

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja automaatiotekniikka

2020

Topi Virtanen

# ITSEOPPIMISYMPÄRISTÖ YHTEISTYÖROBOTILLE HITSAUSSOVELLUKSESSA

Topi Virtanen

# ITSEOPPIMISYMPÄRISTÖ YHTEISTYÖROBOTILLE HITSAUSSOVELLUKSESSA

Opinnäytetyö suoritetaan toimeksiantona Turun ammattikorkeakoululle ja se suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun tiloissa. Opinnäytetyön aiheena oli itseoppimisympäristön luominen yhteistyörobotille hitsaussovelluksessa. Robotti, jota työssä käytettiin, oli Universal Robotsin UR10e-yhteistyörobotti. Robottihitsaukseen käytettiin Kempin valmistamaa A7-robottihitsauslaitteistoa. Työn tavoitteena oli saada robottisolusta toimiva, monikäyttöinen ja turvallinen.

Ennen opinnäytetyön aloittamista yhteistyörobotti ja siihen liitetty hitsauslaitteisto oli hankittu, mutta muuten yhteistyörobottisolua, sen toteutusta, turvallisuutta ja käyttöä ei oltu suunniteltu tarkasti. Aikataulu oli kiireellinen, sillä robotin käyttäminen opetuskäytössä oli tarkoitus aloittaa 2021 keväällä ja opinnäytetyö aloitettiin 2020 syksyllä. Ennen opetuskäytön aloittamista opettajille piti jäädä vielä aikaa harjoitella robotin, hitsauslaitteiston ja niiden yhdistelmän käyttöä. Näiden seikkojen myötä opinnäytetyölle oli tarve ja aihe.

Työvaiheita työssä olivat tutustuminen yhteistyöroboteihin, kaarihitsaukseen, sekä käytössä olevaan laitteistoon. Tutustumisvaiheen jälkeen alkoi solun suunnittelu 3D-mallinnuksen avulla. Robottisolun turvallistaminen oli suunnittelun aikana vahvasti mukana. Suunnitteluvaihetta seurasi rakennusvaihe ja robotin käytön harjoittelu. Rakennusvaiheessa tilattiin erilaisia itse suunniteltuja ja mallinnettuja metallikappaleita, joista esimerkkeinä robotin korottamiseen tarvittava jalusta ja langansyöttöaseman pystyyn kääntämiseen tarvittava kääntökulma. Työn aikana havaittiin useampia ongelmia muun muassa eristyksen ja maadoituksen kanssa. Nämä ongelmat saatiin kuitenkin ratkottua koulun tiloissa olevan 3D-tulostimen ja muovilevyn avulla. Tuloksena saatiin toimiva yhteistyörobottisolu, joka on turvallinen itseoppimisympäristö robotin ohjelmoimisen, ja sillä hitsaamisen harjoitteluun.

## ASIASANAT:

Robottiikka, Robottihitsaus, UR10e-robotti, Yhteistyörobotiikka, Yhteistyörobotti

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2020 | 47 pages

Topi Virtanen

# LEARNING ENVIRONMENT FOR A COLLABORATIVE ROBOT IN A WELDING APPLICATION

The thesis was commissioned by Turku University of Applied Sciences and the work was carried out at the premises of Turku University of Applied Sciences. The purpose of this thesis was to create a learning environment for the teaching of the use of a collaborative robot in a welding application. Robot that was used is a Universal Robot's UR10e-collaborative robot. Kemppi's A7 mig welder equipment was used as the welding equipment in the collaborative robot cell.

Prior to the start of the thesis, the collaborative robot and welding equipment had already been acquired, but otherwise the collaborative robot cell, its implementation, safety, and use had not been carefully planned. The schedule for the thesis was urgent, as the use of the robot in teaching was to begin in the spring of 2021 and the thesis was started in the fall of 2020. Prior to teaching with the collaborative robot cell, teachers also had to practice the use of the robot, welding equipment, and the combination of both. With these factors, there was a need and topic for this thesis.

The work steps in the thesis were acquiring information about the collaborative robots, arc welding, and the equipment in use. After enough information was acquired, the phase of designing the collaborative robot cell using 3D-modeling was started. The safety of the robot cell was strongly involved during the designing phase. The designing phase was followed by the construction and learning how to use the robot phase. During the construction phase, various self-designed and modeled metal parts were ordered, such as a stand needed to raise the robot and turning angle needed to turn the wire feeding station upright. During the work, several problems such as insulation and earthing were observed. However, these problems were solved with a 3D printer and plastic plate that already existed in the school premises. The result of this thesis was a functioning collaborative robot cell that is a safe learning environment for practicing robot programming and welding with it.

## KEYWORDS:

Robotics, Robot welding, UR10e-robot, Collaborative robotics, Collaborative robot

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 YHTEISTYÖROBOTIIKKA</b>	<b>9</b>
2.1 Ihmisen ja yhteistyörobotin yhteistoiminnan muodot	10
2.2 Universal Robots	10
2.3 Standardit	11
<b>3 KAARIHITSAUS</b>	<b>12</b>
3.1 Suojakaasu	12
3.2 Valokaari	13
3.3 MIG/MAG-hitsausprosessit	13
<b>4 YHTEISTYÖROBOTTISOLUSSA KÄYTETYT LAITTEET JA OHJELMAT</b>	<b>15</b>
4.1 Hitsauslaitteet	16
4.2 Hitsausmoduulipöydät	20
4.3 Kiinnitystarvikkeet	22
<b>5 TOTEUTUS</b>	<b>24</b>
5.1 Robottisolun suunnittelu ja mallintaminen	24
5.1.1 Hitsausrobotin pöytä	24
5.1.2 Robotin kiinnitys pöytään	26
5.1.3 Puhdistus- ja katkaisuaseman teline	28
5.1.4 Langansyöttöaseman kiinnityskulma ja eristäminen	28
5.1.5 Robottipöydän kiinnitys lattiaan	29
5.1.6 Moduulihitsauspöytä	30
5.1.7 Robottipöydän ja moduulipöydän yhdistäminen	32
5.2 Putsausaseman ohjelmointi	33
5.2.1 Nollakoordinaatisto	34
5.2.2 Pääohjelma	34
5.2.3 Jyrsintä	35
5.2.4 Katkaisu	36
5.2.5 Injektio	36
5.3 Hitsaustestit	37

<b>6 TURVALLISUUS</b>	<b>40</b>
6.1 Hitsausverhot	40
6.2 Robotin työalue	41
6.2.1 Turvanauhat	41
6.2.2 Turvalaserskanneri	42
6.3 Kuolleenmiehenkytkin	43
6.4 Robottiin tehdyn ohjelman käynnistäminen	44
<b>7 YHTEENVETO JA POHDINTA</b>	<b>46</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>47</b>

## KUVAT

Kuva 1. UR10e-yhteistyörobotti (Universal robots 2020).	15
Kuva 2. Robotin ohjaamiseen, sekä ohjelmointiin käytettävä pendantti.	16
Kuva 3. Robotin ohjauslaatikko seinään asennettuna.	16
Kuva 4. A7 Power Source 350-virtalähde (Kemppi 2020).	17
Kuva 5. Langansyöttölaite A7 Wire feeder 25 (Kemppi 2020).	17
Kuva 6. A7 MIG Gun 500-w (Kemppi 2020).	17
Kuva 7. Lankakelanteline.	18
Kuva 8. Welding gun cleaning station (Kemppi 2020).	18
Kuva 9. Digital Connectivity Module.	20
Kuva 10. Table Professional 750 1500x1000x100 mm -pöytä (Siegmund 2020).	21
Kuva 11. Table Professional 750 1000x500x100 mm -pöytä (Siegmund 2020).	21
Kuva 12. Square U-Shape 1000x100x100 -jatkopalkki (Siegmund 2020).	21
Kuva 13. Siegmundin pikakiinnike.	22
Kuva 14. Siegmundin työkaluvaunu (Siegmund 2020).	22
Kuva 15. Kevennin asennettuna robotin yläpuolelle.	25
Kuva 16. 3D-mallista otettu robottisolun layout-kuva.	25
Kuva 17. 3D-malli, jonka mukaan robotin jalusta tehtiin.	27
Kuva 18. Robotti eristetylle jalustalleen asennettuna.	27
Kuva 19. Langankatkaisu- ja puhdistusaseman telineen 3d-malli.	28
Kuva 20. 3D-malli langansyöttöaseman kiinnityskulmasta.	29
Kuva 21. Kiinnitysjalan 3D-malli.	30
Kuva 22. 3D-malli moduulihitsauspöydästä.	31
Kuva 23. Turvalaserskanneri asennettuna.	31
Kuva 24. Hitsausroiskesuoja hitsausmoduulipöydällä.	32
Kuva 25. Anturi ja sen vastakappale asennettuna.	33
Kuva 26. Putsausasema ylhäältä katsottuna.	33
Kuva 27. Injektiossa tulevan ainemäärän säätöruuvi.	37

Kuva 28. T-palkin hitsaustulos.	39
Kuva 29. DCM:n avulla saatua hitsausdataa.	39
Kuva 30. Hitsausverhot robottisolun ympärillä.	40
Kuva 31. Alueen rajauksessa käytettävä rajausnauhatolppa.	41
Kuva 32. Turvalaserskannerin turva-alue punaisella merkittynä.	42
Kuva 33. Turvalaserskannerin suojan 3D-malli.	43
Kuva 34. 3-asentoinen jalkapoljin.	44
Kuva 35. Ulkoiseen ohjauksessa käytettävät painonapit.	45

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

DCM	Digital Connectivity Module. (Kemppi 2020.)
ISO	International Organization for standardization.
MAG	Metal-arc Activ Gas eli kaasukaarihitsausprosessi, jossa käytetään aktiivista suojakaasua. (Kemppi 2020.)
MIG	Metal-arc Inert Gas eli kaasukaarihitsausprosessi, jossa käytetään passiivista suojakaasua. (Kemppi 2020.)
Pendantti	Robotin ohjelmointiin käytettävä kosketusnäyttöinen tabletti.
UR	Universal robots (robottien valmistaja).
UR10 tai UR10e	Yhteistyörobotti, joka on Universal Robotsin valmistama ja sen maksimihyötykuorma on 10 kilogrammaa. (Universal robots 2020.)
WPS	Welding Procedure Specification eli standardihitsausohje.

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritetaan toimeksiantona Turun ammattikorkeakoululle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda yhteistyörobottisolu, joka toimii itseoppimisympäristönä. Yhteistyörobottisolussa robotin työkaluna on hitsauspistooli. Hitsauspistoolin myötä turvallisuuden liittyvä puoli muuttuu aika paljon verrattuna normaaliin yhteistyörobottisoluun. Opinnäytetyöhön kuului muun muassa 3D-mallintamista. Opinnäytetyöhön kuului myös robotin ohjelmointia, sekä turvallisuuspuolen miettimistä.

Työn tekeminen lähti siitä, että hankittiin taustatietoa yhteistyöroboteista, robotiikasta ja hitsaustekniikasta. Taustatietojen tutkimisen jälkeen solua lähdettiin 3D-mallintamaan, jotta saatiin mietittyä komponenttien sijoittelua paremmin. Lisäksi 3D-mallinnuksen avulla tehtiin piirustuksia komponenteista, joita solussa tarvittiin muun muassa robotin jalusta. Solussa on käytössä UR10e-robotti, jonka ohjelmointiin tutustuttiin, jonka lisäksi tutustuttiin myös siihen liitetyn Kempin robottihitsauslaitteiston käyttöön. Kun solun asennukset oli saatu valmiiksi, tehtiin testihitsauksia, jonka jälkeen tehtiin solussa olevalle putsausasemalle ohjelma.

