



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU

Nurmeksen Metalli Oy

TEKIJÄ/T: Teemu Kukkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Teemu Kukkonen			
Työn nimi Robottisolun suunnittelu			
Päiväys	8.9.2020	Sivumäärä/Liitteet	28 + 4
Ohjaaja(t) Arto Liuha, Aku Tuunainen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Nurmeksen Metalli Oy			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella robottisolu Nurmeksen Metalli Oy:lle. Robottisolun tavoitteena oli nopeuttaa hitsausprosessia ja parantaa tuottavuutta. Työ painottui kustannuslaskelmiin ja laitteiston valintaan. Päätuotteena käytettiin U-auraa, koska kyseisessä tuotteessa on paljon hitsattavaa ja hitsausprosessiin kuluu paljon aikaa. Hitsauksessa kuluu turhaa aikaa tuotteen kääntelyyn ja hitsistä toiseen siirtymiseen. Hitsauksen automatisoinnin avulla pyritään parantamaan kaariaikasuhdetta huomattavasti.</p> <p>Työ aloitettiin tutkimalla U-auran osia, joita robotilla tulitaisiin hitsaamaan ja jotka valittiin tarkempaan tarkasteluun. Robottisolun kannattavuuden laskeminen perustui mitattuihin hitsausmetreihin ja -aikoihin, joita vertailtiin robottihitsauksen arvoihin. Robottisoluun valittiin laitteet yhteistyössä robottitoimittajan kanssa.</p> <p>Tavoitteet saavutettiin toteuttamalla kustannuslaskelmat robottisolulle sekä valitsemalla siihen sopivat laitteet. Robottitoimittajalta saatiin myös tarjous robottisolusta. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa mikäli yritys aikoo hankkia ja toteuttaa robottisolun.</p>			
Avainsanat Robottisolu, Robotti			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Teemu Kukkonen			
Title of Thesis Robot Cell Design			
Date	8 September 2020	Pages/Appendices	28 + 4
Supervisor(s) Arto Liuha, Aku Tuunainen			
Client Organisation /Partners Nurmeksen Metalli Oy			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of this thesis was to design a robot cell for Nurmeksen Metalli Oy. The goal of the robot cell was to speed up the welding process and improve productivity. In the study it was focused on cost calculations and equipment selection. The U-plow was used as the main product because that product requires a lot of welding. The welding process takes a lot of time because the product has to be turned many times and moving from one weld to another is time-consuming as well. The aim of automating welding is to significantly improve the arc time ratio.</p> <p>The work was started by examining the parts of the U-plow that would be welded by the robot and selected for closer inspection. The calculation of the robot cell profitability was based on the measured welding meters and times, which were compared with the values of robot welding. The equipment was selected for the robot cell in cooperation with the robot supplier.</p> <p>The goals were achieved by implementing cost calculations for the robot cell and selecting suitable equipment for it. An offer for a robot cell was also received from the robot supplier. The thesis can be utilized in the future if the company intends to acquire and implement a robot cell.</p>			
Keywords Robot cell, Robot			

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Nurmeksen Metalli Oy .....	6
1.2	Savonia-ammattikorkeakoulu .....	7
2	TEORIA .....	7
2.1	Robotiikka nykypäivänä .....	7
2.2	Kaarihitsaus robotilla .....	8
2.3	Robottisolun ohjelmointi .....	8
2.4	Robottisolun hankinta .....	9
2.5	Robottisolun käyttö- ja ohjelmointikoulutus .....	9
2.6	Robottimallit .....	10
2.7	Tarraimet .....	11
2.8	Turvallisuus .....	12
2.8.1	Yleinen turvallisuus .....	12
2.8.2	Turvalaitteiden vikaantumistilanteet .....	12
2.8.3	Sallintalaite ohjaukselle .....	13
2.8.4	Hätäpysäyttimet/kytkimet .....	13
2.9	Kustannukset ja kannattavuus .....	13
3	ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU .....	14
3.1	Lähtötilanne .....	14
3.2	Kaariajat ja kaariaikasuhteet .....	14
3.3	Kustannuslaskelmat .....	16
3.3.1	Työkustannukset .....	16
3.4	Lisäainekustannukset .....	17
3.5	Muut kustannukset .....	18
3.6	Kannattavuuslaskelmat .....	18
3.6.1	Tuotto .....	18
3.6.2	Robottisolun kustannukset .....	19
3.6.3	Takaisinmaksuarvio .....	20
3.7	Laitteisto .....	21
3.7.1	Hitsausrobotti ja ohjauslaite .....	21
3.7.2	Käsittelylaite .....	22

3.7.3 Hitsausvarustus.....	23
3.7.4 Lisävarusteet .....	24
4 ROBOTIN KÄYTTÖ.....	25
5 YHTEENVETO.....	25
LÄHTEET .....	27

## LIITTEET

LIITE 1. Robotin ja paikoituslaitteiden rakennemitat.

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä perehdytään robottisolun suunnitteluun. Tarkoituksena oli lyhentää tuotteiden hitsausaikaa vaihtamalla käsinhitsaus robottihitsaukseen. Työ tehtiin Nurmeksen Metallille. Aluksi perehdyttiin tuotteisiin, joiden hitsausaikaa pyritään lyhentämään ja pohdittiin niiden soveltuvuutta robottihitsaukseen. Mietittiin minkälainen robotti ja kääntöpöytä sopisi tuotteille parhaiten. Robottisolun hankintaan tehtiin kustannuslaskelmia ja vertailtiin hitsausaikoja.

Päätuotteena toimi U-aura, jonka hitsattavuutta robotilla ensin tutkittiin. Robotilla täytyi pystyä hitsaamaan muitakin tuotteita, joten se oli huomioitava suunnittelussa.

Robottihitsaus on yleistymässä nykypäivänä, vaikka Suomessa sitä ei ole vielä yhtä paljon kuin maailmalla. Robotin ja kääntöpöydän yhdistelmällä pystytään hitsaamaan nopeasti tuotteita, jotka vaativat paljon hitsaamista. Kääntyvän pöydän ansiosta kappaleen pyörittelyyn ei mene läheskään yhtä paljon aikaa kuin käsin.

## 1.1 Nurmeksen Metallin Oy

Nurmeksen Metallin Oy on vuonna 1982 perustettu nykyaikainen kevyen konepajateollisuuden tuotteita valmistava yritys. Yritys perustettiin vuonna 1982 Nurmeksen Pitkänmäen teollisuusalueelle. Vuonna 1998 valmistui uusi halli vajaan kilometrin päähän. Kyseiseen halliin tehtiin vuosina 2008-2009 laajennusosa, jonka yhteydessä konekanta uudistettiin. Yritys työllistää toistakymmentä henkilöä. (Nurmeksen Metallin 2020.)

Palveluihin kuuluu mm. hitsaus, laserleikkaus, sahaus, taivutus, särmäys, poraus ja pulverimaalaus. Tuotteita voidaan suunnitella yhdessä asiakkaan kanssa tai jos asiakkaalla on jo valmiit suunnitelmat, voidaan ne toteuttaa. Yrityksen erityisosaamista on metallituotteiden sarjavalmistus ja levytyöt. He valmistavat monenlaisia tuotteita sekä yrityksille että yksityishenkilöille. Tuotteisiin kuuluvat mm. erilaiset aurat ja polttoainesäiliöt. (Nurmeksen Metallin 2020.)

Nurmeksen Metallilla on myös oma pulverimaalaamo, jossa tuotteita maalataan.

## 1.2 Savonia-ammattikorkeakoulu

Savonia-ammattikorkeakoulu kuuluu suomen suurimpiin ja monipuolisimpiin ammattikorkeakouluihin. Opiskelijoita Savonialla on noin 6000 kuudella eri koulutusalueella. Toimipisteitä on Kuopiossa, Varkaudessa ja Iisalmissa.

Savonia-ammattikorkeakoululla on käytössä nykyaikaiset tutkimus- ja harjoittelutilat, joiden avulla saa tuntumaa työelämään jo kouluaikoina. Koulu on myös vahvasti yhteyksissä alueellisiin yrityksiin. Yritysten kautta tulee paljon harjoittelupaikkoja sekä opinnäytetöiden aiheita. Opiskeluaikoina pyritään myös vierailemaan yrityksissä ja yritysvierailuiden avulla saadaan näkökulmaa siihen millaista työskentely voi olla valmistumisen jälkeen.

## 2 TEORIA

### 2.1 Robottiikka nykypäivänä

Robottiikka on nykypäivänä yleistymässä ja kehittyä kovaa vauhtia. Robotit ja niiden käyttöliittymät muuttuvat käyttäjäystävällisimmäksi koko ajan. Yritykset panostavat robotteihin entistä enemmän. Tutkimuksien mukaan 95% robotiikkaa hyödyntävistä yrityksistä kertoo sen parantaneen tuottavuutta. Nykyään vain 5% robotiikkaa käyttöönottavista organisaatioista tavoittelevat laskemaan sen avulla kustannuksia. Edellisenä vuonna vastaava luku oli 20%. (Deloitte 2018.)

