



Hitsaussolun uudistaminen

Ville Taiponen

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Automaatiotekniikka

TAIPONEN, VILLE:
Hitsaussolun uudistaminen

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Huhtikuu 2021

Työssä tehdään suunnitelma hitsaussolun uudistamiseksi Tenimet Oy:lle. Työn tarkoituksena oli suunnitella vanhan hitsausrobotin vaihto uudempaan robottiin, jonka käyttö olisi käyttäjäystävällisempää. Hitsaussolu tarkoittaa hitsaamista varten tehtyä automaattista järjestelmää, johon sisältyy robotin lisäksi useita eri komponentteja.

Työssä käsitellään robotiikkaa ja robotteja, tutustutaan tarkemmin teollisuusrobotiikkaan. Teollisuusrobottien käyttökohteita ja eri tyyppisiä käsitellään tarkemmin. Lisäksi tutustutaan yhteistyörobotteihin, jollainen myös uusi robotti on. Servomootorit ovat tärkeä osa robotiikkaa, koska niitä käytetään robottien varsien liikkutteluun. Hitsaussolussa servomootoreita käytetään myös kääntöpöytien pyörytykseen, jolloin niiden uusiminen on tärkeä osa hitsaussolun uudistamista. Koneturvallisuus oli tärkeässä asemassa työn suunnittelussa, sillä hitsaussolun turvallisen käytön kannalta vaadittiin hitsaussolun tarkastelua turvallisuuden näkökulmasta.

Työn avulla saatiin tehtyä tarkat suunnitelmat uudistamista varten tarvittavista komponenteista ja niiden hankinnasta. Lisäksi tehtiin vaadittavat kytkentäkuvat sähkökytkentöjen tekoa varten sekä tehtiin logiikkaohjelmat PLC:tä ja turvalogiikkaa varten, jolloin hitsaussolun käyttöönotto olisi helppoa ja nopeaa.

Suunnitelman valmistuttua pystyi yritys tekemään päätöksen uudistamisen toteutuksesta sekä aikataulusta, jolla se toteutetaan. Opinnäytetyön valmistuessa hitsaussolun kasaus on aloitettu sekä joitain laitteita on pystytty testaamaan. Kokoonpanon jälkeen hitsaussolulle tarvitsee tehdä tarvittavat laitteiden testaukset.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Automation Engineering

TAIPONEN, VILLE:
Upgrade of a Welding Cell

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 3 pages
April 2021

The purpose of this thesis was to provide an upgrade plan for a welding cell for Tenimet Oy. The main objective was developing a plan for upgrading an old robot to a more modern robot that would be more user friendly. Welding cell is an automated system which is used for welding and it usually includes a robot along with multiple other components.

This work includes theory about robotics and robots, and a closer examination of industrial robotics. Industrial robot applications and their different types are discussed in more detail. Collaborative robots are also discussed because the new robot used in the welding cell is a collaborative robot. Servo motors are vital part of robotics because they are used to move robot arms. In the welding cell servo motors are also used to rotate turntables which also means that new servo motors are needed, and they are a vital part of the upgrade. Machine safety is an important aspect to consider in the design process because it is essential for the welding cell safety.

With this work detailed plans were made for the upgrade which included part lists and their procurement. Circuit diagrams were also drawn for electrical installations, and logic programs were designed for PLC and safety logic so that welding cell start-up would be easy and quick.

When the plan was completed the company could make a decision on whether to upgrade the welding cell or not and timetable for the upgrade. At the time of thesis completion, assembly of the welding cell was in progress and only some equipment had been tested. After the assembly is completed, all the necessary equipment needs to be tested.

Key words: robotics, machine safety, safety logic

SISÄLLYS

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 1.1 | Työn tavoitteet..... | 7 |
| 1.2 | Tenimet Oy | 8 |
| 2 | TEOLLISUUSROBOTIIKKA..... | 9 |
| 2.1 | Robottiikka | 9 |
| 2.2 | Robotti..... | 10 |
| 2.2.1 | Teollisuusrobotti | 10 |
| 2.2.2 | Yhteistyörobotti..... | 11 |
| 2.3 | Robottihitsaus | 13 |
| 2.3.1 | Robottihitsauksen laitteet | 13 |
| 2.3.2 | MIG/MAG-hitsaus | 14 |
| 2.4 | Servomoottori..... | 15 |
| 2.5 | Koneturvallisuus..... | 17 |
| 2.5.1 | Koneen määritelmä | 18 |
| 2.5.2 | Koneiden käyttäminen | 18 |
| 2.5.3 | Sähköturvallisuus | 18 |
| 3 | HITSAUSSOLUN KOMPONENTIT | 20 |
| 3.1 | Hitsaussolun laitteet..... | 20 |
| 3.1.1 | Universal Robots UR10 | 20 |
| 3.1.2 | Hitsauskone..... | 22 |
| 3.1.3 | Kääntöpöydät | 23 |
| 3.2 | Hankittavat komponentit..... | 24 |
| 3.2.1 | Servomoottori | 24 |
| 3.2.2 | I/O-moduuli | 25 |
| 3.2.3 | Ohjelmoitava logiikka..... | 25 |
| 3.2.4 | KytKentäkaappi..... | 26 |
| 3.3 | Hitsaussolun turvalaitteet | 28 |
| 3.3.1 | Turvalogiikka | 29 |
| 3.3.2 | Turvakontrolleri..... | 29 |
| 3.3.3 | I/O-kortit ja turvarele | 30 |
| 3.3.4 | Valoverhot | 31 |
| 4 | HITSAUSSOLUN UUDISTUS..... | 33 |
| 4.1 | Lähtötiedot | 33 |
| 4.2 | Suunnittelu | 34 |
| 4.2.1 | KytKentäkuvat..... | 34 |
| 4.3 | Toteutus | 35 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 4.3.1 Turvakontrollerin ohjelma | 35 |
| 4.4 Toiminta | 39 |
| 5 POHDINTA | 42 |
| LÄHTEET | 44 |
| LIITTEET | 46 |
| Liite 1. Osaluettelo | 46 |
| Liite 2. PLC-kytkennät..... | 47 |
| Liite 3. ROB 5000-kytkennät..... | 48 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|-------|--|
| AI | Analoginen input |
| AO | Analoginen output |
| ATEX | Räjähdyksvaarallisten tilojen laitteiden standardi |
| Cobot | Yhteistyörobotti (collaborative robot) |
| DI | Digitaalinen input |
| DO | Digitaalinen output |
| EMC | Sähkömagneettinen yhteensopivuus |
| ISO | Kansainvälinen standardisoimisjärjestö |
| I/O | Input / Output |
| LVD | Matalajännite direktiivi |
| PLC | Ohjelmoitava logiikka |
| UR10 | Universal Robots UR10-yhteistyörobotti |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä suunnitelma hitsaussolun uudistamisesta ja uudistuksen toteutuksesta. Työn teettäjänä on Tervakoskella sijaitseva metallialan yritys Tenimet Oy. Työssä tutustutaan robotiikkaan yleisesti sekä teollisuuden robotiikkaan ja teollisuusrobottien yhteen malliin, yhteistyörobotteihin eli cobotteihin.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hitsaussolun vaatimia laitteita ja komponentteja. Opinnäytetyö käsittelee pääasiassa hitsaussolun sähkötekniistä osa-aluetta ja logiikoiden ohjelmointia. Hitsaussolun mekaanisia osa-alueita sivutaan, mutta niitä ei käsitellä tarkemmin. Työssä käydään läpi hitsaussolun suunnittelua sekä sen suunniteltua toimintaa.

Investoinnin tarkoituksena on uudistaa yrityksen käytössä oleva hitsausrobotti. Tavoitteena on lisätä hitsausrobotin käytettävyyttä, uusimalla käytössä oleva robotti. Suurimpana syynä on vanhan robotin ikä ja huono varaosien saatavuus. Lisäksi tavoite on solussa käytettävien kääntöpöytien ja uuden robotin ohjauksien yhdistäminen, jotta operointi ja ohjelmointi voidaan tehdä yhdestä laitteesta. Lisäksi yhdistetään hitsauskone UR10-robottiin. Näillä uudistuksilla on tarkoitus lisätä robotin tehokkuutta ja käytettävyyttä.

Opinnäytetyön pääkomponentteina on UR10-robotti, kääntöpöydät ja ohjelmoitavat logiikat. Hitsausrobotti suunnitellaan ja kootaan yrityksen tiloissa. Opinnäytetyön CAD-kuvat on tehty AutoCAD-ohjelmalla.

1.1 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella sekä toteuttaa hitsausrobotin uudistaminen. Suunnitelmaan sisältyi selvitykset tarvittavista osista sekä tarjouspyynnöt hankittavista komponenteista. Lisäksi työhön sisältyi ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointi sekä kytkentäkuvien teko. Työn tarkoitus oli siis tehdä suunnitelma

siihen pisteeseen, että hitsaussolu voidaan kasata suunnitelman pohjalta ja valmiit ohjelmat voidaan ladata logiikoihin, jotta hitsaussolu saataisiin testaamisen jälkeen mahdollisimman nopeasti tuotantokäyttöön.

1.2 Tenimet Oy

Tenimet Oy on Tervakoskella sijaitseva metallialan yritys, joka on perustettu vuonna 1993. Tenimet toimittaa ohutlevytuotteita ja kokoonpanopalveluita kone- ja laitevalmistajille. Tenimetin liikevaihto oli 3,31 miljoonaa euroa 2020/6 päättyneellä tilikaudella. Työntekijöitä oli 20. (finder.fi n.d.)

2 TEOLLISUUSROBOTIIKKA

Tässä kappaleessa käsitellään teollisuusrobotiikan teoriaa sekä hitsaussolun pääkomponenttien teoriaa. Käsittelyssä on robotiikka yleisellä tasolla sekä työn kannalta tärkeimmät robotiikan alueet kuten yhteistyörobotti ja robottihitsaus. Tässä kappaleessa käsitellään myös servomootoreiden toimintaan, koska ne ovat yksi tärkeä osa tämän hitsaussolun toimintaa. Tässä kappaleessa käsitellään myös koneturvallisuuden osuutta työhön ja sen merkitystä koneiden suunnitteluun, käyttöön ja rakentamiseen.