Opinnäytetyön sisältö jakautuu kolmeen pääosiin. Ensimmäinen osio sisältää lyhyen tutustumisen yhteistyörobotiikkaan ja kaarihitsaukseen. Toisessa osiossa perehdytään paremmin laitteistoon, jota robottisolussa käytetään. Kolmannessa osiossa tarkastellaan robottisolun toteuttamista ja siihen olennaisesti kuuluvaa robottiturvallisuuspuolta, sekä tehdään testihitsi.



## 2 YHTEISTYÖROBOTIIKKA

Yhteistyöroboteilla tarkoitetaan sellaisia robotteja, joten on suunniteltu työskentelemään ihmisen lähellä ilman suoja-aitaa. Monipuolinen aluevalvonta yhteistyöroboteilla hoideetaan optisilla antureilla. Ominaista yhteistyöroboteille on se, että niiden rakenne on kevyt ja muodot pyöristetyt. Lisäksi yhteistyörobottien nopeutta, tehoa, sekä voimia on rajoitettu. Yhteistyörobotin pysähdyksissä olemisen valvomista, sekä alueita ja nopeutta voidaan säätää ohjelmallisesti sen turvallistamiseksi. Nämä turvatoimet mahdollistavat sen, että ihmisen ja robotin välinen työskentely onnistuu turvallisesti. (Malm & Salmi 2019, 13.)

Yhteistyörobotin avulla voidaan tehdä tarkasti yksinkertaisia tehtäviä niin tuotannossa, kuin pakkauslinjoilla. Erityisen hyödyn yhteistyörobotista saa nopeudessa, sekä laadun parantamisessa. Yhteistyörobotit ovat kustannustehokkaita ja turvallisia automaattisia ratkaisuja monenlaisiin tehtäviin. Näitä tehtäviä voivat olla esimerkiksi poiminta-, pakkaus-, sekä kasaamistehtävät. Yhteistyörobottien ohjelmointi on tehty helpoksi, jotta myös ihminen, joka ei ole ikinä käyttänyt robottia, pystyy oppimaan todella nopeasti robotin ohjelmoinnin. (Universal robots 2020.)

Yhteistyörobottien yksi suuri hyöty verrattuna teollisuusroboteihin tulee siitä, että hukka-aikaa saadaan vähennettyä. Tämä johtuu siitä, että yhteistyörobotin ei tarvitse pysähtyä ihmisen lähestyessä sitä. Riippuen sovelluksesta, jossa yhteistyörobottia käytetään, turvapiiri saattaa hidastaa yhteistyörobottia tai vaihtoehtoisesti liian lähelle mentäessä pysäyttää robotin. (International Federation of Robotics Frankfurt 2018.)

Robotit voivat tehdä yksinkertaisia ja toistuvia tehtäviä pitkään ja ilman taukoja. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, ettei ihmistä tarvittaisiin, sillä ihmisen kognitiivisten kykyjen takia ihminen ymmärtää ja voi tehdä tarvittavat muutokset esimerkiksi robotin mennessä vikaan tai tehtävän muuttuessa erilaiseksi. Ihmisen ja robotin yhteistyöllä voidaan saavuttaa huomattava suorituskyvyn parannus, mikäli työtaakka on jaettu tasaisesti. Lisäksi robotin avulla voidaan parantaa työergonomiaa, sillä sen avulla voidaan tehdä esimerkiksi painavien, sekä hankalan mallisten kappaleiden siirrot paikasta toiseen. (Beaupre 2015, 7.)

## 2.1 Ihmisen ja yhteistyörobotin yhteistoiminnan muodot

Alimman tason yhteistyönä voidaan pitää sitä, että yhteistyörobottia käytetään samalla kuin perinteisiä teollisuusrobotteja. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että jokin työvaihe vaatii ihmisen poistumista robotin työalueelta. Kun ihminen menee robotin työalueelle, robotti pysähtyy kokonaan. Robotti voidaan riskit huomioon ottaen tässä tapauksessa pysäyttää ja käynnistää automaattisesti valvomalla ihmisen olemista työalueella. Hieman aktiivisempi yhteistyö voi tarkoittaa sitä, että ihminen käy vain välillä esimerkiksi viemässä kappaleen robotille omalle työalueelleen vietäväksi ja työstettäväksi. Työstön jälkeen robotti palauttaa kappaleen paikkaan, josta se sen haki. (Malm & Salmi 2019, 13–14.)

Tässä tapauksessa turvajärjestelyt yleensä hidastavat robotin nopeuksia, kun ihminen saapuu lähelle robotin työaluetta. Seuraava taso yhteistyölle voi olla esimerkiksi työstäminen samalla työalueella, vaikkapa pöydällä, joko vastakkain tai vierekkäin, niin etteivät robotti ja ihminen yleensä koske toisiinsa. Aktiivisimmalla yhteistyön muodolla robotin ja ihmisen välillä voidaan tarkoittaa esimerkiksi sitä, että jaetaan sama työtila ja kosketetaan toisiin, joko suoraan tai kappaleen välityksellä. On myös olemassa sellaisia sovelluksia, joissa robotti ja ihminen kokoonpaneuvat ja mahdollisesti liikuttavat yhtä aikaa samaa kappaletta. Näitä sovelluksia on kuitenkin todella vähän, sillä ne ovat melko uusia sovelluksia. (Malm & Salmi 2019, 13–14.)

## 2.2 Universal Robots

Universal robots on yritys, joka on perustettu vuonna 2005. Universal robots kehittää yhteistyörobotteja erilaisiin sovelluksiin ja käyttötarkoituksiin. Nykyään Universal robots on johtava yhteistyörobotteja myyvä yritys. Se on myynyt yli 8400 yhteistyörobottia yli 55 eri maahan ympäri maailman. (Universal Robots 2020.)

Ensimmäisen yhteistyörobottinsa eli UR5:n Universal Robots myi vuonna 2008. Tähän aikaan ajateltiin, että robotti tarvitsee suoja-aidat suojelemaan ihmistä, mutta tällä yhteistyörobotilla todistettiin toisin ja se asennettiin ilman suoja-aitaa Linatexin tuotantoon toimimaan yhdessä CNC-koneen kanssa. Ohjelmointi oli tehty niin yksinkertaiseksi, että Linatexin työntekijät pystyivät ohjelmoimaan robotin toimimaan niin kuin halusivat, ilman tarvetta ohjelmointiin koulutetuille ihmisille. (Universal Robots 2020.)

Ensimmäisten robottien myymisen jälkeen yrityksen toiminta lähti laajenemaan. Erityisesti pienet valmistajat kiinnostuivat näistä roboteista, sillä nämä olivat huomattavasti halvempia ja helppokäyttöisempiä kuin normaalit teollisuusrobotit. Nykyään Universal robots valmistaa neljää erilaista yhteistyörobottia, jotka ovat UR3-robotti, UR5-robotti, UR10-robotti, sekä UR16-robotti. Yhteistyörobotit ovat nimetty niiden hyötykuorman mukaan. Tällä tarkoitetaan sitä, että esimerkiksi UR10-robotin hyötykuorma on 10 kilogrammaa. (Universal Robots 2020.)

### 2.3 Standardit

Robottijärjestelmiä koskevia standardeja on kehittänyt International Organization for standardization eli ISO. Universal robotsin, niin kuin monien muidenkin yhteistyörobotit noudattavat ISO/TS 15066 -standardia, jonka mukaan yhteistyörobotti ei tarvitse turvaaitaa ympärilleen niin kuin normaali teollisuusrobotti. Yhteistoimintaan tarkoitetuissa roboteissa täytyy olla näkyvä osoitus ihmisen ja robotin yhteistoiminnasta. Jotta robotti luokitellaan yhteistyökäyttöön soveltuvaksi, sen täytyy täyttää vähintään yksi seuraavista vaatimuksista (SFS-EN ISO 10218-1, 32–36.):

1. Turvaluokiteltu valvottu pysäytys: Tällä tarkoitetaan sitä, että robotin on pysähtyttävä tai hidastettava nopeutta, mikäli ihminen on yhteisessä työtilassa. Automaattinen toiminta voi jatkua, kun ihmisen poistuttua yhteisestä työtilasta.
2. Käsiohjaus: Käsiohjauslaitteisto tulee olla sijoitettuna lähelle robotin työkalua. Käsiohjauslaitteistossa täytyy olla hätäpysäytin, sekä kolmiasentoinen sallinta-laitte, joka voi olla myös erillinen laite. Sallinta kytkimen keskiasennossa robottia voidaan ohjelmoida, mutta vapauttamisen tai liiallisen painamisen on pysäytettävä robotti.
3. Nopeuden, sekä vähimmäisetäisyyden valvonta: Järjestelmään määritetty turvallinen nopeus ja vähimmäisetäisyys käyttäjästä on ylläpidettävä. Nämä määritetään riskinarvioinnin avulla.
4. Tehon, sekä voiman rajoittaminen ohjauksen tai suunnittelun avulla. (SFS-EN ISO 10218-1, 32–36.)

### 3 KAARIHITSAUS

Kappaleiden liittämistä toisiin ilman erillistä väliainetta, joka sitoisi kappaleet yhteen, kutsutaan hitsaamiseksi. Hitsauksessa muodostetaan kiinteä liitos niin, että liitettävien materiaalien molekyylit liittyvät toisiinsa. Hitsausprosessit voidaan jakaa kahteen pääryhmään, jotka ovat sulahitsaus ja puristushitsaus. Kaarihitsaus kuuluu ensimmäiseen pääryhmään eli se on sulatushitsausprosessi. Sähköisellä valokaarella synnyttävän lämmön avulla suoritettavaa sulatushitsausprosessia kutsutaan kaarihitsaukseksi. Valokaaren avulla sulatetaan hitsattavaa materiaalia, sekä lisäainetta yhteen, jolloin saadaan aikaan hitsi. Kaarihitsauksessa lisäainetta syötetään lisäainelankaa kelalta hitsaupistoolin avulla tai manuaalisesti puikon kanssa. (Lepola & Makkonen 2005, 7–10.)

#### 3.1 Suojakaasu

Suojakaasun pääsääntöisenä tarkoituksena on parantaa hitsausjäljen laatua. Suojakaasun tehtävä on suojata hitsausprosessi ilman hapelta ja typeltä. Suojakaasun käyttämättömyydellä on seuraavia seurauksia: hitsauspinnan hapettumista, huokosia, sekä seosaineiden poispalamista. Suojakaasuilla voidaan vaikuttaa muun muassa valokaaren vakauteen, hitsausnopeuteen, sekä pinnanmuotoon. Suojakaasut ovat yleensä seoksia. Yleisimmät seoksissa käytettävät aineet ovat argon, helium, hiilidioksidi, sekä happi. (Lepola & Makkonen 2005, 110.)

Suojakaasuja on kahta eri laista: inerttiä ja aktiivista suojakaasua. Inertti suojakaasu on yleensä heliumia, argonia tai niiden yhdistelmää. Argoniin verrattuna heliumilla voidaan saavuttaa parempi sivutunkeuma, sekä suurempi hitsausnopeus. Inertti suojakaasu ja hitsisula ei reagoi keskenään millä tavalla. Aktiivisia suojakaasuja ovat yleisimmin hiilidioksidi ja happi. Kaasujen määrä seoksessa määräytyy teräksen tyypin mukaan. Niitä käytetään valokaaren vakauttamiseen ja aineen tasaisesti siirtymisen varmistamiseen. (Kemppe 2020.)

