



Robottihitsauksen tehostaminen konepajateollisuudessa

Iija Tuhkanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

TUHKANEN, ILJA:

Robottihitsauksen tehostaminen konepajateollisuudessa

Opinnäytetyö 44 sivua

Toukokuu 2021

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää ratkaisu robottihitsausaseman käyttöasteen parantamiseen. Toimeksiantajana työssä oli hitsaus- ja tuotantoautomaatio-ratkaisuihin erikoistunut yritys Pemamek Oy. Tavoitteena oli laatia toimeksiantajan robottihitsausaseman tehostuksen ohjeet, joita voidaan soveltaa käytännössä tutkimistuloksien jälkeen. Tutkimuksessa pyrittiin löytämään mahdollisia uusia hitsauskappaleita, joita voidaan hitsata robottihitsausasemalla käsinhitsauksen sijasta. Tämän lisäksi tutkittiin hitsausprosessiin kuuluvien aikojen parantamista suhteessa robottihitsausaseman kaariaikaan sekä listattiin asioita, jotka ovat robottihitsausaseman päivityksen kannalta olennaisia. Tietoselvityksen tutkimusmenetelminä käytettiin robottihitsausaseman operaattoreiden ja tuotantopäällikön haastattelua, robottihitsausaseman valokuvaamista, hitsattujen nimikkeiden listausta ja robottihitsausaseman solumallia.

Työssä päädyttiin tutkimaan tietyn periodin ajan käsinhitsattuja kappaleita, jotka voisivat täyttää robottihitsauksen kriteerit. Kriteerit selitettiin ja valittiin toimeksiantajan robottihitsausaseman sopivuuden perusteella. Soveltuvimmat kappaleet kerättiin listaan, jossa kappaleet arvioitiin jokaisen kriteerin avulla. Tulokseksi saatiin kappalekohtainen keskiarvo soveltuvuudesta toimeksiantajan robottihitsaukseen. Pemamekin robottihitsausaseman robottihitsausprosessiin kuuluvat ajat selvitettiin ja tutkittiin paloaikasuhteen avulla. Tutkittiin, kuinka niitä voidaan parantaa robottihitsausaseman tuottavuuden lisäämiseksi. Robottihitsausasemalta kerättiin tiettyjen kappaleiden oleellisia tietoja paloaikasuhteen laske- miseksi ja niistä tehtiin taulukko. Tietojen avulla laskettiin paloaikasuhte, joka vaihteli kappalekohtaisesti mutta saadut tulokset jäivät robotisoitavan prosessin paloaikasuhteen viitearvon alle. Jokaisen vaikuttavan ajan kohdalle selvitettiin ratkaisu, joka nostaisi paloaikasuhteen robottihitsaukseen sopivaksi. Törmäyk- sistä johtuvien laitevikojen takia tutkittiin myös robottisolun 3D-mallia ja kuinka sitä voidaan parantaa sekä listattiin vaihdettavat robottihitsausaseman laitteet ja komponentit.

Työssä laadittiin robottihitsausaseman tehostamiseen tarkoitetut ohjeet, joita toi- meksiantaja voisi hyödyntää sekä robottihitsausasemassaan että asiakkailleen tarjoamissa robottihitsausasemien tuotannon tehostamispalveluissa. Tuloksia voidaan myös hyödyntää jatkokehityksenä muissa robottihitsausasemissa.

Asiasanat: robottihitsaus, konepajateollisuus, robotisointi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

TUHKANEN, ILJA:
Increasing the Productivity of Robot Welding in a Workshop

Bachelor's thesis 44 pages
May 2021

The purpose of this thesis was to find a solution to increase the utilisation rate of a robotic welding station. The thesis was done for Pemamek Oy, a company specialising in welding and production automation solutions. The aim was to draw up guidelines for the efficiency of Pemamek's robotic welding station, which could be applied in practice after the study results. The objective of the study was to find possible new welding pieces that could be welded by a robotic welding station instead of hand welding. In addition, other robot welding improvements were studied, for example burn time ratio and upgradeable robot welding equipment.

Hand welded pieces were studied for a certain period of time that could meet the criteria of robot welding. The criteria were explained and selected based on the suitability of Pemamek's robotic welding station. The result was a piece specific average rating of the suitability for Pemamek's robotic welding station. The times required for the robot welding process at Pemamek's robotic welding station were listed and examined using the burn time ratio. The times were examined, and it was explained how they could be improved to increase the productivity of the robotic welding station. The relevant data for certain pieces were collected from the robotic welding station to calculate the burn time ratio and listed as a result. For each time which was in relation for the burn time ratio, a solution was found that would increase the efficiency of the robotic welding station.

Work instructions for improving the efficiency of a robotic welding station were created. Pemamek could utilise this information both in its robotic welding station as well as in the production efficiency services provided to Pemamek's customers.

Key words: robot welding, workshop, robotising

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TOIMEKSIANTAJA PEMAMEK	6
	2.1 Toimiala	6
	2.2 PEMA Hitsausratkaisut	6
	2.2.1 Konepajateollisuus	7
	2.2.2 Raskas Robotiikka.....	9
	2.2.3 Telakkateollisuus	10
3	ROBOTTIHITSAUS	12
	3.1 Robotin valinta osa automatisoitavaa prosessia	12
	3.1.1 Robottimallit.....	13
	3.2 Hitsausrobotti	14
	3.2.1 Koordinaatistot.....	16
	3.2.2 Robottivarustelu.....	17
	3.3 Hitsauksen robotisointi	18
	3.4 Robotin MIG/MAG-hitsaus	19
	3.4.1 MIG/MAG-hitsausvarustus	21
4	OMA TUOTANTO PEMAMEK	23
	4.1 Hitsausrobottisolu.....	23
	4.2 Tuotanto	24
	4.3 PEMA WeldControl-ohjausjärjestelmät	25
	4.3.1 WeldControl 300.....	26
5	PEMAMEK TUOTANNON TEHOSTAMINEN	29
	5.1 Robottihitsausaseman käyttöaste	29
	5.1.1 Uudet soveltuvat kappaleet robottihitsaukseen	30
	5.2 Hitsausrobottiaseman paloaikasuhte	32
	5.2.1 Paloaikasuhteen tehostaminen	33
	5.3 Laitteistot ja ohjelmointimallit	36
	5.3.1 Solumallin päivittäminen.....	36
	5.3.2 Laitteistojen päivitys	38
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	40
	LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritettiin Pemamek Oy:n toimeksiantona. Pemamek Oy on suomalainen perheyrittäjä, joka on erikoistunut suunnittelemaan ja tuottamaan asiakkailleen erilaisia hitsaus- ja tuotantoautomaattoratkaisuja. Opinnäytetyön idea tuli toimeksiantajan robottihitsausaseman käyttöasteen vaihtelevuuden myötä. Robottihitsausaseman työkuorma vaihtelee, johon toimeksiantajan pyynnöstä täytyi keksiä ratkaisu, kuinka saadaan pidettyä robottihitsausaseman kaariaika jatkuvana.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Pemamekin robottihitsausasemaan ja tutkia millä tavalla pystytään pitämään yllä jatkuvaa robottihitsausaseman käyttöä ja nopeuttaa läpimenoaikaa samalla. Keskityttiin asioihin, jotka vaikuttavat robottihitsauksessa eniten. Nämä ovat hitsauskappaleiden valinta robottihitsaukseen, robottihitsausprosessiin kuuluvien aikojen optimoiminen ja robottihitsausaseman komponenttien päivitys mahdollisten laitevikojen myötä syntyneiden tuotannonpysähtymisien takia. Tutkimismenetelminä tietoselvityksessä käytettiin robottihitsausaseman operaattoreiden ja tuotantopäällikön haastattelua, hitsattujen kappaleiden listausta, robottihitsausaseman solumallin muokkausta, robottihitsausaseman valokuvaamista sekä omia havaintoja.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehostaa toimeksiantajan robottihitsausaseman tuotantoa laatimalla ohjeet uusien hitsauskappaleiden valintaan, tutkia ja ratkaista hitsausprosessiin kuuluvien aikojen parantamista suhteessa robottihitsausaseman kaariaikaan sekä listata asioita, jotka ovat robottihitsausaseman päivityksen kannalta olennaisia.

Opinnäytetyöstä syntyvää tulosta voidaan käyttää sekä toimeksiantajan robottihitsausasemassa että toimeksiantajan tarjoamissa asiakkaille suunnatuissa robottihitsausasemien tuotannontehostamisessa. Tulos ei ole robottihitsausasemakohtainen ja sitä pystytään soveltamaan myös muihin robottihitsausprosesseihin.

2 TOIMEKSIANTAJA PEMAMEK

2.1 Toimiala

Pemamek Oy on vuonna 1970 perustettu suomalainen perheyriutus, joka on erikoistunut suunnittelemaan ja tuottamaan asiakkailleen erilaisia hitsaus- ja tuotantoautomaatio ratkaisuja. Asiakasrätälöidyt automaatoratkaisut edistävät asiakkaiden kilpailukykyä sekä nostavat tuotantotehokkuutta. Pemamek on kansainvälisesti tunnettu yritys, sillä sen tuotannosta jopa 90 % suuntautuu ulkomaille yli 50:een eri maahan. Pemamekin tehdas sijaitsee Loimaalla. Myyntitoimistoja yrityksellä on Suomen lisäksi Venäjällä, Puolassa, Brasiliassa sekä Yhdysvalloissa. Tähän mennessä Pemamek on toimittanut yli 15 000 automaatoratkaisua eri puolille maailmaa. (Pemamek Tietoa yrityksestä 2021.)

Pemamekin asiakasaloihin kuuluu tuulivoima, kone- ja laitevalmistus, laivanrakennus, energiateollisuus, prosessiteollisuus ja konepajateollisuus. Näiden eri alojen asiakaskertomuksien avulla, mahdolliset uudet asiakkaat saavat tietoa ja ymmärrystä, kuinka nämä ratkaisut voivat hyödyttää heidän omaa tuotantoaan. (Pemamek Customer Stories 2021.)

Pemamekin vuoden 2020 liikevaihto oli 70,4 miljoona euroa ja yritys työllisti 234 työntekijää. Vuosien 2016 ja 2020 välillä Pemamek rekrytoi lähes 100 uutta työntekijää, joka kertoo osaltaan yrityksen nopeasta kasvusta viime vuosien aikana. Tämä huomioitiin myöskin 2020 "vuoden rekrytoija" -tittelin voittajan Pemamekissa työskentelevän Niina Nurmen huomattavasta asiantuntijatyöskentelystä. (Duunitori 2020; Asiakastieto 2021.)

2.2 PEMA Hitsausratkaisut

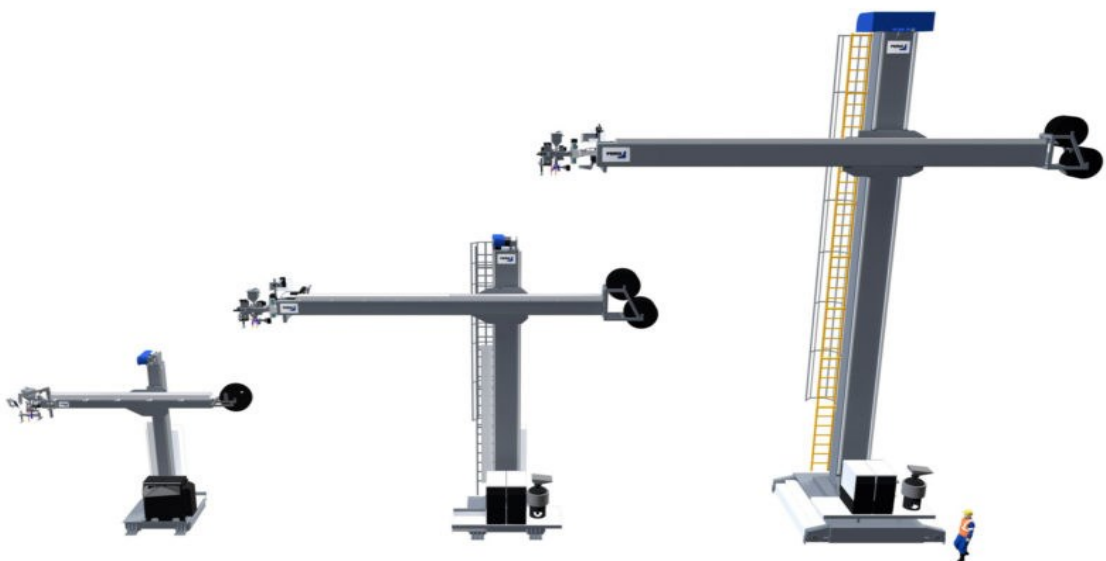
Pemamekin hitsausratkaisut suunnitellaan ja toteutetaan yksilöllisesti asiakkaan toiveiden ja tarpeiden mukaan. Yhdistäen Pemamekin oman ohjausjärjestelmän PEMA Weldcontrol:n Pemamekin laiteratkaisuihin saadaan asiakkaalle laadukas hitsausautomaatio yhdistelmä, joka sisältää koulutuksen ja käyttöönoton paikan

päällä. (Pemamek ratkaisut 2021.) Tässä työssä keskitytään robotiikkahitsausratkaisuihin ja niihin liittyviin PEMA tuotteisiin.