Suomessa robotiikkainvestoinnit ovat olleet vähäisempiä kuin maailmalla, mutta kasvua on odotettavissa. Tulevaisuudessa robottien odotetaan korvaavan jopa 20% nykyisestä työvoimasta. Deloitteen tutkimuksen mukaan robotiikkainvestoinnit maksavat itsensä nopeasti takaisin. Takaisinmaksuaika yrityksillä on jopa alle yksi vuosi. (Deloitte 2018.)

Työntekijät pystyvät keskittymään entistä paremmin lisäarvoa tuottaviin tehtäviin, mikäli työtehtävissä on mukana robotiikkaa. Myös työntekijöiden tyytyväisyys lisääntyy, kun manuaalinen työnteko vähenee. Näin ollen myös vastustus robotiikkaa kohtaan vähenee. Tosiasia kuitenkin on, että jotkin työtehtävät vähenevät robotiikan lisääntyessä, mutta robotin käyttäjiksi myös koulutetaan enemmän ihmisiä. (Deloitte 2018.)

Suomessa suurin osa hitsausroboteista on vanhoja ja niiden käyttö on melko vähäistä. Vanhat robotit eivät kykene parantamaan tuottavuutta läheskään yhtä hyvin uusiin verrattuna. Lisäksi suomessa turvaututaan liian usein käsinhitsaukseen robottihitsauksen sijaan. Käsinhitsauksessa tuotteiden läpimenoajat ovat pitkiä, koska prosessissa hitsaukseen ja muihin toimintoihin kuluu paljon aikaa. Robottihitsauksella pystytään vähentämään turhaa työtä hitsausprosessissa, joka nostaa kaariaikasuhdetta ja lyhentää tuotteiden läpimenoaikoja. Robottihitsaus yhdistettynä oikeisiin laitteisiin ja apuvälineisiin lyhentää huomattavasti turhaan työhön menevää aikaa ja minimoi jälkityötä. (Lukkari 2011.)

## 2.2 Kaarihitsaus robotilla

Kaarihitsauksessa tuotteet ovat usein suuria ja vaativat robotilta suuria ulottuvuuksia. Tämä hankaloittaa prosessin robotisointia, koska tuotteiden mitoissa voi esiintyä heittoja. Tähän ongelmaan on kuitenkin kehitetty ratkaisuja, esimerkiksi railonseuranta- ja hakutoimintoja. Kyseiset toimenpiteet ovat myös osoittautuneet hyvin toimiviksi. Robotisoinnilla saavutetaan tasainen laatu, eikä tuotteen korjauksiin mene ylimääräistä aikaa. Ohjelmointi aikaa lyhentää useiden samojen toimenpiteiden toistuvuus. Railonhaku- ja seuranta suoritetaan aina samalla tavalla. (Kuivanen 1999, 120.)

Kaarihitsaus soveltuu hyvin robotisoitavaksi, koska käsinhitsaus on monesti raskasta ja terveydelle haitallista. Hitsauskaasut eivät tee hyvää keuhkoille ja huonosta hitsausasennosta kärsii koko kroppa. Hitsauksessa syntyy paljon epäpuhtauksia hengitysilmaan. Mitä suuremmalla virralla hitsataan, sitä enemmän hitsauskaasuja vapautuu ilmaan ja sitä kautta kulkeutuu keuhkoihin. Robotilla hitsatessa hitsaajan ei tarvitse työskennellä hitsauskaasujen välittömässä läheisyydessä, vaan kaasut voidaan kuljettaa esimerkiksi imurin avulla pois hengitysilma-asta. Raskaita kappaleita pyöritellessä voi ruuminosia jäädä johonkin väliin tai selkä vaurioitua nostamisessa. Hitsausrobotilla hitsatessa kääntöpöydän ansiosta tuotteita ei tarvitse käänellä käsin. Robottihitsauksella voidaan siis vähentää työtapaturmia ja parantaa työntekijöiden työhyvinvointia- sekä viihtyvyyttä. (Deloitte 2018.) (Lukkari 2011.)

Hitsausrobotti ei pidä taukoja, vaan työskentelee aina tehokkaasti. Robotti ei kiertele hitsattavaa kappaletta hitsien välillä, vaan menee suoraan seuraavaan hitsiin ja aloittaa hitsauksen. Robotti ei myöskään pidä sairauslomaa tai työskentele puolella teholla. Robottihitsauksella voidaan hitsata nopeasti ja paljon. Yksi hitsausrobotti vastaa jopa yli kolmea hitsaria, koska sen paloaikasuhde ja hitsiaineentuotto voivat olla yli kolminkertaiset käsinhitsaukseen verrattuna. Se voi tarvittaessa myös työskennellä miehittämättömänä hitsauksen ajan. Robotilla on kuitenkin syytä olla yksi työntekijä, joka ohjelmoi ja käyttää robottia. Robotin hitsatessa tämä työntekijä voi kuitenkin tehdä muita töitä, esimerkiksi silloittaa aihioita tai viimeistellä hitsattuja tuotteita. (Lukkari 2011.)

## 2.3 Robottisolun ohjelmointi

Yleisimpiä ohjelmointimuotoja robottihitsauksessa on etäohjelmointi ja opettava ohjelmointi. Molemmilla tavoilla on omat puolensa. Yleisesti etäohjelmointi on kuitenkin kannattavampaa. (Lukkari 2011.)

Etäohjelmoinnissa hyödynnetään tuotantomallin muototietoja. Etäohjelmointiohjelmisto perustuu graafiseen simulointiin ja tuo mukanaan myös ulottuvuus- ja törmäystarkastelu ominaisuudet, joiden avulla kappaletta on helppo pyöritellä tietokoneen ruudulla ennen oikean kappaleen tuotantoon ottoa. Kiinnitinsuunnittelu helpottuu myös etäohjelmointiohjelmiston myötä. Etäohjelmointi vaatii ohjelman käytön opettelua. Ohjelmat kuitenkin muuttuvat jatkuvasti käyttäjäystävällisemmiksi. (Kuivanen 1999, 120.)



Opettamalla ohjelmointi tarkoittaa robotin ohjelmoimista siten, että robotin käsivartta kuljetetaan halutusta pisteestä toiseen. Pisteet tallennetaan muistiin ja robotti kulkee niiden kautta. Tässä tapauksessa ohjelmointiin ei tarvita yhtä paljoa kokemusta eikä opettelua, kuin etäohjelmoinnissa. Opettamalla ohjelmointi on kuitenkin hieman hitaampaa etäohjelmointiin verrattuna, mutta ei tarvitse erillistä tietokonetta eikä ohjelmointi sovelluksia. (Kuivanen 1999, 120.)

## 2.4 Robottisolun hankinta

Robottisolun hankinta jakautuu karkeasti neljään osa-alueeseen: Esisuunnitteluvaihe, hankintavaihe, asennusvaihe ja käyttöönottovaihe. (Kuivanen 1999, 93.)

Esisuunnitteluvaiheessa perehdytään mitä vaatimuksia laitteistolle asetetaan ja mitä laitteistolla pyritään tekemään ja saavuttamaan. Mietitään hankinnan kannattavuutta ja miten hankinnalla voidaan tehdä tuottoa. Määritetään vastuu-alueet toimittajan ja käyttäjän välillä halutulla tavalla. (Kuivanen 1999, 93,101.)

Hankintavaiheessa suunnitellaan järjestelmän yksityiskohdat ja toiminnot. Päätetään minkälainen järjestelmä hankitaan ja mitä lisävarusteita siihen halutaan. Tehdään tarvittavat luonnokset ja piirustukset toteutettavasta robottisolusta. Tuotannon simuloinnin avulla voidaan kokeilla robottisolun toimivuutta käytännössä, ennen kuin se hankitaan. Hankintavaiheen lopussa tehdään ostopäätös. (Kuivanen 1999, 93, 102.)

Asennusvaiheessa asennetaan laitteet niille suunniteltuun paikkaan. Seuraavaksi kytketään sähköt ja ohjelmoidaan robotti. Mikäli käytetään etäohjelmointia, voidaan robottiohjelmia ruveta tekemään jo asennusvaiheessa, vaikka robottia ei vielä olisi asennettu paikoilleen. Tämä edellyttää robottisolun asentamista tiedossa olevien toleranssien rajoissa, ettei ohjelmiin tule liikaa heittoja. Robottisolun asennuksen jälkeen tehdään kalibrointi ja poikkeamien kompensointi. (Kuivanen 1999, 93, 102.)

Käyttöönottovaiheessa pyritään hyödyntämään hankittua laitteistoa ja tuottamaan tulosta. Tässä vaiheessa kaikki on valmista ja robottisolua voidaan alkaa hyödyntää. Robottia pyritään käyttämään suunnitellun mukaisesti ja jos kaikki menee niin kuin on suunniteltu, uusi investointi on ollut kannattava. (Kuivanen 1999, 93.)