### 3.2 Valokaari

Kaarihitsauksessa perustana toimii valokaari. Valokaaren avulla sulatetaan lisäaine, sekä hitsattavat materiaalit yhteen muodostaen hitsi. Valokaarella tarkoitetaan sähköpurkausta hitsattavan kappaleen ja hitsauselektrodin välillä. Syttyäkseen valokaari tarvitsee tarpeeksi suuren jännitepulssin hitsausvirtalähteeltä. Myös hitsauselektrodilla raapaisemalla hitsattavaa materiaalia, voidaan saada aikaan valokaari. Kun hitsataan valokaaren avulla, syntyy jatkuva hitsauselektrodin kautta hitsattavaan kappaleeseen kulkeva hitsausvirtalähteen tuottama sähkövirta. Sähkövirran seurauksena hitsattava kappale tulee maadoittaa hitsauslaitteelta tulevan maadoituskaapelin avulla. (Kemppi 2020.)

Hitsausjäljen pitävyyden ja siistiyden kannalta on oleellista, että valokaari on tasainen. Tasaisuus saadaan sillä, että valitaan sopiva jännite ja langansyöttönopeus. Jännite ja langansyöttö nopeus valitaan materiaaleihin ja niiden paksuuksiin sopiviksi. Muita valokaaren tasaisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat hitsauselektrodin ja railon välinen tasainen etäisyys ja se, että railossa kulkevan hitsauspolttimen kuljetusnopeus pysyy tasaisena. (Kemppi 2020.)

### 3.3 MIG/MAG-hitsausprosessit

Mig ja Mag-hitsaukset ovat kaasukaarihitsausprosesseja. Kaasukaarihitsauksessa valokaari muodostetaan hitsattavan materiaalin ja hitsauselektrodin tai lisäaineen välille. Käytettävän lisäaineen sulamispiste tulee olla suurin piirtein sama kuin hitsattavan materiaalin sulamispiste. Suoja-aineella määritetään, kumpi hitsausprosessi on kyseessä. Mig-hitsausprosessissa käytettävä suojakaasu on passiivista ja Mag-hitsausprosessissa suojakaasu on aktiivista. (Lepola & Makkonen 2005, 8–11.)

Huomioon otettavista seikoista tärkeimmät MIG/MAG-hitsauksen kannalta ovat hitsauspistoolin asento ja kulma, langan pituus ja hitsausnopeus, sekä hitsisulan muoto. Erityisesti hitsisulan muotoon kannattaa kiinnittää huomiota, sillä siinä tapahtuu herkästi virheitä, joista seuraa huonompi hitsauslaatu. Hitsausprosessin aikana hitsauspistoolin pää lämpenee. Tämän seurauksena sitä täytyy jäähdyttää joko nesteen tai kaasun avulla. (Kemppi 2020.)

1-MIG-hitsausprosessilla tarkoitetaan synergistä MIG tai MAG-hitsausprosessia. Tässä hitsausprosessissa virtalähde säättää automaattisesti jännitettä valitun langansyöttönopeuden perusteella. 1-MIG-hitsausprosessissa materiaali voi olla mikä tahansa. Myöskään suojakaasua tai hitsausasentoa ei ole määritetty, sillä se soveltuu niille kaikille. (Kemppi 2020.)

## 4 YHTEISTYÖROBOTTISOLUSSA KÄYTETYT LAITTEET JA OHJELMAT

Työssä käytössä oli UR10e-yhteistyörobotti (kuva 1). Ur10e on nopeasti asennettava ja helposti ohjelmoitava yhteistyörobotti. UR10e-yhteistyörobotti painaa 33,5 kg. Sen maksimikäyttösäde on 1 300 mm ja maksimihyötykuorma 10 kg. Suuren käyttösäteensä ansiosta robottia voidaan käyttää tehokkaasti suuremmallakin alueella. (Universal Robots 2020.)

UR10e-yhteistyörobottia ohjelmoidaan siihen kuuluvan kosketusnäytöllä varustetun pendantin avulla (kuva 2). Pendantti on yhdistettynä Ur10e:n ohjauslaatikkoon (kuva 3). Pendantin ohjelma on Linux-pohjainen, joten se käynnistyy nopeasti. Robotin ohjelmointi on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi. Robotin ohjelmoinnissa käytössä on useamman tason komennot. Tasot on määritetty niin, että basic-tasosta löytyy yleisimmin käytettävät komennot, kuten liikekäsky, odotus ja ajastin. Tämän lisäksi on advanced-taso. Advanced-tasolla on edistyneemmät komennot, kuten esimerkiksi loop, if, sekä set. Ylimääräisenä tasona robottiin on lisätty urcaps, josta löytyy hitsauksessa tarvittavat komennot eli Start welding, Change channel ja Stop welding.



Kuva 1. UR10e-yhteistyörobotti (Universal robots 2020).



Kuva 2. Robotin ohjaamiseen, sekä ohjelmointiin käytettävä pendantti.



Kuva 3. Robotin ohjauslaatikko seinään asennettuna.

#### 4.1 Hitsauslaitteet

Työssä käytettiin hitsauslaitevalmistaja Kempin robottihitsauslaitteita. Virtalähteenä toimii A7 Power Source 350 (kuva 4). Langansyöttölaitteena käytössä on A7 Wire feeder 25 (kuva 5). Hitsauspistoolina käytössä oli vesijäähdytteinen A7 MIG gun 500-w (kuva 6). Lisäksi käytössä oli Kempin lankakelanteline (kuva 7), sekä hitsauspään puhdistus- ja katkaisuasema (kuva 8).





Kuva 4. A7 Power Source 350-virtalähde (Kemppi 2020).



Kuva 5. Langansyöttölaite A7 Wire feeder 25 (Kemppi 2020).



Kuva 6. A7 MIG Gun 500-w (Kemppi 2020).



Kuva 7. Lankakelanteline.



Kuva 8. Welding gun cleaning station (Kemppi 2020).

Digital Connectivity Modulen eli DCM:n avulla hitsauksesta voidaan kerätä hitsauksen aikaisia hitsausarvoja (kuva 9). Näitä arvoja ovat muun muassa virta, jännite, kaariaika, sekä hitsauksen kesto. DCM yhdistetään hitsauksessa käytettävään A7-virtalähteeseen. Liitântää varten ei tarvita adaptereja tai muita välikappaleita, sillä DCM:ssä oleva liitântä sopii suoraan A7-virtalähteeseen. Jotta DCM lähettää tiedot Weldeyen pilvipalveluun, se tarvitsee internetyhteyden. Tämä tapahtuu puhelimen avulla. (Kemppi Userdoc 2020.)

DCM käyttö tapahtuu niin, että kun opiskelija saapuu suorittamaan tehtävää paikanpäälle, siellä on Weldeye-ohjelmaa varten hankittu älypuhelin. Älypuhelimeen on ladattu Weldeye-sovellus. Weldeye-sovelluksen avulla voidaan puhelin yhdistää DCM-moduuliin ja määrittää kuka hitsaa ja millä WPS:llä. Kun puhelin ja DCM on yhdistetty toisiinsa, puhelin lähettää automaattisesti Weldeyen pilvipalveluun DCM:sta tulevan tiedon ja opettaja voi tarkkailla niitä tietokoneeltansa, älypuhelimelta tai vaikkapa tabletiltaan. DCM kerää tietoa myös silloin, kun se ei ole yhdistettynä puhelimeen. Pilvipalveluun se ei kuitenkaan tietoa pysty yksinään lähettämään, sillä siihen se tarvitsee internet-yhteyden. Jos robotilla hitsataan niin, että moduuli ja puhelin ei ole yhdistettynä toisiinsa, tiedot tallentuvat moduuliin. Seuraavan kerran kun moduuli ja puhelin yhdistetään toisiinsa, tiedot moduulista lähtevät pilvipalveluun. Tässä on kuitenkin se ongelma, että sitten ei ole tietoa kuka on käynyt hitsaamassa, sillä jälkeenkäin tietoon ei voida liittää tietoa hitsaajasta, koska sitä ei ole alun perin määritetty. Joten puhelin toimii ikään kuin moduulin internet-yhteytenä.

Moduulin keräämiä ja lähettämiä tietoja voidaan tarkkailla Weldeyen pilvipalvelun kautta. Pilvipalvelusta saadaan monenlaista tietoa esimerkkinä käytetyn lisäaineen määrä. Tämän lisäksi myös muun muassa kaariaikaa, kokonaiskäyttöaikaa, virtaa, sekä jännitettä voidaan tarkkailla pilvipalvelusta. Lisäksi pilvipalveluun voidaan luoda tehtäviä ja lähettää niitä hitsaajille, jotka ovat tässä tapauksessa opiskelijat. Lisäksi pilvipalvelun avulla voidaan tulostaa esimerkiksi yksittäisestä hitsauksesta hitsausraportti, mikäli tarvetta löytyy. (Weldeye 2020.)



Kuva 9. Digital Connectivity Module.

#### 4.2 Hitsausmoduulipöydät

Hitsaamista varten käytettiin Siegmundin moduulihitsauspöytäkomponentteja. Käytössä oli Table Professional 750 1500x1000x100 mm pöytä (kuva 10), kaksi Table Professional 750 1000x500x100 mm pöytää (kuva 11) ja kaksi Square U-Shape 1000x100x100 mm jatkopalkkia (kuva 12). Robotille varattiin yksi Table Professional 750 1000x500x100 pöytä. Loput komponentit käytettiin moduulihitsauspöydän rakentamiseen. Moduulipöydissä on 50 mm jako 16 mm rei'ille pöydän yläpinnassa ja 25 mm jako 16 mm rei'ille pöydän reunassa. (Siegmund 2020.)



Kuva 10. Table Professional 750 1500x1000x100 mm -pöytä (Siegmund 2020).



Kuva 11. Table Professional 750 1000x500x100 mm -pöytä (Siegmund 2020).



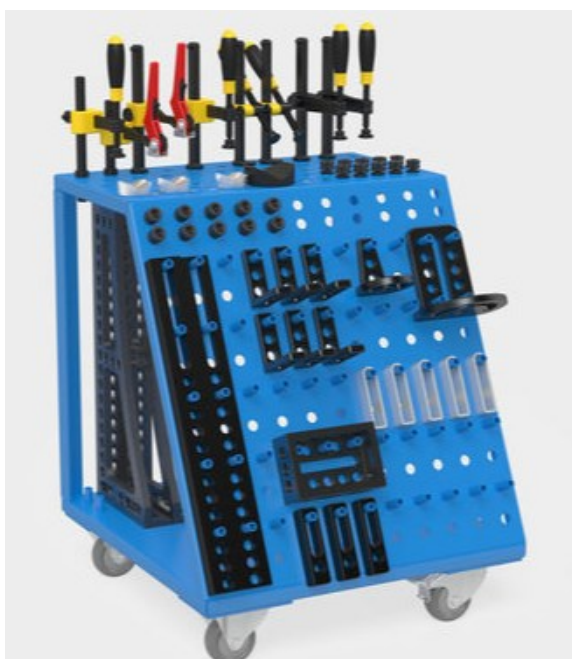
Kuva 12. Square U-Shape 1000x100x100 -jatkopalkki (Siegmund 2020).

### 4.3 Kiinnitystarvikkeet

Moduulihitsauspöytien yhteydessä soluun hankittiin myös suuri määrä erilaisia Siegmundin kiinnitysvälineitä, jotka sopivat suoraan hankittuihin moduulihitsauspöytiin. Kiinnitysvälineet voidaan asentaa pöytään nopeasti Siegmundin pikakiinnikkeillä (kuva 13). Pikakiinnikkeet toimivat niin, että kun laitetaan se paikoilleen, pyöritetään sitä kiinni päin, jolloin siinä olevat kuulat kiristävät kappaleen, komponentin tai kiinnikkeen paikoilleen. Kiinnitystarvikkeet sijoitetaan liikutettavalle työvälinevaunulle (kuva 14).



