



Riku Lähteenmaa

TUOTANNON ROBOTTIHITSAUS- KAPASTEETIN LISÄÄMINEN

Tekniikka
2023

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Riku Lähteenmaa
Opinnäytetyön nimi	Tuotannon robottihitsauskapasiteetin lisääminen
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	46
Ohjaaja	Mika Billing

Ferrum Steel Oy:n tavoitteena on kasvattaa robottihitsauskapasiteettiaan uusien tuotteiden valmistamiseen. Nykyisten robottihitsaussolujen käyttöaste on korkea ja tästä syystä uuden laitteiston hankkiminen on välttämätöntä, jotta tuotteet on mahdollista valmistaa.

Opinnäytetyössä tutkitaan kapasiteetin nostoon vaikuttavia tekijöitä ja tutustutaan uusien valmistettävien tuotteiden teknisiin vaatimuksiin. Valmistettavat tuotteet ovat modulaarisia ja tästä syystä erilaiset tuotevariaatiot ja niiden erot tutkitaan huolellisesti. Edellä mainittujen kohtien perusteella kiinnitinsuunnittelu ja -valmistus saadaan toteutettua ja valmistamiseen hankittava laitteisto pystytään määrittämään.

Työstä saadun tutkimusaineiston perusteella yrityksen käyttöön hankittiin kaksi uutta robottihitsaussolua, joilla uusien tuotteiden valmistaminen on mahdollista ja tuotantoprosessi on tehokas. Kiinnittimet sekä silloittamiseen että hitsaamiseen suunniteltiin ja valmistettiin opinnäytetyön aikana. Kiinnittimet ovat muunneltavia ja niillä pystytään valmistamaan kaikki erilaiset tuotevariaatiot.

ABSTRACT

Author	Riku Lähteenmaa
Title	Increasing the Robot Welding Capacity in Production
Year	2023
Language	Finnish
Pages	46
Name of Supervisor	Mika Billing

Ferrum Steel Oy's priority is to increase its robot welding capacity to manufacture new products. The utilization rate of robotic welding cells is currently at a high level; thus, the purchase of new welding cells is topical, so that the production of pieces to be produced is possible.

In the thesis, the factors influencing the capacity increase are investigated and the technical requirements of the new manufactured products are introduced. The manufactured products are modular and for this reason the different product variations and their differences are carefully studied. On the basis of the points mentioned above, the design and manufacture of fasteners can be carried out and the equipment to be procured for manufacture can be determined.

Based on the research material obtained from the thesis, two new robotic welding cells were acquired for the company's use, which makes it possible to manufacture new products and make the production process efficient. Fasteners for both bridging and welding were designed and manufactured during the thesis. Fasteners are adaptable and can be used to produce all different product variations.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Ferrum Steel Oy	7
1.2	Työn rajaukset.....	8
2	ROBOTIIKKA	9
2.1	Hitsausrobotti	10
2.2	Hitsaus.....	11
2.3	MIG/MAG-hitsaus	12
2.4	Teollisuusrobotin ohjelmointi.....	13
2.5	Kiinnittimet	14
3	KAPASITEETIN HALLINTA	16
3.1	Kapasiteetti	16
3.2	Läpäisy aika	17
4	KAPASITEETIN LISÄÄMISEN SUUNNITTELU	19
4.1	Hitsattavat tuotteet	19
4.2	Solujen vertailu	20
4.2.1	Robottisolujen vertailu – vaihtoehto 1	21
4.2.2	Robottisolujen vertailu – vaihtoehto 2	22
4.2.3	Robottisolujen vertailu – vaihtoehto 3	23
4.2.4	Robottisolujen vertailu – vaihtoehto 4	25
4.3	Laitteiston kilpailutus ja hankinta	26
4.4	Hitsauslaitteisto	26
4.5	Kiinnitinsuunnittelu.....	27
4.6	Kapasiteetin tarkastelu	32
5	ROBOTTISOLUN HANKINTA	34
5.1	Hankintapäätös.....	34

5.2 Etäohjelmointi.....	37
5.3 Lisävarusteet ja oheislaitteet.....	39
5.4 Materiaalivirran suunnittelu.....	40
5.5 Asennus.....	41
6 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	45

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Läpäisyajan vaiheet (Haverila ym. 2005, 401).	17
Kuva 2. Ensimmäinen robottisoluvaihtoehto.	22
Kuva 3. Toinen robottisoluvaihtoehto.	23
Kuva 4. Kolmas robottisoluvaihtoehto.	24
Kuva 5. Neljäs robottisoluvaihtoehto.	25
Kuva 6. Vaakaosan silloituskiinnitin.	28
Kuva 7. Vaakaosan robottikiinnitin.	29
Kuva 8. Pystyosan silloitusjigi.	30
Kuva 9. Pystyosan silloituskiinnitin.	31
Kuva 10. Yhdistämiskiinnitin.	32
Kuva 11. Hankittava robottisolu 1/2.	35
Kuva 12. Hankittava robottisolu 2/2.	36
Kuva 13. Layout.	36
Kuva 14. Yhdistämissolu ohjelmointiympäristössä.	38
Kuva 15. Osavalmistussolu ohjelmointiympäristössä.	39
Kuva 16. ABB IRB4600 & IRBPK1000.	42
Kuva 17. ABB IRB 4600 & IRBP A750.	43
Taulukko 1. Hitsausajan vertailu käytössä olevaan kapasiteettiin.	33

1 JOHDANTO

Ferrum Steel Oy:n tuotantokapasiteetin nosto robottihitsauksen osalta tuli tarpeelliseksi 2022 syksyllä. Uudenlaisten tuotteiden valmistamisen edellytyksenä on hankkia lisää robottihitsauskapasiteettia, jotta tuotteiden läpimeno voidaan varmistaa. Opinnäytetyössä tutkitaan vaaditun valmistuskapasiteetin määrittämää tuotantokapasiteettia ja tätä kautta pystytään määrittämään lisäkapasiteetin tarve.

1.1 Ferrum Steel Oy

Ferrum Steel Oy on Seinäjoella toimiva terästen esikäsittelyjen tarjoaja, joka on perustettu vuonna 2005. Yritys tarjoaa noin 200 asiakkaalleen teräslevyistä ja pitkistä teräksistä valmistettuja osia tai kokoonpanoja asiakkaan valitsemalla esikäsittelyasteella. (Ferrum Steel nettisivut 2021.)

Yrityksen tarjoamiin leikkausmenetelmiin kuuluvat polttoleikkaus, plasmaleikkaus ja laserleikkaus. Leikattavan aihion paksuus voi olla ohuista yhden millimetrin paksuisista ohutlevyistä aina 250 mm paksuihin levyihin. Myös viisteleikkaus onnistuu plasma- ja laserleikkaamalla. Yritys käsittelee tuotannossaan vuodessa noin 12 000 000 kiloa terästä. Leikattavan levyn maksimikoko on 3250 mm x 13 000 mm ja aihion paino voi olla 16 000 kiloa. (Ferrum Steel nettisivut 2021.)

Leikattujen levyn palojen jatkojalostukseen yrityksessä on seitsemän erikokoista särmäyskonetta, jotka on varustettu erittäin kattavilla työkaluilla, joiden ansiosta erilaiset säteet ja ahiopakkuudet on mahdollisia toteuttaa. Suurin särmäyskone on leveydeltään 8 200 mm ja puristusvoimaa koneesta löytyy 1 000 tonnia (Ferrum Steel nettisivut 2021.)

Lastuavaan työstöön tuotannon konekannasta löytyy pysty- ja vaakakaraisia koneistuskeskuksia, pitkäjyrsinkoneita sekä porauskeskus, joilla pystytään tilanteen mukaan tekemään vaativiakin koneistuksia. Koneistettavan kappaleen pituus voi

olla jopa kuusi metriä ja se saadaan ajettua yhdellä kiinnityksellä. (Ferrum Steel nettisivut 2021.)

Jännitystenpoistohehkutus eli normalisointi onnistuu kappaleille sekä kokoonpanoille. Lämpökäsittelyuuni on nestekaasulla toimiva kooltaan 3 m x 3 m x 7 m, jonka maksimi lämpötila on 750 astetta. (Ferrum Steel nettisivut 2021.)

Myös pitkien terästen sahaus kuuluu yrityksen palveluihin. Käytössä on kaksi vannesahaa, joilla on mahdollista sahata sekä suora että vinosahattuja aihiota asiakkaan tarpeisiin. Myös profiilien aukotus on mahdollista sahauksen jälkeen. (Ferrum Steel nettisivut 2021.)

Kokoonpanohitsausta yrityksessä tehdään sekä käsin että robottisoluilla. Pienet sarjat ja yksittäiskappaleet valmistetaan käsin hitsaamalla, kun taas isommat sarjat ja toistuvat tuotteet hitsataan robottihitsaussoluilla. Robottisoluja on tällä hetkellä neljä ja suurimman robottisolun kappaleenkäsittelykyky on 10 000 kiloa. Ferrum Steel on hankkinut ensimmäisen robottihitsaussolon vuonna 2018 ja lähes joka vuosi on hankittu yksi solu lisää. (Ferrum Steel nettisivut 2021.)

Tällä hetkellä yrityksessä työskentelee noin 125 metallialan ammattilaista. Tuotantotilat ovat neljässä lähes vierekkäisessä hallissa, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on yli 16 000 neliötä. (Ferrum Steel nettisivut 2021.)

1.2 Työn rajaukset

Opinnäytetyössä käsitellään hitsausrobottikapasiteetin lisäämiseen vaikuttavia tekijöitä. Opinnäytetyön tuloksena saadaan määritettyä tarvittava robottihitsauslaitteisto vaaditun kapasiteetin saavuttamiseksi. Tarvittavista robottihitsaussoluista tehdään hankintapäätös ja solut asennetaan tehtaalle. Opinnäytetyössä ei käsitellä tuotteiden valmistamiseen tarvittavia tuoteohjelmia, eikä robottiturvallisuu-teen vaikuttavia tekijöitä, koska solut hankitaan toimittajalta asennettuna ja CE-merkittynä konedirektiivin mukaisesti määräykset täyttäen.

2 ROBOTIIKKA

Kansainvälisen robottiyhdistyksen määrittämisen mukaisesti robotilla tarkoitetaan uudelleen ohjelmoitavaa, vähintään kolmenlevelistä mekaanista laitetta, joka on suunniteltu liikuttamaan tai käsittelemään kappaleita, työkalua tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein työn suorittamiseksi. Robotti on siis kone, jonka tehtävänä on siirtää työkalun kiinnityslaippaa ohjelmoitujen pisteiden välillä. Liikerata voi olla etukäteen määritetty tai sitä voidaan muuttaa ulkoisilla antureilla tai toimintaympäristön muutoksilla. (Kuivanen 1999, 13.)

Robottijärjestelmä koostuu neljästä pääkomponentista, jotka ovat voimanlähde, ohjausjärjestelmä, mekaaninen yksikkö ja työkalu. Mekaaninen yksikkö robotityypistä ja solusta riippuen voi koostua erilaisista mekaanisista nivelistä, akseleista, ohjausventtiileistä, rajakytkimistä ja antureista. Mekaanisen yksikön mitoitus, käsittelykyky ja tyyppi riippuvat robotille asetetuista vaatimuksista. (Gupta, Arora, Wescott 463–464, 2017.)

Voimanlähde on tärkeä osa robotin toimivuutta. Voimanlähde robotin liikkeelle voi olla hydraulikkaa, pneumatiikkaa tai sähkövirtaa. Voimanlähteen valinta riippuu pitkälti tarvittavasta käsittelykyvystä ja nopeudesta. Hydraulikkaa käytetään, mikäli tarvitaan huomattavan suurta käsittelykykyä ja vastaavasti pneumatiikkaa käytetään, jos nopeus, mutta vähäinen käsittelykyky on tarpeen. Sähkötoimisilla servomooottoreilla saavutetaan kohtalainen käsittelykyky sekä kohtuullinen nopeus riippuen moottoreiden suunnittelusta. (Gupta ym. 464, 2017)

Ohjausjärjestelmää voidaan pitää robottijärjestelmän aivoina. Robottiohjain on eräänlainen kommunikaatio- ja tietojenkäsittelylaite. Ohjausjärjestelmän tehtävänä on hallinnoida robotin liikkeitä robottijärjestelmässä olevien antureiden tietojen perusteella. Useimmat teollisuusrobotit pitävät sisällään mikroprosessorit tai tietokonepohjaisia ohjaimia, jotka suorittavat laskennallisia toimintoja työkalujen, tarttuvien ja muiden oheislaitteiden kanssa. (Gupta ym. 464, 2017.)