2.2.1 Konepajateollisuus

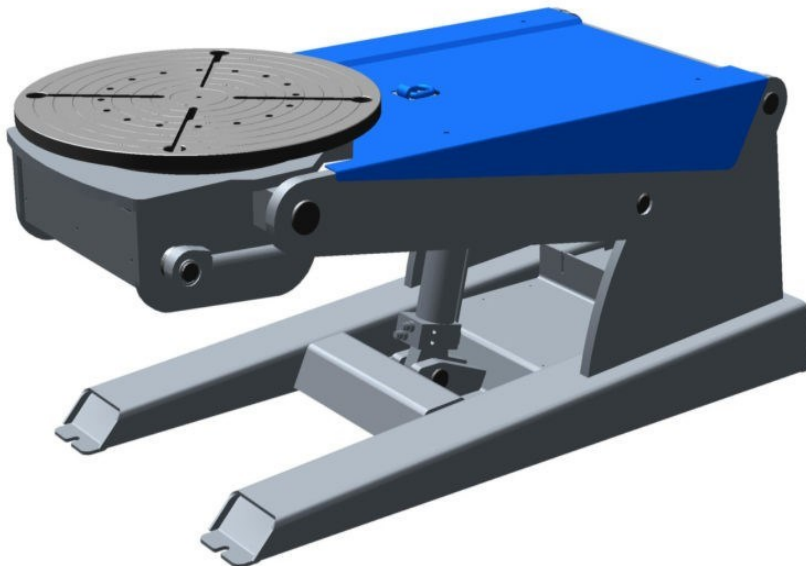
Konepajateollisuudessa työkappaleet ovat usein painavia ja työolosuhteet siksi haastavia. Ratkaisuna ongelmaan ovat hitsausapulaitteet ja niihin soveltuvat välineet. Pemamekin tarjoamat PEMA hitsaustuotteet, kuten pyöritysrullastot, käsittelypöydät ja hitsaustornit ovat tarkoitettu asiakkaille, jotka hakevat yritykseensä automaattioratkaisua, jolla taataan työturvallisuus työntekijöilleen samalla nostamalla tuotantokykyä. (Pemamek konepajateollisuus 2021.)

PEMA hitsaustornit (kuva 1) sisältävät ohjausjärjestelmän lisäksi sujuvan käyttöliittymän, jolla asiakkaat saavat korkealaatuisen hitsausratkaisun omaan tuotantonsa. Lisävarusteiden, erilaisten hitsausprosessien ja hitsaustornien eri kokoisten konstruktioiden valikoiman avulla asiakas pystyy valitsemaan hitsausprosessiinsa sopivan vaihtoehdon. Hitsaustornien koot vaihtelevat 3 x 3 metrisistä 10 x 10 metrisiin torneihin ja hitsausprosesseina on saatavilla GMAW, TIG ja SAW. (PEMA Hitsaustornit 2021.)



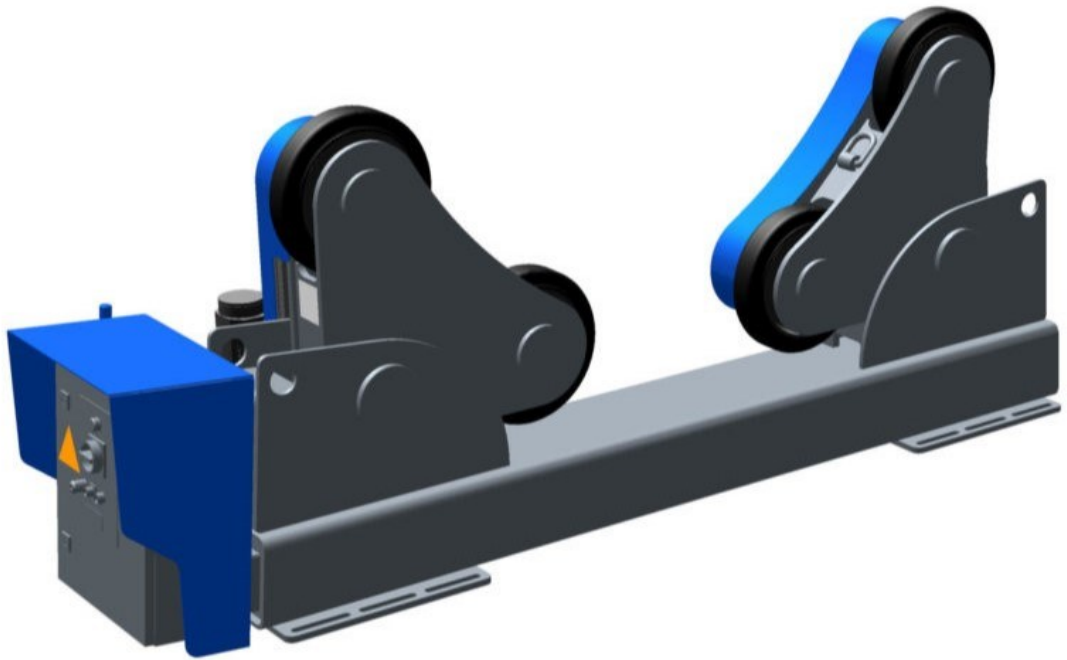
KUVA 1. PEMA hitsaustornit (PEMA tuotteet 2021)

PEMA hitsauskäsittelypöytien (kuva 2) avulla saadaan apu kappaleenkäsittelyyn kappaletta hitsattaessa. Ergonominen kappaleen asettelu PEMA käsittelypöytään nostaa hitsaustuottavuutta jopa 70 %. PEMA käsittelypöytien tarkoitus vaihtelee kappaleen muodon sekä painon mukaan 250 kilogrammasta 250 000 kilogrammaan. Ohjelmoitavilla kappaleenkäsittelypöydillä mahdollistetaan tuottavuuden kasvun kappaleiden hitsauksessa, kun verrataan niiden hyötyjä normaaleihin hitsauspöytiin. Säädettävät ja valmiiksi ohjelmoitavat pöytien kallistuskulmat, korkeus ja nopeus, jolla kappaletta pyöritetään, voidaan suorittaa tietokoneen lisäksi myös mobiililaitteilla ja tableteilla. PEMA hitsauskäsittelypöydät ovat täysin integroitavissa PEMA hitsaustorneihin, jotka yhdistämällä saadaan laaja hitsauskokonaisuus. (PEMA hitsauskäsittelypöydät 2021; PEMA APSi 1000 2021.)



KUVA 2. PEMA hitsauskäsittelypöytä (PEMA tuotteet 2021)

PEMA hitsaustorneihin usein integroitavat pyöritysrullastot (kuva 3) tarvitaan, jos käsitellään sylinterimäisiä kappaleita. Pyöritysrullasto on hitsauksessa käytettävä työväline, joka mahdollistaa painavien sylinterimäisten kappaleiden pyöriksen hitsauksen aikana. Kappaleen paino voi vaihdella 10 000 kilogrammasta 1,6 miljoonaan kilogrammaan. Pyöritysrullastojen turvallinen liike tapahtuu langattomalla ohjauksella. (PEMA Rullastot 2021.)

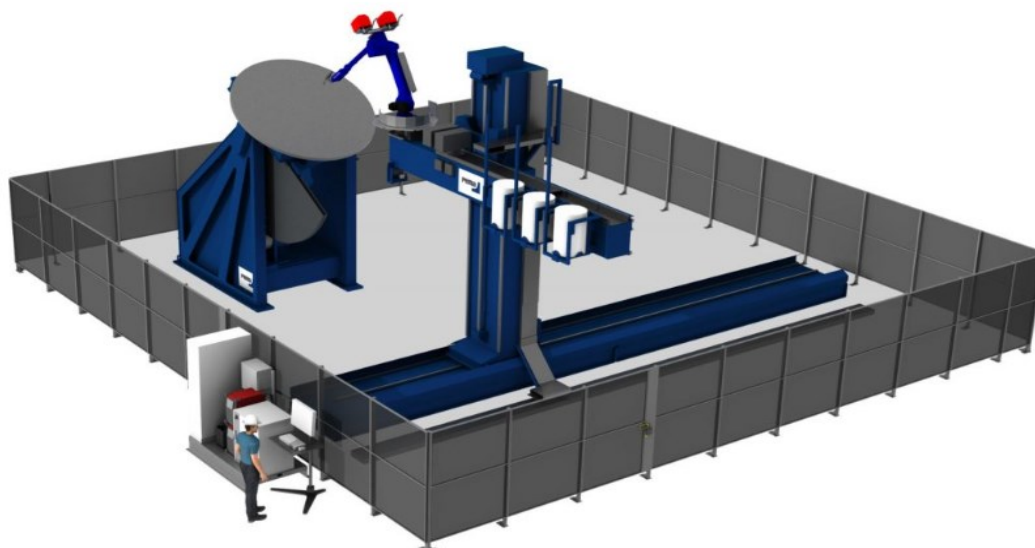


KUVA 3. PEMA pyörittysrullasto (PEMA tuotteet 2021)

2.2.2 Raskas Robotiikka

Lyhyiden läpimenoaikojen saavutettavuus edellyttää kehittyntä hitsausautomaattioratkaisua, jonka mahdollistaa Pemamekin robottihitsausasemat. Tarkan laadun tarjoaa hitsausrobottien edistyksellinen tekniikka, joka yhdessä Pemamekin henkilöstön asiantuntijaosaamisen kanssa luo asiakkailleen mahdollisuuden tuotantonsa kehittämiseen. (Pemamek Raskas Robotiikka 2021.)

Pemamekin suunnittelemat robottisolut mahdollistavat eri kokoisten kappaleiden hitsauksen toisiinsa integroitavien PEMA työlaitteiden avulla. Yhdistämällä aiemmin mainitut käsittelypöydät ja robottiportaalit, jotka muistuttavat hitsaustorneja, saadaan kehittyneitä PEMA-robotiikkaratkaisuja (kuva 4). (Pemamek Raskas Robotiikka 2021.)



KUVA 4. Pemamek robottisolu (Pemamek Raskas Robotiikka 2021)

Soluja voidaan myöskin eritellä eri hitsauskäsittelytyypeillä, jossa robottiportaali liikkuu solujen välillä riippuen mitä halutaan hitsata. Asiakkaille tarjotaan myös edistyksellisempää automaatiota robotiikkaratkaisujen ohella, kuten offline-ohjelmointia ja Vision System mahdollisuutta. Näistä kerrotaan työn myöhemmässä vaiheessa. (Pemamek Raskas Robotiikka 2021.)

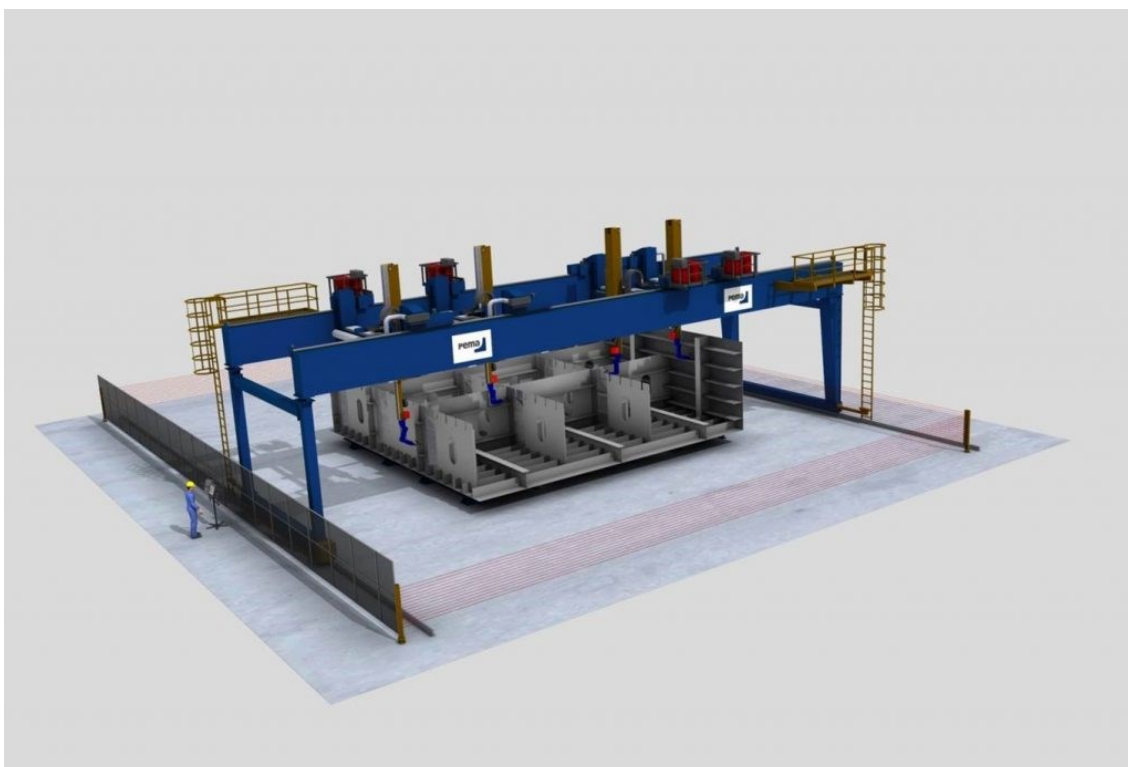
2.2.3 Telakkateollisuus

Pemamek tarjoaa laajan osaamisen ja ratkaisun telakkateollisuuden hitsauksen automatisointiin. Laivanrakennuksen automaatioon saadaan suunnittelun ja erilaisten osavalmistusmenetelmien sekä mikropaneelilinjojen avulla laaja toimiva kokonaisuus. (Pemamek Telakkateollisuus 2021.)