Kuva 13. Siegmundin pikakiinnike.



Kuva 14. Siegmundin työkaluvaunu (Siegmund 2020).

Työvälinevaunussa on monia erilaisia kiinnityksessä tarvittavia komponentteja. Näitä ovat muun muassa erilaiset puristintyökalut, prismat, kulmat, sekä vasteet. Erilaisten puristimien avulla hitsattavat kappaleet saadaan helposti ja nopeasti kiinni pöytään. Prismojen avulla voidaan tukea esimerkiksi pyöreitä kappaleita. Kulmia voidaan käyttää muun muassa pöydän jatkona. Mikäli tehdään paljon samanlaisia hitsauksia samankokoisille kappaleille, voidaan kulmien avulla kappaleet sijoittaa samaan paikkaan, jolloin voidaan tehdä vain yksi ohjelma robotille. Vasteiden avulla saadaan aikaan säädettävä ja tukeva kiinnitys.

## 5 TOTEUTUS

### 5.1 Robottisolun suunnittelu ja mallintaminen

Robottisolun suunnittelu aloitettiin miettimällä, mitä ominaisuuksia robottisolulta halutaan. Tässä tapauksessa robottisolu haluttiin rakentaa niin, että robotti saataisiin tarvittaessa irti hitsausmoduulipöydästä. Tarkoituksena on, että moduulihitsauspöytää ei siirretä usein, vaan ainoastaan poikkeustapauksessa. Robotti päätettiin rakentaa erilliselle pöydälle, joka kiinnitetään hitsausmoduulipöytään Siegmundin valmistamilla pikakiinnikkeillä. Robotin kanssa samalla pöydälle haluttiin robottiin liittyvät laitteita. Nämä laitteet ovat langansyöttölaite, hitsauspään puhdistus- ja katkaisuasema, sekä lankakelanpidike.

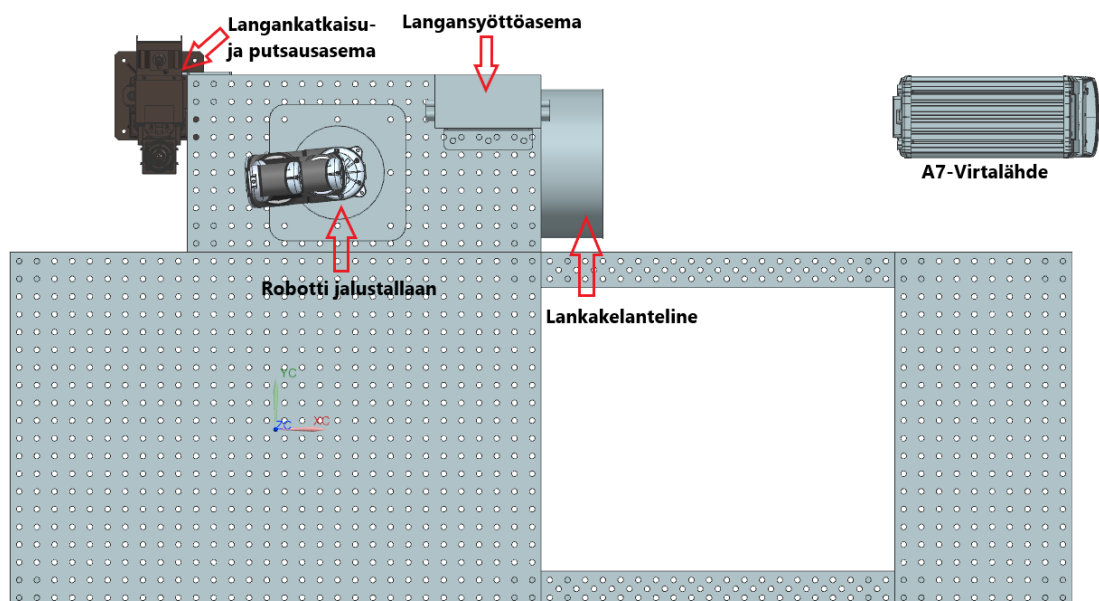
#### 5.1.1 Hitsausrobotin pöytä

Hitsausrobotin pöytää suunnitellessa ongelmaksi tuli se, että Kempin hitsauspolttimen puhdistus- ja katkaisuasema on liian korkea tähän soluun. Tämän seurauksena kyseiseen asemaan tarvitsi tehdä muutoksia, jotta se ei aiheuta ongelmia robotin liikeradalle. Ongelman ratkaisemiseksi asema irrotettiin jalustastaan ja sille teetettiin uuden mallinen teline, jolla asema saadaan kiinni robottipöydän kylkeen. Langansyöttöasema saatiin sijoitettua ongelmitta pöydälle laitteessa itsessään olevien kierrereikien avulla. Lankakelanpidike päätettiin irrottaa jalustastaan ja sen jälkeen lankakelanpidike kiinnitettiin pöydän vastakkaiselle kyljelle katkaisu- ja puhdistusasemaan nähden. Jotta robotin liikerata ei rajoittuisi langansyöttöaseman takia, robotille teetettiin jalusta, jolla robottia korotettiin noin 165 mm. Lisäksi robotin yläpuolelle kiinnitettiin kevennin keventämään hitsausletkuja, jotta robotin liikuttelu onnistuu helpommin ja se ei mene niin helposti vikatilaan ylimääräisestä painosta (kuva 15). Kokonaisuudessaan hitsausrobotinpöydästä tuli liikeratojen kannalta toimiva (kuva 16). Robottipöydän taakse seinään kiinnitettiin lankahylly, jotta robotin, sekä hitsauksen tarvitsemat kaapelit saatiin sijoitettua siistimmin. Tämän seurauksena myös lattia on huomattavasti helpompi imuroida, sillä lankahylly on noin 30 cm korkeudessa lattiasta.





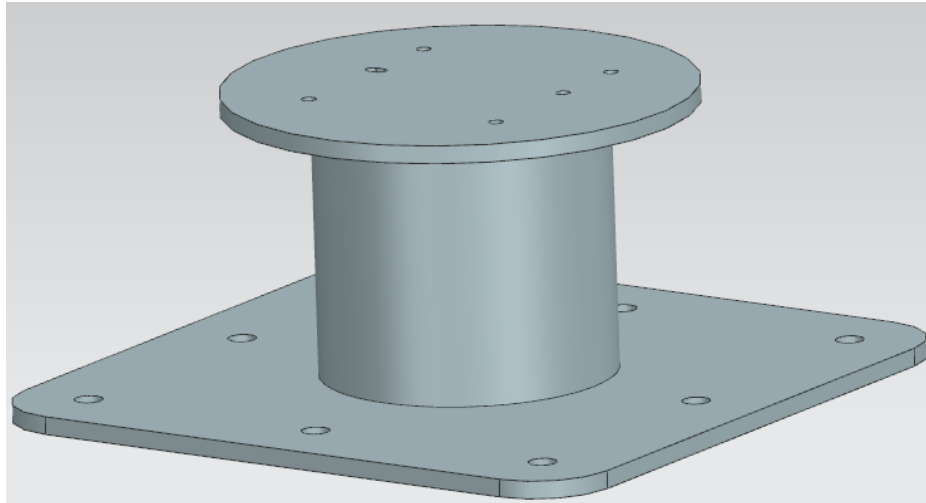
Kuva 15. Kevennin asennettuna robotin yläpuolelle.



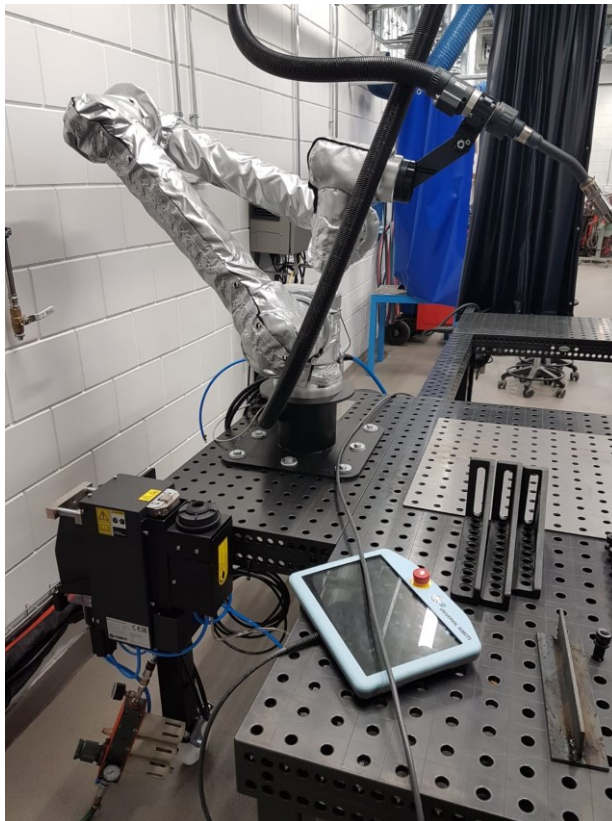
Kuva 16. 3D-mallista otettu robottisolun layout-kuva.

### 5.1.2 Robotin kiinnitys pöytään

Robotin jalustaa mietittäessä, ensimmäisenä aloitettiin tekemään 3D-malli, jossa piti ottaa huomioon robotin kiinnitys, johon löytyi ohje suoraan robotin valmistajalta Universal Robotsilta (kuva 17). Huomiota piti kiinnittää myös siihen, että jalusta on tarpeeksi kestävä ja sen saa kiinnitettyä pöydässä olevaan 50 mm reikäjakoon. Jotta jalusta kestäisi varmasti, se tehtiin 8 mm teräslevystä. Se tehtiin kolmessa osassa: aluslevy, putki, sekä robotin aluslevy. Molemmat aluslevyt leikattiin laserin avulla muotoon. Koska robotin kiinnitykseen tarvittiin kierteet robotin aluslevyyn, niitä ei tehty laserin kanssa. Putki hitsattiin laserin kanssa katkohitsauksella aluslevyyn, jonka jälkeen robotin aluslevy hitsattiin putken toiseen päähän. Jalustassa olevan putken kanssa tuli ongelmia, sillä sen toisen pään suoruutta ei oltu tarkistettu. Niinpä jalustasta tuli jonkin verran vino (noin 3–4 mm). Robotin aluslevyyn tehtiin reiät koulun tiloissa koneistuskeskuksen avulla. Reiät jouduttiin paikoittamaan. Tämän tapahtui niin, että ensin haettiin reikien paikkojen koordinaatit Solidworks-ohjelmistolla. Tämän jälkeen etsittiin jalustan keskipiste koneistuskeskuksen avulla. Keskipisteen hakemisen jälkeen ajettiin kone Solidworksin avulla saatuihin koordinaatteihin ja porattiin 6,4 mm alkureiät niihin paikkoihin. Jalusta maalattiin mattamustalla spraymaalilla useampaan kertaan, jotta maalipinta varmasti kestäisi. Maalaus toteutettiin Turun ammattikorkeakoulun tiloissa maalaamossa. Kun jalusta oli kuivunut, 6,4 mm reikiin tehtiin M8-kierteet ja jalusta kiinnitettiin pöytään M16-pulteilla, sekä lukitusmuttereilla, jonka jälkeen robotti siirrettiin jalusta päälle. Robotti ja sen jalusta täytyi eristää pöydästä (kuva 18). Tämän toteutettiin muovilevyn ja 3D-tulostettujen holkkien avulla. Muovilevy sijoitettiin jalustan ja pöydän väliin ja 3D-tulostetut holkit jalustan kiinnitysreikiin.