Robotin työkalun täytyy vastata ja soveltua käyttötarkoitukseensa. Työkalu voi olla robottisovelluksesta riippuen esimerkiksi tarttuja, maaliruisku, pistehitsauspihti tai hitsauspoltin. Työkalulle voidaan määrittää robottijärjestelmään oma työkalupiste, jolloin robotin asentoa voidaan muuttaa työkalun pysyessä paikoillaan. Työkaluja voi olla käytössä useampi ja niiden vaihto voidaan toteuttaa joko manuaalisesti tai automaattisesti työkierron aikana. (Gupta ym. 465, 2017.)

2.1 Hitsausrobotti

Yleisin hitsauskäytössä oleva robottityyppi on kuusiakselinen kiertyvänivelinen teollisuusrobotti. Akseleiden avulla saavutetaan kuusi erilaista vapausastetta ja hitsauspolttimella pystytään lähestymään hitsattavaa kappaletta jokaisesta suunnasta. Jokaista vapausastetta liikuttaa oma moottori, joka lähes poikkeuksetta on sähköinen helposti ohjattava servomoottori. Sähkökatkojen vuoksi servomoottorit on varustettu jarruin, jotka vapautetaan sähköä syöttämällä ja lukitaan sähkökatkaisemalla. (Kuivanen 1999, 15–20.)

Yksi yleisimmistä robottisovellutuksista on hitsausrobottisolu. Hitsausrobotti on vertaansa vailla hitsien toistettavuuden, tasalaatuisuuden ja nopeuden osalta. Kaksi yleisintä hitsausmenetelmää ovat puristushitsaus eli pistehitsaus, joka on paljon käytetty muun muassa autoteollisuudessa ja toinen yleinen hitsausprosessi on kaarihitsaus. Hieman harvinaisempina prosessina käytetään myös laserhitsausta. Kaikissa edellä mainituissa hitsausprosesseissa voidaan käyttää perusominaisuuksiltaan vastaavaa robottia, ainoastaan hitsausprosessille tarvittavat laitteet ja työkalut vaihtuvat prosessikohtaisesti. (Gupta ym. 565–567, 2017.)

Hitsausrobotin ohjelmoinnissa ja operoinnissa voidaan käyttää erityyppisiä antureita niin railonhakuun kuin railonseurantaankin. Tyypillisin railonhaku- ja railonseurantamenetelmä on virranmittaukseen perustuva anturointi. Railonhaku tapahtuu johtamalla heikko sähkövirta joko hitsauslisäaineeseen tai kaasuholkkiin, joka koskettaessaan haettavaa pintaa lähettää signaalin robotin ohjaimiin ja ohjain tekee hitsausohjelmaan tarvittavan radansiirroksen. Railonseuranta virran-

mittaukseen perustuen edellyttää vaaputuksen käyttöä hitsauksen aikana, jolloin hitsausvirtaa mitataan vaaputuksen reunoilla ja hitsausvirran vaihtelun perusteella robottiohjain tekee korjauksia hitsausrataan, jotta hitsausauma on keskeellä liitosta. (Pires, Loureiro, Bolmsjö 2006, 84–86.)

Toinen yleinen käytössä oleva railonhaku- ja railonseurantamenetelmä on optiseen laserkeilaukseen perustuva tekniikka. Hitsauspolttimen eteen on kiinteästi asennettu laserskanneri, jonka säteen avulla railon sijainti ja geometrinen muoto sekä tilavuus voidaan määrittää ennen hitsaamista. Hitsauksen aikana railoa voidaan seurata skannerin avulla, ja sen perusteella hitsausrataa voidaan muuttaa hitsauksen aikana. (Pires ym. 2006, 77–82.)

2.2 Hitsaus

Menetelmänä hitsaus on yleisin tapa liittää metalleja. Standardissa SFS 3052 hitsaus määritellään osien liittämiseksi toisiinsa käyttäen hyväksi lämpöä ja/tai puristusta, jotta liitettävien kappaleiden väliin muodostuu jatkuva yhteys. Hitsausta käytetään myös jossain tapauksissa kappaleiden pinnoittamiseen, jolloin puhutaan päällehitsauksesta. (Lukkari 2002, 5–11.)

Hitsaus jaotellaan yleisesti kahteen eri pääryhmään, sulahitsaukseen ja puristus-hitsaukseen. Näistä prosesseista sulahitsaus perustuu liitettävien kappaleiden kuumentamisesta sulaan lämpötilaan, jolloin liitettävät kappaleet sulavat yhteen, ilman puristusta. Hitsaus voidaan suorittaa lisäaineen kanssa, jonka sulamislämpötila on lähellä perusainetta, tai hitsaus voidaan tehdä ilman lisäainetta. Puristushitsauksessa kappaleiden liittämiseen ei käytetä lainkaan lisäainetta, vaan kappaleiden liittäminen perustuu niiden lämmittämiseen ja lämmityksen aikaiseen puristukseen, jolloin liitettävät kappaleet liittyvät yhteen jäähtyessään. (Lepola & Makkonen 2005, 8.)

2.3 MIG/MAG-hitsaus

Yksi sulahitsausmenetelmistä on MIG/MAG-hitsaus, johon tämä opinnäytetyö keskittyy. MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi. Valokaari palaa suoja-kaasun ympäröimänä työkappaleen ja lisäainelangan välillä. Prosessissa hitsauslisäainetta syötetään langansyöttölaitteen avulla tasaisella tahdilla hitsauspolttimen lävitse valoakaareen, jossa se sulaa ja siirtyy työkappaleeseen. Hitsausvirta siirtyy monitoimijohdinta pitkin virtalähteeltä kohti polttimen kärkeä, jossa valoakaari muodostuu oikosulun seurauksena. Samaa johdinta pitkin kulkee myös suoja-kaasu, jonka tehtävänä on suojata hitsisulaa ja valoakaarta ympäröivältä hapelta. (Lukkari 2002, 159.)

MIG-hitsauksessa (Metal-arc Inert Gas) käytettävä suojakaasu on inerttiä, joka tarkoittaa, että se ei reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa. Inerttisiä hitsauksessa käytettäviä kaasuja ovat argon (Ar) ja helium (He) sekä näiden keskinäiset seokset. MIG-hitsausta käytetään normaalisti ei-rautametallien, kuten alumiinin ja kuparin hitsaamiseen. (Lukkari 2002, 159–160, 199.)

MAG-hitsaus (Metal-arc Active Gas) on vastaavasti aktiivisella suojakaasulla tehtävää kaasukaarihitsausta, jolloin suojakaasu reagoi hitsisulan kanssa. Aktiivisia suojakaasuja ovat tyypillisimmin argonin (Ar) ja hiilidioksidin (Co₂) erilaiset seokset. Yleisimmät käytössä olevat seossuhteet ovat argon 75–92 % ja hiilidioksidia 8–25 %. MAG-hitsausta käytetään pääsääntöisesti terästen hitsaamiseen. (Lukkari 2002, 159–160, 199.)

MIG/MAG-hitsauslaitteisto muodostuu neljästä pääkomponentista, joita ovat virtalähde, langansyöttölaitteisto, suojakaasulaitteisto sekä hitsauspolttin. Nykyään virtalähteet ovat lähes poikkeuksetta inverttereitä, joiden avulla verkkovirta muunnetaan hitsaukseen sopivaksi. Virtalähteen avulla saadaan hitsauksessa tarvittava jännite säädettyä oikeaksi. (Lepola & Makkonen 2005, 104.)

Hitsauksen onnistumisen perusedellytys on virheetön langansyöttö. Langansyöttölaitteisto syöttää tasaisella nopeudella lisäainelankaa langanjohdinputkea pitkin virtasuuttimen läpi valokaareen, jossa lisäaine sulaa valokaaren vaikutuksesta. Hitsausvirta säätyy langansyöttönopeuden mukaisesti ja sitä voidaan säätää portaattomasti. (Lepola & Makkonen 2005, 105.)

Suojakaasu saadaan käyttöön joko korkeapaineisesta kaasupullosta tai tehtaassa olevasta kaasuverkosta. Kaasupullon paine on yleensä 200 bar ja kaasuverkossa käytetty paine on 4–6 bar. Suojakaasun syöttöön tarvitaan virtaussäädin, kaasuletku, magneettiventtiili sekä monitoimijohdin, jota pitkin suojakaasu johdetaan kohti valokaarta. Suojakaasun kulutusta säädetään virtaussäätimen avulla. Suojakaasun virtaus ilmoitetaan ja mitataan litraa minuutissa eli l/min. Suojakaasun oikea virtausnopeus on tärkeässä asemassa suojaamaan valokaarta ympäröivältä hapelta. Liian pieni tai liian suuri virtausnopeus aiheuttaa huokoisia hitsisaumoja. (Lukkari 2002, 189–190.)

Hitsauspolttimessa/monitoimijohtimessa sijaitsevat langanjohdinputki, suojakaasuletku, hitsausvirtakaapeli, jäähdytysvesiletkut ja ohjausvirtakaapelit. Langansyöttölaitteeseen kytketään monitoimijohdin, jonka toisessa päässä on virtasuutin, kaasuholkki sekä eristeholkki. Langanjohdinputken materiaali on tarpeellista vaihtaa käytettävän lisäainelangan mukaisesti. Teräksisiä lisäaineita käytettäessä langanjohdin on yleisimmin terässpiraalia, mutta pehmeämmillä lisäainelangoilla on tarpeellista vaihtaa johtimen materiaaliksi tefloninen tai muovinen johdinputki. (Lepola & Makkonen 2005, 107.)

2.4 Teollisuusrobotin ohjelmointi

Teollisuusrobotin ohjelmoinnissa on robottivalmistajasta riippuen erilaisia ohjelmointikieliä. Ohjelmointikielen avulla robotti saadaan liikkumaan ennalta määritettyihin paikkoihin ennalta määritellyllä tavalla. Ohjelmalla ohjataan lisäksi robotin tulo- ja lähtösignaaleja, joilla voidaan myös vaikuttaa ennalta ohjelmoituihin paikkoihin. (Gupta ym. 553, 2017.)

Robotin ohjelmointiin on olemassa erilaisia tapoja:

- Johdattamalla ohjelmointi
- Opettamalla ohjelmointi
- Etäohjelmointi.

Johdattamalla ohjelmoinnissa robotin käsivartta ja työkalua liikutetaan operaattorin lihasvoimalla haluttuun paikkaan ja robotin nivelten paikka-antureiden tiedot tallennetaan robotin ohjaimelle. Johdattamalla ohjelmointi on yleisintä maausroboteilla. (Kuivanen 1999, 78.)

Opettamalla ohjelmoinnissa robotti ja robotin työkalu ajetaan käsiohjaimen avulla haluttuun paikkaan ja tallennetaan paikkapiste muistiin. Paikkapisteen lisäksi teollisuusrobotin peruskäsky sisältää yleisimmillään ainakin liiketyypin, liikenopeuden, paikoitustarkkuuden sekä käytettävän työkalun ja koordinaatiston. (Kuivanen 1999, 79–80.)

Etäohjelmointi (Offline) perustuu valmistettavan kappaleen ja käytössä olevan robotin 3D-mallin käyttöön. Etäohjelmointi ei tarvitse läsnäoloa varsinaisen tuottorobotin kanssa, eikä ohjelmointi itsessään aiheuta tuotantokatkoa. Etäohjelmoinnin suurena hyötynä on myös simulointimahdollisuus, eli kappaleen valmistettavuutta voidaan arvioida ja analysoida jo ennen valmistuksen aloittamista. (Kuivanen 1999, 81–83.)

2.5 Kiinnittimet

Hitsauskiinnittimet robottihitsauksessa voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, silloituskiinnittimiin ja hitsauskiinnittimiin.

Silloituskiinnittimien tärkein tehtävä on varmistaa tuotteiden mittatarkkuus ja vaatimustenmukaisuus sekä helpottaa tuotteen kokoonpanoa. Silloituskiinnittimellä paikoitetaan tuotteen eri osat mittatarkasti toisiinsa nähden. Hyvä silloituskiinnitin on säädettävä, helppokäyttöinen ja mittatarkka toistuvaan työhön.

Hitsauskiinnittimien tärkein tehtävä on hitsattavan tuotteen mitta- ja muotovaihteluiden eliminointi.