2.1 Robotiikka

Robotiikka on tieteen ala, jossa suunnitellaan, valmistetaan ja käytetään mekaanisia robotteja. Robotteja käytetään valmistuksessa ihmisten apuna tai korvaavana työkaluna. Teknologian kehitys on mahdollistanut robottien käytön vaativimmissa tehtävissä. Vuonna 2005 90% kaikista roboteista oli käytössä autojen valmistuksessa. Robotit koostuivat mekaanisista varsista, joita käytettiin hitsaamiseen ja osien kiinnittämiseen. Nykypäivänä robotiikan määritelmä ja käsitys on laajentunut. (builtin.com, robotics, n.d.)

Kaikilla roboteilla on joitain yhteisiä piirteitä. Yhteisiä piirteitä kaikissa on jonkinlainen mekaaninen kokoonpano ja joitain liikkuvia osia. Lisäksi robotit tarvitsevat sähkökomponentteja, koska suurin osa roboteista tarvitsee sähkövirran toimiakseen. Robotit sisältävät yleensä myös jonkinlaisen ohjelmiston, jonka avulla robottia voidaan ohjata ja ohjelmoida. Ohjelmiston avulla robotti voi toimia ja suorittaa sille asetettuja tehtäviä. (builtin.com, robotics, n.d.)

Robotteja on useita erilaisia sekä kooltaan, että käyttötarkoitukseltaan. Robotin pääasiallisia tyyppejä ovat esiohjelmoidut, humanoidi, autonomiset ja teleoperoidut robotit. Esiohjelmoidut robotit suorittavat yleensä yksinkertaisia työtehtäviä hallituissa olosuhteissa, kuten esimerkiksi autojen kokoonpano. Humanoidi robottien tarkoitus on matkia ihmisten toimintaa, kuten juoksemista. Autonominen robotti pystyy suorittamaan tehtäviä omatoimisesti, tästä esimerkkinä robotti-

imuri. Teleoperoidut robotit ovat ihmisen ohjaamia robotteja, joita käytetään vaativissa olosuhteissa etäyhteyden välityksellä. (builtin.com, robotics, n.d.)

Robotteja käytetään erilaisissa tehtävissä. Robottien vanhin ja tunnetuin käyttäjä on teollisuus. Teollisuudessa käytetään robotteja sekä yhteistyörobotteja eli cobotteja. Robotteja käytetään tuotteiden testaamiseen ja kokoonpanoon, esimerkiksi kokoonpantavista tuotteista on auto. Logistiikassa käytetään myös robotteja erilaisissa tehtävissä, kuten tavaroiden hyllyttäminen sekä kuljetus. Robotteja on käytössä myös kotitalouksissa, joista tunnetuin esimerkki on robotti-imuri. Robotiikka on myös siirtymässä autoihin, kuten itseajavat autot, jotka kehittyvät jatkuvasti. Lisäksi robotteja käytetään myös terveydenhuollossa, jossa niitä voidaan käyttää leikkauksien avustajina tai fysioterapiassa ihmisten apuna. (builtin.com, robotics, n.d.)

2.2 Robotti

Robotti määritelmä on määritelty ISO 8373 standardin sanastossa. Määritelmät on annettu kahdelle robottityypille, teollisuusrobotti ja palvelurobotti. Robotit luokitellaan pääasiallisesti näiden luokkien mukaan. Teollisuusrobotteja käsitellään tarkemmin seuraavassa osassa. Palvelurobotti luokitellaan ISO 8373 standardissa. (ifr.org, standardization, n.d.)

Robotit tarvitsevat, joitakin määriä autonomisuutta. Tähän sisältyy, että robotit voivat suorittaa haluttuja tehtäviä nykytilan mukaan, ilman ihmisen sekaantumista. Palvelurobotit luokitellaan seuraavasti, ”robotti, joka suorittaa hyödyllisiä tehtäviä ihmisille ja laitteille, ei sisällä teollisuuden kohteita”. Palvelurobotit luokitellaan yksityiseen ja ammatilliseen käyttöön. (ifr.org, service robots, n.d.)

2.2.1 Teollisuusrobotti

Teollisuusrobotin määritelmä tulee kansainvälisen standardisoimisjärjestön ISO:n määritelmästä, ”automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitava monikäyttöinen manipulaattori, josta voidaan ohjelmoida vähintään kolme akselia”, joka

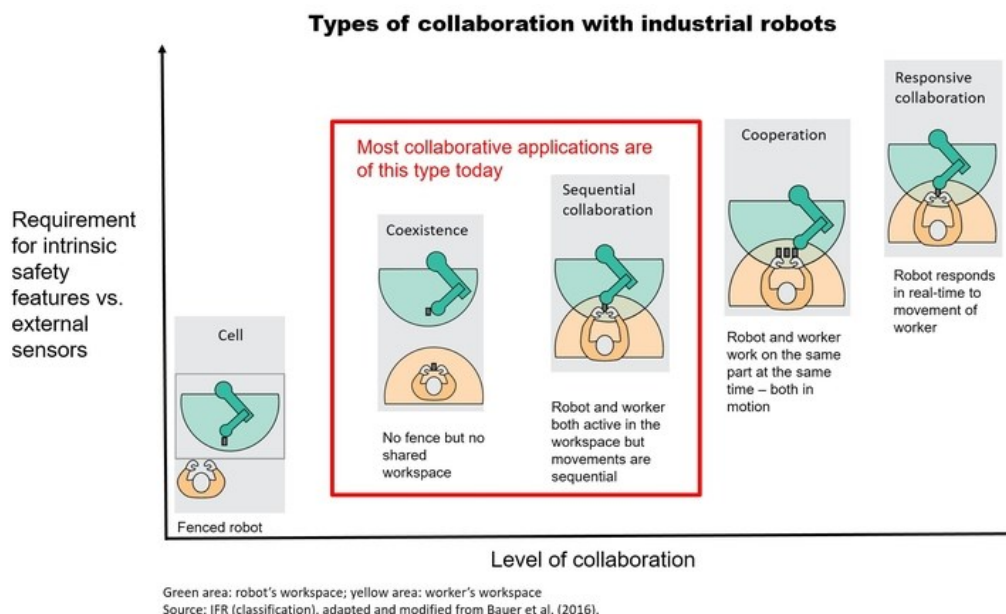
voi olla mobiili tai paikalleen kiinnitetty robotti, jota voidaan käyttää teollisuuden eri sovelluksiin. Määritelmä on standardin ISO 8373 mukainen. Määritelmän mukaan teollisuusrobotteja pitää pystyä uudelleen ohjelmoimaan siten, että niille ei tarvitse tehdä fyysisiä muutoksia. Lisäksi robottien tulee pystyä tekemään erilaisia tehtäviä fyysisten muutosten avulla. (ifr.org, industrial robots, n.d.)

Teollisuusrobotit voidaan luokitella niiden mekaanisen ominaisuuksien perusteella, kuten niiden nivelien ja akseleiden määrien ja tyylien perusteella. Teollisuusrobottien tyyppejä ovat mm. lineaariset, SCARA ja kiertyväniveliset robotit. (ifr.org, industrial robots, n.d.)

Teollisuusrobotiikan investoinnin syitä ovat robottien kasvanut joustavuus sekä nopea sopeutuminen kysynnän muuttumiseen, kuten pienempien tuote-erien teko. Teollisuusroboteilla on myös parempi joustavuus toimia tuotantopiikeissä ja erilaisissa äkillisissä muutoksissa. Robotit myös parantavat energia- ja raaka-aine tehokkuutta optimoidulla suorituskyvyllä. Lisäksi robotit vähentävät kustannuksia, parantavat tuotteiden laatua ja tuotantomääriä, robotit myös säästävät tilaa. (ifr.org, industrial robots, n.d.)

2.2.2 Yhteistyörobotti

Yhteistyörobotit on suunniteltu tekemään työtehtäviä yhdessä ihmisten kanssa eri teollisuusaloilla. Kansainvälinen robottiliitto määrittelee kaksi robottityyppiä, jotka on suunniteltu yhteistyöhön ihmisten kanssa. Ensimmäinen ryhmä yhteistyörobotteja on ISO 10218-1 mukaisia turvatoimintojen ja turvalaitteiden osalta. Toinen ryhmä yhteistyörobotteja eivät ole yllä mainitun standardin mukaisia. Tämä ei kuitenkaan tee kyseisistä roboteista turvattomia, vaan ne voivat olla kansallisten tai yritysten sisäisten standardien mukaisia. (ifr.org, industrial robots, n.d.)



KUVA 1. Yhteistyörobottien eri tyypit (ifr.org, 2018)

Yhteistyörobotteja on monenlaisia ja niitä käytetään erilaisissa tehtävissä. Yhteistyörobottien skaalassa on useita tasoja, joilla robotteja voidaan käyttää teollisuudessa, näitä teollisuuden yhteistyörobottien tyyppejä on esitetty kuvassa 1. Osa roboteista työskentelee, erikseen niille varatussa tilassa, joka voidaan rajata erilaisilla turvatoiminnoilla. Näihin tiloihin ihminen voi mennä tekemään erilaisia tehtäviä, tietyin aikaväleihin. Näin robottien käytössä säästetään turhilta pysähdyksiltä. (ifr.org, industrial robots, n.d.)