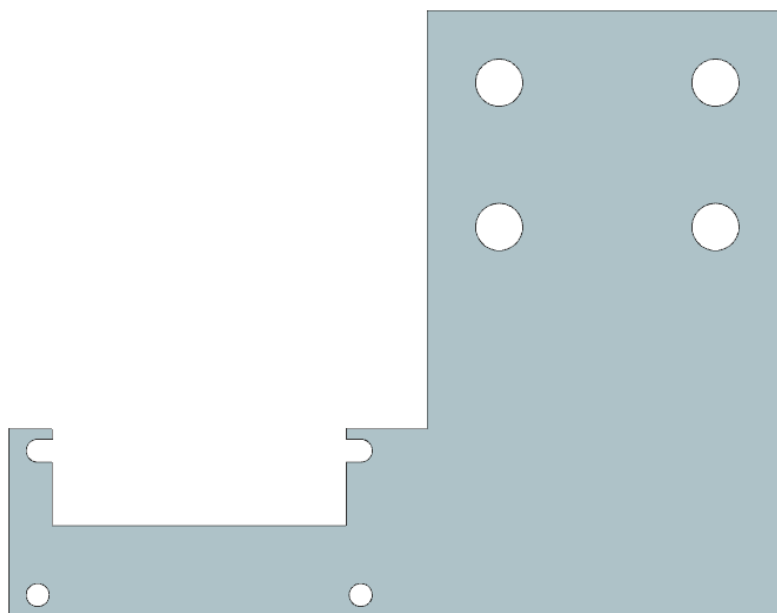
Kuva 17. 3D-malli, jonka mukaan robotin jalusta tehtiin.



Kuva 18. Robotti eristetylle jalustalleen asennettuna.

### 5.1.3 Puhdistus- ja katkaisuaseman teline

Puhdistus- ja katkaisuaseman telineettä suunniteltaessa piti ottaa monta asiaa huomioon. Asema oli aiemmin omalla jalustallaan, mutta koska kaikki robottiin liittyvät laitteet haluttiin pöydälle, sille täytyi suunnitella oma teline. Telineen suunnittelussa täytyi ottaa monta asiaa huomioon. Ensimmäisenä aloitettiin pöytään kiinnityksestä. Tämä tapahtuu pöydän kyljessä olevan 25 mm jaolla olevien reikien avulla. Jotta teline olisi tukeva, kiinnitysreiät sijoitettiin 75 mm päähän toisistaan vaakatasolla ja 50 mm päähän toisistaan pystytasolla. Kiinnitys pöytään tapahtuu neljästä vapaareiästä pulttien ja lukitusmutterien avulla. Aseman kiinnitystä suunniteltaessa täytyi ottaa huomioon kierrereikien sijainti ja koko, ulokkeen koko, sekä se, että ylemmät pienet reiät ovat niin lähellä asemasta tulevaa uloketta, että ne joudutaan tekemään U-mallisena aukkona. Kiinnitys asemaan tehdään neljällä M8-pultilla ja mutterilla. Lopulta telineestä saatiin toimiva (kuva 19). Teline maalattiin mattamustaksi Turun ammattikorkeakoulun maalaustilassa.

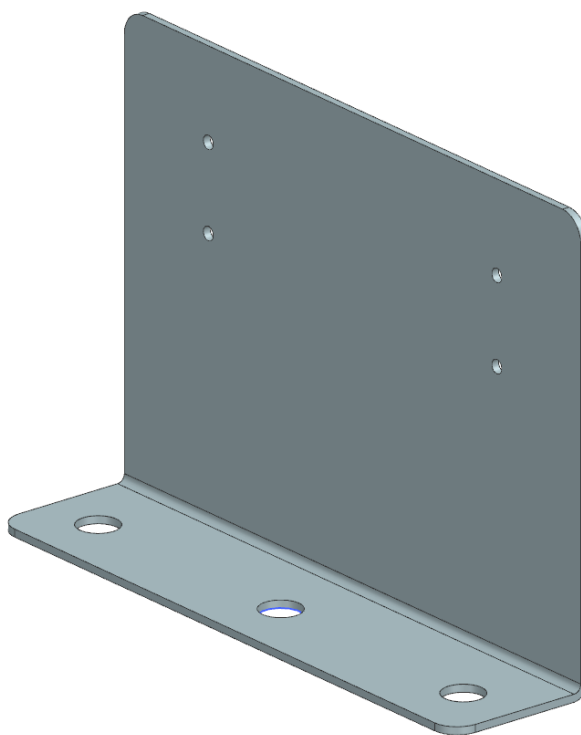


Kuva 19. Langankatkaisu- ja puhdistusaseman telineen 3d-malli.

### 5.1.4 Langansyöttöaseman kiinnityskulma ja eristäminen

Robottipöydän ollessa täysin metallinen langankatkaisuasema täytyy eristää pöydästä. Eristämisen lisäksi langansyöttöasema haluttiin kääntää niin, että sen avattava luukku

on ylöspäin. Tämä johtuu siitä, että langankatkaisuaseman sisällä on rullat, joilla syötetään lankaa. Mikäli päätettäisiin, että vaihdetaan nykyinen 1 mm lanka 1,2 mm lankaan, rullat täytyisi vaihtaa. Jos asemaa ei käännettäisi, olisi näiden rullien vaihtaminen hankalaa, sillä avattava luukku olisi hitsausmoduulipöytään päin hitsauskaapelien liitäntöjen takia. Langansyöttöaseman kääntäminen pystyasentoon tapahtuu kiinnityskulman avulla (kuva 20). Kiinnityskulma kiinnitetään pöytään M16 pulttien ja muttereiden avulla. Langansyöttöaseman kiinnitys kulmaan toteutetaan pulteilla, sillä langansyöttöaseman pohjassa on valmiiksi kierrereivät, joiden avulla kulma voidaan kiristää siihen. Eristäminen toteutetaan muovilevyn ja kahden 3D-tulostetun muoviholkin avulla. Muovilevy sijoitetaan pöydän ja kiinnityskulman väliin. Muoviholkit sijoitetaan kiinnityskulman pöytäänkiinnitysreikiin. Muoviholkkien avulla eristetään pöytäänkiinnityspultit kiinnityskulmasta.

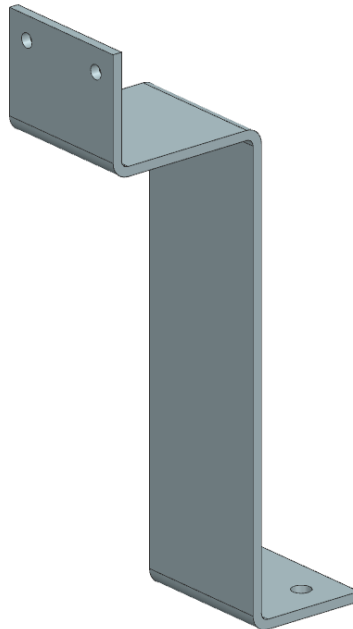


Kuva 20. 3D-malli langansyöttöaseman kiinnityskulmasta.

#### 5.1.5 Robottipöydän kiinnitys lattiaan

Robottipöydän lattiaan kiinnitystä mietittäessä täytyi ottaa huomioon pöydässä olevat pyörät. Pyörät tulevat jalkaputken reunan yli, joten kiinnike tuli toteuttaa niin, että kiinnike tulee pyörän yli, jotta pöytää voidaan tarvittaessa liikutella ilman, että kiinnikkeitä tarvit-

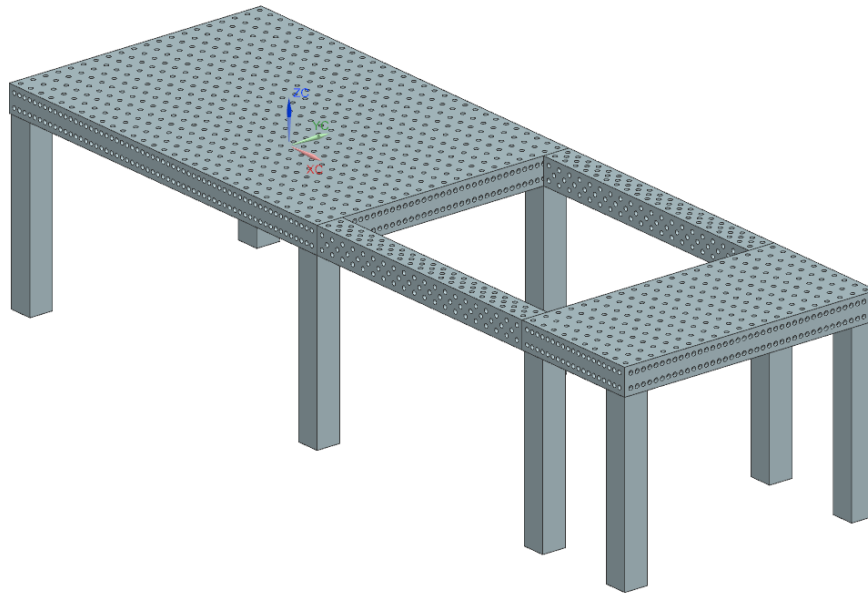
see irrottaa pöydästä (kuva 21). Kiinnikkeen pöytään kiinnittäminen tapahtuu M5-pulteilla. Kiinnitystä varten robottipöydän jalkoihin joutui tekemään M6-kierrereiät. Kiinnike asennetaan maahan ankkurikiinnikkeen ja M8-pultin, sekä aluslevyn kanssa. Kiinnikkeet maalataan mattamustaksi niin kuin muutkin pöytään tulevat komponentit.



Kuva 21. Kiinnitysjalan 3D-malli.

#### 5.1.6 Moduulihitsauspöytä

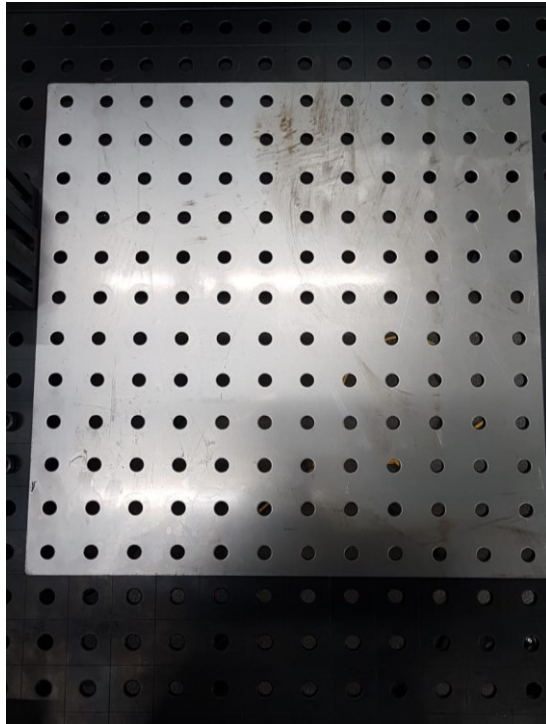
Moduulihitsauspöydästä haluttiin liikutettava ja monikäyttöinen. Moduulihitsauspöytä koostuu neljästä osasta (kuva 22). Yhdestä 1500x1000x100mm pöydästä, yhdestä 1000x500x100mm pöydästä, sekä kahdesta 1000x100x100mm U-palkista, jotka ovat kiinnitettynä toisiinsa M14 pulttien, sekä muttereiden avulla osien moduulien kyljissä olevien 25 mm reikäjaon avulla. Moduulihitsauspöydän jaloissa on pyörät, jotta sitä voidaan liikuttaa tarvittaessa helposti. Pöydän ulommaiseen jalkaan kiinnitettiin turvalaserskan-neri, jolla tarkkaillaan turva-aluetta (kuva 23). Moduulihitsauspöytää hitsausroiskeelta suojaaman tehtiin 600x600mm levy, jossa on reiät samalla jaolla kuin moduulipöydässä (kuva 24).