On olemassa tapauksia, joissa yhdellä kiinnittimellä voidaan hoitaa sekä silloitus että hitsaus, mutta usein hitsien luoksepäästävyys kärsii silloituskiinnittimessä tarvittavien rakenteiden takia. Erillisten kiinnittimien vahvuutena on myös se, että silloitushitsien aiheuttamat lämmöstä tulevat jännitykset ovat verraten pieniä hitsausvaiheessa tuleviin jännityksiin ja tästä syystä silloituskiinnittimet voivat olla huomattavasti kevytrakenteisempia. Hyvä hitsauskiinnitin paikoittaa kappaletta toistuvasti tarkasti samaan kohtaan ja pyrkii eliminoimaan mahdollisuuksien mukaan hitsauksessa tulevia jännityksiä. Paikoitukseen käytettävät tukipisteet tulee valita niin, että kappale paikoittuu niitä vasten ja pysyy paikoillaan. Tukipisteet eivät saa jumittaa kappaletta kiinnittimeen. (Tuunainen & Asikainen 2021.)

3 KAPASITEETIN HALLINTA

Kapasiteetti on tuotantoyksikön tuotantokykyä kuvaava mittari, joka ilmaisee enimmäistuotantomäärän aikayksikössä. Kapasiteettia kuvaavia määreitä on tuotannosta riippuen erilaisia. Kapasiteetin määrittämisessä voidaan käyttää muun muassa seuraavia yksiköitä: metriä/tunnissa, tonnia/tunnissa, neliömetriä/päivässä jne. Mikäli tuotteiden valmistukseen tarvittava kapasiteetti poikkeaa toisistaan vain vähän, voidaan käyttää määrettä tuoteyksikköä/vuoro tai tuoteyksikköä/päivä. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2005, 399.)

3.1 Kapasiteetti

Kapasiteetin karkeasuunnittelua tehdessä arvioidaan useasti kokonaista kuormitusryhmää, kuten tuotantolinjaa tai tuotantoyksikköä. Hienosuunnittelussa taas arvioidaan yksittäisiä soluja, koneita tai työntekijäryhmiä. Kapasiteetin hallinta perustuu käytettävissä olevan kapasiteetin ja töiden kuormituksen väliseen tasapainoon. (Haverila ym. 2005, 400.)

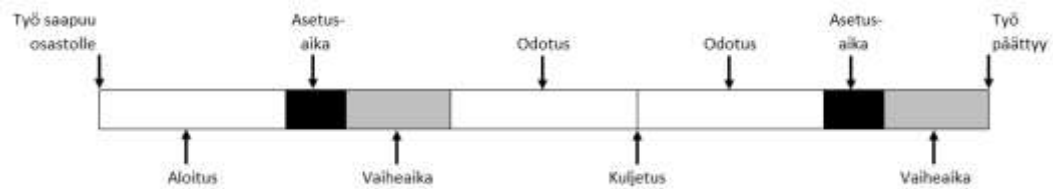
Usein käytössä oleva nettokapasiteetti on huomattavasti pienempi kuin teoreettinen maksimikapasiteetti. Teoreettista maksimikapasiteettia vähentäviä tekijöitä ovat muun muassa:

- Häiriöt valmistusprosessissa
- Materiaalipuutteet
- Konerikot
- Huollot
- Viallisten tuotteiden valmistus
- Koulutus
- Poissaolot ja sairauslomamat. (Haverila ym. 2005, 401.)

Kun teoreettisesta maksimikapasiteetista vähennetään edellä mainittuja kapasiteettia alentavia tekijöitä, saadaan selville nettokapasiteetti, joka on yleisesti noin 50–90 % teoreettisesta maksimikapasiteetista. (Haverila ym. 2005, 401.)

3.2 Lämpäisy aika

Lämpäisy aika tarkoittaa ajanjaksoa, jonka toimintaketju tarvitsee tuotteen valmistamiseen. Lämpäisy aika on normaalisti tuotteen valmistamiseen kuluva ajanjakso. Kokonaislämpäisy aika taas tarkoittaa tilauksen vastaanottamisesta toimitukseen kuluva aia. Lämpäisy aika ei ota kantaa, mitä tuotteelle tehdään valmistusprosessin aikana, eikä sillä määritetä tuottavuutta. Normaalisti lämpäisy ajasta suuri osa on odotusaikaa ja työvaiheajat ovat vain murto-osan kokonaisajasta, kuten kuvassa 1. on esitelty. (Haverila ym. 2005, 401.)



Kuva 1. Lämpäisy ajan vaiheet (Haverila ym. 2005, 401).

Yrityksen kannalta lyhyillä lämpäisy ajoilla on monia positiivisia vaikutuksia kilpailukykyyn ja yrityksen toimintaan. Lämpäisy aikojen lyhentämisestä on tullut yksi tuotannon keskeisimmistä tavoitteista. Lyhentämällä lämpäisy aikaa voidaan muun muassa vähentää toimintaan sitoutunutta pääomaa ja ylläpitää hyvää toimituskykyä. Asiakasohjautuvassa tuotannossa lyhyempi lämpäisy aika mahdollistaa nopeamman toimitusajan. Varasto-ohjautuvassa tuotannossa lyhyempi lämpäisy aika mahdollistaa pienemmän varaston, koska varastojen täydentäminen on nopeampaa. (Haverila ym. 2005, 404.)

Lämpäisy ajan lyhentämisen keskeisimpiä keinoja ovat eräkoon pienentäminen ja tuotannossa olevien väli varastojen poistaminen. Mitä suurempia eräkoot ovat, sen pidemmäksi valmistusaika venyy, koska eri työvaiheiden väliset odotusajat kasvavat. Odotusaikojen pitenemistä voidaan ehkäistä työvaiheiden välisiä kuljetuseriä pienentämällä. Myös tehtaan materiaalivirtojen selkeyttämisellä ja työpisteiden sijoittamisella valmistusvaiheiden mukaiseen järjestykseen voidaan lä-

päisyyttä lyhentää, koska lisäarvoa tuottamaton kuljetus ei kuluta valmistusaikaa. (Haverila ym. 2005, 406.)

Eräkoon pienentämisen varjopuolena voidaan pitää asetusajan kasvu tuotteen valmistusajassa. Asetusaika koostuu normaalisti työkalujen vaihdosta, kiinnittimien vaihdosta, ohjelmien vaihdosta sekä muista työn aloittamiseen liittyvistä toimenpiteistä. Tästä syystä eräkoko pienentäessä asetusajaa pitää pystyä myös lyhentämään. Keinoja asetusajan lyhentämiseen on esimerkiksi kehittyneemmät tekniset ratkaisut, organisoimalla asetusten teko tehokkaammin ja mahdollisesti asetukset voidaan valmistella jo edellisen työtehtävän aikana. Kehittyneillä automaattisilla valmistusjärjestelmillä saavutettu tehokkuus perustuu usein juuri lyhyeen asetusajaan ja tästä syystä tuotteita voidaan valmistaa pienissä erissä tehokkaasti ja tuottavasti. (Haverila ym. 2005, 406.)

4 KAPASITEETIN LISÄÄMISEN SUUNNITTELU

Hitsaamon läpimenon lisääminen ja robottihitsauskapasiteetin kasvattaminen tarkoittaa koko yrityksen toiminnassa tuotantomenetelmien tehostamista ja esivalmisteiden osalta tuotannon täsmällisyyttä. Osavalmistuksen täsmällisyys yrityksessä on tällä hetkellä päiväkohtaisella tasolla ja lisähaastetta tuotantoon tulee siitä, että osavalmistus ja hitsaamo toimivat erillisissä rakennuksissa noin 300 metrin etäisyydellä toisistaan.

Täsmällisyyden ja tehostamisen lisääminen on välttämätöntä, jotta puskurivarastoinnin määrä ennen hitsaustyövaihetta pysyy hallittavassa kokoluokassa ja varastointikapasiteetti on riittävä. Varastointikapasiteetti nousee suureen rooliin, koska uusien hitsattavien tuotteiden kokoluokka tulee olemaan tavanomaista suurempi ja siitä syystä varastotilat vievät huomattavan määrän tuotantotilastamme, mikäli osavalmistus ja varsinainen kokoonpano eivät kulje tasatahdissa. Osavalmisteiden varastointikapasiteetti on tarkoitus pitää noin viikon hitsauskapasiteetin kokoisena, jolloin tuotannossa voidaan joustaa ja töiden hienokuormituksesta tulee helpompaa. Jos varastointikapasiteetti olisi pienempi, suurena riskinä voitaisiin pitää osavalmistuksessa mahdollista konerikkoa ja siitä johtuvaa kokoonpanohitsauksen myöhästymistä.

4.1 Hitsattavat tuotteet

Uudet tuotantoon tulevat hitsauskokoonpanot ovat modulaarisesti rakennettuja. Kokoluokkia ja erilaisia osavalmistevariaatioita on noin 30 kpl. Perustuoterakenne koostuu vaakaosasta, pystyosasta ja pystyosaan hitsattavasta valuteräksestä valmistetusta kappaleesta. Vaakaosia tuotevalikoimassa on 15 kpl, pystyosia on 8 kpl ja valuteräksestä valmistettuja osia on 4 kpl. Edellä mainittuja osia voidaan sekoittaa käyttötarkoituksesta riippuen erilaisiin variaatioihin ja tämä täytyy huomioida, että saadaan selville erityisesti kaikista suurimmat ja kaikista pienimmät erilaiset valmistettavat lopputuotteet.

Vaakaosat ovat lähes neliskanttisia noin 300 x 300 mm, joiden pituusmitat vaihtelevat 2150–3850 mm välillä. Pystyosat ovat neliskanttisia, hieman kapenevia, ulkomitoiltaan noin 300 mm x 300 mm ja korkeudeltaan 1350–1680 mm. Painoltaan alikokoonpanot ovat 250–410 kg ja valmiit lopputuotteet painavat 512–660 kg.

Valmistusteknisistä syistä johtuen vaakaosat ja pystyosat joudutaan hitsaamaan alikokoonpanoina ennen lopullista yhdistyshitsaamista. Lopullisen yhdistämishitsauksen vaikeahko geometria, tiukat valmistustoleranssit ja kappaleen ääri­mitat aiheuttavat robottisolun tarkkaa suunnittelua.

4.2 Solujen vertailu

Robottisolujen ja käsittelylaitteiden vertailua tehtiin käyttäen ABB:n Robotstudio-ohjelmistoa, jonka tietokannasta löytyy kattava määrä ABB:n valmistamia standardilaitteistoja, niin robotteja kuin käsittelylaitteitakin.

Käsittelylaitteen valinnassa tärkeimpänä ominaisuutena pidettiin kappaleenkäsittelykykyä massan ja pyörähdyshalkaisijan osalta. Lisäksi kappaleen hitsattavuutta arvioitiin tarkasti, jotta saatiin selville, riittääkö käsittelylaitteeksi yksi- vai kaksiasellinen versio. Käsittelylaitteistoja on saatavilla yksi- ja kaksiasemaisia versioita, joka tarkoittaa, että robotti voi hitsata samanaikaisesti toisella asemalla olevaa tuotetta, kun operaattori vaihtaa kappaletta toiselle asemalle ja tällöin itse robotin käyttöaste on mahdollista saada hyvinkin korkealle tasolle. Tuotteiden läpimenoajan kannalta merkittävässä osassa on, voidaanko kappaletta vaihtaa samanaikaisesti, kun solu hitsaa toisella asemalla, vai onko saavutettava ajansäästö riittävällä tasolla suhteessa robottisolun korkeampaan hankintahintaan.