Pemamekin osavalmistusmenetelmillä mahdollistetaan laivan osien automatisoitu valmistus. Automaattisilla T-palkki linjastoilla, profiilien leikkuulla, profiilien lajittelulla sekä levyjen viistoleikkuulla saadaan tarkkaa laatua jatkoprosessiin. (Pemamek Telakkateollisuus 2021.)

Mikropaneelituotannon avulla saadaan yhdistettyä robotiikka osaksi laivanrakennusprosessia, jossa taataan robottihitsauksen tarkka laatu ja nopeat läpimenoajat. Mikropaneelilinjoissa (kuva 5) käytetään hyväksi vision ominaisuutta, jossa

paneelista otettujen 2D-kuvien avulla operaattori mallintaa paneelien ominaisuuksien perusteella hitsattavat railot. Tarjottavana on erilaisia robottihitsausasemia, joissa erilaisilla yhdistelmillä saadaan hitsattua eri kokoisia ja muotoisia paneeleja. Hitsattavien kappaleiden leveys voi vaihdella kolmesta metristä asiakkaiden toiveen mukaiseen leveyteen jatkomuokkauksilla. Robottiaseman hitsauskorkeus saadaan kahdeksaan metriin. Pituus on muokattavissa asiakkaan toiveiden mukaan kiskojen pituudella. (Pemamek Shipbuilding Robotic Solutions 2021.)



KUVA 5. PEMA VRWP-HX2L robotisoitu mikropaneelihitsauslinja (Pemamek Shipbuilding Robotic Solutions 2021.)

3 ROBOTIHITSAUS

3.1 Robotin valinta osa automatisoitavaa prosessia

Robotin hankinta prosessin automatisoimiseksi on yleistynyt teollisuuden alan yrityksissä. Robottien kehitys ja niiden käyttö automaatioprosessina nostaa tuotavuutta korvaamatta työpaikkoja. Työtehtävät automatisoidaan ja samalla luodaan uusia työpaikkoja. (International Federation of Robotics 2020.)

Robotilla automatisointi tuottaa monia etuja, joiden avulla yritykset pääsevät kilpailemaan muiden yritysten kanssa vähentämällä käyttökustannuksia ja parantamalla tuotteen laatua. Samalla luodaan hyvä työilmapiiri, jossa työntekijöiden ei tarvitse työskennellä hankalissa olosuhteissa, jotka voivat aiheuttaa turvallisuusriskejä. Robotilla voidaan korvata yksitoikkoiset, pakkotahtiset työtehtävät sekä työtehtävät, joihin on vaikea rekrytoida työntekijöitä (taulukko 1). Näiden työtehtävien automatisoinnin avulla voidaan välttää esimerkiksi ihmisille aiheutuvia rasitusvammoja samalla kun roboteilla voidaan suoriutua työtehtävistä ilman laaturvirheitä, jotka ovat välttämättömiä ihmisille. Päivittäisen tuotannon ja jatkuvan työtahdin takia robotilla korvataan myöskin ihmisille vaikeat työvuorot kuten viikonloput ja yöt. (ABB n.d; Valtioneuvosto 2018.)

TAULUKKO 1. Robottisovellukset (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2001, 309)

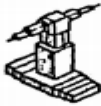
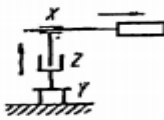


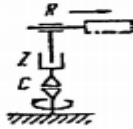


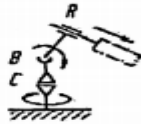

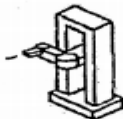
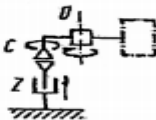


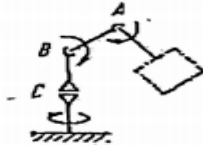


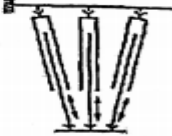

SIIRTOROBOTIT		PROSESSOINTIROBOTIT	
Palvelurobotit	Siirtorobotit	Tuotanto	Tuotanto ja palvelu
Poraus	Paletointi	Hitsaus	Jyrsintä
Pakkaus	Siirto kuljettimelta	Pinnoitus	Kokoonpano
Jyrsintä	toiselle	Hionta	Poraus
Painevalu		Kiillotus	Lajittelu
Sorvaus		Leikkaus	
Valu		Maalaus	
Lämpökäsittely			

3.1.1 Robottimallit

Yleisimmät robottihankinnat sisältävät käyttötarkoituksena kappaleenkäsittely työtehtäviä, jossa robotti yleensä on kappaleen siirtotyökaluna ja työt ovat ennalta määritettyjä. Toinen yhtä yleinen käyttötarkoitus on, jossa itse robottiin kiinnitetään työkalu ja se voi toimia erilaisten työkohteiden kanssa tehden erilaisia toimenpiteitä. Yleisimmät työkalut ovat esimerkiksi hitsauspää, jyrsin, hioma-laite, maalaussuutin, polttoleikkain tai ruuvaustyökalu. Robotin konstruktio kiertävänivelisenä suuren taakan kantavana ahtaisiin paikkoihin ulottuvana laitteena tuo varmuutta työtehtäviin, joissa muuten saattaisi esiintyä turvallisuusriskejä. Esimerkiksi hitsaus painavien kappaleiden ahtaissa oloissa, joissa voi esiintyä puristusvaara. (Kuivanen 1999, 77,115.)

Robottimalleja on useita erilaisia ja uusien robottivalmistajien ilmaantuvuuden takia myös patentit ovat vaikuttaneet robottien rakenteisiin ja sovelluksiin. Teollisuusrobotit on suunniteltu liikuttamaan työkalua halutulla tavalla kappaleeseen nähden. Ohjelmointi voi tapahtua ennalta valitun ohjelman suorituksena tai ulkoisten vaikutuksien, kuten antureiden aiheuttamana ohjelman tietyn osan suorittamisena. Robottien koot vaihtelevat sen käyttötarkoituksen ja hyötykuorman mukaan alle kilon kantavista roboteista monen tuhannen kilon painoisen kappaleen kantaviin robotteihin. Servomootoreiden avulla liikuteltavat nivelet ovat robotin keskeisiä ominaisuuksia, jotka sisältävät säätöjärjestelmän, josta takaisinkytkentä luo tarkan toistotarkkuuden. Takaisinkytkennällä tarkoitetaan kytkentää, jossa summain vertaa vertailusuuretta mittasuureeseen, laskee niistä erosuureen, joka lähetetään takaisin säätölohkolle tarkempaa ohjausta varten. (Kuivanen 1999, 13-15; Keinänen ym. 2001, 311; Savolainen & Vaittinen 2007, 14.)

Kuvassa 6 nähdään yleisimmät robottimallit ja niiden kinemaattiset rakenteet. Tässä työssä keskitytään yleisimpiin teollisuusrobottimalleihin, joita käytetään hitsauksessa.

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatisto-robotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenteinen robotti			

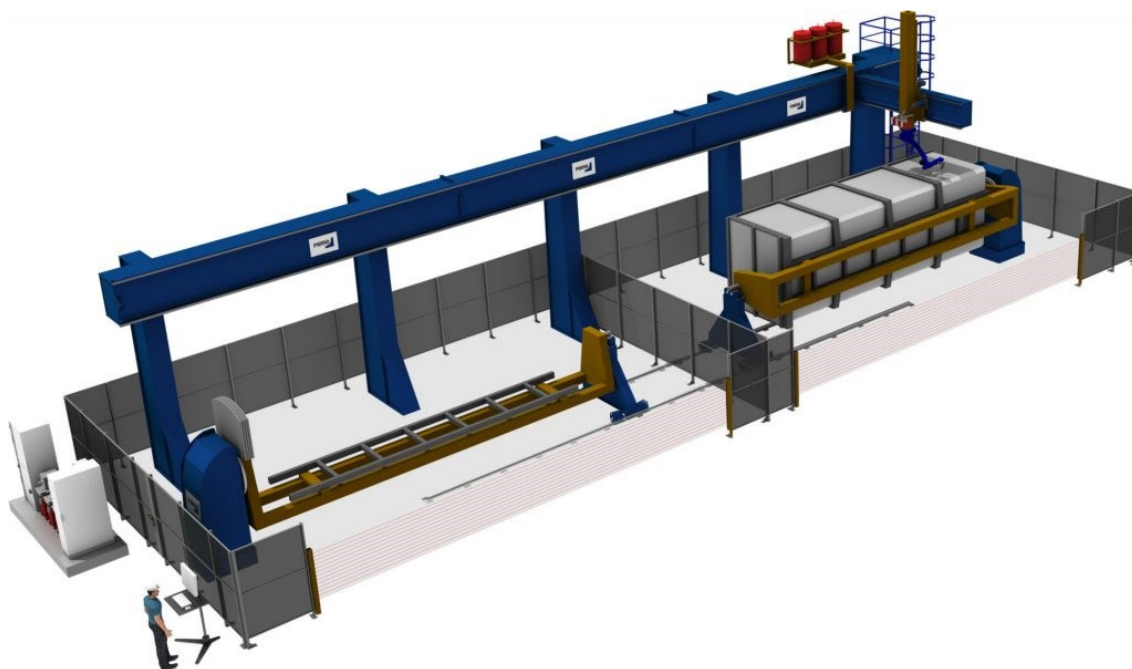
KUVA 6. ISO 8373 määrittelemät yleisimmät robottirakenteet (Kuivanen 1999, 12)

3.2 Hitsausrobotti

Oikean robotin valinta perustuu käyttötarkoitukseen. Yleisin käytetty robotinrakenne hitsaukseen on kiertyvänivelinen robotti (kuva 6.). Sen kaikki neljästä kuuteen vapausasteista on kiertyviä ja niitä kutsutaan myös niveliksi. Jokainen nivel sisältää sitä ohjaavan servomotoorin, jolla saadaan tarkat asennot jokaiselle nivelelle. Robottiniveliä ihmiskäden muistuttaminen luo operaattoreille käsihitsaus tuntuman, joka helpottaa robotin operoimista ja offline-ohjelmoinnin

mallintamisen sujuvuuden hitsausohjelmien teossa. Verrattaessa muihin robottirakenteisiin sen ulottuvuus ahtaisiin paikkoihin poltin- ja kallistuskulmien avulla luo suuren etuuden fyysisen koon kompaktin rakenteen myötä. Ulkoiset akselit tuovat lisää liikkuvuutta jo robotin omaan kuuteen vapausasteeseen, joista kaksi ovat ranteessa. Suuren työulottuvuuden takia, kiertyvänivelisissä roboteissa yhdistetään tukivarsia peräkkäin, josta johtuu pieni kantokyky, mutta sopiva hitsaukseen, hitsausvälineiden pienen painon ansiosta. (Kuivanen 1999, 13-18.)

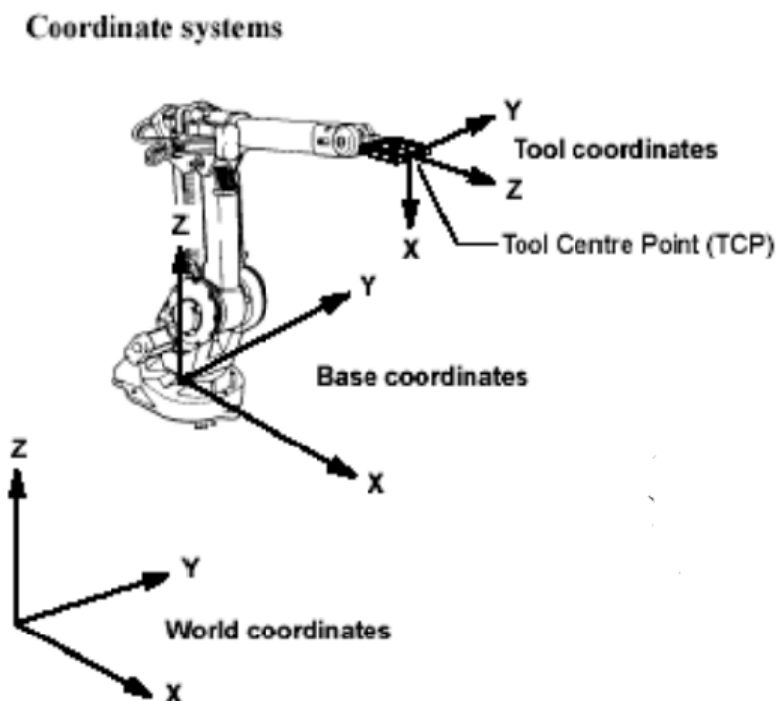
Ulkoiset akselit tuovat hitsausrobotille lisää mahdollisuuksia hitsata vaikeasti paikannettavia kappaleita, jotka voivat olla robottiin nähden eri tasoissa korkeutta, syvyyttä ja pituutta ajatellen. Ulkoisista akseleista puhutaan usein portaaleina. Kuvassa 7 nähdään Pemamekin robottihitsausratkaisusta ulkoisten akselien hyöty eri kokoisten ja muotoisten hitsattavien kappaleiden hitsauksessa. Tästä huomataan myöskin, kuinka voidaan yhdellä robotilla hyödyntää kahta erilaista käsittelypöytää ulkoisilla akseleilla. Pemamekin robottihitsausasemasta kerrotaan työn myöhemmässä vaiheessa tarkemmin. (Welding Value 2019; Pemamek Raskas Robotiikka 2021.)