## 2.5 Robottisolun käyttö- ja ohjelmointikoulutus

Koulutus on tärkeänä osana robottisolun hankintaa. Ilman pätevää koulutusta robottia on vaikea käyttää ja virheellisen käytön seurauksena voi tulla laiterikkoja. Tärkeimpinä osa-alueina koulutuksessa ovat oikea ohjelmointitekniikka ja käyttöliittymän sujuva käyttö. Koulutuksen tehtävänä on valmentaa robotin käyttäjien taidot vaaditulle tasolle, että järjestelmän käyttö olisi kannattavaa. (Kuivanen 1999, 107.)

Robotin käyttäjät voidaan jakaa eri rooleihin, jotka perustuvat käyttäjän tehtäviin liittyen robotin toimintaan. Peruskäyttäjät huolehtivat robotin normaalista toiminnasta eli tuotantoajosta. Ohjelmoijat tekevät robotille tarvittavat ohjelmat ja tarvittaessa niiden muutokset. Huollosta vastaavat henkilöt hoitavat päivittäiset huollot ja tarvittavat työkalujen vaihto toimenpiteet. Asiantuntijat tuntevat ohjausjärjestelmän ja tekevät tarvittaessa järjestelmän optimoinnin muutoksien takia. Jokaisella roolilla on peruskoulutuksen lisäksi tehtävänmukainen koulutus. (Kuivanen 1999, 107.)

Onnistunut koulutus koostuu ennakoivasta valmistautumisesta, koulutuspäivistä ja työn ohessa tapahtuvasta oppimisesta. Ennakoivasta valmistautumisella tarkoitetaan omatoimisesti tutustumista aiheeseen lukemalla peruskäyttöohjeet. Koulutuspäivillä käydään läpi robotin toimintaa ja sen ohjausjärjestelmää. Seuraavaksi on vuorossa järjestelmäkoulutus, jossa tutustutaan yritykselle hankittuun laitteistoon. Lopullinen käyttörutiini saavutetaan käytön ohessa tulevien tilanteiden kautta. (Kuivanen 1999, 108-109.)

## 2.6 Robottimallit

Robottimalleja on useita erilaisia ja niin myös käyttötarkoituksia. Robotit on suunniteltu liikuttamaan työkaluja, kappaleita, osia tai erikoislaitteita. Niiden liikkeet ohjelmoidaan erilaisten tehtävien suorittamiseksi. Robottien koot vaihtelevat muutaman sentin kokoisista usean metrin pituisiin laitteisiin. Ne voivat liikkua esim. vapaasti alustalla, kiskoilla tai pelkkien nivelten avulla paikalleen pultattuina. Näitä ominaisuuksia yhdistelemällä saadaan tehtyä suurilla ulottuvuuksilla varustettuja robotteja. (Kuivanen 1999, 13.)

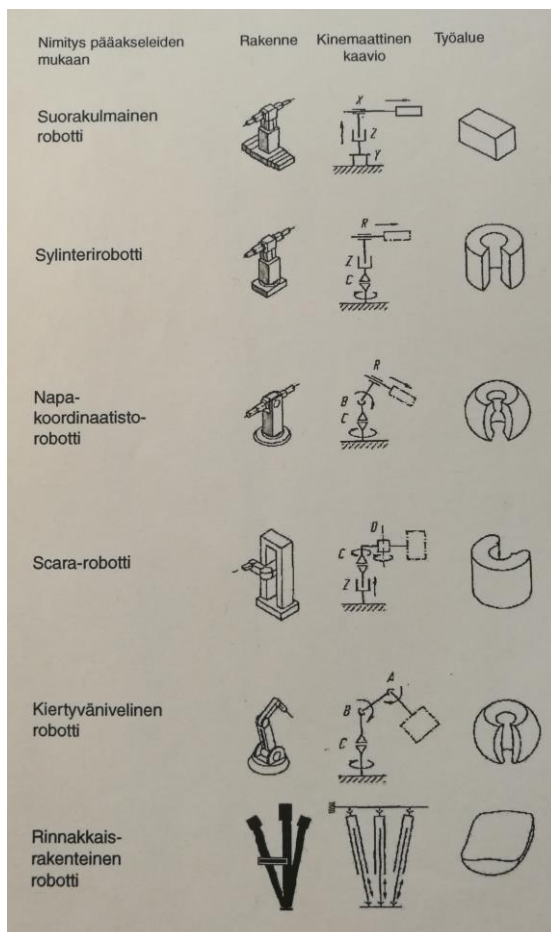
Robottimallit:

- Suorakulmainen robotti
  - Kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia, yhtyvät suorakulmaisen koordinaatiston suuntiin.
- Sylinterirobotti
  - Nimitys tulee käsivarren nivelten muodostamasta sylinterikoordinaatistosta. Ainakin yksi kiertyvä nivel.
- Napakoordinaatorobotti
  - Yksi lineaarinen nivel ja kaksi kiertyvää niveltä. Nivelet muodostavat napakoordinaatiston.
- Scara-robotti
  - (Selective Compliance Assembly Robot Arm) Tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobottikäsivarsi kolmella kiertyvällä nivelellä. Neljäs lineaarinen pystyliike on työtason suuntainen.

- Kiertyvänivelinen robotti
  - Kaikki vapausasteet kiertyviä. Tukivarret kytketty peräkkäin. Tavallisimmat teollisuusrobotit ovat kiertyvänivelisiä.
- Rinnakkaisrakenteinen robotti
  - Toimilaitteet kytketty rinnakkain vaikuttamaan samanaikaisesti tukirakenteen paikkaan ja sen asentoon. Näin saavutetaan suuret voimat ja jäykkydet.

(Kuivanen 1999, 12,184.)

Alla olevasta kuvasta selviää yleisimpien robottien rakenne, työalue ja kinemaattinen kaavio.



Kuva 1. Yleisimpien robottimallien rakenteita. (Kuivanen 1999, 12.)

## 2.7 Tarraimet

Tarraimella tarkoitetaan työkalua, jota robotti siirtää pisteestä toiseen. Tarrain on robotin yleisin työkalu ja niitä on useita erilaisia esim. magneettisia, alipaineella toimivia, avautuvia, sulkeutuvia, monitarraimia, keskittäviä, kappalekohtaisia, joustavia ja älykkäillä antureilla varustettuja tarraimia. Tarraimet valitaan käyttökohteen ja sen vaatimuksien mukaan. Tarraimen suunnittelu on tärkeä osa robottisolun suunnittelussa, jossa täytyy miettiä kokonaisuutta. (Kuivanen 1999, 60.)

Työkalu voi olla myös hitsauspistooli, maalausruisku, tai käytännössä mikä tahansa työhön kuuluva apuväline. Työkaluja voidaan vaihdella kesken ohjelman jos työkappaleelle tarvitaan tehdä erilaisia toimenpiteitä. Hitsauspistoolin ja maaliruiskun käytössä on otettava huomioon sähköjohtojen sijoittelu. Johdot eivät saa päästä puristumaan tai kiristymään. Sähköjohtojen vahingoittuminen voi aiheuttaa vaaratilanteita. (Kuivanen 1999, 60.)

## 2.8 Turvallisuus

Turvallisuustekijät ovat olennainen osa robottisolun suunnittelua. Laitteiden on oltava turvallisia käyttää, ettei tule turhia työtaturmia.

### 2.8.1 Yleinen turvallisuus

Robottisolua suunnitellessa turvallisuus on tärkeässä osassa. Solu pyritään suunnittelemaan niin, ettei sen vaara-alueella ole työskentelyä tai jos on, vähennetään vaaroja turvalaitteiden avulla. Turvalaitteen toiminta voi pohjautua esim. henkilön läsnäolon tunnistaviin antureihin tai painon tunnistaviin antureihin. Kulkuaukkojen valvontaan soveltuvia turvalaitteita ovat portit, tunnistimet, anturit, turvamatot, valoverhot, liiketunnistimet yms. (Kuivanen 1999, 168.)

Mikäli työntekijän täytyy päästä robotin alueelle usein, ovat turvamatot ja valoverhot sopivia turvaratkaisuja. Kannattaa suosia tiheäsäteistä valoverhoa, koska se estää yksi tai kaksi säteistä valoverhoa paremmin ruuminosien pääsyn turva-alueen sisäpuolelle. Antureiden suuntaus on tarkistettava tasaisin väliajoin. Turvamaton täytyy olla sellaisella paikalla, ettei sitä pääse ohittamaan tai ylittämään. Siinä ei saa myöskään olla katvealueita. Jos työntekijän täytyy työskennellä robotin vieressä, käytetään alennettua nopeutta. Nopeus valitaan tilanteen mukaan, mutta se ei saa olla yli 250mm/s. (Kuivanen 1999, 169-171.)

