteäksi. Pylkän jalusta sen sijaan ajateltiin tuotannon joustavuuden näkökulmasta asennettavaksi lineaarijohteiden päälle. Näin tekemällä voitaisiin grilliin kiinnittää erilaisia ja erimittaisia kappaleita hyvinkin monipuolisesti. Rakenne on yksinkertainen, vaikka jalustat ovatkin ajateltu korkeussäädettäviksi, minkä toteutustapaa ei ole tässä työssä määritelty.

Grilli kykenee käsittelemään kappaletta, jonka massa on 300 kg, pituus 1200 mm ja halkaisija 1000 mm. Tavoiteltu kappaleen käsittely nopeus, 22,5 RPM toteutuu kaikilla sallituilla kuormilla ilman että voimansiirto joutuisi liian kovalle rasitukselle. Tarpeen vaatiessa huomattavasti suurempaankin nopeuteen päästäisiin. Pienemmän hitausmomentin, kuin 98 kgm^2 omaavaa kappaletta pystyttäisiin, vaihteiston välityssuhteella 64:1 ja servon nimelliskierrosnopeudella 2000 RPM, pyörittää noin 32 RPM:n nopeudella. Pienemmän hitausmomentin kappaleilla rajoittavaksi tekijäksi siis tulisi servomoottorin kierrosnopeus.

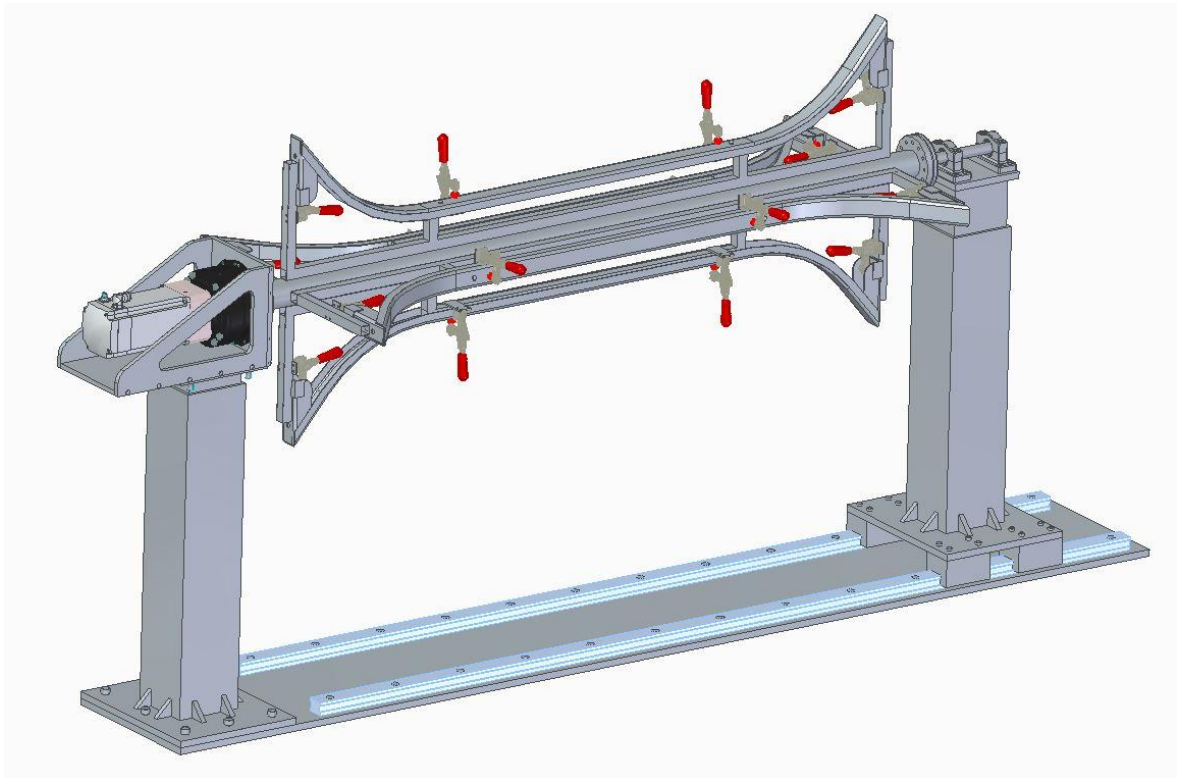
NCP 4.2 -ohjelmistolla vaihteistoa ja servomoottoria simuloitaessa tutkittiin myös eri välityssuhteita ja toimilaitteiden kokoluokkia. Varmistettiin, että valituilla komponenteilla on riittävät ominaisuudet vaaditun suorituskyvyn takaamiseksi. Haluttiin myös varmistua, että toimilaitteet eivät olisi rajusti ylimitoitettuja. Näin tehdessä huomattiin, että seuraava pienemmän koko luokan EMMS-AS servomoottori olisi auttamatta liian pieni vääntönsä puolesta (7,51 Nm). Moottoria ei myöskään olisi hyödyntänyt suurentaa pienemmän välityssuhteen ja siten halvemmän vaihteiston takia. 16:1 välityssuhde olisi ollut ensimmäinen yksiportainen planeettavaihteisto ja siten myös halvempi kuin kaksiportainen. Seuraava suurempi moottori ei kuitenkaan olisi