KUVA 7. Pemamek robottihitsausratkaisu malli (Pema Raskas Robotiikka 2021)

3.2.1 Koordinaatistot

Hitsausrobotti käyttää kolmea käyttötarkoituksesta riippuvaa koordinaatistoa. Nämä ovat maailmakoordinaatisto, peruskoordinaatisto ja työkalukoordinaatisto (kuva 8). (Kuivanen 1999, 20-21.)



KUVA 8. Teollisuusrobotin koordinaatistot (IPA n.d.)

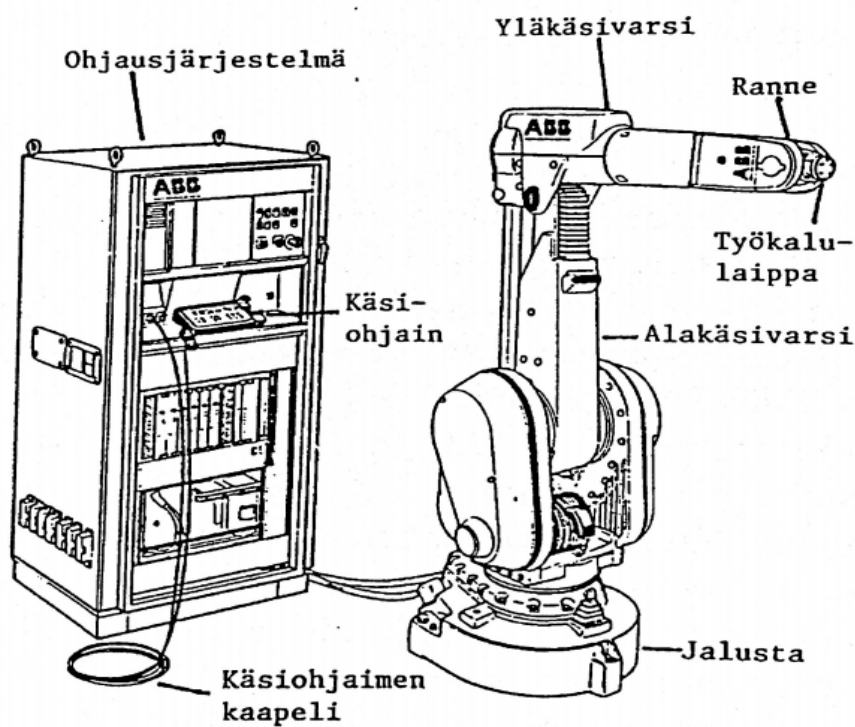
Maailmakoordinaatistossa koordinaatisto on ulkopuoliseen laitteeseen tai työskentely-ympäristössä olevaan rakennukseen sidottuna (Kuivanen 1999, 21). Tämä voi esimerkiksi olla kappaleenkäsittelypöytä, jossa pöydän ja robotin ollessa synkronisoituneena, pöydän liikkuessa, robotti tietää missä asennossa pöytä on verrattuna robotin koordinaatistoon.

Peruskoordinaatistolla tarkoitetaan robotin jalustassa olevaa koordinaatistoa. X sekä Y-suunta kulkevat lattiatasoa pitkin X-suunnan ollessa ensimmäisen nivelen etupuolen keskikohtaan. Z-suunta liikkuu ensimmäisen nivelen pysty akselin suuntaisesti. (Kuivanen 1999, 21.)

Työkalukoordinaatisto määrää koordinaatiston työkalulaippaan johon työkalu kiinnitetään. Tämän avulla esimerkiksi hitsaus saadaan suoritettua suoraviivaisesti railon suunnan mukaan. (Kuivanen 1999, 21.)

3.2.2 Robottivarustelu

Hitsausrobotin robottivarusteluun kuuluu kuvan 9 mukaiset komponentit (Kuivanen 1999, 13). Nämä ovat ohjausjärjestelmä kaappi, käsiohjain eli pendantti, pendantin kaapeli, robotin jalusta, robotin käsivarret eli nivelet sekä robotin viimeisessä akselilla sijaitseva työkalulaippa.



KUVA 9. Kiertyvänivelinen robotti ja sen komponentit (Kuivanen 1999, 13)

3.3 Hitsauksen robotisointi

Aiemmin mainittu uusien työpaikkojen luominen automatisoimalla prosessia pätee myöskin hitsauksen automatisoinnissa. Suomessa hitsaajan ammatin kiinnostavuus on heikentynyt, joten robotisoimalla hitsauksen, yritys saa ratkaisun heidän hitsaajapulaansa. Hitsaustekniikan kehitys, laitteiston integroimismahdollisuuksien laajentuminen sekä robottien etäohjelmoinnin käyttöönotto on edistänyt uusien robottien valintaa hitsausprosessiin verrattuna vanhoihin hitsausrobotteihin, joita usein käytettiin vain suurten sarjakokojen tuotantoon. Prosessia voidaan parantaa ja nopeuttaa tutkimalla mitä kaikkea hitsaukseen liittyviä työtehtäviä on itse hitsauksen lisäksi ja kuinka näitä voidaan edistää. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2011, 11-14.)

Robotin käyttö hitsauksessa säästää hitsaukseen liittyviin sivutyötehtäviin kuluutta aikaa. Hitsauksen aikana voidaan keskittyä ja parantaa kappaleen esivalmistusta ja jälkiviimeistelyä. Esimerkiksi esivalmistuksessa voidaan keskittyä kappaleiden siirtoon, joka lisää työturvallisuutta, railontarkkuuksien hiomiseen, joka helpottaa hitsausta ja seuraavan kappaleen offline-ohjelmointiin, joka nopeuttaa läpimenoaikoja. Jälkiviimeistelyssä voidaan keskittyä kappaleen puhdistukseen, hitsausjäljen tutkimiseen ja korjaustyöhön, mikä on hitsausrobotin laadullisen hitsauksen jälkeen minimaalista. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2011, 11-14.)

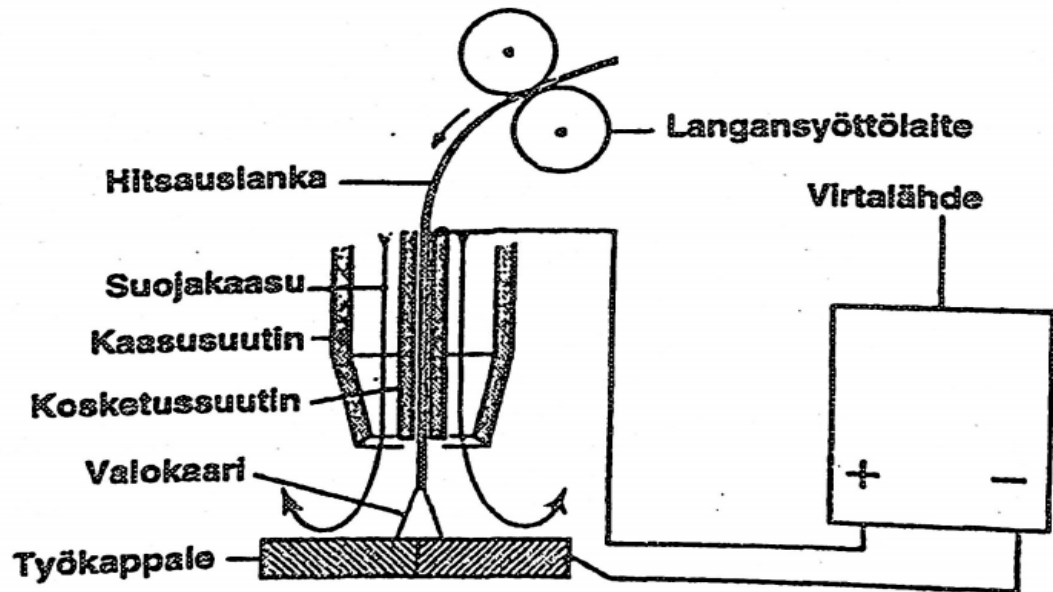
Robottijärjestelmän edut hitsauksessa ovat esimerkiksi paloaikasuhteen nostaminen. Paloaikasuhte kertoo kaariajan ja työajan suhteen prosentteina. Hitsauksiin liittyvistä laskuista puhutaan työn myöhemmässä vaiheessa. Yleinen sääntö on, että mitä isompi prosentti sitä korkeampi tuottavuus. Korkeampi paloaikasuhte saadaan kuten edellä mainittujen hitsauksen aikana tehtävien töiden avulla mutta myöskin robotin omien ennaltaehkäisevien ja adaptiivisten ominaisuuksien avulla. Sensorien käyttö esimerkiksi railon tunnistukseen, joka johtaa palkomäärien vähentämiseen, isojen lisäainerullien käyttö, joka mahdollistaa pidemmän vaihtovälin ja ennakoiva laitehuolto ovat hyödyllisiä keinoja parempaan tuottavuuteen. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2011, 3, 11-14.)

Hitsausvaatimusten kasvaessa on otettu käyttöön erilaisia hitsauskeinoja, mitkä ovat robotille mahdollisia. Nämä ovat esimerkiksi pulssihitsaus, jonka avulla saadaan suurempi hitsausnopeus, alhaisemmat ja tasaisemmat lämmöntonnit, käytetään vähemmän hitsausenergiaa ja puhtaampi suutin, joka tukkiessa voi aiheuttaa hitsauslaatuvirheitä. Virtapulsseja syöttämällä perusvirran päälle isolla taajuudella muodostuu pulssikaari, joka aiheuttaa suihkumaisen aineensiirtymisen sinä hetkenä, kun pulsseja muodostetaan. Tandem-MIG/MAG polttimen ja siihen tarvittavien hitsausasetuksien avulla saadaan läpimenoja tehostettua juuri- sekä täyttöpallon samanaikaisella hitsauksella. Tandem poltin tarkoittaa kahden polttimen käyttöä, jotka ovat robotin päässä vierekkäin ja jossa on myöskin kaksi eri lisäainekelaa. Tandemin avulla myöskin hitsiaineen tuotto moninkertaistuu esimerkiksi normaaliin yhden polttimen hitsaukseen verrattuna. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2011, 11-14; Lukkari 2002, 172.)

3.4 Robotin MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsauksella tarkoitetaan metallikaasukaarihitsausta. MIG on lyhenne Metal-arc Inert Gas nimestä, jossa käytetään inerttiä suojakaasua ja MAG on lyhenne Metal-arc Active Gas nimestä, jossa taas käytetään aktiivista suojakaasua. Suojakaasun toimintaperiaate on suojata hitsisulaa ja kaaritulaa niitä ympäröivältä ilmalta. Terästen hitsauksessa käytetyt MAG-hitsauksen aktiiviset kaasut ovat yleensä seoksia argonia ja happea, argonia ja hiilidioksidia tai näiden kaikkien kolmen kaasun seos. Lisäksi halvemmän kustannuksen takia pelkkä puhdas hiilidioksidi on myös käytetty suojakaasuna MAG-hitsauksessa. Ei-rautametallien hitsauksessa käytetyt MIG-hitsauksen inertit suojakaasut ovat yleensä helium, argon tai näiden kahden seos. (Lukkari 2002, 159,199.)

MIG/MAG-hitsauksen prosessissa hitsattavan kappaleen ja hitsauslangan kosketuksessa syntyy valokaari, jota ympäröi suojakaasu. Kosketussuuttimeen kulkeva hitsausvirta monitoimijohtoa pitkin siirtyy hitsauslankaan, joka muodostaa pisaroita hitsisulaan (kuva 10). (Lukkari 2002, 159,199.)