Kuva 22. 3D-malli moduulihitsauspöydästä.



Kuva 23. Turvalaserskanneri asennettuna.

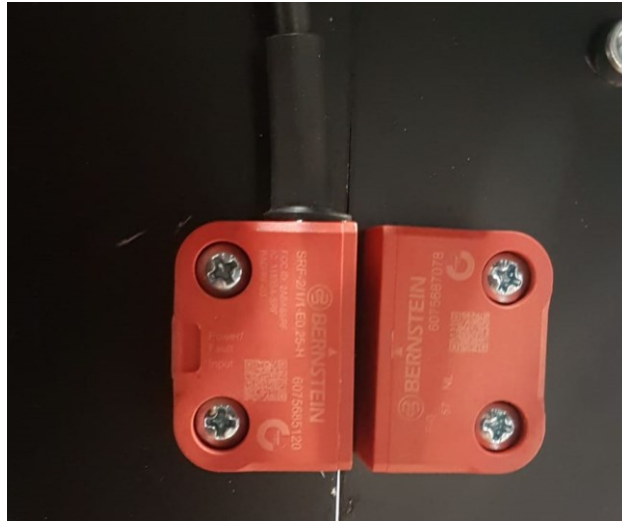


Kuva 24. Hitsausroiskesuoja hitsausmoduulipöydällä.

#### 5.1.7 Robottipöydän ja moduulipöydän yhdistäminen

Koska pöydissä on valmiiksi 16 mm reiät myös reunoilla, kiinnitys on helpoin toteuttaa valmiita kyljissä olevia reikiä hyödyntäen. Pöytien yhdistäminen toteutetaan Siegmundin pikakiinnikkeillä. Mikäli moduulipöytää käytetään esimerkiksi auton rungon hitsaamiseen, joudutaan moduulipöytä siirtämään robotin luota pois. Tämän seurauksena myös moduulipöydän jalassa kiinni oleva turvalaserskanneri lähtee moduulipöydän mukana. Joten turvallisuussyistä robottipöydän ja moduulipöydän väliin asennettiin anturi, jolla tarkkaillaan, että pöydät ovat liitettynä yhteen (kuva 25). Mikäli pöydät ei ole yhteen liitettyinä, robottia ei voida käyttää.

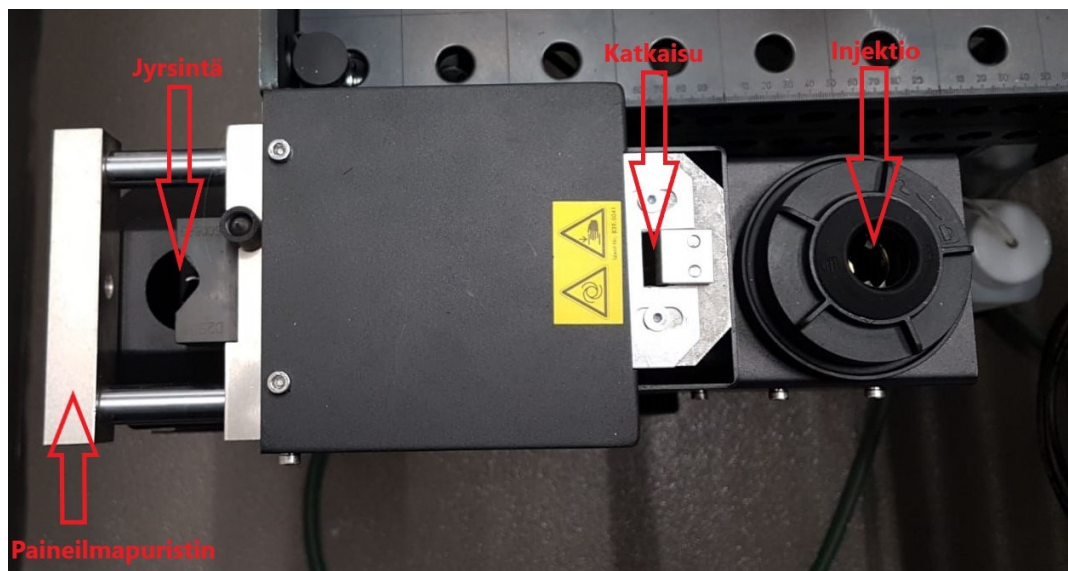




Kuva 25. Anturi ja sen vastakappale asennettuna.

## 5.2 Putsausaseman ohjelmointi

Hitsauspään puhdistamista varten, robotille täytyi tehdä ohjelma. Putsausohjelma toteutettiin useampana osana. Ensin tehtiin ohjelmat jyrksinnälle, katkaisulle ja injektioille. Tämän jälkeen ohjelmia yhdisteltiin, jotta saatiin yksi ohjelma, jossa on kaikki tarvittavat vaiheet. Alla kuva putsausasemasta, johon merkittynä katkaisun, jyrksinnän ja injektion kohdat. (kuva 26)



Kuva 26. Putsausasema ylhäältä katsottuna.

### 5.2.1 Nollakoordinaatisto

Putsausohjelmaa varten robotille tehtiin uusi koordinaatisto, jota kutsutaan nollakoordinaatistoksi. Tarve nollakoordinaatistolle johtuu siitä, että jos esimerkiksi työkalupiste määritetään uudelleen, robotille tehty putsausohjelma ei toimi halutusti ja saattaa törmätä vaikkapa pöytään tai putsausasemankylkeen. Nollakoordinaatistoa käytetään jokaista putsausohjelmaan tulevaa liikettä tehtäessä, jolloin työkalupisteen uudelleen määrittäminen ei vaikuta putsausohjelmaan.

### 5.2.2 Pääohjelma

Alun perin pääohjelma oli tarkoitus toteuttaa niin, että putsauksen pääohjelma kutsuisi aliohjelmina jyrinnän, katkaisun ja injektion, mutta tämä ei onnistunut, sillä ur10e-yhteistyörobotti ei pysty kutsumaan aliohjelman aliohjelmia. Tämän seurauksena jyrinnän, katkaisun ja injektion ohjelmat tehtiin kansioina. Kun ne tehtiin kansioina, voitiin kansiot kopioida putsausohjelman alle. Näin ollen myös uuden putsausohjelman tekeminen on suhteellisen helppoa. Jos esimerkiksi halutaankin vaikka 22 mm hitsauslanka, voidaan tehdä vain uusi katkaisuoohjelma, joka katkaisee langan 22 mm pitkäksi. Sen jälkeen tehdä uusi putsausohjelma, johon kopioidaan tämä uusi langankatkaisu, aiempi jyrintä- ja injektio-ohjelma.

Liikepisteiden nimet määrittyvät aina uutta ohjelmaa tehtäessä saman kaavan mukaan eli Waypoint1, Waypoint2 ja niin edelleen. Jyrinnän, katkaisun sekä injektion liikepisteet joudutaan nimeämään uudelleen, sillä robotti ei suostu toimimaan, mikäli pääohjelmaan kopioidussa kansiossa on käytetty samoja liikepisteiden nimiä. Tämän takia jyrinnän liikepisteet nimetään CleanWP ja liikepisteen numero, esimerkiksi CleanWP1. Myös katkaisun ja injektion liikepisteet muutetaan toimimaan samalla periaatteella, mutta Clean-sanalle tilalle laitetaan katkaisussa "Cut" ja injektiossa "Inj".

Pääohjelmassa robotti lähtee kotipisteestään eli pöydän etupuolelta. Robotti siirtyy ensin karkeasti putsausasemaa kohti. Sen jälkeen robotti siirtyy noin 15 cm putsausaseman yläpuolelle. Kun robotti on putsausaseman yläpuolella, lähtee pääohjelmaan kansiona kopioitu jyrintäohjelma käyntiin. Jyrintäohjelman jälkeen robotti palaa taas samaan pisteeseen noin 15 cm putsausaseman yläpuolelle. Seuraavaksi robotti lähtee katkaise-

maan hitsauslankaa pääohjelmaan kopioidun katkaisuohjelman avulla. Katkaisun jälkeen robotti palaa pisteeseen, josta se lähti katkaisua tekemään. Tämän jälkeen on samalla periaatteella tehdyn injektion vuoro. Kun injektio on tehty, robotti palaa ensin noin 15 cm putsausaseman yläpuolelle, jonka jälkeen robotti liikkuu takaisin pöydän etupuolelle ja on käyttövalmis hitsaukseen.

### 5.2.3 Jyrsintä

Jyrsinnässä tavoitteena on jyrsiä suurimmat hitsauksesta syntyneet roiskeet hitsauspäästä. Jyrsintää varten putsausasemassa on paineilmamoottori ja paineilmakelkka, joka nostaa terän. Terä on mitoitettu niin, että se menee juuri ja juuri hitsauspään sisään, joten hitsauspään sijoittaminen on todella tarkkaa. Hitsauspään sijoittamisessa auttaa paineilmalla toimiva puristin, jolla puristetaan hitsauspää paikalleen, mutta hitsauspää täytyy saada sijoitettua pystysuorassa suhteellisen tarkkaan oikeaan kohtaan, jotta puristin tarkentaa kohdan sijoituksen oikein.

Jyrsinnän ohjelmointi aloitettiin pisteestä, joka on pääohjelmassa määritetty putsausaseman yläpuolelle. Tämä piste tallennettiin ensimmäiseksi liikepisteeksi, jotta robotti voi tarkistaa olevansa oikeassa kohdassa ennen kuin jatkaa matkaa varsinaiseen jyrsintään. Tarkistamisen jälkeen robotti liikkuu lähestymispisteeseen. Tässä kohtaa ohjelma tarkistaa, että paineilmapuristin on auki, moottori ei pyöri ja kelkka on alhaalla. Tarkastamisen jälkeen, robotti liikkuu alaspäin, noin 5 mm irti seinämästä, johon sen on tarkoitus painautua. Kun robotti on alhaalla, se ajaa itsensä kohti seinämää. Tämän jälkeen IO-linkin avulla kutsutaan putsausasemaa laittamaan paineilmapuristin päälle, jolloin robotin hitsauspää paikoittuu tarkemmin ja myös pysyy oikeassa kohtaa. Kun paineilmapuristin on painanut hitsauspään paikoilleen, lähtee moottori ja yhden sekunnin ajastin käyntiin. Kun sekunti on kulunut, kelkka liikkuu ylös ja kahden sekunnin ajastin lähtee käyntiin. Kahden sekunnin kuluttua moottori pysäytetään, kelkka lasketaan alas. Tämän jälkeen avataan paineilmapuristin ja laitetaan puolen sekunnin ajastin käyntiin. Puolen sekunnin kuluttua robotti liikkuu 5 mm ulospäin seinämästä, jonka jälkeen se nousee ylöspäin lähestymispisteeseen. Lähestymispisteen jälkeen robotti palaa aloituspisteeseen.

#### 5.2.4 Katkaisu

Katkaisuun tarkoitettuja ohjelmia tarvitaan useampi, sillä erilaisiin hitsauksiin tarvitaan eri pituiset hitsauslangat. Robotille tehtiin kaksi katkaisuoohjelmaa 10 mm ja 18 mm, jotka molemmat toimivat samalla periaatteella, mutta lyhyempi ajaa hitsauspään matalammalle lyhyempää katkaisua varten.