Uusimpina turvalaitteina löytyy esimerkiksi turvalaserskannereita. Osa laitteista sisältävät kameran, jonka avulla saadaan tutkittua pysähtymiskomennon aiheuttajia. Tutkimalla laitteen antamia tietoja voidaan jatkossa kehittää turvallisuutta parempaan suuntaan. Turvalaserskannereilla voidaan rajata turva-aluetta ja varoitusaluetta halutun kokoiseksi laitteen näytöltä tai tietokoneelta. Laitteet ovat pienikokoisia, eivätkä vie turhaa tilaa. Laitteita voidaan kytkeä myös sarjaan, jolloin saadaan tarvittaessa laajempi turva-alue. ( Movetec Oy 2020.)

### 2.8.2 Turvalaitteiden vikaantumistilanteet

Turvalaitteiden vikaantumistilanteesta tulee antaa hälytys tai pysäyttää laitteen vaarallinen toiminta. Vaarallisissa kohteissa vikaantumiset eivät saa aiheuttaa vaaraa. Vähemmän vaarallisissa kohteissa riittää turvalaitteiden kunnon toteaminen esim. käynnistyksen yhteydessä. Monesti vaarallisissa kohteissa käytetään turvajärjestelmän kahdentamista ja kahdennuksen valvontaa. Kulkuaukot ja kuittauspainikkeet on sijoitettava sellaisille paikoille, joista on hyvä näkyvyys vaara-alueelle. (Kuivanen 1999, 170.)

### 2.8.3 Sallintalaite ohjaukselle

Mikäli robotin alueella on syytä liikkua, voidaan käyttää ohjauksen sallintalaitetta. Vaarallisella alueella liikkuva ihminen pitää kädessään ohjauslaitetta, jossa on sallintapainike. Henkilön täytyy olla valtuutettu ja koulutettu tehtäviin. Kun turva-rajojen sisäpuolella joudutaan liikkumaan, on syytä käyttää alennettua nopeutta aina kun se on mahdollista. Painikkeen vapauttamalla tai pohjaan painamalla robotti pysähtyy. (Kuivanen 1999, 170.)

### 2.8.4 Hätäpysäyttimet/kytkimet

Hätäpysäyttimen täytyy katkaista laitteen virta välittömästi tai heti pysähtymisen jälkeen. Kytkimen vapauttaminen ei saa käynnistää mitään osaa laitteessa ja kuittaus tulee tehdä vaara-alueen ulkopuolelta. Koneen ohjauspaikalla on myös oltava hätäkytkin. (Kuivanen 1999, 171.)

## 2.9 Kustannukset ja kannattavuus

Investointiin liittyy monia kustannuksia. Kustannukset tarkoittavat yrityksen voimavarojen käyttöä tai niiden menetystä. Kustannuksia aiheutuu, vaikka niistä ei olisi aina tietoakaan. Lisäksi osa kustannuksista on turhia, ja näitä yritysten pitäisi pyrkiä vähentämään. Kustannuslaskennassa pyritään selvittämään mikä on käyttötarkoitukseen sijoitettujen voimavarojen raha-arvo. (Pellinen 2019, 16.)

Investointia tehdessä on tärkeää pohtia sen kannattavuutta. Mikäli hankinnasta koituu enemmän kuluja kuin tuottoa, se ei ole kannattavaa. Tätä selvitettyä käytetään kustannuslaskelmia, joiden avulla voidaan selvittää esimerkiksi kauaskantoisten hankintojen kannattavuutta. Investoinnit ovat menoja, joissa kulut ovat suuria ja odotusaika on pitkä. Investoinnin kannattavuutta voidaan arvioida kaavalla:

$$\text{Erilliskate} = \text{Investoinnin erillistuotto} - \text{erilliskustannukset} + (\text{mahdollinen jäännösarvo})$$

(Pellinen 2019, 173.)

Investoinnin erillistuotto kertoo tuloista, joita yritykselle koituu investoinnista. Ilman kyseistä investointia nämä tuotot jäisivät saamatta. Erilliskustannuksilla taas tarkoitetaan investoinnista koituvia menoja. Joillain tuotteilla on käyttöajan päätyttyä myyntiarvoa ja sitä kutsutaan jäännösarvoksi. Esimerkiksi investoidaan koneeseen, joka on käytössä 3 vuotta ja tämän jälkeen se myydään pois. Koneen myynnistä saatu tuotto on jäännösarvo. (Pellinen 2019, 173.)

## 3 ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU

### 3.1 Lähtötilanne

Tällä hetkellä hitsaus suoritetaan alusta loppuun manuaalisesti. Ensin tuotteet silloitetaan käyttämällä hitsauskiinnittimiä, joilla nopeutetaan tuotteiden kokoonpanohitsausta ja saadaan osat samoille paikoille nopeasti ilman turhaa mittailua ja sovittelua. Tämä työvaihe tullaan jatkossakin tekemään manuaalisesti, koska kappaleiden asettelu on järkevämpää suorittaa käsin, kuin yrittää ohjelmoida robottia tekemään sitä. Kokoonpano käsin on hyödyllisempää kuin robotilla.

Varsinainen hitsaus tapahtuu nyky menetelmillä myös käsin. Tuotteet sisältävät paljon hitsejä ja niiden hitsaaminen vie paljon aikaa. Käsin hitsatessa hitsisaumasta toiseen siirtyessä menee paljon turhaa aikaa, koska joudutaan liikkumaan ja hitsaamaan eri asennoista. Robottihitsauksella pyritään lyhentämään turhaa liikkumiseen ja asentojen etsimiseen menevää aikaa.

### 3.2 Kaariajat ja kaariaikasuhteet

Kaariajalla tarkoitetaan hitsauksessa sitä aikaa, jolloin hitsiä muodostuu. Kaariaikasuhte taas on se prosentti osuus kokonaisajasta hitsausprosessissa, jolloin hitsiä muodostuu. Kaariaikasuhdetta parantamalla tuotteiden valmistus nopeutuu hitsausprosessin nopeuduttua. Robottihitsauksessa kaariaikasuhteet ovat huomattavasti käsinhitsausta parempia, koska robotti ei pidä taukoja ja se liikkuu nopeasti. Kääntöpöydän ansiosta työkatkoksia ei juurikaan tule, sillä tuotteita ei tarvitse käänellä erikseen kesken hitsauksen. Hitsaus on lähes jatkuvaa, koska kääntöpöytä ja robotti toimivat synkronoidusti. Kääntöpöydän ansiosta kappaleiden käsittely ei hidastu, vaikka kappaleet olisivat kookkaita ja painavia. Robotti kykenee hitsaamaan keskimäärin 300% käsinhitsausta nopeammin. (Elektrorakenne Oy 2020.)

Hitsausmetrit on mitattu tuotteista mittanauhalla. Kaariajat on saatu käyttämällä mitattuja hitsausmetrejä ja hitsausnopeuksia. Kokonaisajat saatu tilaajalta. Hitsausmetrien mittauksen yhteydessä tarkasteltiin tuotteiden hitsejä. Tuotteissa on vaikeammin hitsattavia kohtia, joihin ei välttämättä robotilla pääse hitsaamaan. Nämä hitsit hitsataan käsin silloitusvaiheessa ja niiden osuus arvioitiin olevan 10% kaikista hitseistä.

Tuotteiden kaariaikasuhteet saadaan kaavalla:  $\frac{\text{kaariaika}}{\text{kokonaisaika}}$

Kaariajoissa ei ole otettu huomioon silloitus/kokoonpano vaihetta, koska se joudutaan tekemään samalla tavalla, hitsataan sitten robotilla tai käsin.

Yhden U-auran käsinhitsaukseen menee noin 860 minuuttia eli 14h 20min. Kaariaikasuhte käsinhitsauksessa on 29%. Oletetaan, että robotilla päästäisiin 75% kaariaikasuhteeseen. Näin ollen robotilla hitsaus kestäisi 296min eli 4h 56min. Tähän lisätään käsin hitsauksen osuus 10%, jonka ajaksi tulee nykyisillä kaariaikasuhteilla 86min eli 1h 26min.

Kokonaisaika robottihitsaukselle ja käsinhitsauksen osuudelle (10%) saadaan laskemalla edellä mainitut ajat yhteen.

$$4\text{h } 56\text{min} + 1\text{h } 26\text{min} = 6\text{h } 22\text{min}$$

Tuloksena saadaan kokonaisajaksi U-auran hitsaukselle 6 tuntia 22 minuuttia. Alla olevassa taulukossa on eritelty jokaisen osan hitsaus- ja kaariajat käsinhitsauksessa sekä robottihitsauksen arviot samoista arvoista.