KUVA 10. MIG/MAG hitsaus (Lukkari 2002, 159)

MIG/MAG-hitsauksessa esiintyvät edut ovat (Lukkari 2002, 177):

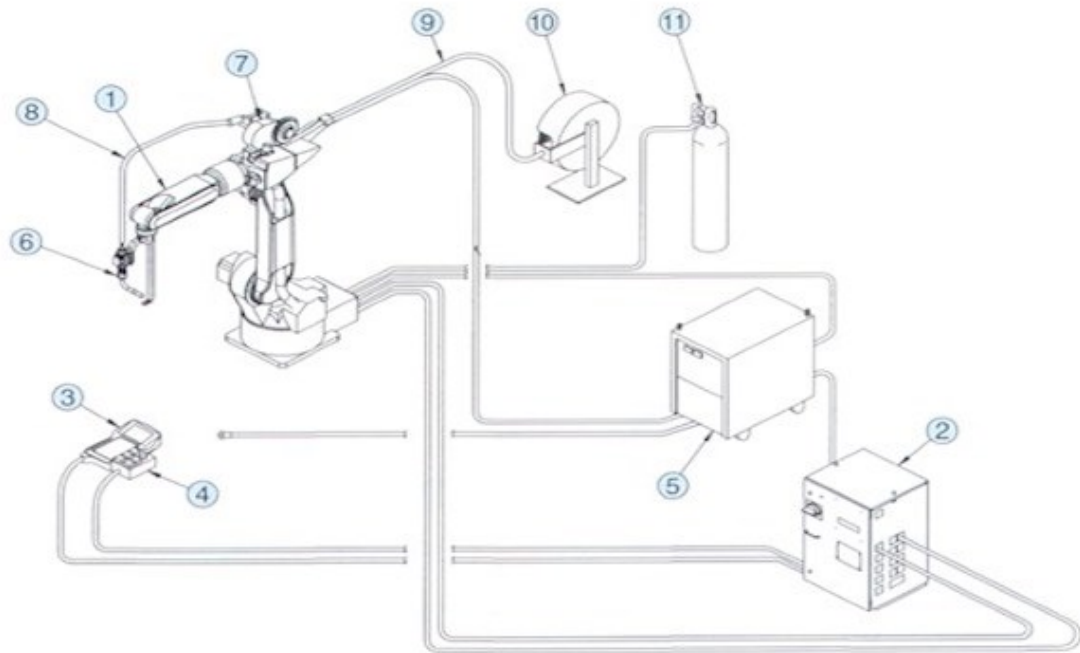
- Edullinen lisäaine
- Lisäaineen jatkuva syöttö
- Pystytään hitsaamaan monessa eri asennossa
- Tunkeuman säädettävyys
- Tuottavuudeltaan hyvä
- Hitsausparametrien laaja säädettävyys
- Ei muodosta kuonaa

Haitat ovat (Lukkari 2002, 177):

- Hitsausparametrien vaikea säädettävyys, esimerkiksi puikkohitsaukseen verrattaessa
- Hitsauslaitteiston vaativa kunnossapito ja huolto
- Veto- ja tuuliarka
- Lisäainevalikoiman suppeampi tarjonta esimerkiksi puikkohitsaukseen verrattaessa

3.4.1 MIG/MAG-hitsausvarustus

Oleelliset robottihitsausjärjestelmän hitsausvarustukseen kuuluvat laitteet ovat kuvan 11 mukaiset hitsausvirtalähde, hitsauspoltin, langansyöttölaite, hitsauskaapeli, lankateline ja kaasunsäädin.



5. Hitsausvirtalähde

6. Hitsauspoltin

7. Langansyöttölaite

8. Hitsauskaapeli

10. Lankakelateline

11. Kaasunsäädin

KUVA 11. Robotin MIG/MAG-hitsausvarustus (Finnrobotics n.d.)

Hitsausvirtalähteellä säädetään verkkovirta sopivaksi hitsaukseen. Virta kulkee lankaan kontaktisuuttimen avulla, joka sijaitsee hitsauspolttimessa. MIG/MAG-hitsauksessa käytetään hitsausvirtalähteenä vakiojännitetasasuuntaajaa. Syy tälle on koska MIG/MAG-hitsauksen säädettävyyssominaisuuksien avulla halutaan valokaaren pituus säätää tietyn mittaiseksi. (Kuusisto 2014, 4-5.)

Hitsauspolttimesta käytetään käsihitsauksessa sanaa hitsauspistooli. Robotisoidussa hitsauksessa kuitenkin käytetään sanaa poltin, sillä siinä ei ole liipaisinta.

Polttimessa sijaitsevan kaasusuuttimen kautta kulkee suojakaasu, joka suojaa hitsisulaa. Polttimen kautta kulkee myös lisäainelanka, jota pitkin kulkee hitsausvirta. Suuren lämmöntonnin takia hitsauspoltin pitää usein jäähdyttää ja se tahtuu joko kaasujäähdytteisellä tai vesijäähdytteisellä toiminnolla. (Lukkari 2002, 185-186.)

Langansyöttölaitteen tarkoitus on syöttää lankaa sen tarpeen mukaan langanjohtimeen ja siitä polttimeen. Lankakelatelineen avulla säädetään, kuinka kova vastustus syötöllä on. Käytetään joko pelkkää työntävää langansyöttöä, jossa lanka kulkee syötöllä vain yhteen suuntaan tai työntävää ja vetävää langansyöttöä, jossa sitä voidaan ohjata molempiin suuntiin. (Lukkari 2002, 182-183.)

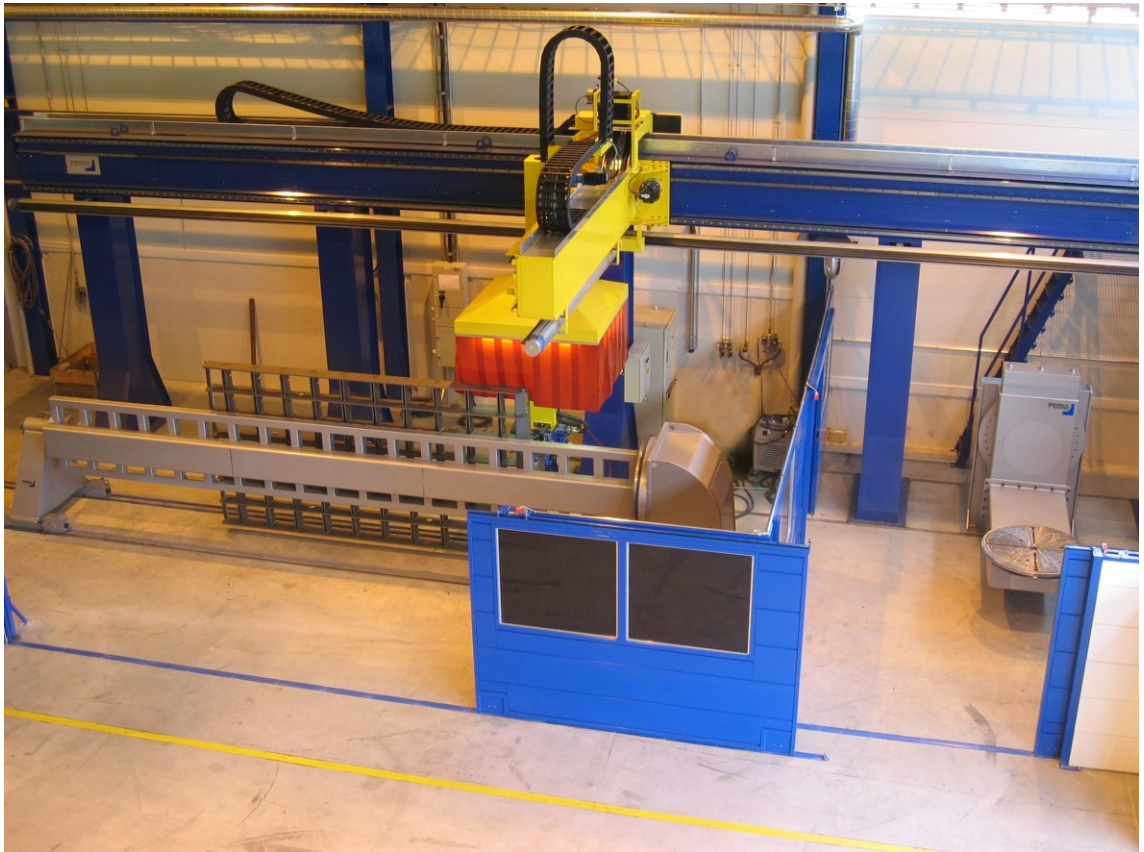
Hitsauskaapelia kutsutaan myös monitoimijohdoksi, se sisältää kaikki hitsaukseen liittyvät tärkeät asiat. Sen sisällä kulkee suojakaasu, ohjaus- ja hitsausvirta, lisäainelanka ja mahdolliset jäähdytysvedet. Lisäainelangan tasaisen ja suoran syötön takia monitoimijohdossa kulkee langanjohdin, joka valitaan langan halkaisijan mukaan. (Lukkari 2002, 184-185.)

Kaasusäätimen avulla säädetään kaasun virtausta hitsausprosessiin. Kaasusäätimen avulla nähdään ja voidaan säätää kuinka paljon kaasua virtaa läpi arvolla litraa minuutissa. Kaasusäädin on kiinni joko kaasupullossa tai suoraan suojakaasuverkosta tulevan kaasujohdon päässä. Yleisesti kaasupullon paine on 200 baaria ja suojakaasuverkosta syntyy 4-6 baaria. (Lukkari 2002, 189.)

4 OMA TUOTANTO PEMAMEK

4.1 Hitsausrobottisolu

Kuvasta 12 nähdään Pemamekin robottihitsausaseman tärkeimmät laitteet ja komponentit. Se sisältää ulkoiset akselit, kiertyvänivelisen 6-akselisen robotin, joka on kiinnitetty alustastaan ylösalaisin saavuttaen hyvän ulottuvuuden, PEMA SPS-käsittelypöydän ja PEMA HPS-käsittelypöydän, jossa on kaksi pyörivää käsittelypöytää vastakkain. Näiden lisäksi on myös robottiaseman hitsausvarusteet ja työntekijöille suunnattu työpöytä työkaluineen. Laitteistojen tuotenimiä ja robottivarusteluja ei tuoda tässä työssä ilmi toimeksiantajan pyynnöstä.



KUVA 12. Pemamekin oma robottihitsausasema

Pemamekin oma robottihitsausasema sisältää seuraavia tärkeimpiä hitsauslaitteita:

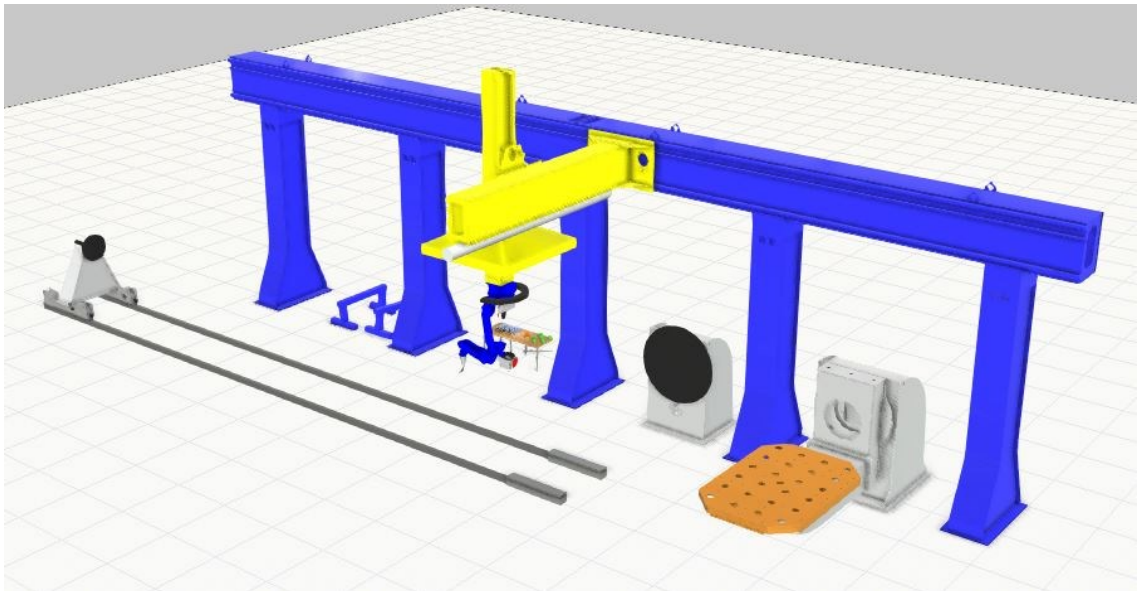
- Hitsausvirtalähde
- Monitoimikaapelin
- MIG/MAG poltin
- Polttimen puhdistusyksikkö
- Langansyöttölaite
- Langanjohdin
- Kaasusuutin
- Vedenjäähdytyslaite

4.2 Tuotanto

Pemamekin oma robottihitsausasema (kuva 12) hitsaa kappaleita omaan tuotantoon, esimerkiksi PEMA hitsaustornien runkoja. Projektikohtaisesti arvioidaan etukäteen, ettei robottiasemalle tule liikaa hitsattavia kappaleita eikä liian vähän. Usein Pemamekilla tuotetaan vakioratkaisuja ja pystytään arvioimaan edellisistä projekteista työn määrä ja kuluneet tunnit. (Viitanen 2021.)

Isoihin ja monimutkaisiin kappaleisiin tarvitaan hitsaus- ja mittatiedot etukäteen, sillä ne vaativat enemmän asennus- ja hitsausaikaa. Pienten kappaleiden hitsaus onnistuu lyhyellä aikavälillä, mutta työkuorman kasvaessa niitä voidaan siirtää alihankkijoille. Useissa uusissa projekteissa saattaa olla hieman muuttuneita hitsattavia kappaleita vanhoihin verrattuna, joihin operaattori hyödyntää vanhoja hitsausohjelmia ja muokkaa niitä tarvittavan määrän. (Viitanen 2021.)