Yhteistyöroboteista osa on suunniteltu toimimaan täysin yhteistyössä ihmisten kanssa, usein samassa tilassa. Näissä yhteistyöroboteissa useita teknisiä ominaisuuksia, joiden ansiosta robotti voi työskennellä hyvin lähekkäin ihmisten kanssa. Yhteistyöroboteissa on yleensä kevyitä ja pyöreitä materiaaleja ja erilaisia sensoreita robotin nivelissä sekä kiinnityskohdissa. Näiden on tarkoitus mitata robotin nopeutta sekä ohjausvoimaa. Antureiden avulla varmistetaan, että roboteille asetut raja-arvot eivät ylitä. Ohjausvoiman ylitys voi esimerkiksi tapahtua, jos robotin varsi osuu ihmiseen tai johonkin muuhun kiinteään esineeseen. (ifr.org, industrial robots, n.d.)

Yhteistyörobottien osuus teollisuuden roboteista on vielä erittäin pieni, mutta koko ajan kasvava. Yhteistyörobottien kehitys on nopeaa. Sensorien ja tarttuvien

teknologinen kehitys mahdollistaa robottien käyttökohteiden kasvattamisen. Lisäksi robottien ohjelmoinnin käyttöliittymä tulee koko ajan intuitiivisemmaksi kaikille teollisuuden roboteille. (ifr.org, industrial robots, n.d.)

2.3 Robottihitsaus

Robottihitsaus on roboteilla automatisoitu hitsausprosessi, jossa robotit suorittavat hitsauksen laaditun ohjelman perusteella. Robotteja voidaan ohjelmoida uudelleen, jolloin robotteja voidaan käyttää erilaisten tehtävien toteutukseen. Hitsausrobotiikka on kehittynyt versio automatisoidusta hitsauksesta, jossa hitsaus suoritetaan koneilla. Robottitekniologia mahdollistaa tarkat ja nopeat hitsausprosessit, jossa on parempi turvallisuus ja jätettä syntyy vähemmän. Roboteilla on parempi ulottuvuus sekä ne voivat suorittaa monimutkaisia ja tarkkoja hitsauslinjoja nopeammin ihmiseen verrattuna. (kemppi.com, robottihitsaus, n.d.)

Robottihitsauksen käyttökohteita on suuri tuotantoeräiset kappaleet. Robottihitsauksella on erittäin suuri tuottavuus, jonka lisäksi se on myös aikaa säästävää, joten robottihitsaus on merkittävässä asemassa metalli- ja raskasteollisuudessa. Parhain soveltuvuus robottihitsauksella on lyhyille hitseille, jotka sisältävät kaarevia pintoja sekä toistettaville toiminnoille, joissa ei vaadita jatkuvia muutoksia tai vaihtoja. Robottien käytettävyyttä voidaan lisätä ulkoisilla akseleilla. Robottihitsausta voidaan hyödyntää myös pienemmissä tuotantoerissä. (kemppi.com, robottihitsaus, n.d.)

2.3.1 Robottihitsauksen laitteet

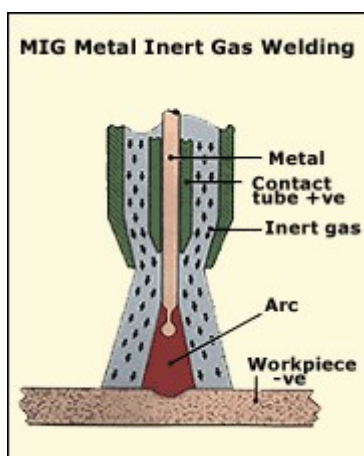
Robottihitsauksessa vaadittavia osa-alueita ovat robotiikka, hitsaus, anturit ja ohjausjärjestelmät. Sisältäen ohjelmiston, hitsauslaitteet sekä virtalähteen ja robotin. Ohjelmiston avulla voidaan suorittaa haluttuja ohjelmia robotilla. Hitsauslaitetta käytetään hitsaamiseen ja robotilla liikutetaan hitsauslaitetta haluttuun paikkaan hitsausta varten. Käytettävät robotit voivat olla nivel- tai portaalirobotteja, riippuen käyttötarkoituksesta. Käytettävät robotit ovat yleensä kuusiakselisia te-

ollisuusrobotteja. Näissä roboteissa on kolmiakselinen käsivarsi sekä kolmiakselinen ranne. Nämä mahdollistavat, että hitsauspoltin saadaan kaikkiin välttämättömiin asentoihin kolmiulotteisessa hitsauksessa. (kemppi.com, robottihitsaus, n.d.)

Hitsauslaitteen järjestelmä on integroitava robottiin. Hitsausjärjestelmän tulee olla yhteensopiva robottihitsauksen kanssa sekä siihen suunniteltuja. Tämä mahdollistaa sen, että robotti voi ohjata kaikkia prosesseja, jotka liittyvät hitsausrobottiin. (kemppi.com, robottihitsaus, n.d.)

2.3.2 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarta hyödyntävä hitsausmenetelmä, jossa sähkövirralla luodaan valokaari, joka palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja hitsattavan kappaleen välissä. Sulatettu metalli siirtyy pisaroina hitsauslangan päästä hitsisulaan. MIG-hitsausta käytetään ei-rautametallien hitsaukseen ja MAG-hitsausta käytetään terästen hitsaukseen. Kuvassa 2 on esitetty MIG-hitsauksen periaate. (esab.fi, MIG/MAG-hitsaus, n.d.)



KUVA 2. MIG-hitsauksen periaate (esab.fi, n.d.)

Hitsauskoneeseen kuuluvalla langansyöttölaitteella syötetään hitsauslankaa tassisella nopeudella hitsauspistooliin, josta se etenee edelleen valokaareen. MIG/MAG-hitsaus on hitsausprosesseista yleisin robottihitsauksessa. MIG/MAG-

hitsaus on yleinen hitsausmenetelmä teollisuudessa. Hitsauslaitteisiin kuuluu virtalähde, langansyöttölaite, hitsauspistooli ja maadoituskaapeli sekä erilaisten kaasujen säiliöt. (kempfi.com, MIG/MAG-hitsaus, n.d.)

2.4 Servomoottori

Servomoottori on sähkömoottorityyppi, jonka ominaisuuksiin kuuluu pyöriminen erittäin tarkasti. Servomootoreihin kuuluu yleensä ohjauspiiri, joka kertoo servomoottorin tarkan aseman ja tämän avulla moottori voi pyöriä erittäin tarkasti. Servomootorit sopivat erityisesti kappaleiden pyörykseen tai liikutteluun erittäin tarkoin kulmilla tai etäisyyksillä. Servomoottorin pääasiallisen tyyppin määrittää servomoottoria syöttävä jännitelähde eli kyseessä on joko DC- tai AC-servomoottori. Servomootoreita voidaan luokitella niiden vaihejärjestelyn tai käytön mukaan. (circuitdigest.com, servo motor working and basics, n.d.)



KUVA 3. Servomoottori

Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen servomoottori, jossa on enkooderi, akselin paikoitusta varten. Kuva 3 moottorin akseli on kiilaton, joten se ei sovi tämän työn sovellukseen.

Servomootorit ovat osa suljettua järjestelmää ja ne koostuvat useista komponenteista. Näiden piirien pääkomponentteja ovat servomoottori, akseli, servovahvis-

tin ja ohjauspiiri. Servomootorin akselia voidaan liikuttaa kulman tai aseman perusteella erittäin tarkasti verrattuna tavalliseen sähkömoottoriin. Servomoottoria ohjataan sähköisellä signaalilla, joka on analoginen tai digitaalinen. Lähes kaikissa servomootoreissa on enkooderi, joka toimii sensorina kertoen moottorin nopeuden ja sijainnin takaisin servovahvistimelle. (Wally Gastreich, Servo Motor, 27.8.2018)

Servomootoreilla on useita käyttökohteita teollisuudessa sekä kaupallisissa järjestelmissä. Robotiikassa servomootoreita käytetään robottien nivelissä, jossa niitä käytetään robotin varren tarkkaan liikutteluun. Yhden robotin, joka nivelessä sijaitsee servomoottori, jolla liikutetaan yhtä robotin käsivarsista. (Wally Gastreich, Servo Motor, 27.8.2018)

Servovahvistin

Servovahvistin on sähkökäyttö, jota käytetään servomootoreiden jännitteen syötyssä. Servovahvistimella välitetään ohjaustieto esimerkiksi robotin ohjaimesta, jonka perusteella moottori osaa liikkua oikeaan asemaan. Servovahvistimien ansiosta servomoottorit toimivat tasaisemmin, jolloin niiden liike on sulavaa. (RobotWorx, A Little about Servo Amplifiers, n.d.)



KUVA 4. Servovahvistin

Kuvassa 4 on esitetty Schneider Electricin valmistama servovahvistin. Kuvan 4 servovahvistin on toinen hitsaussolussa käytettävistä servovahvistimista.

Servovahvistimilla saadaan etua servomoottoreiden käyttöön verrattuna perinteisiin AC ja DC servomoottoreihin. Koska servovahvistimilla on takaisinkytkentä, jolloin servomoottoreita voidaan valvoa turhalta ja ei-halutulta liikkeeltä. Näiden ominaisuuksien ansiosta roboteissa käytettävät servomoottorit parantavat robottien toimivuutta huomattavasti, kuten myös servomoottoreiden toimintaa muissa käyttökohteissa. (RobotWorx, A Little about Servo Amplifiers, n.d.)

2.5 Koneturvallisuus

Kaikkia koneita koskevat tietyt vähimmäisvaatimukset, jotka määritetään EU:n konedirektiivissä 2006/42/EY. Direktiivi on asetettu Suomessa toimeen valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008, joka on niin kutsuttu koneasetus. Tässä asetuksessa määritetään koneen valmistajan velvollisuudet, koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvät olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset sekä menettelyt koneen vaatimustenmukaisuuden osoittamiselle ja markkinoille saattamiselle. (tukes, koneet, n.d.)

Koneiden vähimmäisvaatimuksia ovat muun muassa, että koneen oltava suunniteltu ja rakennettu koneasetusten määritettyjen olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaan, koneessa pitää olla CE-merkintä sekä muita koneasetuksen mukaisia merkintöjä, kuten koneen nimi ja valmistajan tiedot. (tukes, koneet, n.d.)