<b>Osa (käsin) 100%</b>	<b>Kokonaisaika (min)</b>	Kaariaika (min)	Kaariaikasuhde (%)	Käsin hitsaus 10% (min)
Keskiosa	<b>390</b>	95	24 %	39
Siipi	<b>90</b>	31	34 %	9
Teräpohja 91cm	<b>40</b>	13	33 %	4
Teräpohja 121cm	<b>45</b>	15	33 %	4,5
Kääntörunko	<b>120</b>	34	28 %	12
U-aura 1kpl	<b>860</b>	247	29 %	86
<b>Osa (robotilla) 90%</b>	Aika (min)	Kaariaika (min)	Kaariaikasuhde (%)	<b>Kokonaisaika robotti 90% + käsinhitsaus 10% (min)</b>
Keskiosa	114	85,5	75 %	<b>153</b>
Siipi	37,2	27,9	75 %	<b>46,2</b>
Teräpohja 91cm	15,6	11,7	75 %	<b>19,6</b>
Teräpohja 121cm	18	13,5	75 %	<b>22,5</b>
Kääntörunko	40,8	30,6	75 %	<b>52,8</b>
U-aura 1kpl	296,4	222,3	75 %	<b>382,4</b>

Taulukko 1. Kaariaikasuhdeet ja kokonaisajat hitsaukseen.

100kpl erän valmistamiseen menee käsinhitsauksessa noin 1433h. 8h työpäiviksi muutettuna tämä tekee 179 työpäivää. Robotilla hitsatessa 100kpl erään menee aikaa noin 633h. Tämä aika muutettuna 8h työpäiviksi on noin 79 työpäivää.

100kpl eränä tehdyissä U-auroissa säästetty aika robottihitsauksessa:

$$1433\text{h} - 633\text{h} = 800\text{h}$$

Tämä tekee 8 tunnin työpäivissä yhdellä hitsarilla 100 työpäivää.

### 3.3 Kustannuslaskelmat

Kustannuslaskelmissa selvitettiin robottihitsauksen ja käsinhitsauksen kustannukset ja vertailtiin niitä. Laskelmilla pyrittiin selvittämään robottihitsauksen tuomia hyötyjä kustannuksissa.

#### 3.3.1 Työkustannukset

Työkustannukset ovat suurin menoerä hitsauksen kustannuksissa, joihin voidaan vaikuttaa. Vertailemalla työkustannuksia käsinhitsauksen ja robottihitsauksen välillä saatiin laskettua hinta hitsausmetrille molemmilla prosesseilla.

Työkustannukset ( $K_t$ ) lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$K_t = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_t \text{ (e/m)}$$

M=hitsiainemäärä (kg/m)

T=hitsiaineentuohto (kg/h)

e=kaariaikasuhde (%)

$H_t$ =työtunnin hinta (e/h)

(Lukkari 2000.) (Lukkari 2008.)

Työkustannuksien laskemisessa on käytetty keskiarvoja U-auran hitsauksesta hitsiainemäärässä, hitsiaineentuotossa ja kaariaikasuhteessa. Yhdellä käsin hitsaavalla hitsarilla työkustannukset olisivat:

#### **Työkustannukset hitsausmetrille käsinhitsauksessa**

$$K_t = \frac{0,215}{5,2} \times \frac{1}{0,29} \times 25 = \mathbf{3,56 \text{ e/m}}$$
, joka tekee koko auralle yhteensä:

$$3,56 \text{ e} \times 97,2 \text{ m} = \mathbf{346 \text{ e}}$$

#### **Työkustannukset hitsausmetrille robottihitsauksessa**

Mikäli robottihitsauksessa kaariaikasuhde olisi 75% ja 1 henkilö olisi koko ajan robotilla, eikä tekisi muuta, työkustannukset olisivat:

$$K_t = \frac{0,215}{5,2} \times \frac{1}{0,75} \times 25 = \mathbf{1,38 \text{ e/m}}$$
, joka tekee koko auralle yhteensä:

$$1,38 \text{ e} \times 97,2 \text{ m} = \mathbf{134 \text{ e}}$$



## Työkustannukset hitsausmetrille robottihitsauksessa sisältäen käsinhitsauksen osuuden

Oletetaan, että robotilla pystytään hitsaamaan 90% hitseistä ja loput 10% hitsataan käsin silloitusvaiheessa. Tällä kaavalla laskien auran yhdelle hitsausmetrille tulee työkustannuksia:

$$0,9 \cdot 1,38 + 0,1 \cdot 3,56 = \mathbf{1,6 \text{ e/m.}}$$

Käsinhitsauksen työkustannukset koko auralle yhteensä:

(Työkustannukset e/m \* hitsausmetrit)

$$3,56 \text{ e} \times 97,2 \text{ m} = \mathbf{346 \text{ e}}$$

Kun työkustannukset ovat robottihitsauksessa 1,6 e/m tulee työkustannuksia yhdelle auralle:

(Työkustannukset e/m \* hitsausmetrit)

$$1,6 \times 97,2 = \mathbf{155,52 \text{ e}}$$

Yhden auran työkustannuksissa voidaan säästää robottihitsauksella:

(Työkustannukset käsin hitsatessa – työkustannukset robotilla hitsatessa)

$$346 - 155,5 = \mathbf{190,5 \text{ e.}}$$

Jos U-auroja valmistetaan 100kpl erä säästö työkustannuksissa on:

$$100 \times 190,5 = \mathbf{19\ 050 \text{ e.}}$$

### 3.4 Lisäainekustannukset

Lisäainekustannuksiin vaikuttaa hitsien a-mitat, joihin ei kuitenkaan robottihitsauksella juurikaan voida vaikuttaa, koska ne pysyvät samoina. Robottihitsaus tuo mukanaan kuitenkin tasaisen laadun, jonka ansiosta lisäainekustannukset pysyvät aina samoina ja hitsien a-mitat tasaisina.

Lisäainekustannukset ( $K_L$ ) saadaan kaavalla:

$$K_L = M \times \frac{H_L}{N} \text{ (e/m)}$$

(Lukkari 2000.)

M = Hitsiainemäärä (kg/m)

$H_L$  = Lisäaineen ostohinta (e/kg)

N = Hyötyluku (0,95)

$$K_L \text{ a4 pienahitsi} = 0,126 \times \frac{1,5}{0,95} = 0,20 \text{e/m}$$

$$K_L \text{ a5 pienahitsi} = 0,196 \times \frac{1,5}{0,95} = 0,31 \text{e/m}$$

$$K_L \text{ a8 pienahitsi} = 0,518 \times \frac{1,5}{0,95} = 0,82 \text{e/m}$$

Lisäaineen kulutus (kg)	a-mitta				
	Osa	a5 (kg)	a5 €	a8 (kg)	a8 (€)
Keskiosa	6	10,0	1,9	2,9	<b>13,0</b>
Siipi	2,1	3,3	0,6	1,0	<b>4,2</b>
Teräpohja 91cm	1,1	1,8			<b>1,8</b>
Teräpohja 121cm	1,3	2,1			<b>2,1</b>
Kääntörunko	2,3	3,6	0,7	1,1	<b>4,7</b>
1x U-aura	18	27,8	3,8	5,9	<b>33,8</b>

Taulukko 2. Lisäainekustannukset kullekin osalle ja koko auralle.

### 3.5 Muut kustannukset

Tuotteita valmistettaessa on työ- ja lisäainekustannusten lisäksi energia-, suojakaasu-, ja konekustannuksia, joiden vaikutus tuotteen kokonaiskustannuksiin on melko pieni. Pois lukien robotin hankinta kustannukset joita tarkastellaan myöhemmässä vaiheessa. Muiden kuin työ- ja lisäaine kustannusten osuus on alle 10% kokonaiskustannuksista, eikä niihin suuremmin voida vaikuttaa robottisolun kannattavuutta laskiessa. Suurin vaikutus tuotteiden hintaan tulee siis työstä ja robotilla tätä voidaan nopeuttaa huomattavasti. (Lukkari 2000.) (Lukkari 2008.)

### 3.6 Kannattavuuslaskelmat

#### 3.6.1 Tuotto

Tuotto perustuu aikaan joka säästetään robottihitsauksella. Säästetty aika ja raha perustuu tarvittavan työkapasiteetin vähenemiseen. Arvio säästetystä ajasta on saatu käsihitsauksen ja robottihitsauksen kaariaikojen erotuksella. Käsinhitsauksen kaariaikana käytetty laskettua keskiarvoa U-auran kaariaikasuhteesta. Robotilla hitsataan 90% hitseistä kaariaikasuhteella 75% ja 10% hitseistä hitsataan käsin silloituksen yhteydessä, jolloin saadaan yhteiseksi kaariaikasuhteeksi noin 70%.

Yhden 100kpl erän U-aurojen hitsaukseen menee yhdeltä hitsarilta noin 1433 tuntia. Robotilla sama tulos saadaan 633 tunnissa. Oletetaan, että vuotuinen tuntityökapasiteetti olisi noin 1500 tuntia, koska tuotannossa voi esiintyä välillä pysähdyksiä ja ongelmia. 1500 tuntia tarkoittaa lähes samaa, kuin 100 kpl erän hitsaaminen käsin. Käytetään vuotuisena tuntityökapasiteettina 1433 tuntia. 1500 tunnin kapasiteetista yli jäävä osuus voidaan käyttää esimerkiksi robotin ohjelmoimiseen uusille tuotteille.