kyennyt pyörittämään 16:1 välityssuhteella vaadittua kuormaa. Tämän jälkeen tutkittiin vaihtoehtoa pienentää PLFN 200 pykälän pienempään PLFN 140 vaihteistoon. Tämäkään ei olisi onnistunut sillä PLFN 140 ei kestä vääntöä riittävästi. Se olisi kestänyt väännön yksiportaisena eli korkeintaan 16:1 välityksellä. Tämä ei kelvannut sovellukseen. Sen takia palattiin PLFN 200 vaihtoehtoon ja tarkistettiin vielä sen optimaalinen välityssuhde. Seuraavat pienempi ja suurempi välityssuhde olivat 50:1 ja 100:1, joista molemmat olivat huonompia kuin 64:1. Pienempi välityssuhde toimisi, mutta moottori olisi liian kovalla rasituksella eikä tulisi kestäväksi pitkään. Isompi välityssuhde ei saavuttaisi vaadittuja suoritusarvoja ollenkaan, koska moottorin kierrosnopeus ei riittäisi kappaleen pyörittämiseen 22,5 RPM nopeudella. Puutteellisen kierrosnopeuden lisäksi vaihteistokaan ei olisi kestänyt kuormaa tällä välityssuhteella.

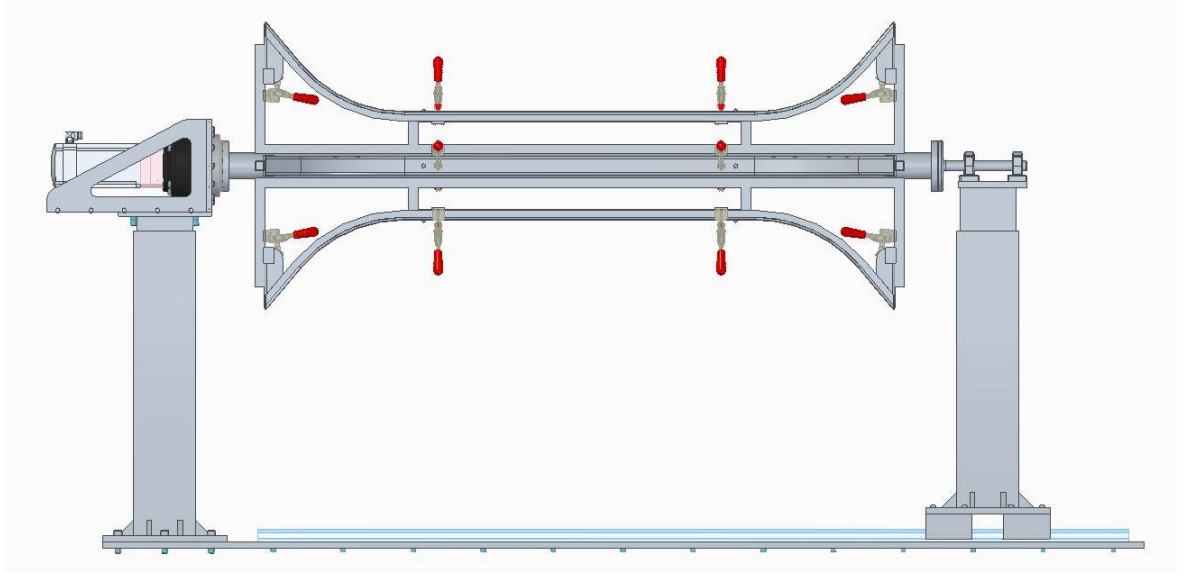
Servokäyttö CMMP-AS sisältää itsessään 255 ohjelmoitavaa asentoa, joihin kappale voidaan kääntää. Tästä syystä yksinkertaisissa sovelluksissa, valittu käyttö, riittäisi välittävänä ohjaimena ohjaamaan grillin toimintaa, kunhan sitä ohjattaisiin robotin ohjauksen kautta. Tilanteessa, jossa kappaletta halutaan kääntää asentoihin 0, 90, 180 ja 270 astetta tarvittaisiin vain neljä asentoa. CPX-E logiikka voitaisiin jättää pois kokonaan, jolloin kokonaisuus olisi luonnollisesti edullisempi. Vaativammissa sovelluksissa CPX-E tulisi tarpeelliseksi. Esimerkiksi pelkästään se, että halutaan kääntää kappaletta yhden asteen välein vaatisi vähintään 359 asentoa. Tässä tilanteessa logiikka tulisi välttämättömäksi, koska servokäytön oma kapasiteetti ei riitä kuin 255 asentoon. Alla olevissa kuvioissa 15., 16., ja 17. on suunniteltu valmis grilli nähtävissä eri kulmista ja demokappaleen hitsausjigi kiinnitettynä.



Kuvio 15. Suunnittelun tulos, valmis grilli demokappale kiinnitettynä (Solid Edge 2020)



Kuvio 16. Valmis grilli (Solid Edge 2020)



Kuvio 17. Grilli sivulta kuvattuna (Solid Edge 2020)