Aluksi robotti tarkistaa aloituspisteen avulla, että se on kohdassa, johon jysrintäohjelman on tarkoitus loppua. Aloituspisteeltä robotti liikkuu lähelle putsausaseman katkaisukohtaa lähestymispisteen avulla. Kun robotti saavuttaa lähestymispisteen, se jatkaa matkaa suoraan alemmaksi, niin että hitsauslanka menee katkaisukohdan sisälle. Tässä vaiheessa robotti syöttää lankaa IO-linkin avulla 1,3 sekunnin ajan eli noin 20 mm nykyisellä langansyöttönopeudella. Tällä tavoin varmistetaan, että lanka yltää katkaisukohdan alapuolelle. Langansyöttämisen jälkeen robotti kääntää hitsauspään kulmaa noin 45-astetta, jotta päästä saadaan hiukan terävämpi. Lanka katkaistaan vinoon, jotta hitsatessa lanka syttyy paremmin. Kempin putsausasemassa katkaisu on toteutettu niin, että se toimii mekaanisesti paineilmapuristimen kautta. Tämän seurauksena tässä kohtaa laiteaan paineilmapuristin päälle ja samalla hetkellä yhden sekunnin ajastin lähtee käyntiin. Kun yksi sekunti on kulunut, paineilmapuristin aukeaa. Tämän jälkeen robotti suoristaa hitsauspään. Kun hitsauspää on suorassa, robotti nousee ensin ylöspäin lähestymispisteelle, jonka jälkeen se palaa aloituspisteeseen.

#### 5.2.5 Injektio

Injektiossa hitsauspäähän ruiskutetaan roiskeenestoaainetta. Tämän tarkoituksena on estää hitsauksessa syntyvän roiskeen tarttumista hitsauspäähän. Ruiskutuksessa tulevan aineen määrää voidaan säätää putsausaseman kyljessä olevan säätöruuvien avulla (kuva 27).



Kuva 27. Injektiossa tulevan ainemäärän säätöruuvi.

Injektion alkupisteenä toimii katkaisun lopetuspiste. Aloituspisteestä robotti lähenee putsausaseman suihkutuspäätä lähestymispisteen avulla. Kun robotti saapuu lähestymispisteeseen, se jatkaa alaspäin kohti mekaanisesti hitsauspäällä painettavaa suihkutuspäätä. Robotti painaa suihkutuspäätä alaspäin, mutta ei kuitenkaan pohjaan asti, koska suihkutuspää suihkuttaa jo ennen kuin se on painettu pohjaan. Syynä siihen, että suihkutuspäätä ei paineta pohjaan, on se, ettei robotilla paineta liikaa ja rikota esimerkiksi robotin servomootoreita tai putsausasemaa. Suihkutuksessa on puolen sekunnin ajastin, jonka jälkeen robotti lähtee nousemaan hitaasti kohti lähestymispistettä, jota tässä tapauksessa käytetään myös poistumispisteenä.

### 5.3 Hitsaustestit

Kun robotti oli valmis hitsausta varten, sitä testattiin. Lisäksi samalla harjoiteltiin A7-virtalähteen käyttöä erilaisilla parametreilla, kuten kuumakaarella ja lyhytkaarella. Virtalähteessä on kanavia, joihin voidaan lisätä halutut parametrit. Kanavia virtalähteessä on yhteensä 99. Robotin pendantilla voidaan kutsua näitä kanavia. Haluttu hitsausnopeus säädetään pendantin avulla. Hitsaustestejä varten tarvitsi tehdä ohjelmat robotille. Ohjelmat itsessään on yksinkertaisia.

Hitsaustestissä tehtiin tavallisen T-palkin hitsaaminen. Aluksi kiinnitettiin puristimien avulla kappale kahdesta kohdasta kiinni pöytään, jonka jälkeen aloitettiin ohjelman tekeminen. Ohjelman aluksi tallennetaan ensimmäinen piste huomattavan kauas esimerkiksi 50 cm päähän hitsattavasta kappaleesta. Tämän jälkeen robotti ajetaan lähemmäksi hitsattavaa kappaletta lähestymispisteeseen, joka voi olla noin 10 cm hitsattavan kappaleen yläpuolella ja noin 5 cm ulospäin pystyosasta. Lähestymispisteestä jatketaan kappaleelle niin, että hitsauslanka ottaa kiinni hitsattavan kappaleen yläpintaan, mutta on noin 1 mm päässä pystyosasta. Tässä kohtaa tallennetaan liikepiste ja lisätään Start welding-komento ja valitaan halutut hitsausparametrit sisältävä kanava, joka tässä tapauksessa on synerginen 1-mig-hitsausprosessi.

Hitsauksen aloituskohdan määrittämisen jälkeen robotti ajetaan pisteeseen, johon hitsaus halutaan päättää. Tälläkin kertaa noin 1 mm päähän pystyosasta ja kiinni hitsattavan kappaleen yläpintaan. Kun on päästy sopivaan kohtaan, tallennetaan liikepiste siihen. Liikepisteen tallentamisen jälkeen lisätään Stop welding-komento. Tämän jälkeen tehdään poistumispiste 10 cm lopetuspisteen yläpuolelle ja 5 cm ulospäin pystyosasta. Kun poistumispiste on tehty, kopioidaan kotipiste ja lisätään se viimeiseksi pisteeksi. Ohjelma on tässä kohtaa valmis ja se täytyy testata ennen kuin lähdetään hitsaamaan. Pendantista voidaan säätää hitsaus simulaatiotilaan, jolloin robotti ei lähde hitsaamaan mutta ajaa radan läpi. Kun ohjelma oli testattu onnistuneesti ja todettu toimivaksi, laitettiin simulaatiotila pois päältä ja ajettiin ohjelma läpi, niin että hitsattiin. Hitsausjäljestä tuli testatessa onnistunut (kuva 28). Testin aikana DCM-moduuli oli kytkettynä virtalähteeseen ja yhdistettynä älypuhelimeen sekä siinä olevaan Weldeye-sovellukseen, joten hitsauksesta saatiin myös hitsausdataa (kuva 29).



Kuva 28. T-palkin hitsaustulos.

#### Hitsausparametrit

##### Langansyöttönopeus

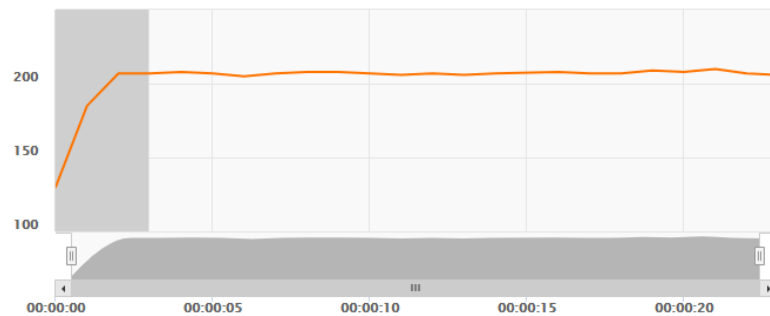
keskiarvo 9.4 m/min / min. 9.4 m/min / maks. 9.4 m/min

keskiarvo 9.4 m/min / min. 9.4 m/min / maks. 9.4 m/min (alku ja loppu suodatettu)

##### Virta

keskiarvo 206 A / min. 185 A / maks. 210 A

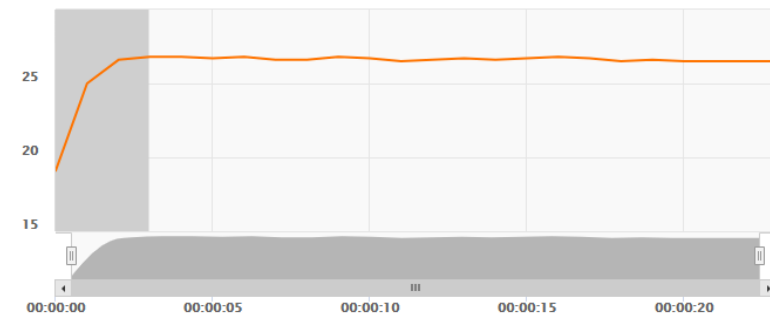
keskiarvo 207 A / min. 205 A / maks. 209 A (alku ja loppu suodatettu)



##### Jännite

keskiarvo 26.6 V / min. 25 V / maks. 26.8 V

keskiarvo 26.7 V / min. 26.5 V / maks. 26.8 V (alku ja loppu suodatettu)



Kuva 29. DCM:n avulla saatua hitsausdataa.

## 6 TURVALLISUUS

Robottien kehittyessä niistä on tehty entistä nopeampia ja voimakkaampia. Lisäksi robottien toiminta-aluetta on suurennettu. Koska turvallisuusmenetelmiä on monia erilaisia, tarvitsee löytää oikeanlaiset käyttämällemme yhteistyörobotille. Turvallisuusmenetelmiin vaikuttaa työympäristö, sekä työtehtävä ja käytettävä työkalu. Robotin työympäristö on aitaamaton alue, joten tarvitaan muunlaisia tapoja soluun kulkemisen rajoittamiseen ja estämiseen.

### 6.1 Hitsausverhot

Hitsaussolun ympärille sijoitetaan hitsausverhot suojaamaan roiskeelta (kuva 30). Lisäksi hitsausverhojen avulla estetään silmille haitallisen kirkkaan hitsauksesta syntyvän valon vahingollinen katsominen. Hitsausverhot laitetaan solun ulkolaidalla kulkevalle kiskolle. Verhojen alareuna on suurin piirtein pöydän päällisen tasolle.



Kuva 30. Hitsausverhot robottisolun ympärillä.



## 6.2 Robotin työalue

Robotissa käytettävän työkalun, joka tässä tapauksessa on hitsauspilli, seurauksena työaluetta täytyy valvoa, jotta kukaan ei mene kesken hitsausohjelman vahingoittamaan itseänsä menemällä liian lähelle robottia. Tämä toteutetaan turvalaserskannerin avulla. Lisäksi alue rajataan turvanauhojen avulla.

### 6.2.1 Turvanauhat

Robotin turva-alueen rajausta toteutetaan turvanauhojen avulla. Turvanauhojen käyttämiseksi, robottisolun turva-alueen toiselle reunalle kiinnitetään rajausnauhakela. Turva-alueen kulmaan laitetaan siirrettävä rajausnauhatolppa (kuva 31). Toiselle seinälle kiinnitetään rajausnauhan seinäkiinnike. Kun kaikki komponentit on saatu paikalleen, voidaan turvanauhakelalta vetää nauha turvanauhatolpalle ja turvanauhatolpalta nauha turvanauhan seinäkiinnikkeelle.

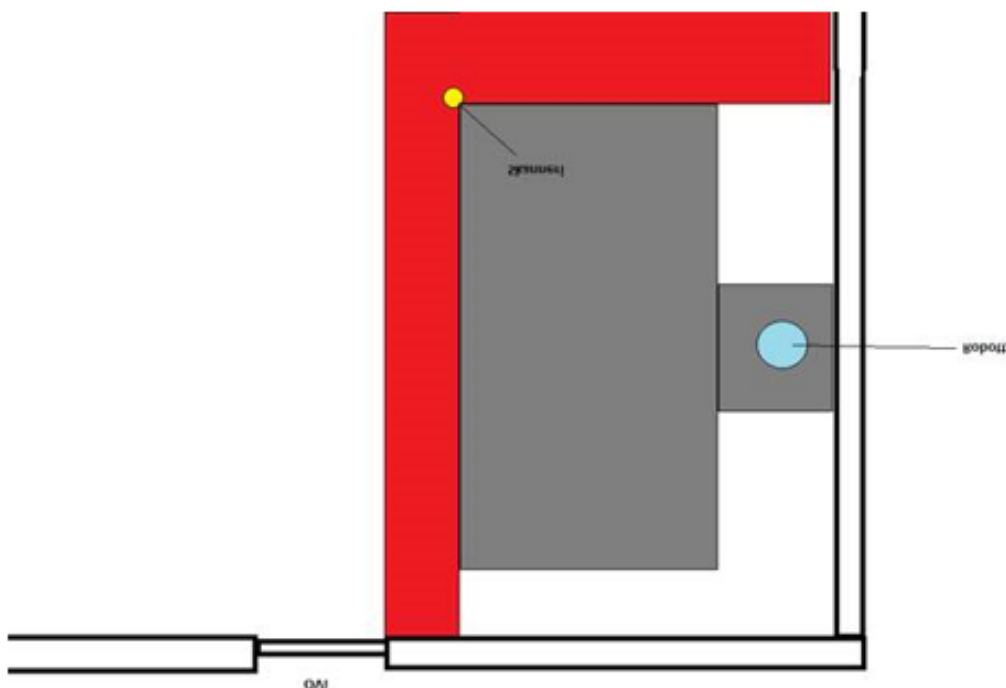


Kuva 31. Alueen rajauksessa käytettävä rajausnauhatolppa.