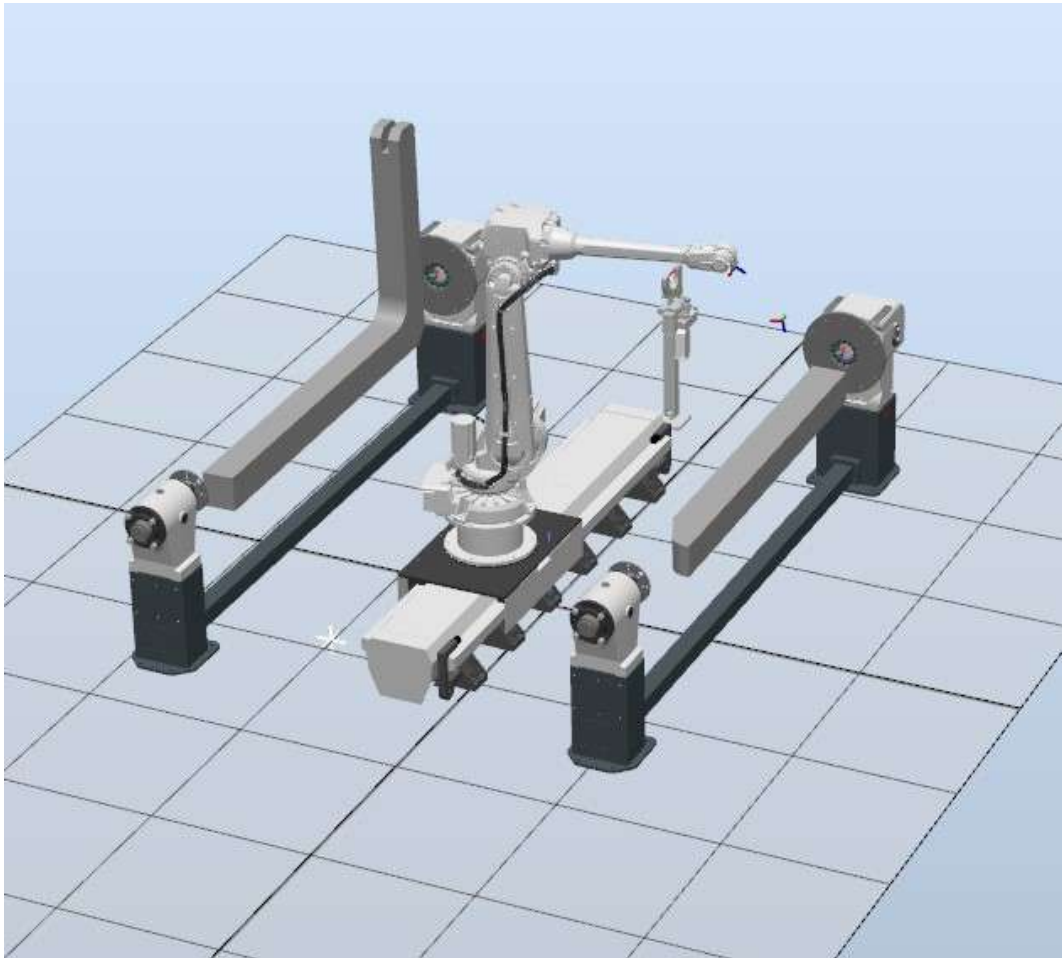
Itse robotin valintaan suurin vaikuttava tekijä on robotin ulottuvuus jalustastaan. Hitsauskäytössä robotin käsittelykyky harvoin tulee esteeksi, koska hitsausvarustus on poikkeuksetta melko kevyt. Vaakaosan pituudesta johtuen, soluja vertailu-

lessa havaittiin myös, että mikäli robotti asennetaan lineaariradan päälle, tällöin ulottuvuus, hitsausasennot ja hitsien luoksepäästävyys pystytään joka tilanteessa varmistamaan.

Vertaillessa ABB:n Robotstudiolla tehtyjä erilaisia soluversioita pyrittiin optimoimaan solujen fyysiset ulkomitat ja käsittelykyvyt mahdollisimman kompakteiksi, jotta solut vastaisivat mahdollisimman hyvin niille asetettuja vaatimuksia. Mitä isompia robotti ja käsittelylaite ovat, sen hitaampia sen liikenopeudet ovat, koska massat kasvavat.

4.2.1 Robottisolujen vertailu – vaihtoehto 1

Ensimmäinen variaatio hankittavasta solusta (Kuva 2.), jossa robotin molemmille puolille sijoitettiin grilliasemat ja robotti asetettiin lineaariradan päälle, jossa on noin 3 000 mm liikepituus.

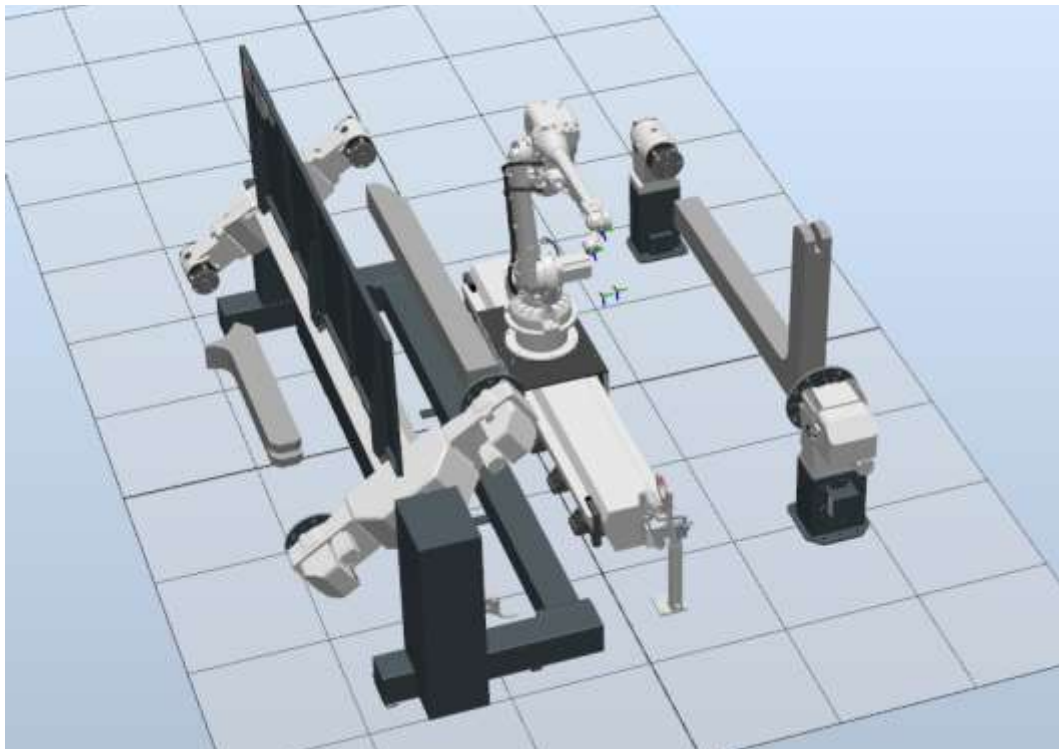


Kuva 2. Ensimmäinen robottisoluvaihtoehto.

Tässä soluveriossa on riskinä, että pysty- ja vaakaosan yhdistyshitsaamisen aikana operaattorilla ei ole tarpeeksi aikaa vaihtaa kappaletta vasemmanpuoleiseen grilliin, koska kappaleen hitsaamiseen käytettävä kiinnitin pitää irrottaa grillistä, ja siitä syystä ehdotus hylättiin.

4.2.2 Robottisolujen vertailu – vaihtoehto 2

Seuraavassa vaihtoehdossa (Kuva 3.) osakokoonpanojen hitsaamiseen lisättiin kappaleenkäsittelylaitteeksi ABB:n tuotevalikoimasta mallimerkiltään IRBP K, jossa kaksi grilliasemaa on kiinnitetty toisiinsa, ja ne vaihtavat puolta aksiaalisesti kääntyen toistensa yli.

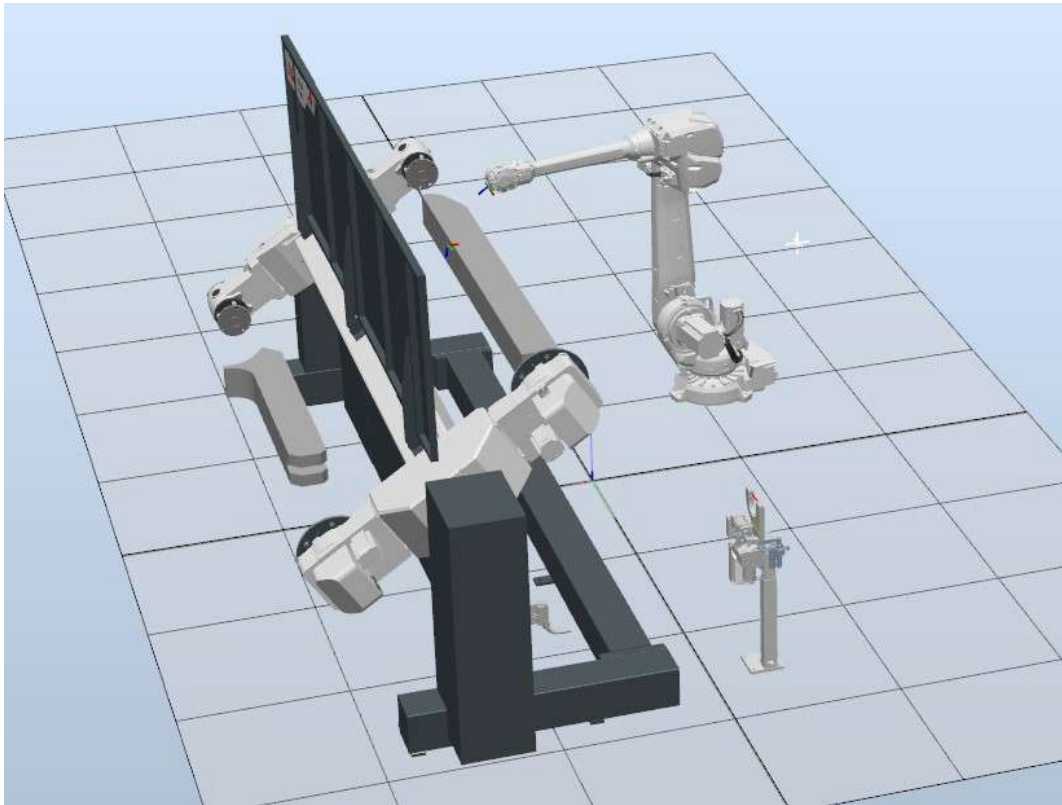


Kuva 3. Toinen robottisoluvaihtoehto.

Tässä vaihtoehdossa ongelmaksi muodostui hankala sijoittaminen tehdaslayoutiin. Asemien lataaminen solun molemmilta puolilta vaatii huomattavan paljon tilaa, koska kappaleiden massat ovat niin suuria, että ne tarvitsevat käsittelyä varten kääntöpuominostimen. Lisäksi saavutettava kapasiteetti ei todennäköisesti tulisi riittämään, koska hitsausajat ovat liian pitkiä, vaikkakin kappaleen vaihto alikokoonpanojen hitsaukseen voitaisiin tehdä robotin työskennellessä.

4.2.3 Robottisolujen vertailu – vaihtoehto 3

Kolmas vaihtoehto (Kuva 4.) on aikaisempien solujen tapainen, mutta se oli varustettu yhdellä robotilla yhtä käsittelylaitetta kohti.



Kuva 4. Kolmas robottisoluvaihtoehto.

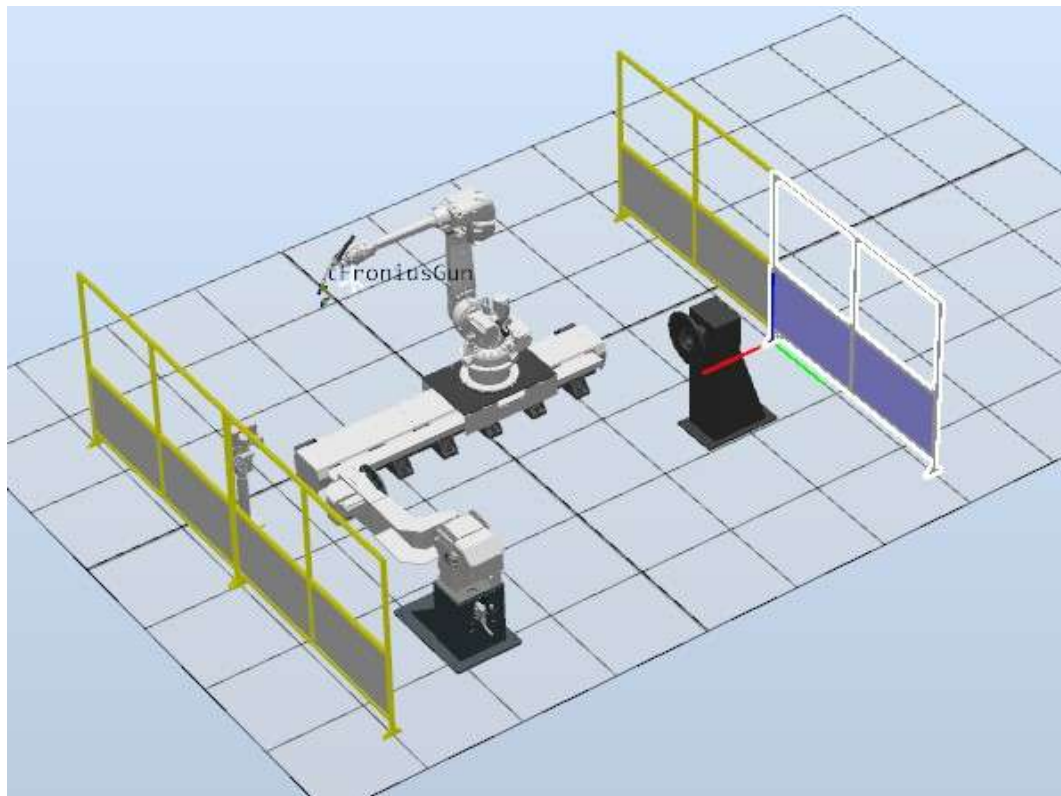
Kyseisen solun sijoittaminen tehdaslayoutiin on hyvinkin luonteva, koska tehtaassa on käytettävissä kaksi vapaata nurkkausta, jolloin solu voidaan asentaa robotti seinään päin, jolloin nurkkaan ei jää turhaa tilaa.