Pemamekin robottihitsausasema käyttää omaa hitsausohjausjärjestelmää WeldControl 300. Tämän avulla operaattorit tekevät robotin etäohjelmointia ja vaadittuja hitsausparametrimuutoksia robottisolun malliin (kuva 13). (Pemamek 2015b)



KUVA 13. Pemamekin oman hitsausrobotti aseman 3D-malli

4.3 PEMA WeldControl-ohjausjärjestelmät

Pemamekin tarjoamat ohjausjärjestelmät luovat operaattoreille helpon pohjan ja yksinkertaisen tavan ohjata hitsausasemia. WeldControl perusohjelmisto ryhmä sisältää käyttäjäystävälliset ominaisuudet, joista voi valita kolme eri käyttäjäta-soa. (Pemamek Weldcontrol 2021)

Ohjelmistot tarjotaan käyttötarkoituksen mukaisesti (kuva 14), jotka jaetaan omiin ryhmiin. Raskas automaation puolella keskitytään yksinkertaiseen hitsausprosessiin, jossa ei ole käytössä robotteja vaan muita hitsausautomaatioprosesseja kuten esimerkiksi jauhekaarihitsaus. (Pemamek 2015b)

Robottiohjausjärjestelmien puolella tarjotaan offline-ohjelmointia, macro-parametrien ohjelmointia, CAD systeemien sisällyttämisen ohjausjärjestelmään, kokenäön hyödyntämistä ja laser-skannausta, jota käytetään railon muodon tunnistamisessa. (Pemamek 2015b)

CutControl ryhmässä keskitytään profiilien leikkuuseen offline-ohjelmoinnin avulla, jossa voidaan käyttää skannaustyökaluja. Cell Control on työtehtävien lähetysohjelma, jolla hallitaan robottituotantosoluja lähettämällä oikeat robottiohjelmat oikeisiin solun osa-alueisiin. (Pemamek 2015a)

Tässä työssä keskitytään ainoastaan ohjelmistoversioon WeldControl 300, jota käytetään Pemamekin omassa hitsaustuotannossa.



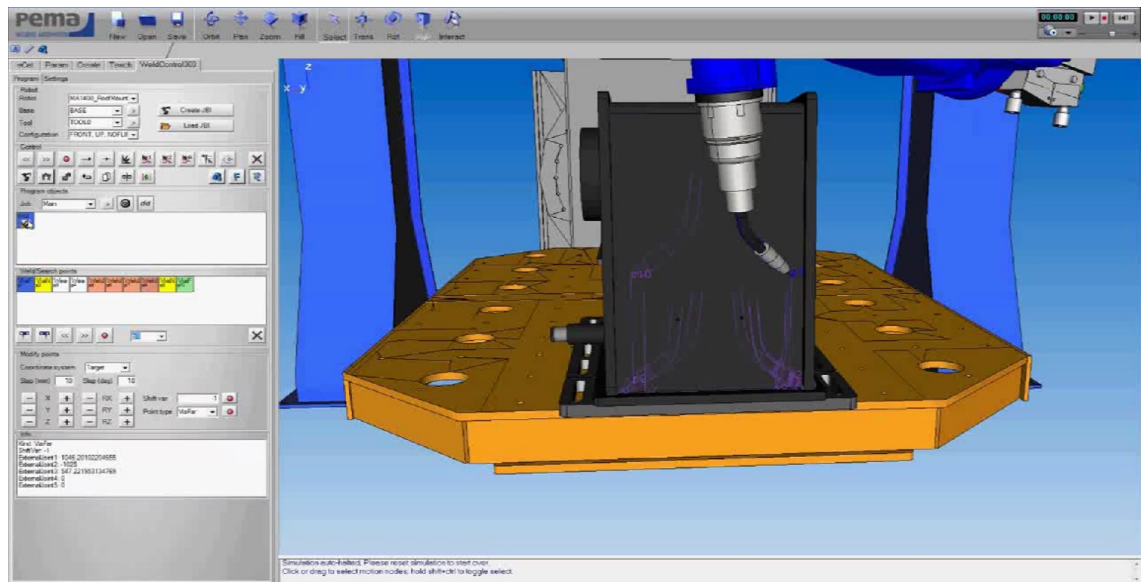
KUVA 14. PEMA WeldControl-ohjausjärjestelmät tuotteet (Pemamek 2015a)

4.3.1 WeldControl 300

WeldControl 300 voidaan jakaa kolmeen eri ohjausjärjestelmän käyttötarkoitukseen. WeldControl 300 Offline, WeldControl 300 Create ja WeldControl 300 Scan. (Pemamek Weldcontrol 2021)

WeldControl 300 Offline keskittyy etäohjelmointiin, jolla luodaan robottihitsausohjelmia. Usein käytetty vaikeasti hitsattaviin kappaleisiin, joissa tarvitaan erillinen kääntöpöytä, joka on integroitu robottiin ja WeldControlliin. Offline-ohjelmoinnin avulla ohjelmointi voidaan tehdä toisen kappaleen hitsauksen aikana, jonka ansiosta voidaan tehostaa läpimenoaikoja. (Pemamek 2015b)

PEMA Weldcontrol 300 perustuu Visual Components mallinnus- ja simulointiohjelmistoon (kuva 15). Weldcontrol 300 Offline-ohjelmistossa voidaan luoda hitsejä valmiille kappaleen 3D-mallille, joka on hitsattavissa robotilla. Ohjelmistossa hitsausradat saadaan tehtyä automaattisesti näyttämällä hitsaustasoja 3D-malliin, josta ohjelma laskee hitsausaumojen geometriset muodot ja tekee tarvittavat liike- ja hitsauskäskyt. Ohjelmassa on myös mahdollisuus muokata hitsejä ja robotin liikekäskyjä käsin automattisen ohjelmanteon jälkeen. Syynä voi olla esimerkiksi robotin akseleiden asentojen vääränlainen laskenta. Peman omalla hitsausasemalla hitsataan usein samoja tai hyvin samanlaisia kappaleita muodoltaan, johon Weldcontrolilla saadaan ajettua samat hitsityöt ja tarkistaa kuinka hyvin vanhat ohjelmat menevät paikalleen samalla vähentäen työkuormaa. (Pemamek 2018)

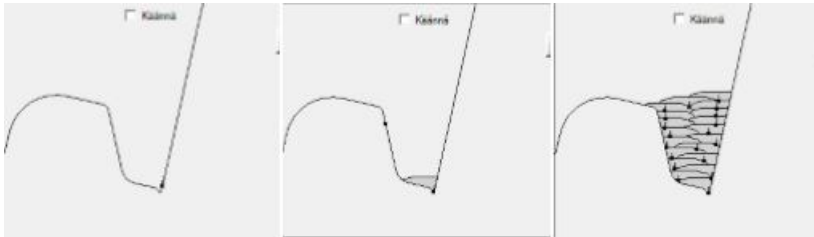


KUVA 15. PEMA Weldcontrol 300 Offline-ohjelmointi (Pemamek 2015b)

Weldcontrol 300 Create avulla saadaan lisätoimintoja Weldcontrol 300 offline-ohjelmistoon. Operaattori pystyy mallintamaan kappaleen itse käyttämällä ohjelman mallinnuslisätoimintoa. Tämä yleensä tehdään, jos kappaleesta ei ole 3D-mallia valmiina ja kappale on yksinkertainen muodoltaan. Tehdyt mallinnukset voidaan tallentaa ja käyttää myöhempiä hitsauksia varten. (Pemamek 2015b)

Weldcontrol 300 Scan-ohjausjärjestelmä sisältää samat ominaisuudet kuin Offline ja Create. Näiden lisäksi ohjelma sisältää skannaustyökalun, jonka avulla

voidaan valita tietty kappaleen hitsattava railo, tästä muodostuu palkokartta, johon voidaan joko itse tehdä hitsattavat palot tai ladata valmis automaattinen monipalkokartta. Monipalolla tarkoitetaan hitsausprosessia, jossa hitsataan monia saumoja samaan hitsausrailoon, jonka tarkoituksena on saada suurempi hitsausmitta (kuva 16). (Pemamek 2018)



KUVA 16. Weldcontrol 300 Scan monipalkokartta (Pemamek 2018)

5 PEMAMEK TUOTANNON TEHOSTAMINEN

5.1 Robottihitsausaseman käyttöaste

Robottihitsausaseman käyttöasteella tarkoitetaan robotille aiheutuvaa kuormitusta ja aikaa mitä se kuluttaa hitsaukseen. Robottihitsauksessa pyritään kuormittamaan robottia mahdollisimman paljon, jotta investointi olisi kannattavaa. Jatkuva kappaleiden hitsaus ja korkea paloaikasuhte varmistaa hitsausrobotin kannattavuuden.

Pemamek robottihitsausaseman käyttöaste on vaihteleva, jota yritetään tehostaa tutkimalla voiko tällä hetkellä käsinhitsattuja kappaleita siirtää robotille hitsattavaksi. Pemamekilla robotille soveltuvien hitsattavien kappaleiden täytyy täyttää tietyt kriteerit, jotka muodostuvat esimerkiksi robotin hyvän ulottuvuuden, painorajojen mukaisen rajoituksen, ahtaiden kappaleiden luokse pääsemisen, ajan, hitsin määrän ja sarjakokojen mukaan.

Hyvällä ulottuvuudella tarkoitetaan kappaleen mahtumisen kappaleenkäsittelypöydille, jossa ulkoisten akseleiden ja robotin akseleiden ulottuvuus riittää kappaleen hitsaukseen. Ongelmana ovat isot ja monimutkaiset kappaleet. Tämä tutkitaan WeldControl 300 ohjelmistolla, jossa nähdään robotin akseleiden rajahäilytyksien avulla ulottuvuuden riittäminen.

Painorajoituksessa ongelmana on usein kappaleenkäsittelypöydän painoraja. Esimerkiksi HPS-käsittelypöydissä on tietyt painorajat, jotka rajoittavat painavien kappaleiden hitsaamisen. Näitä tutkitaan kappaleiden painotietojen mukaan.

Ahtailla kappaleilla tarkoitetaan kappaleiden hitsausrailojen ahdasta sijaintia johon robotin akseleiden rajat eivät riitä tai poltin ei mahdu hitsaamaan railoa. Kappaleet tutkitaan WeldControl 300 ohjelmistolla, jossa ohjelman törmäystunnistuksen avulla nähdään, soveltuuko kappale robottihitsaukseen.

Hitsausaikojen avulla tutkitaan, tuoko kappaleen hitsaus robotilla lisäarvoa ajallisesti. Tähän vaikuttaa esimerkiksi kappaleen pieni koko, joka on ajallisesti nopeampaa hitsata käsin kuin robotilla. Tutkitaan myös, jos samanlaisia pieniä kappaleita on useita ja joita mahtuu monta samaan aikaan hitsauskäsittelypöydälle, hitsataan ne samanaikaisesti robotilla säästäten aikaa. Tämä selvitetään vertaamalla robottihitsausaseman hitsausnopeutta käsinhitsausnopeuteen ja mahtuuko kappaleenkäsittelypöydälle riittävä määrä kappaleita.

Hitsin määrällä tutkitaan kappaleessa olevia hitsattavia railoja. Railojen pituus ja hitsauskoko ovat tärkeitä kriteerejä, joilla nähdään robottihitsauksen kannattavuus. Usein kappaleet saattavat olla isoja mutta hitsattava määrä on pieni. Tämä tutkitaan katsomalla kappaleiden hitsaustiedot.

Sarjakokojen avulla nähdään vakiotuotteiden hitsaustoistettavuus tietyn ajan sisällä. Jos kappaleet ovat vakiotuotteita ja mitat pysyvät samoina, on helppoa hitsata kappaleet robotilla käyttäen samaa robottihitsausohjelmaa.

5.1.1 Uudet soveltuvat kappaleet robottihitsaukseen

Käsinhitsattuja kappaleita tutkittiin yhden kuukauden välisen ajanjakson aikana kerääntyvistä tiedoista, joita oli yhteensä 121. Näistä käsinhitsatuista kappaleista kerättiin soveltuvimmat kappaleet taulukkoon 2, jotka arvioitiin robottihitsauksen kriteereillä numeroin 1-3. Arviointi tapahtui asteikolla jossa 1 tarkoittaa vähiten soveltuvaa ja 3 täysin soveltuvaa. Taulukon avulla operaattorit pystyvät arvioimaan kappaleen soveltuvuuden arvosanojen avulla ja soveltaa niitä käytännössä. Nimikkeiden tietoja ja kuvia ei tuoda tässä työssä ilmi toimeksiantajan pyynnöstä.

Taulukosta käy ilmi yhdeksän kappaleen soveltuvuus robottihitsaukseen Pemalek robottihitsausasemalla. Kappaleista laskettiin aiemmin mainittujen robottihitsaus kriteerien avulla keskiarvo, josta nähdään kappalekohtainen soveltuvuus robottihitsaukseen. Huomattiin kriteerien täyttymisen arvioinnilla nimikkeiden vaihtelevuus kappalekohtaisesti, jonka myötä kappaleiden käyttö robottihitsausasemassa täytyy myöskin suorittaa käytännössä, jossa operaattorit osaavat arvioida niiden tarkemman soveltuvuuden.