Koneen valmistajan tulee tehdä koneelle tekninen rakennetiedosto sekä toimittaa koneen käyttöohjeet. Koneen ollessa vaatimusten mukainen, tulee valmistajan allekirjoittaa vaatimustenmukaisuusvakuutus ja kiinnittää CE-merkintä koneeseen. Koneen mukana tulisi toimittaa käyttö-, tarkastus- ja huolto-ohjeet. Koneen turvallisuusohjeessa tulisi olla seuraavia tietoja, kuten koneen turvallinen käyttö, kunnossapito, melutaso ja tarkastusohjeet. (työturvallisuuskeskus, koneturvallisuus, n.d.)

2.5.1 Koneen määritelmä

Koneella tarkoitetaan toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, joka on tarkoitettu varustettavaksi voimansiirtojärjestelmällä, joka toimii muulla kuin ihmisvoimalla. Koneessa ainakin yhden komponentin tai osan tulisi olla liikkuva, lisäksi kone on kokoonpantu erityistä toimintoa varten. Koneita ovat myös nostamiseen tarkoitetut laitteet. Myös erilaiset tuoteryhmät ovat koneita, kuten turvakomponentit sekä erilaiset nostamiseen tarvittavat laitteet ja turvavälineet. (tukes, koneet, n.d.)

2.5.2 Koneiden käyttäminen

Työnantajan tulee valita työolosuhteisiin ja työhön sopiva ja turvallinen työväline. Työnantajan tulee opastaa työntekijät koneiden ja muiden työvälineiden turvalliseen käyttöön. Erityisesti opastuksessa tulisi kiinnittää huomiota koneen parissa tehtäviin huolto- ja korjaustöiden turvallisuuteen sekä häiriötilanteissa toimimiseen. Erityisesti huomiota on kiinnitettävä tilanteisiin, joissa konetta käytetään, kun turvalaitteet ovat poissa käytöstä. Tällaiset tilanteet vaativat erityisiä käyttötapoja koneelle. (työturvallisuuskeskus, koneturvallisuus, n.d.)

Koneille tehtävissä riskiarvioinneissa tulisi kiinnittää huomiota muun muassa seuraaviin osa-alueisiin, kuten koneen liikkuvat osat, kuumat pinnat, jännitteelliset osat, vaaralliset päästöt ja automaattiset toiminnot. Koneet tulee pitää turvallisina niiden koko elinkaaren, tästä pidetään huolta kunnossapidolla. (työturvallisuuskeskus, koneturvallisuus, n.d.)

2.5.3 Sähköturvallisuus

Koneiden sähkölaitteistot pitää suunnitella sekä valmistaa konedirektiivin mukaisesti. Koneiden tulee täyttää kaikki konedirektiivissä mainitut vaatimukset. Sähkölaitteiston osalta nämä ovat sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat direktiivi (EMC) sekä räjähdysvaarallisiin tiloihin sijoitettavien koneiden ATEX-lai-

tedirektiivi. Lisäksi koneiden tulisi olla pienjännitedirektiivin (LVD) turvallisuusvaatimusten mukainen, tämä direktiivi koskee sähköisiä vaaroja. (Tukes, Koneiden sähkölaitteistoja koskevat turvallisuusvaatimukset ja sähkötyöt. n.d.)

Koneiden sähkölaitteiston suunnittelua ja teknistä dokumentaatiota ja todentamista koskevat vaatimukset on esitetty standardissa SFS-EN 60204-1 eli koneiden sähkölaitteistot. Koneasetuksessa on esitetty konetta ja siihen kuuluvaa sähkölaitteistoa koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset, joiden mukainen koneen tulisi olla, kun se otetaan käyttöön sille tarkoitetussa käytössä. Koneiden sähkölaitteiston rakentamista koskevat sähköturvallisuuslain (1135/2016) mukaiset sähköturvallisuuden vaatimukset. (Tukes, Koneiden sähkölaitteistoja koskevat turvallisuusvaatimukset ja sähkötyöt. n.d.)

3 HITAUSOOLUN KOMPONENTIT

Tässä osiossa käsitellään hitsausrobottiin tarvittavia komponentteja ja niiden tehtäviä hitsausrobotissa. Osa komponenteista on vanhassa hitsaussolussa käytössä olleita ja niitä voidaan käyttää myös uudistetussa hitsaussolussa. Osiossa esitellään hitsaussolun ja työn kannalta tärkeitä komponentteja, kuten tärkeimmät sähkökomponentit sekä hitsauksessa vaadittavat laitteet sekä itse robotti. Hitsaussolu sisältää useita sähkökomponentteja sekä mekaanisia osia. Tarke-
massa käsittelyssä ovat sähkökomponentit, kuten robotti, servomootorit, ohjelmoitava logiikka ja turvalogiikka. Hitsaussolun komponenttien pääasiallinen toimittaja sähkökomponenttien osalta oli Schneider Electric.

3.1 Hitsaussolun laitteet

Tässä osiossa käsitellään erityisesti yrityksellä jo valmiina olleita tarvikkeita, jotka ovat UR10-robotti, Fronius TPS 2700 CMT-hitsauskone ja kääntöpöydät. Hitsauskone ja kääntöpöydät olivat käytössä vanhassa hitsausrobotissa, mutta niiden hyvän kunnon takia niitä voidaan käyttää uudenkin robotin kanssa. UR10-robotti on ollut yrityksellä käytössä erilaisissa työmenetelmissä aikaisemmin. UR10 on jäänyt vähälle käytölle, joten sitä voitiin käyttää uudistetussa hitsaussolussa.

Tämän raportin liitteenä (liite 1) on osaluettelo kaikista komponenteista, joita hitsaussoluun tarvittiin. Lista sisältää komponenttien tarkan tyyppin sekä lukumäärät. Lista sisältää vain työn kannalta oleelliset osat, kuten sähkökomponentit.

3.1.1 Universal Robots UR10

UR10-robotti on Universal Robotsin valmistama yhteistyörobotti. UR10 on erittäin monipuolinen teollisuuskäyttöön tarkoitettu yhteistyörobotti eli cobotti. Robottia voidaan käyttää monipuolisissa tehtävissä, kuten pakkaamiseen ja kappaleiden

käsittelyyn. UR10-mallin maksimi kuorma on 10 kg ja sen ulottuvuus on 1300 mm. (Universal Robots, UR10-robot, n.d.)



KUVA 5. UR10-robotti

UR10-robotti esitetty kuvassa 5. Kuvasta 5 nähdään UR10-robotin käsivarret sekä nivelet. Robotti on asetettu paineilmaradan päälle laipalla, joka on tehty juuri tätä tarkoitusta varten.

Robotilla on oma I/O, joka sijaitsee robotin ohjauskotelossa, I/O:ssa on 16 digitaalista tuloa, 16 digitaalista lähtöä, kaksi analogista tuloa ja kaksi analogista lähtöä. Lisäksi työkaluille on omat I/O:t, joita on kaksi DI:ta, kaksi DO:ta ja kaksi AI:ta. Robotti vaatii toimiakseen jännitteen, jonka suurus on 100-240 VAC. Robotin IP-luokitus on 54, joten se ei aiheuta ongelmia robotin käytön suhteen, sen sijoitus paikassa. (UR10/CB3, user manual, 2015)

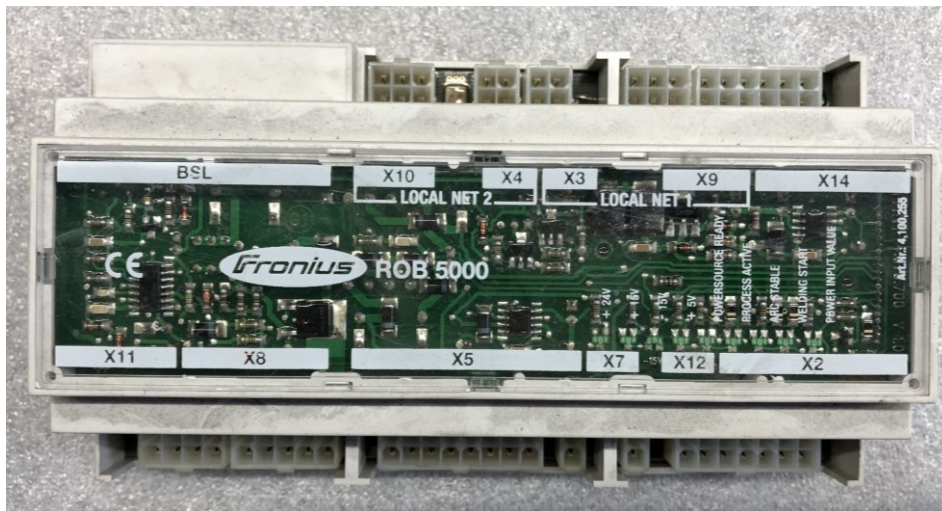


KUVA 6. UR10-käyttöliittymä

UR10-robotilla korvataan vanha hitsausrobotti. Käytettävässä UR10-robotissa on CB3-ohjaus. Robottia voidaan ohjelmoida ja käyttää Universal Robotsin PolyScope-ohjelmalla, joka on graafinen käyttöliittymä (GUI), käyttöliittymää voidaan käyttää 12” kosketusnäytöstä, joka on esitetty kuvassa 6. Ohjelmalla voi operoida robotin vartta ja robotin ohjausta, kuten toteuttaa robotin ohjelmia ja luoda uusia ohjelmia. (UR10/CB3, user manual, 2015)

3.1.2 Hitsauskone

Hitsauskoneena hitsaussolussa toimii Fronius TPS 2700 CMT-virtalähde. Kyseinen virtalähde on myös käytössä yrityksen vanhassa hitsaussolussa, mutta virtalähde kuitenkin vain muutaman vuoden vanha, joten sitä voidaan käyttää hyvin myös uudistetussa hitsaussolussa. Hitsauskoneeseen kuuluu lisäksi langansyötin ja hitsauslaite.