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella grillityyppinen pyörityspöytä teollisuusrobotin apulaitteeksi. Grillin pääasiallinen käyttö olisi nimenomaan robottihitsauksessa. Suunniteltavan rakenteen haluttiin olevan modulaarinen ja helposti räätälöitävissä kunkin asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Kyseessä on siis myytäväksi tarkoitettu tuote yritykselle, joka haluaa kehittää ja automatisoida hitsausprosessiaan. Kokonaisuuden suunnittelun lisäksi täytyi kartoittaa mahdollisia toimilaitteita ja ohjaimia. Lopuksi näistä valittiin parhaiten sopivat laitteet käytettäväksi tässä sovelluksessa.

Suunniteltaessa rakenneratkaisua kappaleenkäsittelylaitteen mekaaniselle rungolle piti monia asioita ottaa huomioon. Mekaniikan suunnitteluun perustana pidettiin teoriaa kappaleenkäsittelylaitteen perimmäisestä tarkoituksesta hitsauksessa. Käsitteilylaitteen tarkoitus on optimoida hitsattavan sauman asento hitsausprosessissa (Pashkevich 2003). Valmistusystävällisyyden näkökulmia, kuten standardointi ja modulaarisuus, huomioitiin myös mekaniikkasuunnittelussa. Grillin suunnitteleminen sisälsi myös sopivien toimilaitteiden ja ohjauksen kartoittamisen ja valinnan. Sopivien valintojen perusteina käytettiin teoriaa kappaleenkäsittelylaitteista ja niiden rakenteesta sekä toiminnasta. Vaihteiston valinta perustui hyvin pitkälle hyvän servovaihteen tunnuslukuihin ja ominaisuuksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli vastata yrityksen tarpeeseen asiakkaalle myytävän grillityyppisen kappaleenkäsittelylaitteen ratkaisumallin suunnittelemisesta. Vaatimukseen kuului, että rakenteen pitäisi olla modulaarinen ja helposti räätälöitävissä kunkin asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Vaatimukset täyttävä ratkaisu saatiin aikaiseksi ja laitteen rakenteesta suunniteltiin toivotulla tavalla helposti asiakaskohteisesti räätälöitävä ja modulaarinen. Rakenne koostuu vaihteistomodulistista, korkeussäädettävistä vaihteistomodulin ja pylkän jalustasta. Moduuli voidaan valita tarpeen mukaan muutamasta eri vaihtoehdosta. Vaihteistopään jalusta suunniteltiin kiinteäksi. Pylkän jalusta suunniteltiin tuotannon joustavuuden näkökulmasta asennettavaksi lineaarijohteiden päälle. Näin tekemällä lisättiin grilliin soveltuvuutta entistä useammille kappaleille. Tällä tavalla tuotteesta saatiin paremmin asiakasvarioituva.