Jakamalla käsinhitsaukseen menevä aika ja robottihitsaukseen menevä aika saadaan kerroin, kuinka paljon nopeampaa robottihitsaus on.

$$1433 / 633 = 2,26$$

Vuodessa voitaisiin siis hitsata robotilla 2,26-kertainen määrä tuotteita käsinhitsaukseen verrattuna.

Yhden 100kpl erän valmistamisessa säästetään robotilla:

$$1433h - 633h = 800h, \text{ joka tekee } 25e \text{ tuntityö hinnalla:}$$

$$25e * 800h = 20\,000e$$

Robotilla pystytään hitsaamaan tuotteita 2,26-kertainen määrä vuodessa, josta saadaan säästöinä työkustannuksissa vuositasolla:

$$2,26 * 20\,000e = 45\,200e$$

Mikäli robotti työskentelee miehittämättömänä hitsauksen ajan, voidaan työntekijä sijoittaa hetkeksi muihin tehtäviin. Robotin hitsauksen aikana robotin ohjaaja voi esimerkiksi viimeistellä hitsattuja tuotteita tai valmistella niitä hitsaukseen. Oletetaan, että robotilla työskentelevä työntekijä kykenee tekemään robotin hitsatessa 2h muita töitä päivässä, joka tekisi vuositasolla säästöä:

$$2 * 252 * 25e = 12\,600e$$

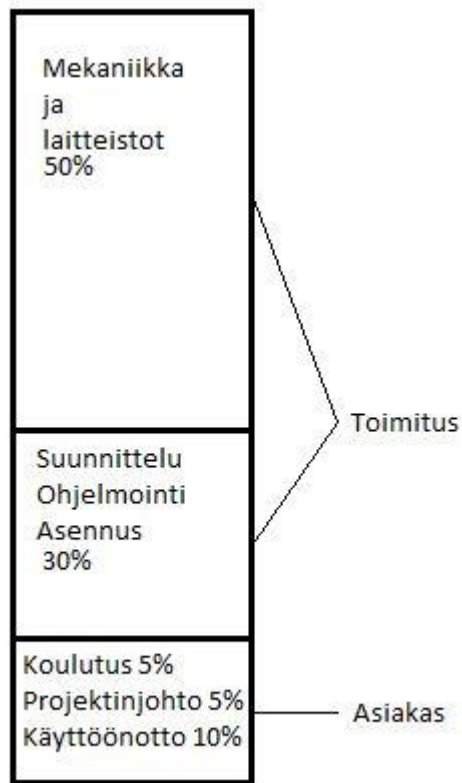
Yhteensä säästöä kertyisi vuodessa:

$$45\,200e + 12\,600e = 57\,800e$$

Kannattavuuden kannalta robottia kannattaisi hyödyntää mahdollisimman paljon. Mitä enemmän robotti on käytössä, sitä enemmän sillä pystytään valmistamaan tuotteita ja sitä mukaa tuottamaan tulosta. Tuotannon suorituskyky ja läpimenoaika paranevat huomattavasti robottihitsauksen myötä.

### 3.6.2 Robottisolun kustannukset

Robottisolun hankinnassa koituu monia eri kuluja. Näitä kuluja ovat itse robotti, robottiohjain ja lisävarusteet. Lisävarusteisiin kuuluu tässä tapauksessa hitsauslaite ja hitsauspöytä. Lisäksi investointiin on laskettava suunnittelu, ohjelmointi, koulutus, asennus ja käyttöönotto kulut. (Kuivanen 1999, 110.)



Kuva 2. Robottihankinnan kustannukset. (Kuivanen 1999, 110.)

### 3.6.3 Takaisinmaksuarvio

Takaisinmaksuarvio lasketaan kaavalla:

$$n = \frac{H}{s}$$

$n$  = takaisinmaksuaika investoinnille

$H$  = investoinnin hinta

$s$  = investoinnin nettotuotto

Investoinnin hinnat eivät ole julkisia.

Investoinnin nettotuotto on 57 800e vuodessa, kun tehdään töitä yhdessä vuorossa 8h työpäivinä.

Mikäli robotti olisi käytössä kahdessa vuorossa nettotuotto olisi:

$$57\,800 * 2 = 115\,600 \text{ euroa vuodessa.}$$

Robottisolun takaisinmaksuaika lyhenee suhteessa lisääntyneisiin käyttötunteihin.

### 3.7 Laitteisto

Keskustelimme Yaskawan edustajan kanssa puhelimitse ja sähköpostin välityksellä ja päädyimme valitsemaan robottisoluun valittavat laitteet heiltä. Yaskawalta löytyi kaikki tarvittava laitteisto ja heiltä saatiin tarjous robottisolusta.

#### 3.7.1 Hitsausrobotti ja ohjauslaite

Hitsausrobotin valinnassa oli huomioitava erityisesti robotin ulottuvuus. Hitsattavat kappaleet ovat suuria, eikä jokaista hitsiä voida hitsata ulottuvuuden ollessa liian pieni.

Hitsausrobotiksi valittiin 6 akselinen Yaskawa Motoman AR2010 -robotti. Robotilla on käsittelykykyä 12kg, joka riittää hyvin hitsaukseen. Maksimi ulottuma on 2010mm ja toistotarkkuus +/- 0,08mm. Robottia korotetaan jalustalla, jonka korkeus on 600mm. Alustan avulla päästään lähemmäs kappaletta, eikä robotin ulottuvuus kärsi. Robottitoimittajan puolesta tarkastettiin ulottuvuus valitulle tuotteelle. 3-d malleja tuotteista ei ollut, mutta internetistä oli löytynyt vastaava tuote, jonka avulla ulottuvuuden tarkastelu onnistui. (YASKAWA Finland Oy 2020.) (Riihimäki 2020.)



Kuva 3. Yaskawa Motoman AR2010.

Robotin ohjauslaitteeksi on valittu YRC1000 robottiohjain suomenkielisellä käyttöliittymällä. Ohjain on tarkka, nopea ja joustava kompaktissa koossa. Painoa ohjaimella on ilman optioita 70kg ja sen mitat ovat: L598mm x S427mm x K499mm. Ohjauslaite voidaan sijoittaa esimerkiksi hitsausvirtalähteen viereen. (YASKAWA Finland Oy 2020.) (Riihimäki 2020.)



Kuva 4. YRC1000 robottiohjain.

### 3.7.2 Käsittelylaite

Käsittelylaitteen vaatimuksina oli saada kiinnitettyä siihen mahdollisimman paljon erikokoisia kappaleita. Hitsattavien kappaleiden koot vaihtelevat suuresti ja hitsejä on monissa eri kohdissa.

Käsittelylaitteen valinnassa päädyimme grillityyppiseen ratkaisuun. Grillipöydän ansiosta kappaleita voidaan pyöritellä tarvittaviin hitsaus asentoihin ja jokaisen sauman kohdalle löytyy sopiva hitsaus asento. Grillipöydän ja erilaisten kiinnitinten ratkaisujen myötä robotilla kyetään hitsaamaan monipuolisesti erikokoisia ja muotoisia kappaleita.

Soluun valittiin Yaskawan 1-akseliset H-1000D pyörityslaite ja T-1000D vastalaippa. Käsittelylaite koostuu siis kahdesta laitteesta, jolloin vastalaippa voidaan asentaa halutulle etäisyydelle pyörityslaitteesta. (YASKAWA Finland Oy 2020.) (Riihimäki 2020.)



Kuva 5. H-1000D pyörityslaite

H-1000D pyörityslaitteen korkeus on 850mm ja maksimikuorma 1000kg. Laitteen maksiminopeus on 23rpm ja moottorilla on tehoa 3kW. (YASKAWA Finland Oy 2020.)

T-1000D vastalaipan maksimikuorma on myös 1000kg ja korkeus sama kuin pyörityslaitteella eli 850mm. Vastalaippa on ominaisuuksiltaan vastaava pyörityslaitteen kanssa, mutta ilman moottoria. (YASKAWA Finland Oy 2020.) (Riihimäki 2020.)



Kuva 6.T-1000D vastalaippa pyörityslaitteelle

### 3.7.3 Hitsausvarustus

Hitsausvirtalähteeksi soluun on valittu Fronius TPSi 500 CMT. Kyseinen hitsausvirtalähde on nykyaikainen ja soveltuu hyvin robottihitsaukseen.

Ominaisuuksia:

- Maksimi hitsausvirta 500 A, jatkuva 360 A
- Pulssihitsaustoiminto, synerginen säätö, PMC ja CMT- prosessit
- Vesijäähdytetty hitsauspoltin
- Digitaalinen kaasuvahti
- Ohjauspaneeli virtalähteessä
- Railonhaku
- Törmäyssuoja

(Fronius Oy 2020.) (Riihimäki 2020.)