KUVA 7. ROB 5000-kytkentäkappale

Hitsauskoneelta tulevan kaapelin johtimet menevät ROB 5000-kytkentäkappaleeseen, joka on nähtävissä kuvassa 7. Käyttöliittymään tuodaan johdot hitsauskoneelta ja kytkentäkappaleesta lähtevät johtimet vietään robotin lisä I/O-moduuliin, joka puolestaan yhdistetään UR10-robottiin. ROB 5000-kytkentäkappale on tarkoitettu hitsauskoneen ja robotin ohjauksien yhdistämiseen, toimimalla välikappaleena hitsauskoneen ja robotin välisille johtimille.

3.1.3 Kääntöpöydät

Kääntöpöydät ovat ulkoisia akseleita, joita pyöritetään servomootoreilla. Pöytiin kiinnitetään hitsattavat kappaleet, jolloin kappaleita voidaan pyörittää haluttuihin kulmiin. Servomootorit kiinnitetään pöytien vaihteistoihin, koska pöytien muokkaaminen olisi haastavaa. Vaihteistojen avulla servomootorit voivat pyörittää pöydät haluttuun kulmaan.

Pöytiin vaadittiin uudet servomootorit, jotta niiden ohjelmointi ja käyttö uudessa solussa olisi helpompaa, lisäksi uudet servomootorit ovat huomattavasti kompaktimmat kuin vanhat. Vanhoja pöytiä voidaan käyttää uudistetussa solussa, koska ne ovat täysin mekaanisia ja niiden kunto on erittäin hyvä. Kääntöpöydissä on vaihteisto, jonka suhde on 121:1, joka täytyi ottaa huomioon servomootoreiden valinnassa.

3.2 Hankittavat komponentit

Robotin uudistaminen vaatii uusien osien hankkimista, sillä käytössä olevat osat ovat vanhoja ja näin ollen lähellä käyttöiän loppua. Investoinnissa hankittavia osia ovat mm. servomoottorit ja näille servovahvistimet sekä tarvittavat lisäosat. Lisäksi tarvitaan ohjelmoitava logiikka, lisä I/O-moduuli, valoverhot ja turvajärjestelmä sekä solun toimintoihin tarvittavia painikkeita ja niiden kotelot. Hitsausso- lussa tarvitaan myös turvalaitteita turvallisuuden takaamiseksi, näitä komponentteja käsitellään myös tässä osiossa.

3.2.1 Servomoottori

Servomoottoreita käytetään hitsausso- lussa kääntöpöytien kääntämiseen, jolloin solu vaatii servomoottoreita kaksi kappaletta. Servomoottoreiden ohjausta varten soluun tarvitaan kaksi servovahvistinta. Servovahvistimia ohjataan PLC:llä.

Soluun valitut servomoottorit ovat Schneider Electricin valmistamia BMH-servo- moottoreita. Servomoottoreiden momentti on 5,97 Nm ja suurin mekaaninen no- peus 6000 rpm. Moottorit ovat varustettu jarrulla ja kiilalla ja niiden IP-luokitus on IP65. Moottoreissa on enkooderi paikoitusta varten, jotta pöydät saadaan pysy- mään oikeassa asennossa hitsauksen aikana. Moottorit vaativat toimintaa varten moottorikaapelin, joka syöttää jännitteen moottorille sekä enkooderikaapelin pai- koitustoimintaa varten. Moottoria syötetään servovahvistimelta. Moottoreiden ak- selissa on kiila, jotta sitä voidaan käyttää pöydän pyörykseen. Jotta servomoot- torit voidaan sijoittaa vanhojen paikoille vaativat ne laipan. Servomoottoreiden akseliin kiinnitetään adapteri, jossa on hammasrattaat. Hammasrattaiden avulla moottori pystyy pyörittämään kääntöpöydän vaihteistoa, jolloin pöytää saadaan pyöritettyä.

Servomoottoreiden ohjausta varten tarvitaan servovahvistimet. Servovahvistimet ovat myös Schneider Electricin valmistamia, servovahvistimet ovat osa Lexium 32-sarjaa ja ovat malliltaan LXM32M. Servovahvistimilla ohjataan servomootto- reita. Servovahvistimet vaativat yksivaiheisen 230 V syötön toimiakseen. Nimel- listeho servovahvistimella on 1,6 kW 230 V. Servovahvistimille tulee niiden ja

moottoreiden tarvitsema jännitesyöttö, jonka lisäksi ne on yhdistetty Ethernet-kaapeleilla logiikkaan, jolla niitä ohjataan, lisäksi servovahvistin on yhdistetty moottoriin moottorikaapelilla ja enkooderikaapelilla. Servovahvistimiin tulee myös kaksi turvatuloa turvalogiikalta, joilla ohjataan servomoottoreiden turvatoimintoja. Turvatuloihin tulee tulla jatkuvasti 24 V syöttö, muuten servovahvistin katkaisee moottoreiden syötön ja moottoreiden jarrut aktivoituvat.

3.2.2 I/O-moduuli

Hitsaussolu vaatii lisää I/O-moduulin, joka toimii lisänä UR10-robotin oman I/O:n lisäksi. Osa vaadittiin, jotta hitsauskoneelta tulevat signaalit voidaan yhdistää UR10-robotin kanssa, koska robotissa ei ollut tarpeeksi ylimääräisiä I/O-kanavia. I/O-moduuli yhdistetään Modbus-kenttäväylän avulla robotin ohjausjärjestelmään. Tätä varten tarvitsee tehdä määrittelyitä I/O-moduulille. I/O-moduulin IP-osoite pitää asettaa samaan osoiteavaruuteen, kuin robotin IP-osoite. Näiden määrittelyiden jälkeen robotin ohjausjärjestelmän ja I/O-moduulin välille voidaan muodostaa yhteys. Lisäksi moduuliin liitetään PLC, jolla ohjataan servomoottoreita. I/O-moduuliin kytketään hitsauskoneelta tulevat ja sille menevät johdot. Hitsauskoneen kaapeli tuodaan ROB 5000-kytkentäkappaleelle, josta ne jaetaan johtimiksi, jotka kytketään I/O-moduuliin.

Moduuli oli olennainen osa hitsaussolun toiminnan kannalta, koska sen avulla voitiin PLC ja hitsauskone yhdistää robottiin. Moduuli toimii välikappaleena kaikille muille sähköisille laitteille, joita solussa on. Moduuliin yhdistetään kenttäväylällä PLC ja servovahvistimet, hitsausrobotin tiedot liitetään moduuliin perinteisillä johtimilla.

3.2.3 Ohjelmoitava logiikka

Hitsaussolu vaatii yhden ohjelmoitavan logiikan eli PLC:n. PLC:tä käytetään servomoottoreiden hallintaan ja ohjaukseen. Logiikka on yhdistetty UR10-robottiin Modbus-kenttäväylän avulla. Solussa käytetty ohjelmoitava logiikka on Schneider Electricin Modicon M241 sarjasta. PLC:ssä on 24 I/O-paikkaa, joista 14 on tuloja

ja 10 on lähtöjä. Logiikkaa vaatii toimiakseen 24 VDC jännitesyötön. Logiikka on erittäin kompakti, jolloin se voidaan sijoittaa kytkentäkaappiin muiden komponenttien kanssa. PLC:tä voidaan ohjelmoida Schneiderin Machine Expert-ohjelmalla, joka on CODESYS pohjainen logiikan ohjelmointityökalu. PLC:tä käytetään servomootoreiden ohjaamiseen ja paikoitukseen, lisäksi servomootorit ja UR10-robotti on yhdistetty toisiinsa logiikan avulla.