Grillin sovelluskohde on robottihitsauksessa. Tämän takia grillin on täytettävä tiettyjä kriteereitä. Sen on oltava automatisoitu eli tässä tapauksessa automatisoitu servojärjestelmä. Tämä servojärjestelmä sisältää vaihteistoa pyörittävän servomootorin sekä servokäytön ja logiikkaohjaimen, jotka ovat yhteydessä robotin ohjaimen. Robottihitsauksessa käytettävän servojärjestelmän osana toimivalta vaihteistolta vaaditaan myös tarkkoja vaatimuksia. Hyvän servovaihteen pitää olla riittävän jäykkä ja tarkka sekä sillä täytyy olla mahdollisimman pieni sisäinen hitausmomentti. Valitun vaihteiston vääntöjäykkyyttä kuvaava arvo on 442 Nm per kulmaminuutti. Sen hukkaliike on alle yksi kulmaminuutti ja sisäisen hitausmomentin arvo on 0,0007218 kgm². Vaihteisto täyttää kaikki kolme kriteeriä ja soveltuu erittäin hyvin tähän tarkoitukseen.

Suunniteltu grilli kykenee käsittelemään siltä vaadittua kuormaa, jonka massa on 300 kg, pituus 1200 mm ja halkaisija 1000 mm. Tavoiteltu kappaleen käsittelynopeus, 22,5 RPM toteutuu kaikilla sallituilla kuormilla ilman että voimansiirto joutuisi liian kovalle rasitukselle. Tarpeen vaatiessa huomattavasti suurempikin käsittelynopeus saavutetaan samoilla komponenteilla kuormaa pienentämällä. Järjestelmässä on siis hyvin varmuutta ja sen pitäisi kestää suunnitellut kuormat erittäin hyvin. Se on varmatoiminen ja luotettava.

Asiakkaan hitsattavien tuotteiden ollessa tarkasti tiedossa, voidaan grillin rakennetta ja toimilaitteita optimoida huomattavasti. Selvittämällä asiakkaan tuotantotarpeet voidaan grilli mitoittaa optimaaliseksi juuri kyseisen asiakkaan tuotteille. Servomootoria, vaihteistoa, välityssuhdetta, logiikkaa ja grillin ulkoisia mittoja voidaan muuttaa suhteellisen helposti tietyissä rajoissa.

Tällaisen yleismallisen, mahdollisimman monelle asiakkaalle soveltuvan ratkaisun suunnittelu, tuotti työn tekijälle haastetta. Ilman yhtäkään oikeaa asiakkaan tuotetta suunnittelun ja mitoituksen aloittaminen oli ongelmallista. Vasta demokappaleen ja sen jiggin suunnittelun myötä työn hahmottaminen helpottui tekijälle merkittävästi ja työ alkoi edetä toivottuun suuntaan. Hitausmomentin merkittävä vaikutus mitoituksessa oli yksi suurimmista ongelmakohdista, koska kappaleen ulkoiset mitat vaikuttavat niin paljon hitausmomenttiin, vaikka massa olisi sama. Lopulta työssä onnistuttiin kuitenkin hyvin ja saatiin suunniteltua toivotunlainen malli ja pohja, josta yritys voi nopeasti suunnitella ja valmistaa asiakkaan tarpeiden mukaisen tuotteen.