Lisäksi tässä vaihtoehdossa etuna on, että käsittelylaitteen asemilla voidaan pitää asennettuna omia kiinnittimiä sekä pysty- että vaakaosille ja tällöin operaattorin tehtävänä olisi ainoastaan hitsattavan kappaleen vaihto, ja kiinnitin saa olla kytkettynä grilliin.

Kolmannella soluvaihtoehdolla pystyttäisiin käytännössä ilman tuotantokatkoksia valmistamaan alikokoonpanoja varsinaista loppukokoonpanoa varten, mutta yhdistyshitsaaminen jää tällä vaihtoehdolla tehtäväksi muualle. Yhdistyshitsaamista varten tarvitaan näin ollen vielä erillinen solu, jonka käsittelylaite täytyy olla kokoluokassa hieman suurempi, koska kappale on geometrisesti isohko ja sen täytyy pyöriä käsittelylaitteessa vaivatta.

4.2.4 Robottisolujen vertailu – vaihtoehto 4

Tähän soluun (Kuva 5.) valittiin kaksiakselinen käsittelylaite, joka voidaan lukita grilliasentoon ja solussa on myös vastapylkkä, jotta hitsattavan kappaleen massa saadaan jaettua useampaan nivelpisteeseen.



Kuva 5. Neljäs robottisoluvaihtoehto.

Myös tämä vaihtoehto on mahdollista sijoittaa tehtaan nurkkaan, jolloin tila voidaan käyttää optimaalisesti. Tässä vaihtoehdossa kaksiakselinen käsittelylaite on optiona otettavissa käyttöön koska vain. Kyseisiä tuotteita tehdessä toisesta akselista käsittelylaitteesta ei ole apua, mutta hankittaessa uutta solua hintaero grillin ja L-pöydän välillä tulee olemaan niin pieni suhteessa saavutettavaan monikäyttöisyyteen, että se on järkevää. Mikäli joskus tulee tilanne, että tarvitaan kaksiakselista käsittelylaitetta esimerkiksi muihin valmistettaviin tuotteisiin, taasaamaan kiirehuippuja tai paikkaamaan konerikkoja, niin käsittelylaite on otettavissa käyttöön muutenkin kuin grillinä.

4.3 Laitteiston kilpailutus ja hankinta

Robottisoluja hankittaessa pyydettiin tunnettujen robottivalmistajien edustajia neuvotteluihin ja heille esiteltiin hahmoteltuja soluvariaatioita. Robottivalmistajien edustajat saivat käsityksen projektista ja he pystyivät alusta alkaen tarjoamaan hyvinkin tarkasti vastaavanlaisia tuotteitaan, jolloin tarjoukset olivat vertailukelpoisia keskenään. Alusta alkaen oli selvää, että robottisolu hankitaan kokonaistoimituksena yhdeltä toimittajalta, ja tällöin toimitus pitää sisällään itse robotin, käsittelylaitteen, hitsausvarustuksen, robotin ohjaimen ja tarvittavan turvalaitteiston.

Tarjous pyydettiin kahdelta tunnetulta robottivalmistajalta vastaavanlaisilla sisällöillä. Tarjousta pyydetessä oli tiedossa, että kahden toimittajan käsittelylaitteiden kapasiteeteissa sekä robotin ulottumissa on eroavaisuuksia, johtuen heidän laitteistovalikoimissaan olevista eroavaisuuksista. Tarjouksen piti sisältää itse robotti, käsittelylaitteet, turvakomponentit, hitsausvarustukset sekä asennuksen ja käyttöönottotestauksen.

4.4 Hitsauslaitteisto

Hitsauslaitteiston toimittajaksi valittiin Fronius. Fronius on aikaisemmissa robotisoluissa todettu toimivaksi ja hitsausominaisuuksiltaan erinomaiseksi vaihtoehdoksi. Valittu laitteisto on kokoluokaltaan 600 ampeerinen versio, joka on turhankin suuri hitsaustehon osalta, mutta etuna pienempään versioon verrattuna hitsauskoneessa on tehokkaampi jäähdytyslaitteisto ja siten varmistutaan, että hitsauslaitteisto ei kuumene missään olosuhteissa. Hitsausvirtalähde tulee olemaan pulssihitsausvalmiudella. Hitsauslaitteisto on kokonaisuudessaan Froniuksen toimittama ja se sisältää virtalähteen, langansyöttölaitteen, letkupaketin ja poltinkaulan.

Myös hitsausvarustukseen liittyvät varaosat jo olemassa olevien ja tulevien hitsaussolujen välillä sopivat keskenään. Kuluvia varaosia hitsauslaitteistossa ovat

langanjohtimet, virtasuuttimet, kaasuholkit ja suojakaasun hajottimet sekä erilaiset o-renkaat jäähdytysvedenkierrossa.

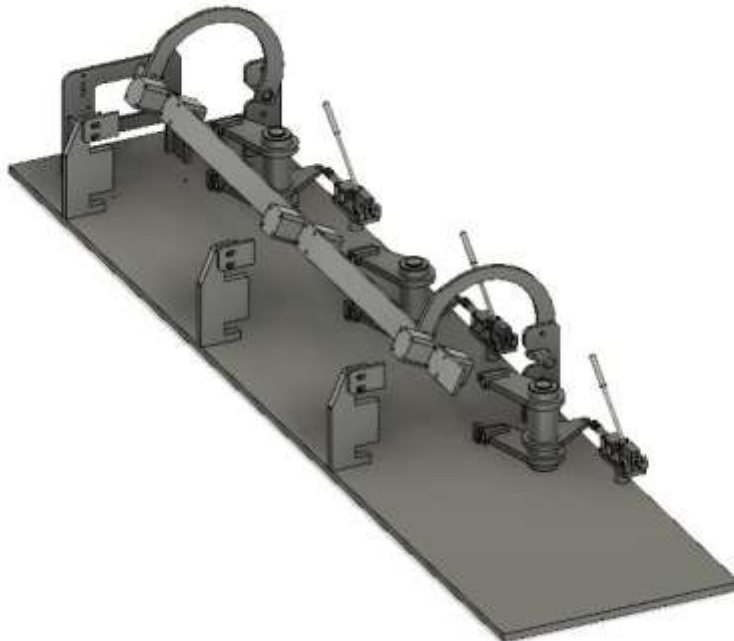
4.5 Kiinnitinsuunnittelu

Yrityksessä tehtiin kiinnitinsuunnittelu itse ja se alkoi eri variaatioiden ja niiden tuotekohtaisten menekkien analysoinnilla. Jokaiselle eri variaatiolle ei pystytä tekemään omaa kiinnitintä, joten siksi monikäyttöinen ja muunneltavissa oleva kiinnitin on välttämätöntä tehokkaan ja muuntautumiskykyisen tuotannon kannalta. Suunnittelun näkökulmasta katsottuna helpottavana tekijänä oli tuotteiden samankaltaisuus. Pääasiassa valmistettavien vaakaosien pituusmitta ja pystyosien korkeusmitta vaihtelee.

Vaakaosien ja pystyosien valmistamista varten todettiin tarpeelliseksi tehdä molemmille omat silloituskiinnittimet ja hitsauskiinnittimet, koska yhteen sovitettavien osien lukumäärä on suuri ja mittatoleranssit pienet. Jos esikokoonpanoja olisi yritetty silloittaa ja hitsata samalla kiinnittimellä, todennäköisesti osa hitseistä olisi jäänyt hitsaamatta, koska silloituskiinnittimen rakenne on hyvin ahdas. Lisäksi erillisillä silloituskiinnittimillä päästään parempaan robottisolun käyttöasteeseen, koska soluun nostetaan valmiiksi silloitettu kappale, eikä robotin tarvitse odottaa operaattorin tekemää osien lataamista.

Kiinnitinsuunnittelun kannalta haasteellisinta oli erilaisten tuotevariaatioiden väliset eroavaisuudet ja niiden huomiointi kiinnittimien toiminnallisuudessa. Myös silloitushitsien tekemät lämpövääntymät täytyy pystyä eliminoimaan kiinnittimen vasteiden avulla ja tämä piti huomioida suunnittelua tehdessä. Varsinaisessa hitsausvaiheessa lämpövääntymiä ei pyritä eliminoimaan kiinnittimen avulla vaan se pyritään ehkäisemään oikealla hitsausjärjestyksellä. Mikäli kiinnittimen avulla pyritään ehkäisemään lämpövääntymät, täytyy kiinnittimen olla massaltaan ja järeydeltään täysin eri tasolla.

Vaakaosan silloituskiinnitin (Kuva 6.) koostuu erilaisista vasteista ja niitä vasten osat paikoittavista painimista. Vaakaosan perusrunko koostuu ylä- ja alalevyistä sekä näitä yhdessä pitävistä sivulevyistä. Sivulevyt paikoitetaan alalevyyn paineilmatoimisilla ja jousipalautteisilla paineilmasylintereillä. Ylälevyn silloitusta varten paineilmasylinterit pitää poistaa kotelorakenteen sisältä ja sen takia sylinterit on kiinnitetty laakeroituun keinuun, jonka voi kääntää ylös, että ylälevyn kiinnitys on mahdollista. Vaakaosan poistamiseksi silloituskinnittimestä toisen puolen vasteet väistävät, eikä kappale jumiudu kiinnittimeen. Kuten aikaisemmin todettiin, on olemassa erilaisia tuotevariaatioita pituuden osalta ja tästä syystä kappaleet paikoitetaan ainoastaan toisesta päästä.



Kuva 6. Vaakaosan silloituskinnitin.

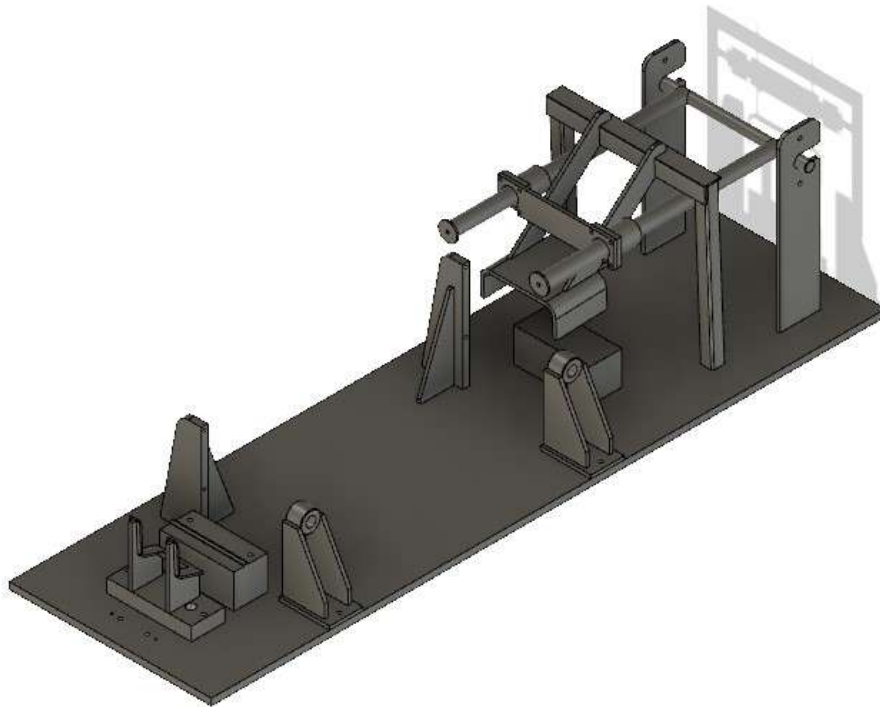
Vaakaosan robottikiinnitin (Kuva 7.) paikoittaa hitsattavan tuotteen pituudesta riippumatta tukipisteitä vasten. Tukipisteinä toimii M12-kuusikoloruuvit, joiden muodostama tuki on hyvin pistemäinen ja sen takia riski epäpuhtauksien tai hit-

sausroiskeiden aiheuttama paikoitustarkkuuden heikkeneminen voidaan eliminoida. Kappale kiristetään toisesta päästä trapetsikierretangolla kiinnitintä vasten ja toisen pään kiinnittämistä varten on liukuva kiristysosa, koska eri malleja pituuden osalta on useita. Robottikiinnitin on pysyvästi robotin käsittelylaitteessa kiinni ja kappaletta vaihdetaan kääntöpuominosturilla asemaan päin.