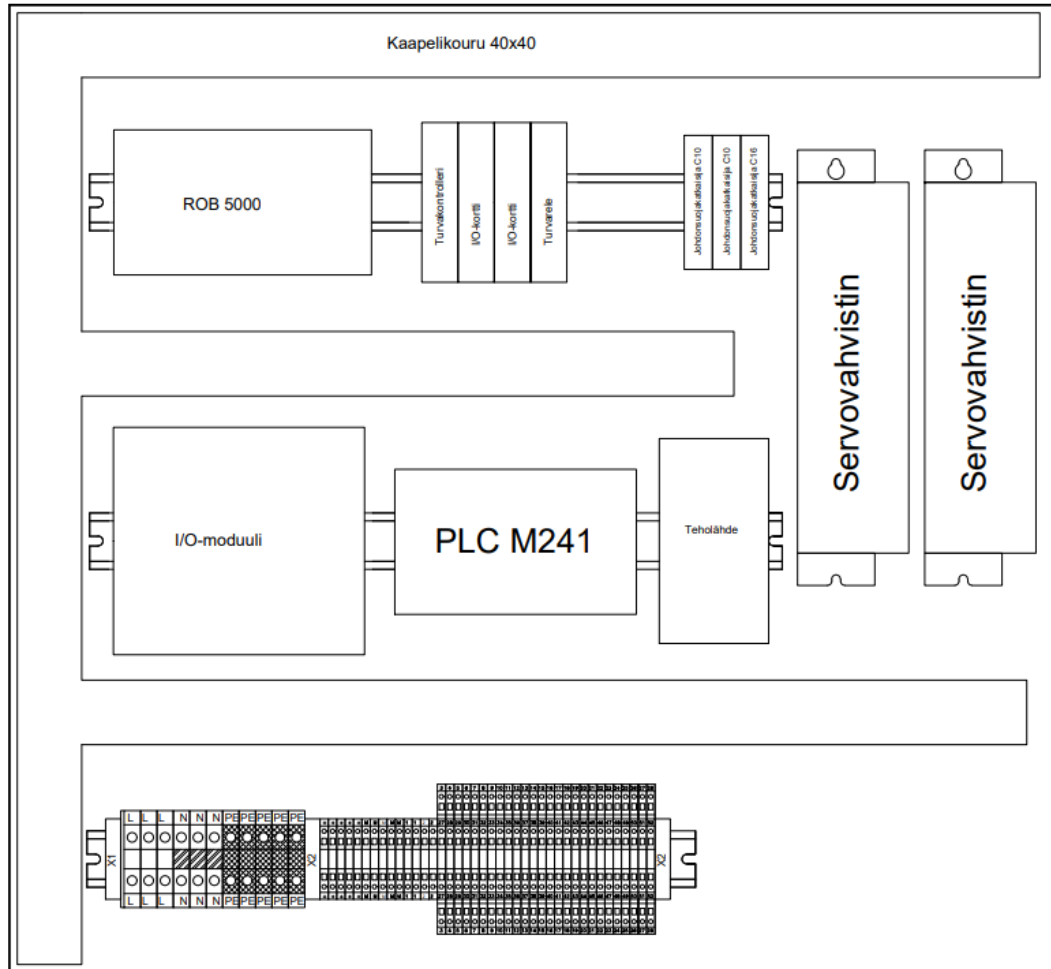


KUVA 8. M241-logiikka

Hitsaussolussa käytettävä logiikka on esitetty kuvassa 8. Logiikan tehtävä on toimia tiedonvälittäjänä servovahvistimien ja UR10-robotin ohjauksen välillä. UR10-robotilla kirjoitetaan rekisteriin kääntöpöydän haluttu kulma. Tästä rekisteristä PLC voi lukea kääntöpöydälle asetettavan kulman ja välittää tiedon servovahvistimelle. Näillä käskyillä annetaan servovahvistimille myös ajokäske.

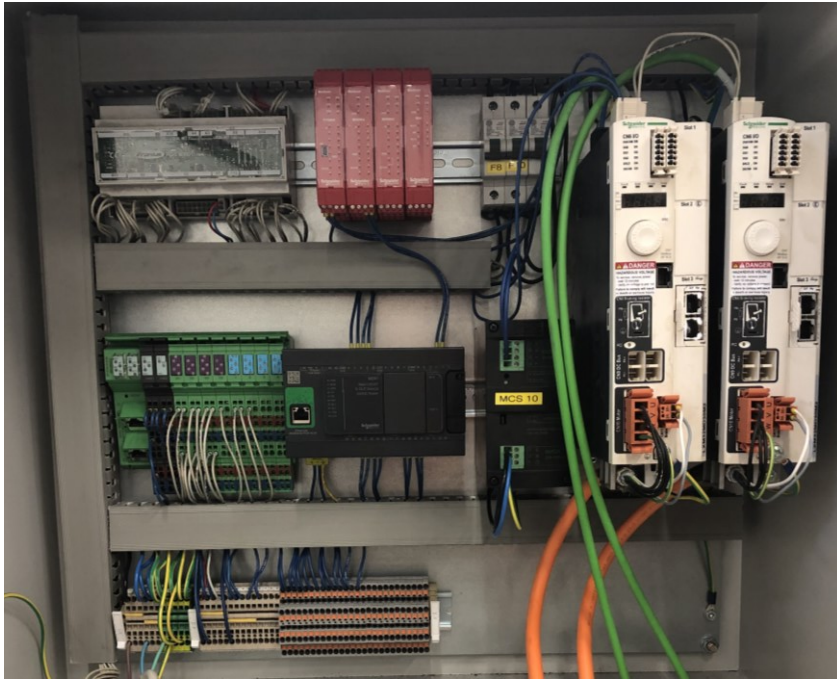
3.2.4 Kytkentäkaappi

Hitsaussolun laitteita varten tarvitaan kytkentäkaappi, johon sijoitetaan kaikki sähköiset komponentit paitsi UR10-robotin I/O, joka on sijoitettu omaan kaappiinsa. Järjestelmät yhdistetään toisiinsa kenttäväylän avulla. Kaapit tullaan sijoittamaan lähelle toisiaan. Kaappiin täytyy mahtua kaikki sähköiset komponentit, mitä solu vaatii eli servovahvistimet, PLC, turvalogiikka, hitsauskoneen kytkentäkappale, I/O-moduuli, tehollähde, riviliittimet sekä kaapelikourut. Kytkentäkaapin layout on esitetty kuvassa 9. Kaapin kooksi saatiin layout-suunnittelun perusteella 650x600x350 (Leveys x korkeus x syvyys).



KUVA 9. Kytentäkaapin layout

Kytentäkaappi valmistettiin Tenimet Oy:llä, jossa sen mittakuvat piirrettiin layoutin pohjalta saaduista mitoista. Kaapin oveen tulee kytkin hitsaussolun käyttötavan valintaa varten (automaatti/opetus). Lisäksi kaapin pohjaan tulee läpiviennit kaapeleita varten. Kaappiin tulee asennuslevy, johon kiinnitetään servovahvistimet ja DIN-kiskot. DIN-kiskoja kaappiin tulee kolme kappaletta, jotta kaapissa on varmasti tarpeeksi asennustilaa kaikille komponenteille sekä mahdollisille laajenuksille tulevaisuudessa. Kytentäkaappi ja siellä sijaitsevat sähkökomponentit on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. KytKentäkaapin sisältö

KytKentäkaappi suunniteltiin siten, että kaikki kaapelit saataisiin sijoitettua kaapelikouruihin. Osa kaapeleista jätettiin kuitenkin kaapelikourujen ulkopuolelle, koska ne olivat turhan isoja niihin tai kaapeleita ei ollut järkevää vetää niiden kautta. Kuvassa 10 näkyvistä kaapeleista oranssikaapeli on servojen moottorikaapeli ja vihreä kaapeli on servomootoreiden enkooderikaapeli.

3.3 Hitsaussolun turvalaitteet

Hitsaussolun tulee olla myös turvallinen, jotta vältetään turhilta onnettomuuksilta ja vaaratilanteilta. Tätä varten pääsy kääntöpöydille on estetty fyysisesti seinillä sekä valoverhoilla. Hitsaussolussa on kaksi kääntöpöytää, joiden turvalista käyttöä varten tarvitaan kolme valoverhoa. Hitsaussolussa on lisäksi hätäseispainikkeet, hätäseis- sekä valoverhojen kuittauspainikkeet. Lisäksi tarvitaan sallintapainikkeet, jotta kääntöpöytiä voidaan pyörittää fyysisten painikkeiden avulla. Hitsaussolun ollessa osittain automaattisesti toimiva järjestelmä, käytetään sen turvalaitteiden hallitsemiseen turvalogiikkaa, joka koostuu turvakontrollerista, I/O-moduuleista ja turvareleestä.

Hitsausrobottia varten tarvitsi investoida uusiin valoverhoihin, koska vanhat olivat ikääntyneitä ja käyttöikänsä päässä. Uusia valoverhoja vaaditaan kolme kappaletta, joista kaksi sijoitetaan kääntöpöytien eteen sekä yksi pöytien taakse robotin eteen, jolla estetään kiertäminen toiselle servopöydälle takakautta. Lisäksi hitsausrobottiin tulee kaikkiaan neljä hätäseis-painiketta, joista kaksi sijaitsee valoverhojen ulkopuolella painikekoteloissa ja kaksi valoverhojen sisäpuolella, kun kääntöpöytiä asemoidaan ohjelmaa varten.

3.3.1 Turvalogiikka

Turvalogiikka koostuu Schneiderin Electricin turvakontrollerista, kahdesta I/O-kortista ja yhdestä turvareleestä, jotka sijoitetaan samaan kytkentäkaappiin muiden hallintalaitteiden kanssa. Turvalogiikka vaatii yhteensä 18 turvatuloa ja 11 turvalähtöä. Tuloja ja lähtöjä varten tarvittiin tarpeeksi kanavia, kaikkiaan turvalogiikan komponenteissa on 24 turvatuloa ja 16 turvalähtöä. Turvalogiikkaan I/O-tarve mitoitettiin siten, että siinä on ylimääräisiä tuloja ja lähtöjä.

Seuraavaksi käsitellään turvalogiikan komponentteja tarkemmin ja käydään läpi niiden tarkoitusta ja toimintaa hitsaussolussa. Turvalogiikan tuloja tarvittiin hitsaussolussa olevia turvallisuuteen liittyviä painikkeita ja valoverhoja varten. Turvalogiikkaan tulevat tulot ovat hätäseispainikkeet, kuittauspainikkeet, tilan valinta ja valoverhojen tulot. Lähdöt logiikasta lähtee servovahvistimille ja logiikalle sekä turvareleen välityksellä robotille.

Turvalogiikan tarkoituksena hitsaussolussa on hallita turvallisuuteen liittyviä toimintoja. Koska hitsaussolun laitteilla on monimutkaisia toimintoja, piti solun turvalaitteiden ohjaus toteuttaa turvalogiikalla.

3.3.2 Turvakontrolleri

Turvakontrolleri toimii turvalogiikan CPU:na ja on näin ollen turvalogiikan aivot. Turvakontrolleriksi valikoitui Schneider Electricin XPS-sarjan kontrolleri. Turvakontrolleria voi konfiguroida SoSafe-ohjelmistolla. Kontrollerissa on kahdeksan

DI-tuloa ja kaksi DO-lähtöä. Turvakontrolleri on esitetty kuvassa 11, muiden turvalogiikan korttien kanssa.



KUVA 11. Hitsausrobotin turvalogiikka

Kuvassa 11 vasemmalla on turvakontrolleri, jonka jälkeen on kaksi I/O-laajennusmoduulia sekä yksi turvarele. Turvakontrollerin ohjelma tehtiin SoSafe-ohjelmistolla ja se voidaan ladata turvakontrolleriin USB-kaapelin avulla. Tehtyä ohjelmaa käsitellään tarkemmin tämän opinnäytetyön hitsaussolu osiossa.