Kuva 7. Fronius TPSi 500 CMT

### 3.7.4 Lisävarusteet

Robottitoimittajalta saatiin ehdotus kolmiakselisesta pyörityslaitteesta. Laitteen avulla voitaisiin parantaa tuottavuutta entisestään, koska toista puolta semasta voidaan panostaa samaan aikaan kun toista hitsataan. Robotin käyttäjä voi robotin hitsatessa purkaa valmiin hitsatun tuotteen laitteesta ja asettaa uuden paikoilleen odottamaan hitsausta. Kyseisen pyörityslaitteen avulla robotti kykenee hitsamaan ilman katkoksia. Pyörityslaitteen laippojen väli on 3000mm ja suurin pyörintähalkaisija 1200mm. Kantavuutta molemmilla asemilla on 500kg / asema. (YASKAWA Finland Oy 2020.) (Riihimäki 2020.)



Kuva 8. H2 – 500D3 pyörityslaite.



## 4 ROBOTIN KÄYTTÖ

Robottisolun hintaan sisältyy käyttöönottokoulutus, jonka avulla perehdytään robottisolun käyttöön ja ohjelmointiin. Koulutus sisältää 3 päivän syvällisemmän koulutuksen, jossa ohjelmointi käydään perusteellisesti läpi. Lisäksi käydään vielä asiakkaan luona 2 päivää tekemässä esimerkiksi omiin tuotteisiin hitsausratoja jne. Opettamalla ohjelmointi on yksinkertaisempaa kuin etäohjelmointi, eikä tarvitse paljoa koulutusta tai aikaisempaa kokemusta ohjelmoinnista. Opettamalla ohjelmointi vie oman aikansa robotin toiminnasta, mutta hitsattavien tuotteiden eräkoot ovat suuria, eikä robottia näin ollen tarvitse olla jatkuvasti ohjelmoimassa uudelleen. Robottisolun hintaan kuuluvan koulutuksen avulla päästään hyvin alkuun robotin ohjelmoinnissa, eikä näin ollen välttämättä tarvita lisäkoulutuksia. (YASKAWA Finland Oy 2020.) (Riihimäki 2020.)

Etäohjelmointi vaatii enemmän koulutusta ja opettelua, mutta mahdollistaa nopeamman ohjelmoinnin. Robottia ei myöskään tarvitse pysäyttää ohjelmoinnin ajaksi, koska ohjelmointi tehdään tietokoneella yhteensopivan ohjelmointisovelluksen kanssa. (YASKAWA Finland Oy 2020.) (Riihimäki 2020.)

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella robottisolu Nurmeksen Metalli Oy:n tarpeisiin. Robottisolun tarkoituksena oli nopeuttaa hitsausprosessia ja parantaa tuottavuutta. Opinnäytetyö painottui hitsauksen automatisoinnin tutkintaan ja robottisolun kustannuslaskelmiin. Päätuotteena toimi U-aura, jonka tietoja käytettiin hitsaukseen menevän ajan ja kustannusten arvoina käsinhitsauksessa. Näitä arvoja vertailtiin vastaaviin robottihitsauksen arvoihin.

Lopputuloksena saatiin hyvin tietoa tuotteiden hitsaus ajoista ja kannattavuudesta käsinhitsauksen ja robottihitsauksen välillä. Käsin hitsatessa kustannuksia tulee hitsausmetrille 3,56e/m ja robotilla hitsatessa 1,38e/m. Esimerkiksi yhden U-auran hitsuksessa voidaan säästää yli 200e pelkissä työkustannuksissa. Lisäksi robotilla työskentelevä työntekijä voidaan sijoittaa hitsauksen ajaksi muihin tehtäviin. Robottihitsauksen myötä tuotteiden viimeistelyyn kuluu myös vähemmän aikaa, koska työn jälki on aina sama. Robottisolun avulla voidaan nopeuttaa huomattavasti hitsausprosessia. Robotilla pystytään hitsaamaan noin 2,2 kertaa nopeammin kuin käsin. Käyttötarkoitukseen sopiva nykyaikainen hitsausrobottijärjestelmä löytyi robottitoimittaja Yaskawan edustajan kanssa tehdyllä yhteistyöllä.

Mielestäni opinnäytetyö onnistui hyvin, vaikka aihe olikin melko laaja. Aihetta rajattiin aloittaessa, ettei työ kasvaisi liian suureksi. 3D-mallit tuotteista olisivat helpottaneet työtä, koska tuotteille olisi voinut tehdä tarkasteluja jollakin asiaan kuuluvalla ohjelmistolla. 3D-mallien avulla olisi myös pystynyt tekemään suuntaa antavan ohjelman robotille, jonka avulla olisi saatu tarkemmat kaariaikasuhteet ja suoritettua törmäystarkastelut. Aikaisempaa kokemusta vastaavasta työstä ei juurikaan ollut, joten tiedonhakuun meni melko paljon aikaa. Tietoa kuitenkin löytyi monipuolisesti kirjoista ja internetistä.

Opinnäytetyöstä on hyötyä tulevaisuudessa, mikäli robottisolu päätetään hankkia yritykseen. Robottihitsauksesta koituvat säästöt perustuvat vähentyneeseen työvoiman tarpeeseen. Pyörityslaitteen valinnasta riippuen robotti kykenee myös hitsaamaan taukoamatta, koska pyörityslaitteen toista puolta voidaan panostaa samaan aikaan, kun toista hitsataan.

Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, mikäli yritys aikoo toteuttaa robottisolun hankinnan. Tällä hetkellä päätöstä robottisolun hankinnasta ei ole vielä tehty.

## LÄHTEET

Elektrorakenne Oy, 2020. Elektrorakenne Oy:n www-sivut. Saatavissa:

<https://robottihitsaus.fi/>

KAIHONIEMI Markus ja KÄRKKÄINEN Mika, 2018 Tutkimus: Robotiikka tehostaa prosesseja merkittävästi- käyttönotolla organisaatioissa yhä vahvempi tuki. Deloitte. [Viitattu 2020-01-31.]

Saatavissa: <https://www2.deloitte.com/fi/fi/pages/technology/articles/robotiikka-tehostaa-prosesseja.html>

KASKI, Kim ja RANTALA, Juho 2016. Robottisolun suunnittelu. Turun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Opinnäytetyö. Saatavissa:

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121897/Rantala\\_Juho\\_ja\\_%20Kaski%20Kim.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121897/Rantala_Juho_ja_%20Kaski%20Kim.pdf?sequence=1)

KUIVANEN, Risto 1999. Robotiikka. Tampere: Suomen Robotiikkayhdistys Ry

KÄRKKÄINEN, M. 2017 Tutkimus: Robotiikkainvestoinnit maksavat itsensä nopeasti takaisin – Suomella kiertävää investointirokkeitä. Deloitte. [Viitattu 2020-01-30] Saatavissa:

<https://www2.deloitte.com/fi/fi/pages/technology/articles/robotit-ovat-valmiina.html>

LUKKARI, Juha. 2008. Hitsausuutiset 1/2008. Helsinki: Oy Esab, saatavissa

<https://www.esab.fi/fi/fi/news/hitsausuutiset/upload/hu-1-08.pdf>

LUKKARI, Juha. 2011. Hitsausuutiset 3/2011. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. saatavissa

[http://shy.fi/portals/shy/iBooklet/2011/ht\\_3\\_11/files/assets/basic-html/page14.html](http://shy.fi/portals/shy/iBooklet/2011/ht_3_11/files/assets/basic-html/page14.html)

Movetec Oy, 2020. Movetec Oy:n www-sivut. Saatavissa:

<https://www.movetec.fi/fi/>

Nurmeksen Metalli Oy, 2020. Nurmeksen Metalli Oy:n www-sivut. Saatavissa:

<http://www.nurmeksenmetalli.fi/>

PELLINEN, Jukka 2019. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu 3., uudistettu painos. Helsinki: Alma Talent Oy

Pronius Oy, 2020. Pronius Oy:n www-sivut. Saatavissa:

<http://www.pronius.fi/>

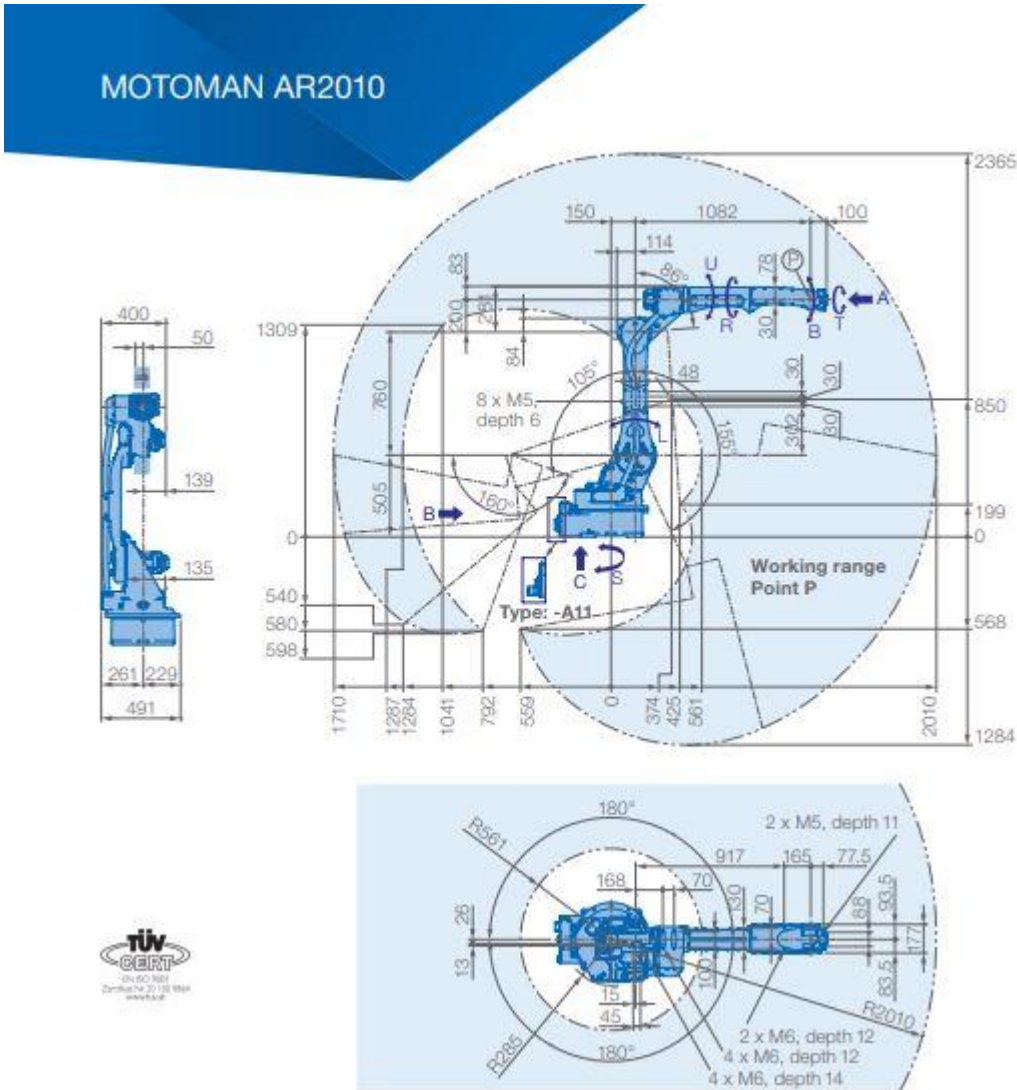
Riihimäki, Jaakko 2020: Tarjous Yaskawa hitsausrobottiasemasta. Yksityinen sähköpostiviesti  
23.4.2020. Viestin saaja: Teemu Kukkonen

YASKAWA Finland Oy, 2020. YASKAWA Finland Oy:n www-sivut. Saatavissa:

<https://www.yaskawa.fi/fi/>

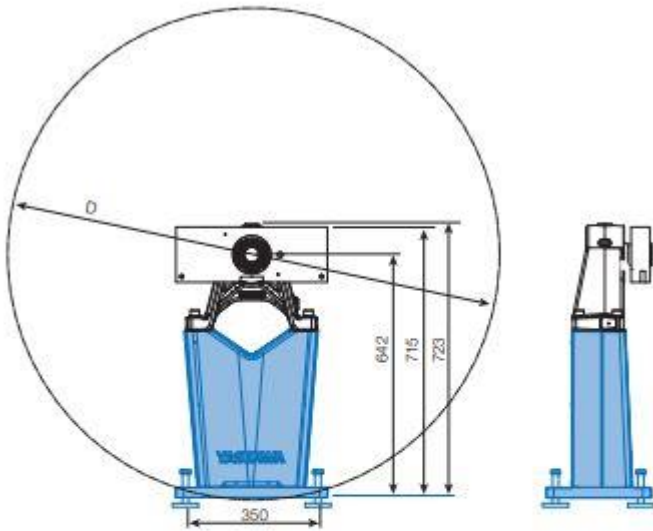
# LIITTEET

LIITE1. Robotin ja paikoituslaitteiden rakennemitat.



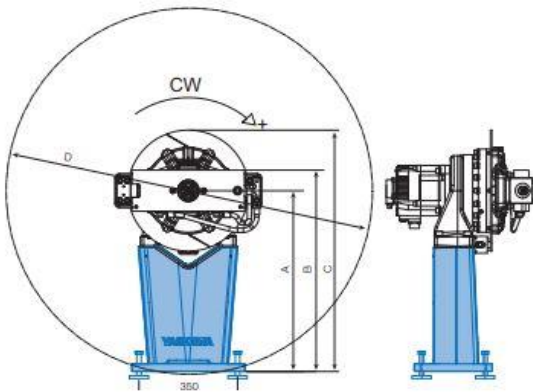
Robotin toiminnalliset mitat

[https://www.yaskawa.fi/Global%20Assets/Downloads/Brochures Catalogues/Robotics/MOTOMAN Robots/AR-Series/Flyer Robot AR2010 E 12.2019.pdf](https://www.yaskawa.fi/Global%20Assets/Downloads/Brochures%20Catalogues/Robotics/MOTOMAN%20Robots/AR-Series/Flyer%20Robot%20AR2010%20E%2012.2019.pdf)



Type	Part No.	D	A	B	C
<b>T-1000</b>	141506-100	1300	642	715	723
	141506-101	1700	842	915	923
	141507-100	1300	642	715	723
	141507-101	1700	842	915	923

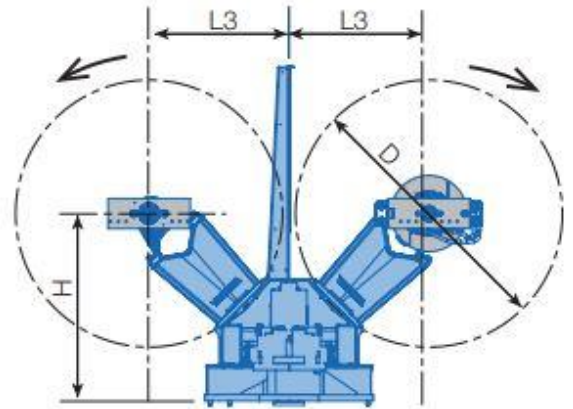
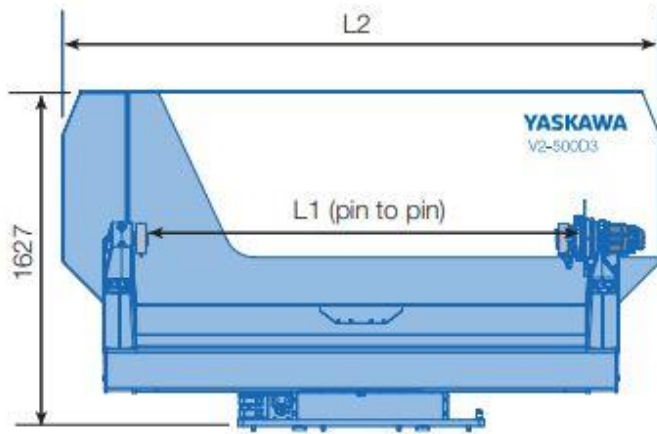
Vastalaipan mitat



Type	Part No.	D	A	B	C
<b>H-1000</b>	141504-100	1300	642	715	857
	141504-101	1700	842	915	1057

Pyörityslaitteen mitat

[https://www.yaskawa.fi/Global%20Assets/Downloads/Brochures\\_Catalogues/Robotics/Pripherals/H/Flyer\\_YNR\\_H-500\\_H-1000\\_1070EN.pdf](https://www.yaskawa.fi/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/Pripherals/H/Flyer_YNR_H-500_H-1000_1070EN.pdf)



Type	Part No.	L1	L2	L3	H	Weight
ø1300 mm	148549-100	1650 mm	2510 mm	682 mm	912 mm	1343 kg
	148549-101	2050 mm	2910 mm			1384 kg
	148549-102	2550 mm	3410 mm			1454 kg
ø1600 mm	148548-100	1650 mm	2510 mm	823 mm	1053 mm	1409 kg
	148548-101	2050 mm	2910 mm			1450 kg
	148548-102	2550 mm	3410 mm			1520 kg

3-akselisen pyörityslaitteen mitat

[https://www.yaskawa.fi/Global%20Assets/Downloads/Brochures Catalogues/Robotics/Pripherals/V2/V2-500D3\\_1074EN.pdf](https://www.yaskawa.fi/Global%20Assets/Downloads/Brochures%20Catalogues/Robotics/Pripherals/V2/V2-500D3_1074EN.pdf)