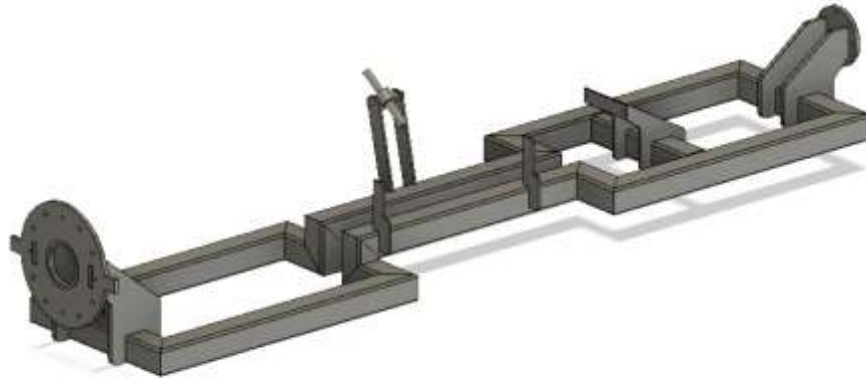
Kuva 7. Vaakaosan robottikiinnitin.

Pystyosan silloittamiseen (Kuva 8.) tehtiin myös muunneltavissa oleva kiinnitin, jolla pystytään silloittamaan kaikki tuotantoon tulevat tuotevariaatiot. Kiinnitin koostuu kahdesta muunneltavasta valuosien paikoittamiseen käytettävästä vastesta, jotka voidaan tarpeen tullen vaihtaa kulumisen tai muun muutostarpeen takia. Pystyosan alapäähän tuleva valuteräsosa paikoitetaan pyöröholkin ja lineaarikiskon avulla aukon keskelle. Paikoittimen saa käännettyä laakereiden varassa pois edestä, jotta silloitettu pystyosa saadaan poistettua kiinnittimestä ilman vaurioita. Pyöröholkki- ja -lineaariratkaisuun päädyttiin välyksettömyyden takia ja tällä ratkaisulla erikorkuiset pystyosat pystytään silloittamaan joustavasti.



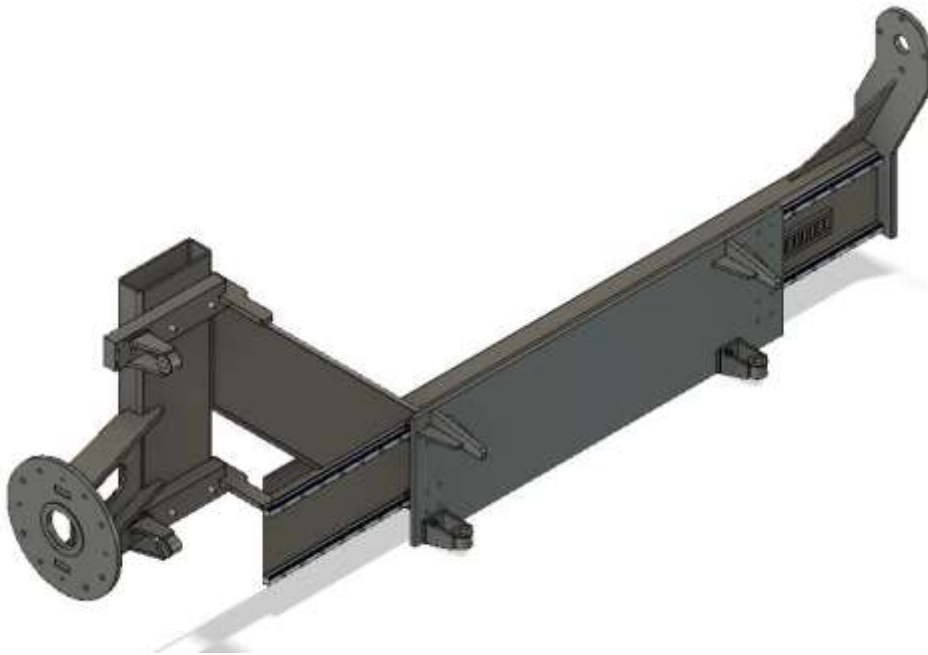
Kuva 8. Pystyosan silloitusjigi.

Pystyosien hitsauskiinnitin (Kuva 9.) paikoittaa kappaleet ainoastaan pituussuunnasta toisesta päästä, joten korkeusvaihtelut eivät vaikuta kiinnittimen toimintaan. Paremmien hitsien luoksepäästävyden takia putkikehikkoon jouduttiin tekemään väistöjä useampaan suuntaan. Lisäksi pystyosaan tulee koko tuotteen matkalle hitsisauma, jonka takia kiinnittimen läpi piti olla mahdollista hitsata. Kiinnittimessä on ainoastaan yksi trapetsikierteellä toimiva kiristin, jonka avulla kappale asemoituu oikein tukipisteitä vasten.



Kuva 9. Pystyosan silloituskiinnitin.

Toinen robottisoluista varustetaan yhdistetyllä silloitus- ja hitsauskiinnittimellä. (Kuva 10.) Robottisolu on ainoastaan yksiasemainen, ja jotta robottia voidaan käyttää tehokkaasti, kiinnittimen täytyy olla nopea käyttää. Kiinnittimeen nostetaan ensin esihitsattu pystyosa paikoilleen ja kiristetään se. Toisessa vaiheessa esihitsattu vaakaosa nostetaan kiinnittimeen ja se paikoitetaan tukipisteitä vasten. Robotti silloittaa kappaleet yhteen, jonka jälkeen alkaa varsinainen yhdistyshitsaaminen. Yhdistyskiinnitin on hyvin säädettävissä kaikkiin suuntiin ja sen avulla voidaan kappaleen hitsaamisen ajaksi tehdä hitsausennakoita mahdollisen lämpövääntymisen eliminoimiseksi. Yhdistyshitsauksen jälkeen operaattori nostaa valmiin kappaleen viimeistelyyn ja aloittaa seuraavan tuotteen kiinnittämisen robotille.



Kuva 10. Yhdistämiskiinnitin.

4.6 Kapasiteetin tarkastelu

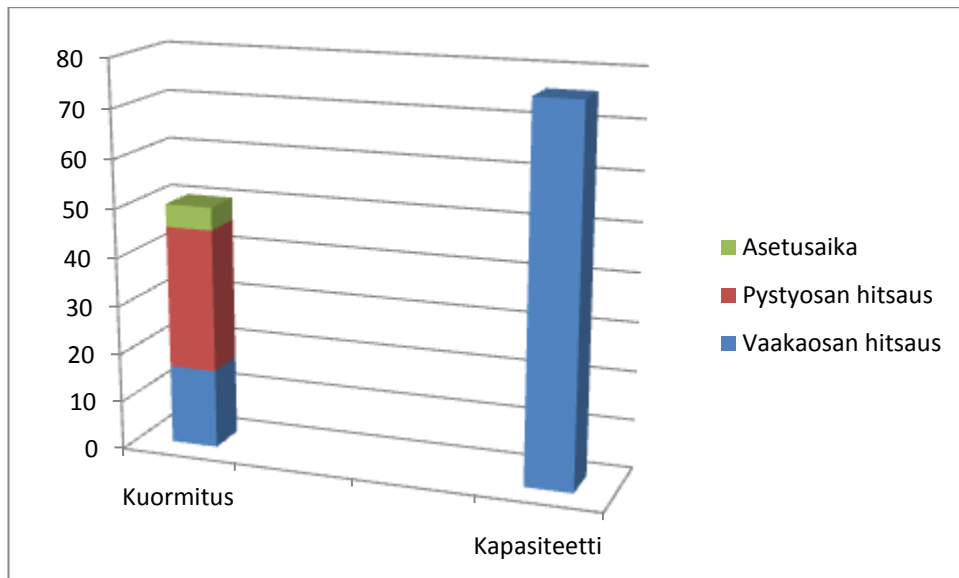
Läpäisyajoja tarkasteltiin ABB:n Robotstudiolla simuloimalla tuotteiden hitsausaika. Simuloinnilla saatu kappaleen hitsausaika erilaisine kääntöineen saadaan sekuntien tarkkuudella. Tärkeä tekijä simulointia tehdessä on todellisten hitsausnopeuksien käyttäminen, jotta simulaatioaika on paikkaansa pitävä.

Hitsausajaltaan pisin alikokoonpano on vaakaosa. Pisimmän vaakaosan hitsausaika on 30 minuuttia 28 sekuntia sisältäen kappaleen käännöt. Korkeimman pystyosan hitsausaika on 17 minuuttia 26 sekuntia. Yhdistyshitseihin käytetty aika on vakio, koska hitsattava liitos on samanlainen kaikissa variaatioissa. Siihen kuluva aika on 12 minuuttia 15 sekuntia.

Kapasiteetiltaan kriittisempi kone on alikokoonpanoja hitsaava robottisolu, jolla on tarkoitus valmistaa pysty- ja vaakaosat ennen lopullista yhdistämishitsausta. Taulukossa 1. on vertailtu hitsausajaltaan pisimpien tuotteiden valmistamista

verraten käytössä olevaan kapasiteettiin. Taulukossa valmistettava kappalemäärä viikossa on 50 tuotetta.

Taulukko 1. Hitsausajan vertailu käytössä olevaan kapasiteettiin.



Läpäisyajoja tutkiessa nousee esille tarvittava henkilöresurssi. Riittääkö robotille operoimaan yksi henkilö vai tarvitaanko yhteen työvuoroon useampi operaattori, joista toinen on varsinainen robotin käyttäjä ja toinen tekee avustavia töitä, kuten heftaa kappaleita toisiinsa ja hoitaa materiaalivirtaa sisään ja ulos. Alustavan suunnitelman mukaisesti soluja pitäisi olla mahdollista hoitaa yhdellä henkilöllä.

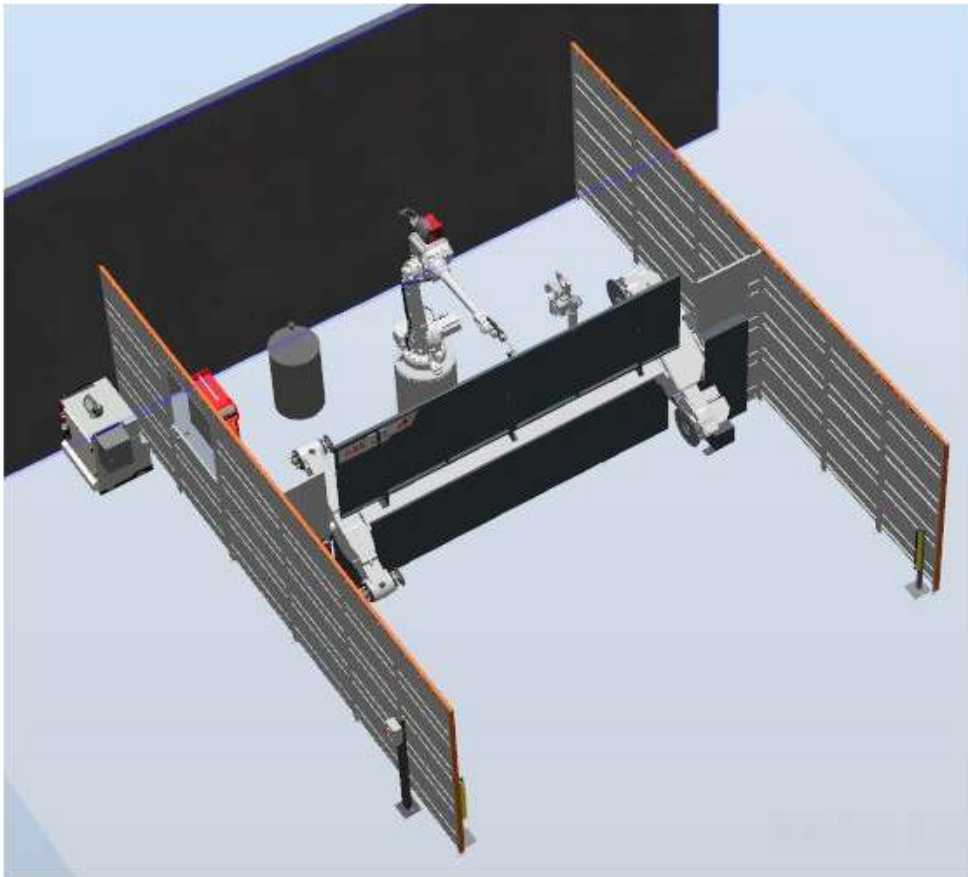
5 ROBOTTISOLUN HANKINTA

Robottisolun hankintaan vaikutti useita eri asioita; hankintakustannus, aikaisemmat kokemukset, tekninen tuki, mekaaniset ominaisuudet sekä käyttökokemukset. Yrityksessä robotit offline-ohjelmoidaan, joten hankintaa tehdessä tuli ottaa huomioon myös se, onko yrityksessä olemassa jo yhteensopiva ohjelmisto vai aiheutuuko myös sen hankinnasta lisäkustannuksia.