3.3.3 I/O-kortit ja turvarele

Turvalogiikkaan tarvitaan kaksi kappaletta I/O-kortteja, jotta logiikkaan saadaan tarpeeksi tuloja ja lähtöjä. I/O-kortit ovat samasta tuotesarjasta kuin turvakontrolleri, ja niissä on kahdeksan turvatuloa ja neljä turvalähtöä. I/O-kortit toimivat laajenuksena turvakontrollerille.

Turvarelettä käytetään turvalogiikassa robotin turvatoimintojen ohjaamiseen. Releellä ohjataan robotin hätäseis- ja safeguard-toimintoja. Turvareleessä on neljä turvalähtöä, jotka riittävät robotin tarvitsemiin turvasignaaleihin. Näistä kaksi menee hätäseis-toimintoon ja kaksi safeguard-toimintoon, jota käytetään valoverhojen kanssa.

3.3.4 Valoverhot

Hitsaussolu tarvitsee kolme valoverhoa, jotta voidaan estää tahaton kulku hitsaussolun alueelle. Valoverhot sijoitetaan siten, että robotille tai kääntöpöydille kulku on estetty valoverhoilla tai fyysisillä esteillä. Valoverhot vaaditaan, jotta solua voidaan käyttää automaattitilassa. Solun valoverhot on ohitettu opetustilassa, jotta pöytien asettaminen oikeaan asentoon ohjelmaa varten olisi helpompaa.



KUVA 12. Turvaloverhon vastaanotin ja lähetin

Valoverhot koostuvat kahdesta tärkeästä komponentista eli lähettimestä ja vastaanottimesta. Näiden lisäksi valoverhot tarvitsevat toimiakseen kaapelit ja kiinnikkeet paikalle asettamista varten. Kuvassa 12 on nähtävissä hitsaussoluun

kuuluvat turvaloverhot. Soluun valitut valoverhot ovat turvaloverho tyyppiä neljä.

Tyypin neljä turvaloverhoissa on sisäänrakennettu vian ilmaisin, joka pysäyttää koneen, mikäli valoverho menee vikatilaan. Lisäksi tyypin neljä valoverhoilla on tiukempi näkökenttä verrattuna tyypin kaksi valoverhoihin. Tyypin neljä valoverhot ovat usein myös pääasiallinen turvakeino robottisovelluksissa. Turvaloverhojen vaatimukset määritetään IEC-61496 standardissa. (Global Electronic Services, Type 2 vs. Type 4: Your Guide to Safety Light Curtain Types. n.d.)

4 HITSAUSSOLUN UUDISTUS

Hitsaussolun suunnittelu koostui erilaisista osioista, kuten tiedonkeruusta, komponenttien valinnasta, kytkentäkuvien teosta ja logiikoiden ohjelmoinnista. Uudistukseen tarvittavat esitiedot saatiin yritykseltä, jotka sisälsivät tiedot tavoitteista ja tarkemmat tiedot siitä, mitä tarvitsee tehdä. Lisäksi käytiin läpi hitsaussoluun tarvittavia komponentteja, kuten hankittavat komponentit sekä laitteet, jotka voitiin uudelleen käyttää vanhasta hitsausrobotista. Suunnittelun tavoitteena oli saada osaluettelot tarvittavista osista sekä osien hinta, eli paljonko tarvittavat komponentit tulisivat maksamaan. Lisäksi suunnitelman oli tarkoitus mahdollistaa solun kokoaminen komponenttien saavuttua sekä logiikoiden ohjelmien tuli olla tehtynä siten, että ne voitiin ladata logiikoihin kokoamisen yhteydessä.

4.1 Lähtötiedot

Yritys tarjosi tiedot siitä, mikä työn tarkoitus on ja mitä sen tulisi pitää sisällään. Ensiksi käytiin läpi, mitä robottia olisi tarkoitus käyttää uudistetussa hitsaussolussa. Tähän tarkoitukseen valittiin UR10-robotti, joka oli jäänyt vähälle käytölle yrityksessä. Lisäksi osia, joita käytettäisiin uudelleen uudistetussa hitsaussolussa, olisivat kääntöpöydät, joita käytetään hitsattavien kappaleiden pyörittämiseen. Ulkoiset akselit ovat mekaanisia osia, joten niissä ei ole mitään uudistettavaa servomootoreiden lisäksi. Myös vanhaa hitsauskonetta käytettäisiin uudessa hitsaussolussa, koska hitsauskone on vain muutamia vuosia vanha.

Kun uudelleen käytettävät osat olivat selvillä, siirryttiin seuraavaksi komponentteihin, jotka tarvitsevat uusintaa tai hankkia lisäksi. Ensiksi tutkittiin servomootoreita, joita käytetään kääntöpöytien pyörittämiseen. Servomootoreista kerättiin tarvittavat lähtötiedot, jotka lähetettiin tavarantoimittajalle, joiden perusteella he pystyivät valitsemaan oikeanlaiset moottorit. Lisäksi valmistaja valitsi moottoreiden tarvitsemat lisäosat, kuten servovahvistimet ja kaapelit. Lisäksi oli tarvetta komponenteille, joita ei vanhassa hitsausrobotissa ole, kuten PLC, turvalogiikka sekä I/O-moduuli. Lisäksi tarvittaisiin uusi kytkentäkaappi solun komponenteille,

sillä vanhan robotin kaappi olisi turhan iso uusille komponenteille ja niiden asentaminen olisi helpompaa.

4.2 Suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin lähtötietojen pohjalta pyytämällä tarjouksia tarvittavista osista, jotka olivat jo selvillä lähtötietojen perusteella, kuten servomootorit. Kaikista tarvittavista osista tehtiin alustava lista, jonka perusteella pystyttiin aloittamaan kytkentäkaapin layout-suunnittelu, jotta voidaan määrittää tarvittavan kaapin koko. Lisäksi tiedusteltiin vanhassa hitsaussolussa käytössä olleiden valoverhojen valmistajalta millaisen turvalogiikan järjestelmä vaatisi. Selvisi, että käytössä olevat valoverhot, joita olisi ollut tarkoitus käyttää uudistetussa solussa olivat niin vanhoja, ettei niiden turvaluokitus ollut enää standardin mukainen. Tämän myötä selvitettiin uusien valoverhojen hankintaa. Valoverhojen lisäksi tarvittiin turvakontrolleri ja siihen muutama I/O-kortti, jotta turvalogiikkaan saatiin tarpeeksi tuloja ja lähtöjä.

Hitsaussolun komponenttien ollessa pääosin selvillä voitiin aloittaa kytkentäkuvien teko kytkentöjen tekoa varten. Kuvia piirrettiin kaikista sähköisistä kytkennöistä, joita soluun tuli uudistuksen yhteydessä. Lisäksi viimeisteltiin kytkentäkaapin layout, jolloin saatiin kytkentäkaapin mitat kaapin valmistusta varten. Kytkentäkaappi valmistettiin Tenimetillä. Kaapin tarkempi suunnittelu tehtiin suunnittelijan toimesta.

4.2.1 Kytkentäkuvat

Hitsaussolun uusista sähkökytkennöistä tuli tehdä tarvittava dokumentaatio. Kuvien avulla on helpompi selvittää eri kaapeleiden merkitystä järjestelmässä sekä kuvien avulla pystyttiin helpottamaan hitsaussolun kytkentöjen tekemistä. Kytkentäkuvat tehtiin muun muassa logiikoiden ja riviliittimien kytkennöistä ja niistä selviää mihin tietyt johtimet tulee kytkeä. Näistä kytkentäkuvista on esitetty PLC:n kytkennät liitteessä 2, josta selviää mitä signaaleja logiikkaan tuodaan tai siitä

lähtee. Lisäksi liitteessä 3 on esitetty ROB 5000-kytkentäkappaleen kytkennät, josta selviää mihin johtimet kytketään ROB 5000 ja I/O-moduulilla.

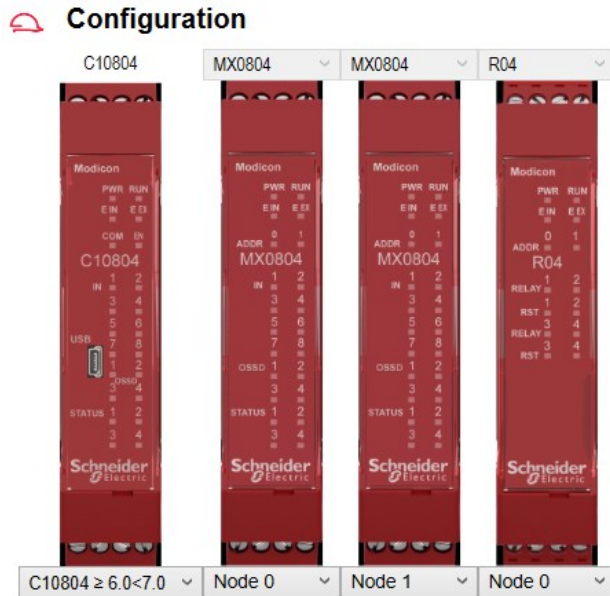
4.3 Toteutus

Suunnitelman teon jälkeen tehtiin tilaukset tarvittavista komponenteista, lisäksi tehtiin hitsaussolun dokumentointiin vaadittavat kytkentäkuvat. Hitsaussolussa olevien ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointi voitiin aloittaa ennen logiikoiden saapumista. Logiikoiden ohjelmointiin vaadittiin kolmea eri ohjelmaa, jotka olivat Machine Expert, SoMove ja SoSafe. Machine Expert ohjelmistoa käytettiin PLC:n ohjelmointiin. SoMove-ohjelmistoa käytettiin moottoriohjauslaitteiden asetusten tekoon ja SoSafe-ohjelmistolla tehtiin solun turvaohjelma.

Hitaussolun logiikoiden ohjelmat tehtiin suunnitteluvaiheessa valmiiksi. Valmiit ohjelmat voidaan kokoamisen jälkeen ladata logikoille, jolloin niiden toiminta voidaan todeta oikealla laitteistolla.