TAULUKKO 2. Soveltuvat nimikkeet robottihitsaukseen

NIMIKE	NIMI	ULOT- TU- VUUS	PAINO	AH- TAUS	AIKA	HITSIN MÄÄRÄ	SAR- JA- KOKO	KES KIA RVO
L115818	Kiinni- tys- runko	2	3	2	3	2	1	2,17
L115859	Runko	2	2	1	3	3	1	2
L115906	Kiinni- tys- runko	2	3	2	3	2	1	2,17
L129278	Kiinni- tys- runko	2	3	3	1	1	1	1,83
L154232	Run- ko- palkki	3	2	3	3	3	1	2,5
L157717	Koro- tusele- mentti	3	3	3	3	3	2	2,83
L70778	Työ- taso	2	1	2	1	2	1	1,5
L156450	Tuki- palkki	3	3	3	3	3	3	3
L97641	Runko	2	2	1	3	3	1	2

5.2 Hitsausrobotiaseman paloikasuhde

Kuten aiemmin mainittu, korkea paloikasuhde kertoo prosessin tuottavuudesta prosentteina. Paloikasuhde kertoo kaariajan ja hitsaukseen käytetyn kokonaisajan välisen suhteen prosentteina. Hitsaustaloudessa paloikasuhde saadaan laskettua kaavan 1 mukaan. (ESAB 2008, 10-12.)

$$Paloikasuhde (\%) = \frac{Kaariaika \times 100}{Työaika} \quad (1)$$

Opinnäytetyössä kerättiin tiettyjen nimikkeiden oleellisia aikoja paloikasuhteen laskemiseen kuten robottiohjelmien ohjelmointiaikaa, asennusaikaa, hitsausaikaa ja viimeistelyyn kulutettua aikaa (taulukko 3).

Ohjelmointiajalla tarkoitetaan aikaa, jota kulutetaan robottihitsausohjelman offline-ohjelmointiin. Aikaan sisältyy seuraavan hitsattavan kappaleen hitsausohjelman ohjelmointi hitsausrobotin hitsatessa muuta kappaletta tai vanhan ohjelman muokkaaminen käsin pendantilta siirtäen hitsauksia kappaleen mittojen muutosten verran. Uuden kappaleen ohjelmointi vie ensimmäisellä kerralla enemmän aikaa kuin valmiin ohjelman tarkastaminen ja lataaminen.

Asennusajalla tarkoitetaan aikaa, jota kuluu robottihitsausaseman kappaleenhitsauksen esivalmisteluun. Esivalmistelulla Pemamekin robottihitsausasemalla tarkoitetaan hitsauskiinnittimien asennusta, kappaleen siirtämistä ja sen asennusta kappaleenkäsittelypöydille sekä huomattujen kappalevirheiden korjaamista.

Viimeistelyajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu hitsauksen jälkeiseen kappaleen putsaukseen, korjaukseen ja jälkikäsittelyyn. Tämä voi olla esimerkiksi hitsauksesta muodostuvien hitsausroiskeiden hiominen, virheellisen hitsauksen korjaaminen ja kappaleen siirtäminen robottihitsausasemalta pois.

Hitsausajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu valokaaren syttymisen aloituksesta valokaaren sammumiseen. Hitsausajalla tarkoitetaan kaavassa 1 merkittyä kaa-riaikaa.

TAULUKKO 3. Hitsausrobotilla hitsattujen kappaleiden tuntiseuranta

HITSAUSROBOTIN NIMIKEKOHTAINEN TUNTISEURANTA				
Nimike	Ohjelmointi- aika (min)	Asennusaika (min)	Viimeistely- aika (min)	Hitsausaika (min)
L95240	15	15	60	60
L95076	20	15	30	60
L115925	120	20	30	180
L154256	15	15	30	30

5.2.1 Paloaikasuhteen tehostaminen

Taulukon 3 mukaisten tietojen avulla voidaan kappalekohtaisesti laskea paloai-
kasuhde kaavan 1 mukaan. Kaavassa 1 merkattu työaika tarkoittaa kaikkien ku-
luneiden aikojen summaa. Tulokseksi saatiin taulukon 4 mukaiset paloaikasuht-
teet.

TAULUKKO 4. Nimikkeiden paloaikasuhteet

NIMIKE	PALOAIKASUHDE
L95240	40 %
L95076	48 %
L115925	51 %
L154256	33 %

Mekanisoidussa ja automatisoidussa hitsauksessa paloaikasuhteelle on arvioitu lähtöarvona noin 70 - 90 % (ESAB 2008, 13.). Taulukosta 4 huomataan paloai-
kasuhteen vaihtelevan 30 – 60 prosentin välillä joka ei ole tarpeeksi iso luku ro-
botisoidulle hitsausprosessille.

Hitsaukseen kuluien muiden aikojen kuin hitsaukseen kuluneen ajan tehostamista paloaikasuhteen nostamiseksi voidaan toteuttaa tutkimalla Pemamekin robotihitsausaseman vanhojen hitsausohjelmien päivittämisellä, asennusaikojen nopeuttamisella ja viimeistelyaikojen optimoimisella.

Pemamekin vakiotuotteissa käytetään yleensä vanhoja hitsausohjelmia. Kappaleissa tapahtuva pienikin muutos jossakin mitassa tai robotilla hitsattavan määrän lisääminen aiheuttaa robotiohjelmien korjauksen ja tuotannon pysähtymisen. Satunnainen muuttuvien mittojen ja kappalekohtaisten hitsausohjelmien ilmoitus unohtuu, jonka syystä operaattoreiden työ vaikenee ja paloaikasuhte käärsii. Usein kappaleiden muutos aiheuttaa nimikkeiden nimen muutoksen, jonka myötä operaattorit eivät välttämättä muista onko kyseistä kappaletta hitsattu ja aloittavat ohjelmoinnin kokonaan alusta. Kyseiseen kappaleeseen saattaa on saatavilla vanha ohjelma, joka vaatii vain pienen muutoksen. Tämä voidaan korjata nimikkeiden yhteydessä olevien tietojen päivittämisellä kappalemuutosten tehdessä, jotta operaattori voi valmistautua muutokseen etukäteen ja tietää onko kappaleesta saatavilla vanha hitsausohjelma.

Asennusaikojen nopeuttamiseksi täytyy keskittyä esivalmistelujen parantamiseen. Ennen kuin kappaleet saapuvat robotihitsausasemalle ne silloitetaan ja mahdollisesti käsinhitsataan hitsit, jotka tuovat vaikeuksia robotihitsaukselle. Kappaletta siirrettäessä ja asentaessa kappaleenkäsittelypöydälle, usein huomataan joidenkin käsinhitsareille tarkoitettujen hitsien puuttuvan. Tästä aiheutuu robotihitsausaseman operaattorille lisää vaivaa ja tuotannon pysähtymistä, kun operaattori joutuu hitsaamaan puuttuvat hitsit käsin robotiasemalla. Tämä voidaan korjata hitsausohjeiden päivittämisellä ja ohjeiden tarkan noudattamisen koulutuksella. Hitsauskappaleiden kiinnitysohjeilla mahdollistetaan nopeampi kappaleiden asennus kappaleenkäsittelypöydille. Tällä hetkellä käytetään kuvan 17 mukaisia kuvia tai vanhentunutta ohjekansioita. Kiinnitysohjeet ovat tärkeitä robotiohjelmoinnin kannalta koska vanhojen ohjelmien käyttö vaatii kappaleen saman sijoittamisen kappaleenkäsittelypöydille kuin alkuperäisessä ohjelmassa. Kiinnitysohjeet voidaan päivittää nykypäiväisempään muotoon, jossa kuvat ja kiinnitysohjeet saadaan samaan tiedostoon ohjeiden kertoessa askel kerrallaan mitä tehdään ja missä. Ohjeiden tiedoston nimet tulisi nimetä kappalekohtaisesti ja lisätä uusien kappaleiden kiinnitysohjeet mukaan kiinnitysohje listaukseen.

Tämä nopeuttaisi kiinnitysohjeiden etsimisen ja tutkimisen, joka nostaisi robottihitsausaseman paloaikasuhdetta.



KUVA 17. Pemamek robottihitsausaseman kiinnitysohjekuva

Viimeistelyajan pituus usein johtuu kappaleen suuruudesta, jossa isoon kappaleeseen tarvitaan enemmän aikaa putsaukseen ja mahdollisiin korjauksiin. Ope-
raattorikohtaisesti käsihitsareille tarkoitettut hitsit hitsataan joko ennen robottihit-
sausta tai sen jälkeen. Tähän kulutettu aika voi siis näkyä viimeistelyajassa. Pie-
nikokoisten kappaleiden pitkissä sarjoissa joudutaan kappaleet viimeistelemään
kappaleenkäsittelypöydällä, joka hidastaa seuraavan kappaleen siirtoa robottihit-
sausasemalle. Tämä voidaan korjata tuomalla erillinen käsittelypöytä osaksi ro-
bottihitsausaseman layoutia. Ongelmana on jo ennalta ahtaat tilat, jossa kuvasta
18 punaisilla nuolilla merkityt ulkoisten akseleiden vaakapuomit eivät riitä hitsaa-
maan isoja kappaleita. Ratkaisuna tarvitaan layoutin ja turvallisuusalueiden uusi
suunnittelu.



KUVA 18. Pemamek robottihitsausaseman ulkoiset akselit

5.3 Laitteistot ja ohjelmointimallit

Pemamekin robottihitsausasema on ollut käytössä yli kymmenen vuotta, jonka aikana on tehty paljon muutoksia sekä uusien laitteistojen puolesta että ohjelmistojen päivityksillä. Ennakoiva huolto ja laitteistojen päivitys pitää tehdä tietyin aikavälein, jotta yllättävien laitevikojen seurauksena tuotanto ei pysähdy. Pemamekin robottihitsausaseman 3D-solumallin muutokset WeldControl päivityksien myötä on vaikuttanut mallin tarkkuuteen ja joidenkin robottihitsausaseman osien puuttumiseen mallissa.

5.3.1 Solumallin päivittäminen

Joskus solumalliin unohdetaan päivittää laitteistojen vaihtumisen myötä niiden 3D-mallit, jonka syystä koot saattavat vaihdella edelliseen laitteeseen nähden tai ne on unohdettu lisätä kokonaan. Kuvasta 19 huomataan, että kappaleenkäsittelypöydän vastapainot eivät näy solumallissa.

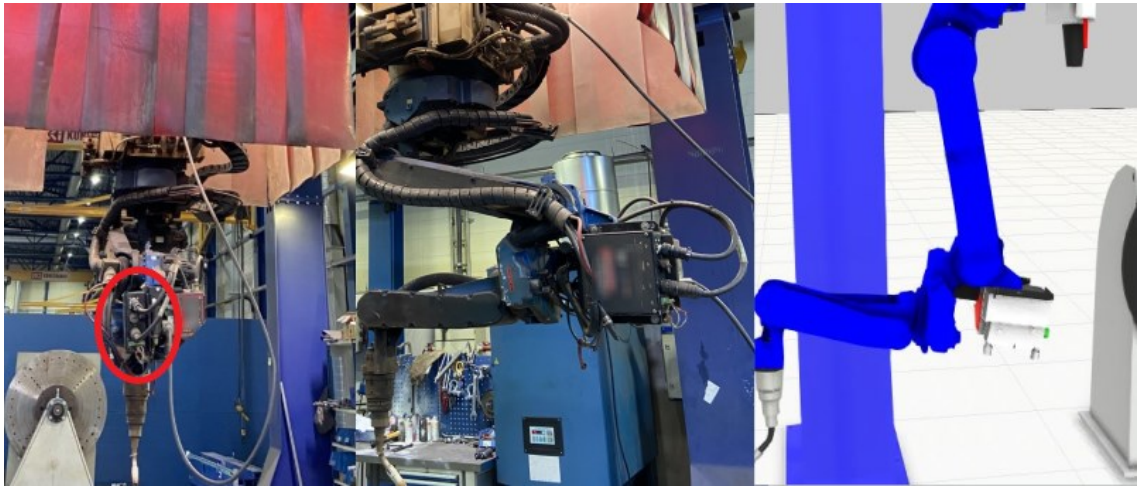


KUVA 19. Pemamek robottihitsausaseman SPS-kappaleenkäsittelypöytä

Vastapainojen puuttuminen solumallista aiheuttaa robotin törmäysvaaran. Tehdessä robottihitsausohjelmaa, WeldControl ei ole tietoinen, että vastapaino puuttuu ja muodostaa helpoimman reitin robotille hitsata tietty kappale. Robotin reitin muodostuessa vastapainon kohdalla tapahtuu törmäys. Robotin törmäminen vastapainoihin aiheuttaa akseleiden tai polttimen vääntymisen, jonka myötä jatkuva törmäminen aiheuttaa vakavan laitevian. Tästä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia ja tuotanto pysähtyy.

Laitteistojen väärin mittojen myötä tapahtuu samanlainen ongelma solumallissa kuin laitteistojen puuttumisella. WeldControl tiedostaa, että kappale on tietyn kokoinen ja laskee robotin liikeradat niiden mukaan. Kuvassa 20 solumallin langansyöttölaite ei vastaa mitoiltaan aitoa robotin akselilla olevaa langansyöttölaitetta. Todennäköisesti langansyöttölaitteen malli on väärä, josta johtuu 67 mm heitto korkeudessa, 11 mm heitto leveydessä ja 13 mm heitto pituudessa. Kuvasta 20 myöskin huomataan, että punaisella ympyrällä merkattu langansyötön ohjausyksikkö puuttuu langansyöttölaitteen vierestä kokonaan. Tämä lisää leveyseroa 11 millimetristä 91 millimetriin. Solumallista myös puuttuu langansyötön ohjausyksiköstä tulevat johdot. Nämä kaikki vaikuttavat robottiohjelmien luomiseen, joiden takia robotti on törmännyt langansyötön ohjausyksiköllä hitsattaviin kappaleisiin.