5.1 Hankintapäätös

Yrityksen tiedossa oli laitteistolta vaadittava kapasiteetti, joka on 1 500–2 000 kpl/vuosi valmiita tuotteita, joka tarkoittaa maksimissaan 2 000 kpl vaakaosia, 2 000 kpl pystyosia ja 2 000 kpl yhdistyshitsejä. Tämän syyn takia tultiin lopputulokseen, että yksi robottisolun ei ole riittävä kapasiteetin saavuttamiseksi. Pelkästään tuotteiden robottihitsausaikaa tutkiessa kävi ilmi, että vaaditun kapasiteetin saavuttaminen ei ole mahdollista yhdellä solulla kahdessa vuorossa, joten vaihtoehdoksi ei jäänyt muuta, kuin ostaa kaksi erillistä solua. Hankintapäätöstä tehdessä pohdittiin myös robottioperaattoreiden koulutustarve, mikäli solut olisivat eri valmistajan tekemiä kuin aikaisemmin käytössä olevat. Robottioperaattoreiden työkierto on myös huomattu erittäin hyväksi tavaksi parantaa työtyytyväisyyttä. Näiden syiden takia emme vaihtaneet robottimerkkiä, jotta solujen välinen operaattorivaihto on huomattavasti joustavampaa.

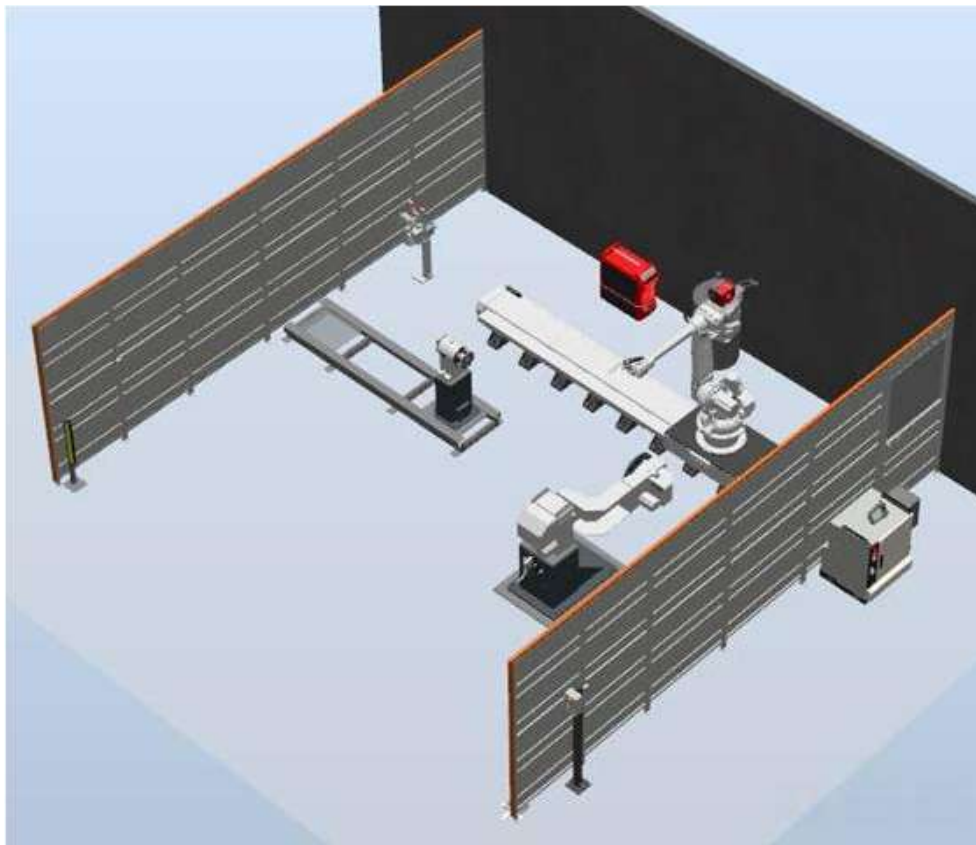
Toisella solulla (Kuva 11.) on tarkoitus hitsata alikokoonpanot valmiiksi ja tämä kyseinen solu on varustettu ABB:n IRB4600 -robotilla sekä IRBP K1000 -käsittelylaitteella. Käsittelylaite on kaksipuolinen grilliasema, jota on mahdollista ladata toisella asemalla samanaikaisesti, kuin robotti hitsaa toisella asemalla. Asemat kääntyvät vaakatasossa toistensa ylitse puolta vaihdettaessa. Tilantarve kyseiselle solulle on 6 800 x 5 800 mm ja se voidaan sijoittaa tehtaassa nurkkaan, jolloin tila tulee kokonaisuudessaan käyttöön.



Kuva 11. Hankittava robottisolu 1/2.

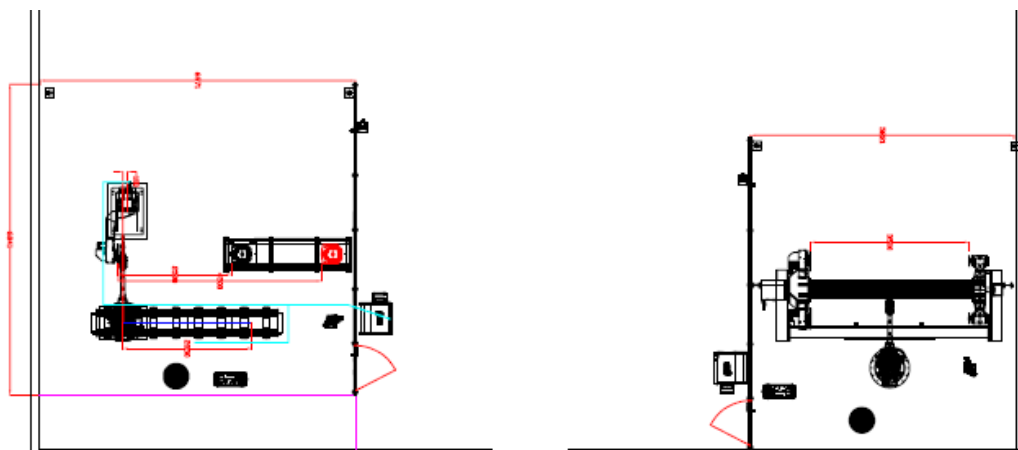
IRBP K1000 -käsittelylaitteelle saa ohjelmoitua erilaisia latausasentoja, jolla päästään aina optimaaliseen latausasentoon, jolloin kappaleiden lataaminen on turvallista ja työasento säilyy ergonomisena.

Toisella solulla (Kuva 12.) on tarkoituksena tehdä alikokoonpanojen yhdistäminen. Tämä solu on varustettu samanlaisella ABB IRB4600 -robotilla ja käsittelylaitteeksi valikoitui IRBP A750, joka on kahdella akselilla varustettu ns. L-pöytä. Käsittelylaitteen lisävarusteeksi hankitaan myös vastapylkkä, jotta solua voidaan käyttää myös grilliasemalla, kunhan käsittelylaitteen toinen akseli on lukittuna. Akselin lukitukseen on erillinen kytkin, jolla pois suljetaan mahdollinen operaattorin tekemä virhe, ettei hitsauskiinnitin vaurioidu, jos käsittelylaitteen väärää akselia yrittää kääntää. Tilantarve tälle solulle on hieman isompi kuin ensimmäiselle, noin 6 200 x 6 800 mm. Myös tämä voidaan sijoittaa nurkkaan ja tila saadaan tehokkaaseen käyttöön.



Kuva 12. Hankittava robottisolu 2/2.

Tehtaan layoutin (Kuva 13.) kannalta solut saadaan sijoitettua rakennuksen vierakkäisiin nurkkiin ja niitä saadaan olemassa olevilla nostureilla ladattua ja purettua turvallisesti ja tehokkaasti.



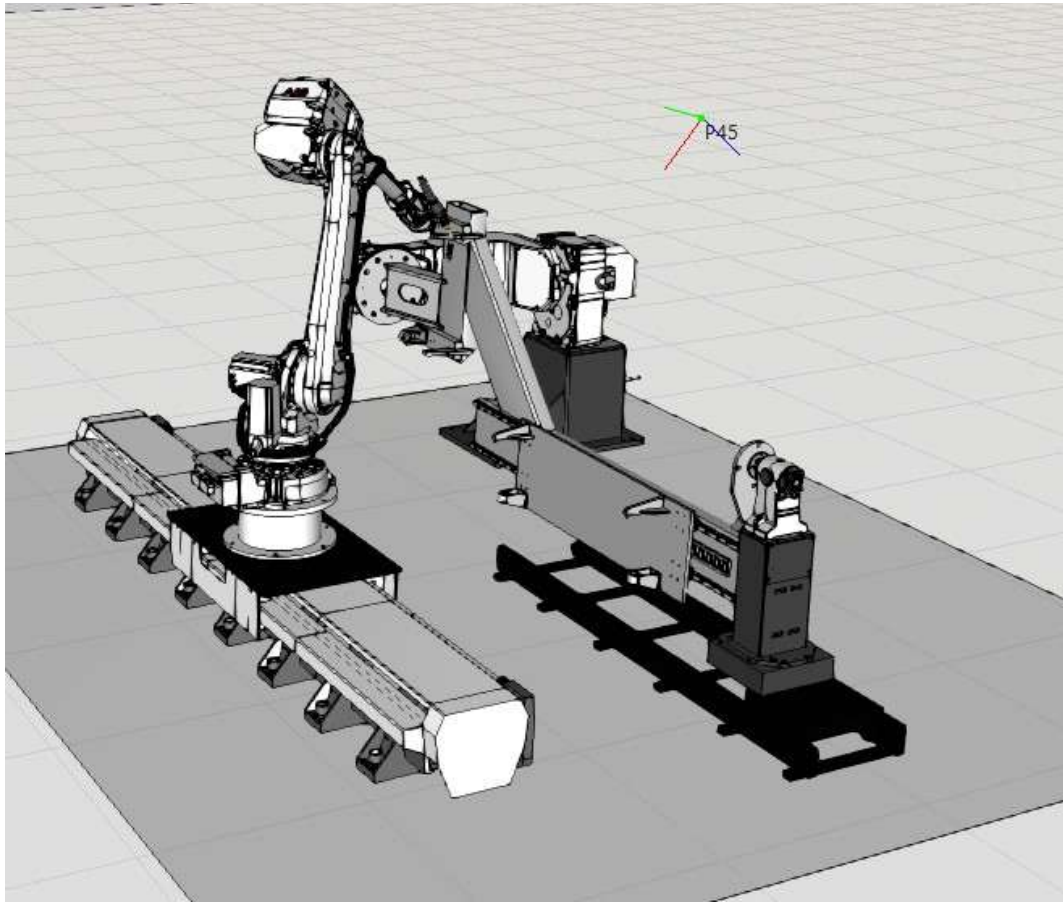
Kuva 13. Layout.

Molempien solujen eteen jää puskurivarasto silloitetuille kappaleille ja molempien solujen välittömään läheisyyteen valmistellaan työpiste robottihitsattujen kappaleiden viimeistelytyötä varten.