LÄHTEET

- Aalto, H., 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.
- ABB IRBP A. Ei päivystä. IRBP A. [www-dokumentti]. ABB Robotics. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-a>
- ABB IRBP B. Ei päivystä. IRBP B. [www-dokumentti]. ABB Robotics. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-b>
- ABB IRBP D. Ei päivystä. IRBP D. [www-dokumentti]. ABB Robotics. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-d>
- ABB IRBP K. Ei päivystä. IRBP K. [www-dokumentti]. ABB Robotics. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-k>
- ABB IRBP L. Ei päivystä. IRBP L. [www-dokumentti]. ABB Robotics. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-l>
- ABB IRBP R. Ei päivystä. IRBP R. [www-dokumentti]. ABB Robotics. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-r>
- Airila, M. 2000. Mekatroniikka. 6. muuttumaton painos. Helsinki: Valopaino.
- ESAB. Ei päivystä. Kitkahitsaus. [www-dokumentti]. ESAB. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/kitkahitsaus.cfm>
- ESAB. Ei päivystä. Puikkohitsaus. [www-dokumentti]. ESAB. [Viitattu 7.5.2020]. Saatavana: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/puikkohitsaus.cfm>
- Fonselius, J., Rinkinen, J. & Vilenius, M. 1998. Koneautomaatio. Servotekniikka. Helsinki: Edita.
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2000. Valmistustekniikka. 8. muuttumaton painos. Helsinki: Hakapaino.

- Isla, J. 2013. 40 years of robotic welding and cutting – we’ve come so far. [www-dokumentti]. ABB Robotics. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://www.abb-conversations.com/2013/09/40-years-of-robotic-welding-and-cutting-weve-come-so-far/>
- Jääskeläinen, E., Solehmainen, K. & Tuunainen, A. 2010. Uudet innovaatiot hitsausautomaatioissa. [www-dokumentti]. Savonia-ammattikorkeakoulu. [Viitattu 7.5.2020]. Saatavana: <http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/tki-ja-palvelut/julkaisutoiminta/pdf/hit2netversio.pdf>
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2010. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 1.-2. painos. Helsinki: WSOYpro.
- Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino.
- Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.
- Neugart Calculation Program (NCP 4.2). Ohjelmistoa on käytetty lähteenä kuvankaappaukselle ja laskennalle.
- Pashkevich, A., Dolgui, A. & Semkin, K. 2003. Kinematic aspects of a robot-positioner system in an arc welding application. [www-dokumentti]. ScienceDirect. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967066102001776>
- Pires, J.N., Loureiro, A. & Bolmsjö, G. 2006. Welding robots. Lontoo: Springer.
- RobotStudio 2019. Ohjelmistoa on käytetty lähteenä kuvankaappauksille.
- RobotWorx. 2013. The Evolution of Robotic Welding -- A historical retrospective [www-dokumentti]. RobotWorx a SCOTT company. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://www.robots.com/articles/the-evolution-of-robotic-welding-a-historical-retrospective>
- RobotWorx. 2016. Plasma Welding Robots. [www-dokumentti]. RobotWorx a SCOTT company. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://www.robots.com/applications/plasma-welding>
- RobotWorx. 2017. The Right Positioner for your Application. [www-dokumentti]. RobotWorx a SCOTT company. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://www.robots.com/articles/the-right-positioner-for-your-application>

Shi, S. 2003. HYBRID LASER-ARC WELDING WITH ADAPTIVE CONTROL. [www-dokumentti]. TWI Ltd. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: <https://www.twi-global.com/media-and-events/connect/2003/september-october-2003/hybrid-laser-arc-welding-with-adaptive-control>

Solid Edge 2020. Ohjelmistoa on käytetty lähteenä kuvankaappauksille ja laskennalle.

Väisänen, T. 2008. Hybridihitsaus diodilaserin ja kuitulaserin yhdistelmällä [Verkojulkaisu]. Hämeen ammattikorkeakoulu: HAMKin e-julkaisuja 2/2008. [Viitattu 3.5.2020]. Saatavana: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90428/Hybridihitsaus_Diodilaserin_Ja_Kuitulaseri_Yhdistelmalla.pdf?sequence=1&isAllowed=y