Tämä korjataan tutkimalla nykyistä mallia, korjaamalla ja lisäämällä mallinnukset sekä kalibroimalla malli korjauksien jälkeen. Kalibroimalla malli varmistetaan laitteiden ja robotin sijainti.



KUVA 20. Pemamek robottihitsausaseman robotti

Kalibrointi tapahtuu WeldControl-ohjelmiston ominaisuuksien avulla, jossa robotin kaasusuuttimen tilalle asennetaan kalibrointiipikki, jolla näytetään robotin eri asennoissa eri tasoja robottihitsausasemasta. WeldControl-ohjelma osaa lukea näitä ohjelmoituja pisteitä, jonka mukaan malli kalibroidaan osumaan fyysisen solun pisteitä.

5.3.2 Laitteistojen päivitys

Hitsausrobotin törmäykset ja laitteistojen vanheneminen aiheuttaa tuotannon pysähtymisen ja turvallisuusriskien syntymisen. Pemamekin robottihitsausasemalla todettiin törmäyksistä johtuvien laitteiden huono kunto. Jos osia ei vaihdeta, niiden rikkoutuminen voi vaikuttaa muiden osien toimintaan, joka voi esimerkiksi tarkoittaa robotin akselin hajoamista. Tämä tulee yritykselle kalliiksi sekä osien takia että tuotannon pysähtymisen.

Tutkittavat ja mahdollisesti vaihdettavat laitteet ja komponentit:

- Langansyöttölaite
- Langansyötön ohjausyksikkö
- Langansyötön ohjausyksikön kaapelit
- Monitoimikaapelin suojat
- Robotin maalipinta
- Pendantti
- Langanjohdin
- Lankakelateline

Näiden laitteiden ja komponenttien tilaus varastoon etukäteen säästää aikaa, joka saattaa kuluu niiden odottamiseen, jos ne hajoavat. Osa vaihdettavista komponenteista on kulumisosia ja osa kalliimpia robotinhitsaukseen vaikuttavia laitteita.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, voidaanko toimeksiantajan robottihitsausuotantoa tehostaa käyttöasteen parantamisella. Robottihitsauksen eduista voidaan hyötyä vain, jos robottihitsausasemalla saadaan jatkuvaa kaariaikaa. Robottihitsauksessa jatkuva kaariaika mahdollistetaan hitsattavien kappaleiden riittävällä saannilla sekä nopeiden läpimenoaikojen avulla.

Työssä päädyttiin tutkimaan tietyn periodin ajan käsinhitsattuja kappaleita, jotka voisivat täyttää robottihitsauksen kriteerit. Kriteerit selitettiin ja valittiin toimeksiantajan robottihitsausaseman sopivuuden takia. Soveltuvimmat kappaleet kerättiin listaan, jossa kappaleet arvioitiin jokaisen kriteerin avulla. Tulokseksi saatiin kappalekohtainen keskiarvo soveltuvuudesta toimeksiantajan robottihitsaukseen. Tutkimuksella saadaan tarkempia arvioita mitä toimeksiantajan robottihitsausasemalla kannattaa hitsata käyttöasteen nostamiseksi.

Vaihtelevan käyttöasteen takia tutkittiin myös, kuinka voidaan tehostaa aikaa, joka kuluu muuhun kuin itse robottihitsaukseen suuren kuorman ajanhetkellä. Tähän tutustuttiin paloikasuhteen avulla, jossa selitettiin jokainen robottihitsausprosessiin kuluva aika ja kuinka niitä voidaan parantaa nostaakseen robottihitsausaseman tuottavuutta. Robottihitsausasemalta kerättiin tiettyjen kappaleiden oleellisia tietoja paloikasuhteen laskemiseksi ja niistä tehtiin taulukko. Tietojen avulla laskettiin paloikasuhde, joka vaihteli kappalekohtaisesti mutta saadut tulokset jäivät robotisoitavan prosessin paloikasuhteen viitearvon alle. Jokaisen vaikuttavan ajan kohdalle selvitettiin ratkaisu, joka nostaisi paloikasuhteen robottihitsaukseen sopivaksi. Pemamek on suorittanut joitain parannuksia hitsausajan tehostamiseksi. Taulukosta 3 huomattiin hitsausajan olevan pitempi kuin ohjelmointiaika, joka johtuu hitsauksen aikana tehdystä seuraavan kappaleen offline-ohjelmoinnista. Hitsauksen aikana tehdyt seuraavien kappaleen offline-ohjelmointien avulla säästetään aikaa paloikasuhteen nostamiseksi hitsauskiinnikkeiden ja kohdistimien asennuksen esisuunnittelun lisäksi.

Robotissa ja sen ympäröivissä laitteissa on hajoavia osia, joiden ennakoivan huollon ja törmäysvaarojen vähentämisellä saadaan tuotannon pysäytykset minimiin. Työssä tutkittiin vanhentuneet ja vialliset laitteet sekä yleiset robotin törmäyksien syyt. Tulokseksi saatiin lista laitteista, jotka täytyisi vaihtaa ja 3D-solumallien päivityksen tarpeellisuuden viallisten mallinnuksien osalta.

Jatkokehityksenä toimeksiantajalle suositellaan uusien kappaleiden soveltuvuuden tutkimisen kriteerien avulla ja ottaa nämä kappaleet käytäntöön, jotta nähdään kriteerien paikkansapitävyys. Kehitys tapahtuu myös suunnittelemalla kuka robottihitsaukseen sopivien kappaleiden arvioinnin suorittaa ja kuka operoi uusien kappaleiden hitsauksen. Ohjelmointiajan, asennusajan ja viimeistelyajan optimoimista suositellaan opinnäytetyössä tutkimilla keinoilla, jotta paloi-
kasuhde nousee robottihitsaukseen soveltuvaksi ja tuotanto kehittyy sekä tehostuu. Hajoavien laitteiden ja osien puolesta suositellaan tutkia robottihitsaus-
asemaa tarkemmin ja tehdä ennakkohuolto näiden osalta. 3D-solumallien päivitys suositellaan löydettyjen virheiden kohdalla ja kehittää solumallin layoutia robottihitsausaseman ahtauden takia.

Työ saatiin suunniteltua ja suoritettua sopivassa ajassa, johon toimeksiantajalla työskentely jo ennestään toi paljon tietoa aiheesta. Työ onnistui hyvin, johon toimeksiantajan apu osoittautui hyvin positiiviseksi. Toimeksiantajan pyynnöstä kertomatta jätetyt yrityssalaisuudet rajoittivat hieman työn sisältöä mutta ei vaikuttavasti. Robottitekniikkaan liittyvät lähteet olivat suhteellisen vanhat, joista uudempia lähteitä ei löytynyt. Vaikka lähteet kuulostavat vanhentuneelta, niissä kerrotut robotiikkaan liittyvät asiat eivät ole muuttuneet viimeisempien vuosien aikana. Työn aloittaessa tekijän hitsaustietämys ei ollut syvällistä mutta työn edetessä, opittiin paljon uusia asioita.

LÄHTEET

ABB. n.d. 10 Reasons to invest in robotics. Luettu 6.4.2021. <https://library.e.abb.com/public/e7e79f2802132eb1c1257af00057b48e/ABB%20eBook%2010%20good%20reasons%20to%20invest%20in%20robots.pdf>

Duunitori. 2021. Vuoden rekrytoija Niina Nurmi. Luettu 10.4.2021. https://duunitori.fi/tyoelama/vuoden-rekrytoija-niina-nurmi?utm_source=rekrygaala&utm_medium=site

ESAB. 2008. Hitsiaineentuotto ja sen käyttö. Hitsausuutiset 1/2008, 10-12. Luettu 21.4.2021. <https://www.esab.fi/fi/fi/news/hitsausuutiset/upload/hu-1-08.pdf>

Finnrobotics Oy. n.d. Hitsaus. Luettu 16.4.2021. <http://finnrobotics.fi/tuotteet/hitsaus/>

International Federation of Robotics. 2020. Post-Covid-19 Economy: Robots Create Jobs. Luettu 5.4.2021. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/post-covid-19-economy-robots-create-jobs>

IPA. n.d. Automation engineering & IT. Robot Motion. Luettu 26.4.2021. http://www.ipacv.ro/proiecte/robotstudio/textbooks/file/robot_motion.htm

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Koneautomaatio 2. Logiikat ja ohjausjärjestelmät. 1. painos. Vantaa: WSOY.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Tampere: Talentum Oyj.

Kuusisto, T. 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG-hitsaukseen. 4. painos. Oy AGA ab. Luettu 16.4.2021. https://www.linde-gas.fi/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI_tcm634-122347.pdf

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus. 4. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

PEMA Hitsauskäsittelypöydät Skymaster pro-sarja. 2021. PEMA APSi 10000. Luettu 12.4.2021. <https://pemamek.com/fi/tuote/apsi-10000/>

PEMA Hitsaustornit. 2021. Hitsaustornit – Lisää turvallisuutta ja tuottavuutta raskaaseen tuotantoon. Luettu 11.4.2021. <https://pemamek.com/fi/hitsaustornit/>

PEMA Käsittelypöydät. 2021. Hitsauskäsittelypöydät. Avain tuottavuuteen on tehokas kappaleenkäsittely. Luettu 12.4.2021. <https://pemamek.com/fi/hitsauskäsittelypoydat/>

PEMA Pyörittysrullastot. 2021. Luotettavaa kappaleenkäsittelyä tuotannon eri vaiheisiin. Luettu 13.4.2021. <https://pemamek.com/fi/rullastot/>

PEMA Tuotteet. 2021. Tuotteet. Automatisoidut hitsaus- ja tuotantoratkaisut. Luettu 12.4.2021. <https://pemamek.com/fi/tuotteet/>

Pemamek Customer Stories. 2021. Luettu 8.4.2021. <https://pemamek.com/customer-stories/>

Pemamek Konepajateollisuus. 2021. Konepajateollisuus. Pyörityspöydät ja -rullat sekä hitsaustornit. Luettu 18.4.2021. <https://pemamek.com/fi/ratkaisut/konepajateollisuus/>

Pemamek Raskas robotiikka. 2021. Kone- ja laitevalmistus. Kehitetty vastamaan tulevaisuuden vaatimuksiin. Luettu 14.4.2021. <https://pemamek.com/fi/ratkaisut/raskas-robotiikka/>

Pemamek Ratkaisut. 2021. PEMA hitsaus- ja tuotantoautomaatio. Tuotteet & Ratkaisut. Luettu 10.4.2021. <https://pemamek.com/fi/ratkaisut/>

Pemamek Telakkateollisuus. 2021. Älykkäät kokonaistoimitukset laivanrakennukseen. Luettu 15.4.2021. <https://pemamek.com/fi/ratkaisut/telakkateollisuus/>

Pemamek Tietoa yrityksestä. 2021. Pemamek – Innovaatio, ammattitaito ja luottamus. Kaikki saman katon alla. Luettu 8.4.2021. <https://pemamek.com/fi/yritys/>

Pemamek Weldcontrol. 2021. Luettu 7.4.2021. <https://pemamek.com/fi/ratkaisut/weldcontrol/>

Pemamek Welding solutions. 2021. Shipbuilding Robotic Solutions. Luettu 15.4.2021. <https://pemamek.com/welding-solutions/shipbuilding/robotic-solutions/>

Pemamek. 2015a. Introduction to modern PEMA welding robotics solutions. Julkaisematon. Pemamek pääkonttori. Loimaa

Pemamek. 2015b. Robotized one-off production solutions WC300 product family. Julkaisematon. Pemamek pääkonttori. Loimaa

Pemamek. 2018. Pema Weldcontrol 300 käyttöohje. Julkaisematon. Pemamek pääkonttori. Loimaa

Savolainen, J. & Vaittinen, R. 2007. Sääätötekniikan perusteita. 1. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Suomen Asiakastieto. 2021. Taloustiedot Pemamek Oy. Luettu 10.4.2021. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/pemamek-oy/05350851/taloustiedot>

Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Hitsaus tekniikka 3/2011, 3. Luettu 10.4.2021. http://shy.fi/portals/shy/iBooklet/2011/ht_3_11/files/assets/basic-html/#3

Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 2011. Tuottavuuden parantaminen robotihitsauksella. Hitsaus tekniikka 3/2011, 11-14. Luettu 10.4.2021. http://shy.fi/portals/shy/iBooklet/2011/ht_3_11/files/assets/basic-html/#3

Valtioneuvosto. 2018. Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. Luettu 6.4.2021. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161102/47-2018-ROBOFINN_raportti_.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Viitanen, J. Tuotantopäällikkö. 2021. Haastattelu 16.4.2021. Haastattelija Tuhkanen, I. Loimaa

Welding value Kemppi. 2019. Hitsauksen robotisoinnin kolme ratkaisumallia. Luettu 4.4.2021. <https://weldingvalue.com/fi/2019/12/hitsauksen-robotisoinnin-kolme-ratkaisumallia/>