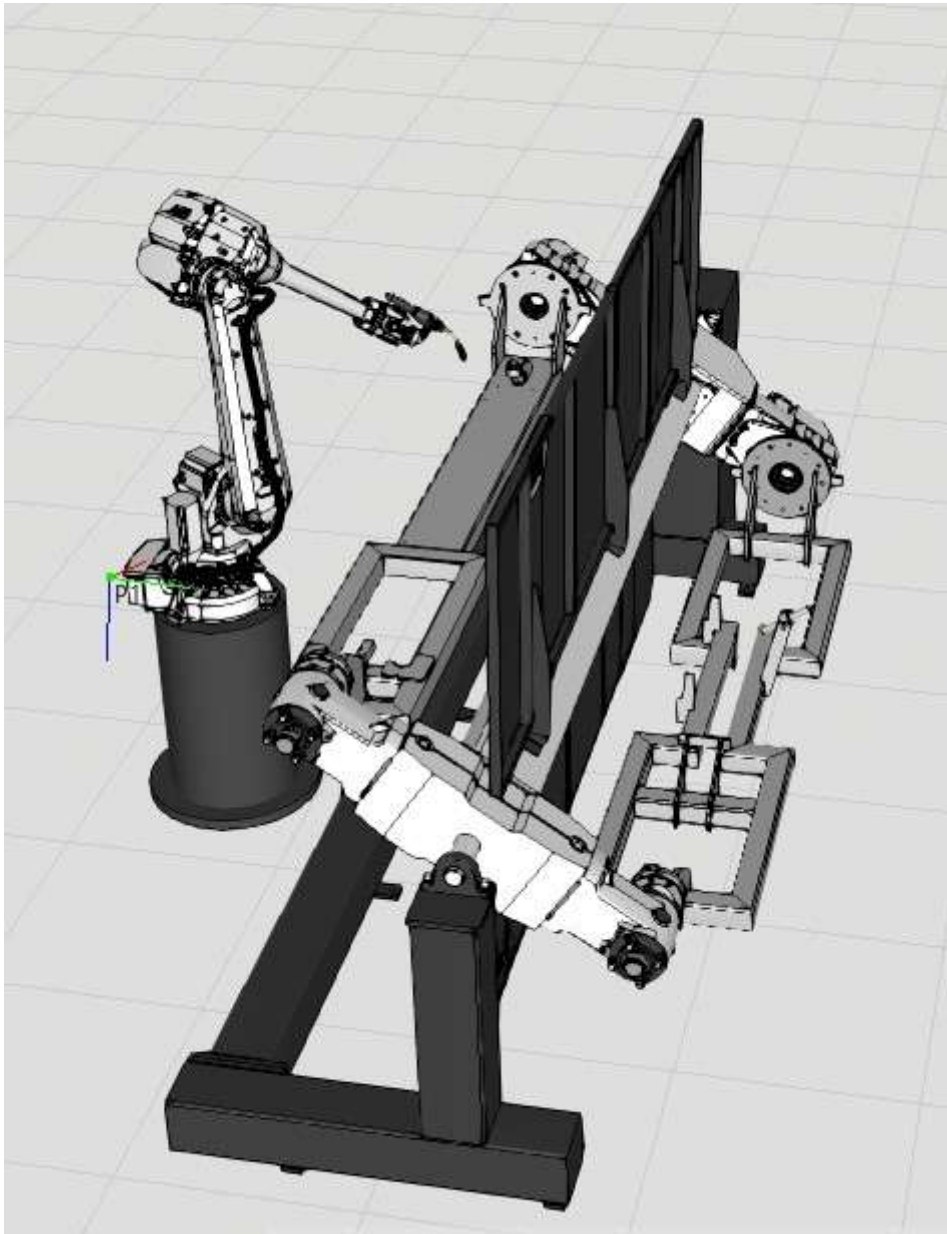
5.2 Etäohjelmointi

Ferrum Steelillä robottien etäohjelmoinnissa käytetään Visual Componentsin Delphi Arc -ohjelmointialustaa. Delphi Arc on robotin valmistajasta riippumaton etäohjelmointiympäristö, jonka avulla eri merkkisten robottien ohjelmointi on mahdollista. Ohjelmistolla tehty robottiohjelma postprosessoidaan halutulle ohjelmointikielelle, jolloin robotti pystyy suorittamaan ohjelman.

Ohjelmointiympäristössä (Kuva 14. ja 15.) on käytössä kaikki robotin liikkuvat nivelet, lineaarirata sekä käsittelylaite. Etäohjelmoinnissa robotille määritetään liikeradat niin hitsisaumoille kuin hitsisaumojen välisille liikkeille ja kappaleenkäännöille. Myös hitsien aikana tapahtuva kappaleenkääntö, niin sanottu yhdistelmäliike robotin ja käsittelylaitteen välillä on mahdollista. Liikeratojen lisäksi ohjelmassa määritetään käytettävä JOB-numero, mitä robotin ohjain pyytää hitsausvirtalähteeltä sekä tähän liittyen käytettävä hitsaustaulukko, missä on määritetty muun muassa hitsausnopeus. Jos hitsissä on käytössä virranmittaukseen perustuva railonseuranta, myös vaaputustoiminto pitää olla käytössä. Ohjelmoinnin jälkeen ohjelmalle tehdään törmäystarkastelu, jolla pysytään helposti ehkäisemään tuotannossa tapahtuvat laiterikot.



Kuva 14. Yhdistämissolu ohjelmointiympäristössä.



Kuva 15. Osavalmistussolu ohjelmointiympäristössä.

5.3 Lisävarusteet ja oheislaitteet

Robottiohjaimiin hankittiin lisävarusteena kaapelikela ohjauskaapelille, jolloin ohjauskaapeli pysyy suurempana, koska aikaisempaan käyttökokemukseen perustuen kiinteä kaapeli menee herkästi solmuun ja tämä osaltaan aiheuttaa myös

työturvallisuusriskin, koska kietoutuneeseen johtoon on hyvin mahdollista kompastua.

Tehokkaan kappaleenvaihdon takaamiseksi molemmat robottisolut varustetaan kääntöpuominostimilla, jotka ovat katossa olevia siltanostureita helpompia, nopeampia ja kevyempiä käyttää. Kääntöpuominostimen nostokapasiteetti on huomattavasti rajallisempi kuin siltanosturin, mutta tässä tapauksessa kapasiteetti on riittävä. Kääntöpuominostimet varustetaan nostokapasiteetiltaan oikean kokoisilla nostomagneeteilla.

Hitsauksessa muodostuvaan savuun joudutaan myös reagoimaan. Tuotantotilassa on nykytilanteessa kohdepoistoon perustuva savunpoisto sekä yleisilmavaihto, mutta robottien sijoitusalueella ei toistaiseksi ole kohdepoistoa. Kohdepoistoa joudutaan hieman muuttamaan, jotta robottihitsauksesta tuleva savu ei leviä koko halliin heikentämään ilmanlaatua.

5.4 Materiaalivirran suunnittelu

Tuotteiden materiaalivirtaa hoitaa tehtaan sisäinen logistiikka, joka alkaa levyvarastosta ja päättyy valmistuotevarastoon. Tuotteiden valmistus alkaa aihoiden leikkaamisella, jonka jälkeen muotoon leikatut teräskappaleet kulkevat jatkoktyövaiheiden läpi täysin esivalmisteluna hitsaamon osavarastoon. Osavarastosta kappaleet kuljetetaan silloitushitsauspisteelle, jossa kappaleen kaikki osat silloitetaan yhteen ja nostetaan esivalmistus robottisoluun varsinaista hitsausta varten.

Esihitsatut vaaka- ja pystyosat siirretään hitsauksen jälkeen loppukokoonpanoa varten puskurivarastohyllyyn, josta loppuhitsaussolulla työskentelevä operaattori nostaa oikeat kappaleet hitsauskiinnittimeen, silloittaa ne ja antaa robotille luvan aloittaa loppuhitsaus. Valmiit, viimeistellyt ja merkatut tuotteet pakataan lavoille ja kuljetetaan ulkona olevaan hyllyyn odottamaan kuljetusliikettä noutamaan ne asiakkaalle.

5.5 Asennus

Molemmat robottisolut tilattiin asennettuna käyttöpaikalleen. Asennus piti sisälleen myös lyhyen käyttökoulutuksen sekä käyttötestauksen sisältäen turvalogiikojen toimintatarkastelun ja kaikkien mekaanisten ja sähköisten toimilaitteiden testauksen ja viimeisimpänä testihitsauksen.

Ensimmäisenä asennettiin ABB IRBP K -käsittelylaitteella varustettu robotti (Kuva 16.), johon sisältyivät robotti IRB4600, robotin jalusta, käsittelylaite IRBP K1000, suojaseinät, kaapeloinnit, servo-ohjain sekä valoverhot. Asennuksessa robotin jalusta, käsittelylaite ja suojaseinät kiinnitettiin tehtaan lattiaan, jonka jälkeen näihin kiinnitettiin loput komponentit. Lattiatasossa kulkevat kaapeloinnit suojattiin kaapelikouruilla, jotta prosessissa syntyvät hitsausroiskeet eivät vaurioita herkkiä kaapeleita sulattaen niiden kuorta. Asennuksen valmistuttua laitteiston toimittaja teki robotin toimintaan liittyvät base frame -määritykset ja muut toimintaan vaikuttavat taustaohjelmat sekä turvalaitetestaukset ennen käyttökoulutuksen antamista.



Kuva 16. ABB IRB4600 & IRBPK1000.

Toinen robottisolu toimitettiin tehtaalle noin kuukausi ensimmäisen solun toimituksen jälkeen (Kuva 17.). Toisen solun toimitus piti sisällään lineaariradan robotin alle, robotin jalustan, robotti IRB4600:n, lineaariradan vastapytkän alle, vastapytkän, käsittelylaite IRBP A750:n, suojaseinät ja valoverhot.



Kuva 17. ABB IRB 4600 & IRBP A750.

Tämän solun kohdalla asennus oli haastavampi, koska lattiaan kiinnitettäviä toimintaan vaikuttavia osia oli enemmän. Etenkin robotin lineaariradan ja grilliasennossa olevan käsittelylaitteen samansuuntaisuus on toiminnan kannalta hyvinkin tärkeää. Myös grilliasennossa olevan käsittelylaitteen ja vastapylkän laipan kohtisuoruus on hyvinkin tärkeää, koska muussa tapauksessa jigiin kohdistuu hyvin suuria voimia, mikäli laipat ovat vinossa toisiinsa nähden. Kuten aikaisemmassakin solussa, toimittaja teki tarvittavat määritykset, testaukset ja kaapelisuojuukset ennen asennuspöytäkirjan hyväksyntää.

Molempien solujen tapauksessa tilaajan eli Ferrum Steel Oy:n tehtäväksi jäi huolehtia tarvittavista sähkön- ja paineilmasyötöistä sekä suojavaasulinjoista ja prosessissa syntyvästä savunpoistosta. Asennuksen aikana toimittaja tarvitsi myös nostoapua siltanostureilla ja trukeilla.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tuloksena saatiin analysoitua valmistettavien tuotevariaatioiden muodostamat vaatimukset käytettävää laitteistoa kohtaan niin kapasiteetin, kuin toiminnallisuudenkin osalta. Erilaisia laitteistokokonaisuuksia vertailtiin ja vaatimusten pohjalta valittiin riittävällä kapasiteetilla varustetut robottihitsaussolut.

Läpäisyajkojen perusteella solujen lopullinen lukumäärä ja käsittelylaitteiden käsittelykyvyt vastaavat kaikilta osin vaadittua valmistuskapasiteettia. Tutkimusten perusteella yrityksen tuotantoon hankittiin kaksi robottihitsaussolua sekä suunniteltiin ja valmistettiin tuotteiden valmistamista varten silloitus- ja hitsauskiinnittimet, joilla kyseiset kappaleet pystyttiin valmistamaan.

LÄHTEET

Ferrum Steel Oy. 2021. Verkkosivu. Viitattu 14.6.2023.
<https://www.ferrumsteel.fi/>

Gupta, A.K., Arora, S.K., Westcott, J.R. 2017. Industrial Automation and Robotics. Dulles. Mercury Learning and Information LLC.

Haverila, J., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. 5. Painos. Tampere. Infacs Oy.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa. Talentum Oy.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki. WSOY.

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka. 4. painos. Helsinki. Edita Prima Oy.

Manesis, S. & Nikolakopoulos, G. 2018. Introduction to Industrial Automation. Boca Raton. CRC Press.

Pires, J.N., Loureiro, A. & Blomsjö, G. 2006. Welding robots: technology, system issues and applications. London. Springer-Verlag.

Tuunainen, A. & Asikainen, J. 2021. Hitsauskiinnittimien suunnittelu robottihitsaukseen. Video. Julkaistu 2.12.2021. Viitattu 18.7.2023.
https://urn.fi/urn:nbn:fi:oyerfi-202209_00024827_2