### 6.2.2 Turvalaserskanneri

Robottisolussa on käytössä Hokuyon UAM-05LP-T301-turvalaserskanneri. Turvalaserskannerin toimintasäde on  $270^\circ$  ja suoja-alueen maksimi säde on 5 metriä turvalaserskannerista, joten oikein käytettynä turvalaserskannerilla voidaan tarkkailla yhteistyörobottisoluun kulkemista todella hyvin. Turvalaserskannerin alue voidaan määrittää sopivaksi kuhunkin työympäristöön. Turvalaserskannerille voidaan määrittää myös useampia alueita, joista esimerkiksi ensimmäiselle alueelle tultaessa skanneri antaa varoituksen esimerkiksi äänen tai valon avulla ja toiselle alueelle tultaessa robotti pysähtyy kokonaan. (Hokuyo-aut)

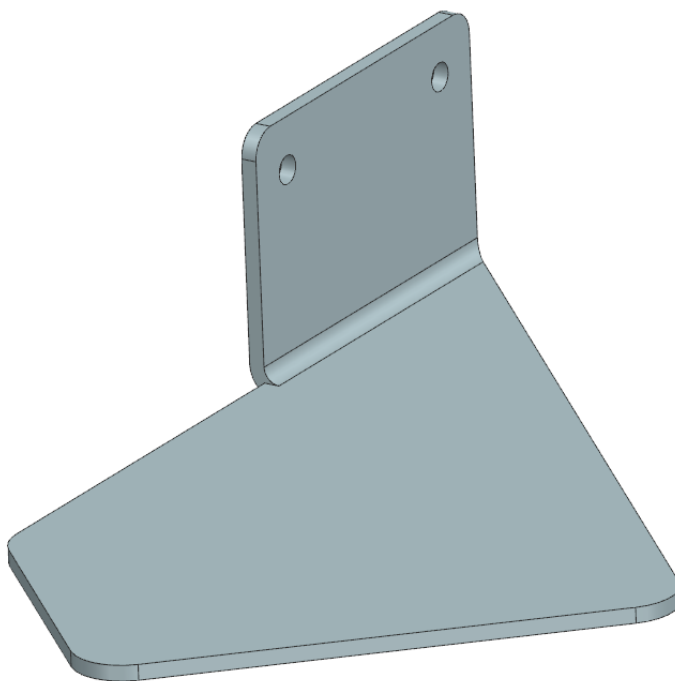
Tässä robottisolussa tilanpuutteen vuoksi ei voida hyödyntää turvalaserskannerissa olevaa varoitusaluetta. Turvalaserskanneri on asennettuna robottisolun uloimpaan jalkaan ulokejalustan avulla niin, että se on 300 mm:n korkeudessa maasta. Tällä asennuskorkeudella pyritään estämään tehokkaasti alueelle pääseminen ryömien ja hypäten. Turva-alue robotin työalueesta on 1200 mm, joten turvalaserskannerin alue määritettiin niin, että 1200 mm etäisyys työalueesta täyttyy. Tilassa pystytään kulkemaan suhteellisen vapaasti, mutta liian lähelle robottia ei päästä ilman, että robotti pysähtyy, jos ohjelma on käynnissä (kuva 32).



Kuva 32. Turvalaserskannerin turva-alue punaisella merkittynä.

Koska pöytä on täysin metallinen ja turvalaserskanneri on asennettuna metalliselle tasolle, se ottaa häiriötä hitsatessa. Tämän seurauksen skanneri täytyy eristää pöydästä. Eristys toteutetaan muovilevyllä ja 3D-tulostetuilla eristeholkeilla. Eristeholkit päätettiin 3D-tulostaa, sillä se todettiin helpoimmaksi ja nopeimmaksi tavaksi eristämiseen. Helpous 3D-tulostamisessa johtuu siitä, että koululla on valmiiksi 3D-tulostimia, joilla eristeholkit saadaan tulostettua. Muovilevy sijoitettiin turvalaserskannerin alapuolelle ja turvalaserskannerin kiinnitysreikiin laitettiin nämä 3D-tulostetut holkit.

Turvalaserskanneri ja sen linssi on herkkiä hajoamaan iskuista, jonka takia turvalaserskannerille täytyy tehdä suojalevy mahdollisten pöydältä putoavien kappaleiden varalle. Suojalevy toteutetaan turvalaserskannerin ulokejalustan peilikuvalla (kuva 32). Suojalevyn reunat täytyi pyöristää, jotta siihen mahdollisesti kohdistuvat ihmisten törmäykset eivät satuta törmännyttä henkilöä. Suojalevy kiinnitetään pöydän jalkaan tehtyihin M5-kierereikiin hiukan turvalaserskannerin yläpuolelle M5-pulteilla.



Kuva 33. Turvalaserskannerin suojan 3D-malli.

### 6.3 Kuolleenmiehenkytkin

Koska kyseessä on hitsaussovellus, yhteistyörobotin käyttötarkoitus hiukan muuttuu ja siitä tulee enemmänkin teollisuusrobottia vastaava, mutta kuitenkin huomattavasti pienempi. Tämän seurauksena tarvitaan kuolleenmiehenkytkin. Valmiiksi UR10-robotin

pendantista ei kuolleenmiehenkytkintä löydy, joten tarvitaan ulkoinen kytkin. Ulkoinen kytkin toteutettiin 3-asentoisen polkimen avulla. 3-asentoisessa polkimessa asennot ovat: ei päällä, päällä, hätäpysäytys. 3-asentoinen poljin toimii niin, että kun robottia ohjelmoidaan manuaalillassa, poljinta täytyy painaa kevyesti. Jos painaa liikaa, se laukaisee hätäpysäytyksen. Polkimessa on hätäpysäytyksen kuittaamista varten sininen painettava kytkin (kuva 34). Jos poljinta ei paineta tai sitä painetaan liian kevyesti, robotti pysähtyy, mutta sen ohjelmointia voidaan jatkaa sillä, että painetaan poljinta uudestaan tai enemmän eli sitä ei tarvitse kuitata painettavalla kytkimellä.



Kuva 34. 3-asentoinen jalkapoljin.

#### 6.4 Robottiin tehdyn ohjelman käynnistäminen

Jotta robotilla voidaan ajaa ohjelma turvallisesti niin, että kukaan ei ole robotin työalueella, lisättiin soluun ulkoinen ohjausyksikkö (kuva 35). Ulkoisessa ohjausyksikössä on painonapit robotin ohjelman käynnistämiseksi ja pysäyttämiseksi. Lisäksi ohjausyksiköstä löytyy hätäseis-painike ja painonappi turvapiirin kuittaamista varten. Ulkoinen ohjausyksikkö on suorassa yhteydessä kaapelilla robotin ohjausyksikköön, joten painonapit toimivat nopeasti minimaalisella viiveellä.



Kuva 35. Ulkoiseen ohjauksessa käytettävät painonapit.

## 7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda itseoppimisympäristö hitsausrobotille. Tässä tavoitteessa onnistuttiin hyvin. Aikataulu tälle työlle oli suhteellisen kiireellinen hitsausrobotin kanssa alkavien kurssien seurauksena. Kokonaisuudessaan aikataulussa kuitenkin pystyttiin suhteellisen hyvin, vaikka joidenkin osa-alueiden tekeminen venyikin. Työn alussa suuri osa asioista oli vielä todella auki, mutta pikkuhiljaa näitä asioita saatiin selvitettyä ja ratkottua. Lopulta solusta saatiin turvallinen, toimiva, sekä helppokäyttöinen.

Työn loppuvaiheilla hitsaustestien aikana tuli vielä eristyksen ja maadoitusten kanssa ongelmia. Tämän tosin saatiin suhteellisen helposti ratkaistua, sillä Turun ammattikorkeakoulun tiloissa on valmiiksi 3D-tulostimia ja muovilevyjä. Robotti kannattaa mahdollisesti vielä maadoittaa erillisellä maadoituskaapelilla, joka tulisi suoraan rakennuksen maadoituskiskolta. Tämä sen varalta, että eristys pöydän ja robotin välillä pettäisi tai mikäli se ei olisi täysin varmasti toimiva. Myös pöytien välissä oleva anturi ja sen vastakappale pitäisi mahdollisesti eristää pöydästä vikatilan varalta, sillä ne ovat suorassa yhteydessä robotin ohjauslaatikkoon.

Injektion käyttöä solussa kannattaisi vielä pohtia sen jälkeen, kun solua on käytetty jonkin verran opetuskäytössä, sillä se voi olla, että nestettä tulee liikaa hitsauspäähän. Nesteiden suihkutusta säädettiin todella pieneksi, mutta voi olla, että opetuskäytössä se on silti liika, koska robotilla hitsataan suhteellisen vähän. Suihkutuksella ei ole suurta merkitystä hitsauksen kannalta tässä ympäristössä. Niinpä pääputsausohjelmasta voitaisi esimerkiksi poistaa tämä kohta ja manuaalisesti ajaa silloin tällöin erikseen tehdyn ohjelman avulla injektio. Tällä ei tosin ole suurta merkitystä. Lähinnä vaikuttaa siihen, että hitsauspäästä saattaa tulla tahmea tai muuta vastaavaa.

## LÄHTEET

Beaupre, M. 2015. Collaborative Robot Technology and Applications. [https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA\\_Beaupre.pdf](https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA_Beaupre.pdf)

Hokuyo-aut 2014. Viitattu 7.12.2020 <https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=174>

International Federation of Robotics Frankfurt, Germany. 12/2018. Demystifying Collaborative Industrial robots. Positioning Paper 2018. [https://ifr.org/downloads/papers/IFR\\_Demystifying\\_Collaborative\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf)

Kemppi 2020. Viitattu 6.10.2020 <https://www.kemppi.com/fi-FI/>

Kemppi Userdoc 2020. Viitattu 7.12.2020 <https://userdoc.kemppi.com/fi/Default.htm>

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

Malm, T. & Salmi, T. 2019. Yhteistyörobotit tulevat – oletko valmis? Automaatioväylä 6/2019. Viitattu 2.12.2020 [http://www.automaatiovayla.fi/wp-content/uploads/2019/12/Automaatiovayla\\_6\\_2019.pdf](http://www.automaatiovayla.fi/wp-content/uploads/2019/12/Automaatiovayla_6_2019.pdf)

SFS-EN ISO 10218-1. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Siegmund 2020. System 16. Viitattu 6.10.2020 <https://www.siegmund.com/fi-fi>

Universal Robots 2020. Universal robots. Viitattu 29.9.2020 <https://www.universal-robots.com>

Weldeye 2020. Viitattu 1.12.2020 <https://www.weldeye.com/en-US/>