4.3.1 Turvakontrollerin ohjelma

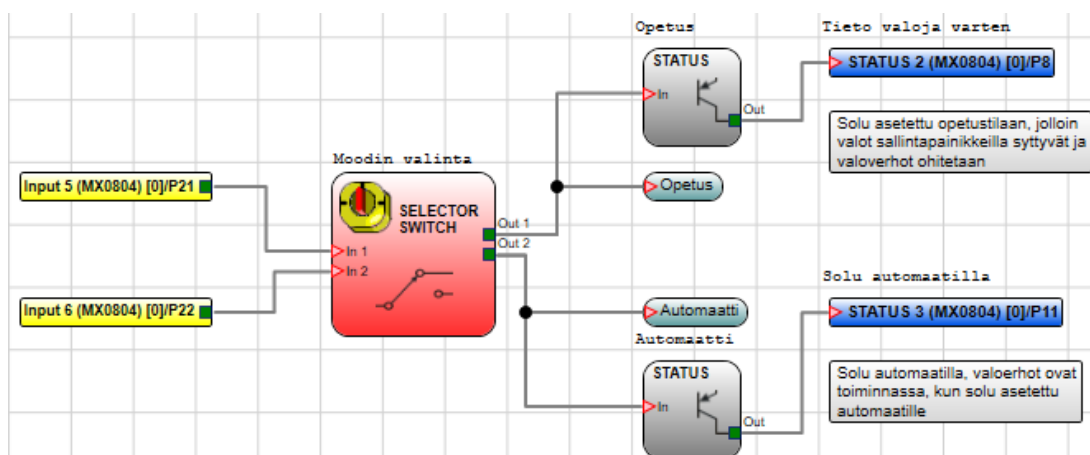
Turvalogiikan ohjelma tehtiin Schneiderin SoSafe-ohjelmistolla. Ohjelmistossa määritettiin ensin turvalogiikassa olevat komponentit eli turvakontrolleri, kaksi I/O-korttia ja yksi turvarele. Näiden lisäksi lisättiin muut solussa olevat turvalaitteet, kuten valoverhot ja näiden välille tehtiin kytkentöjen määrittelyt ohjelmassa ja tämän jälkeen voitiin alkaa tekemään ohjelmaa turvalogiikalle. Turvalogiikan konfiguraatio on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Turvalogiikan konfiguraatio, kuvakaappaus SoSafe-ohjelmasta

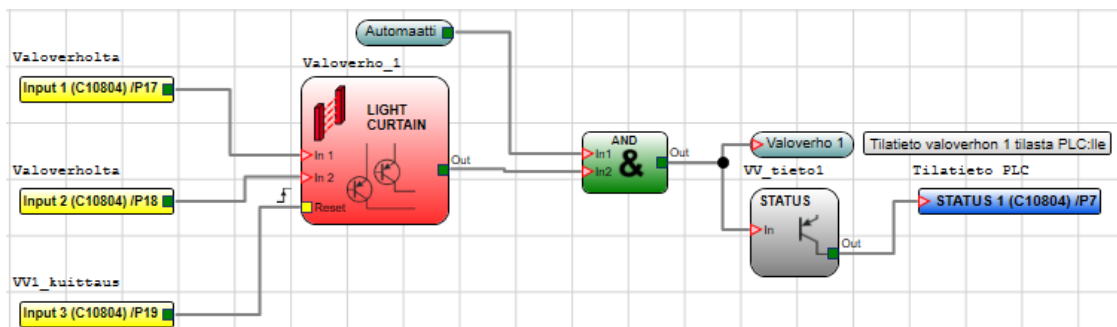
Turvalogiikan korteista saatava tulojen ja lähtöjen määrä on 24 tuloa, 16 lähtöä ja 12 tilaa ilmaisevaa lähtöä. Näistä käytetään ohjelmassa 18 tuloa, 11 lähtöä ja kuutta tilaa ilmaisevaa lähtöä. Ohjelmassa on tehty turvatoiminnot servomootto-
reiden ja robotin toimintojen pysäytykseen erilaisten turvalaitteiden avulla. So-
lussa olevia turvalaitteita ovat mm. hätäseispainikkeet ja valoverhot.

Turvaohjelman toiminnoista yksi tärkeimmistä on hitsaussolun tilan valinta, joka on joko automaatti tai opetus. Tämän toiminnon avulla solun valoverhot ovat toi-
minnassa tai pois päältä. Kuvakaappaus ohjelmasta on esitetty kuvassa 14. Oh-
jelmasta viedään tilasta kertovilla lähdoillä tieto PLC:lle, jotta voidaan ohjata so-
lussa olevia valoja.



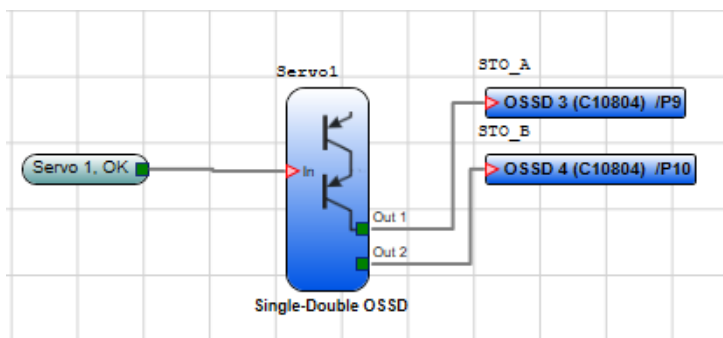
KUVA 14. Solun moodin valinta

Valoverhojen ohjaus on toteutettu kuvan 15 mukaisesti. Turvalogiikalle tuodaan tieto valoverhoilta, jota voidaan käyttää turvaohjelmassa turvatoimintojen tekoon. Ohjelmassa käytetään and-toimintoa ottamaan valoverhot toimintaan, kun solu on asetettu automaatile. Tieto valoverhojen tilasta viedään eteenpäin ohjelmassa, jotta sitä voidaan käyttää erilaisissa pysäytys toiminnoissa robotilla ja servomootoreilla. Kahden muun valoverhon ohjelma samanlainen kuin kuvassa 15. Valoverhojen tilasta viedään tieto myös logiikalle.



KUVA 15. Valoverhojen tilatiieto ohjelmaan

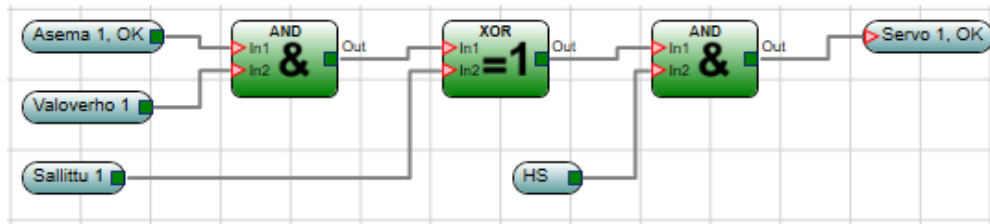
Servomootorit vaativat toimiakseen 24 V jännitteen kahteen tuloon servovahvistimella STO_A ja STO_B. Jotta servomoottori toimisi tulee näihin kahteen tuloon tulla jatkuvasti 24 V muuten servon syöttö katkaistaan ja servomoottorin jarru menee päälle ja kääntöpöytä pysähtyy ja sen liike estetään. Kahdesta turvalogiikan turvalähdöstä menee johdot servovahvistimelle, näitä kuvan 16 mukaisia servon turvapiirejä on kaksi kappaletta eli molemmille servoille oma.



KUVA 16. Servomootoreiden turvatoiminto

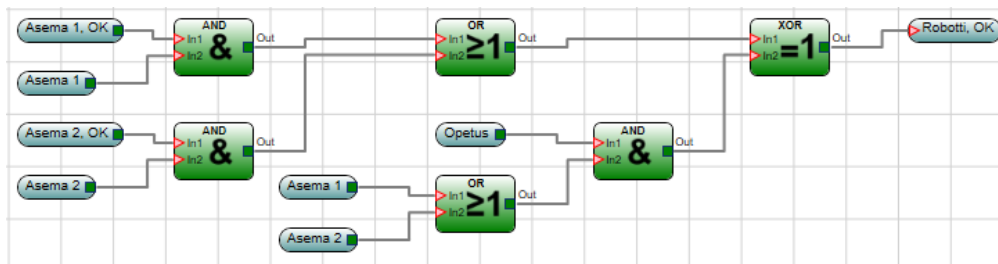
Kuvassa 16 esiintyvä sisäinen viite Servo 1, OK, on ohjattu kuvan 17 mukaisella logiikalla. Jotta servomoottoria voi pyörittää tai robottia käyttää tulee robotin olla työasemassa ja valoverhojen aktiivisena. Vastaavasti hitsaussolu voi olla opetus-tilassa, jolloin servomoottoria voi pyörittää, kun sallintapainike on painettuna.

Opetustilassa robottia voidaan liikuttaa vapaasti, koska kyseessä on yhteistyörobotti.



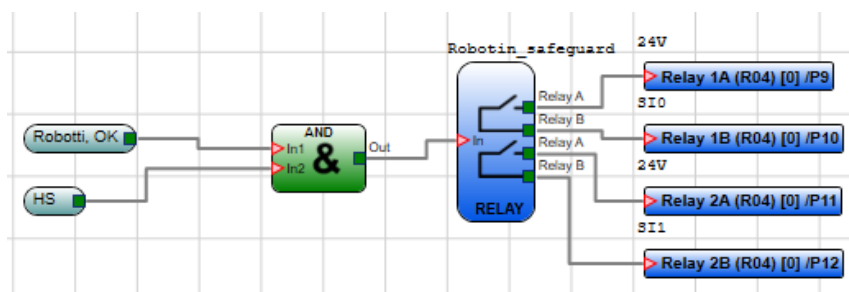
KUVA 17. Servomoottorin turvaohjaus

UR10-robotissa on safeguard-toiminto, jota käytetään turvalaitteiden, kuten valo-
verhojen kanssa. Mikäli safeguard-toiminto aktivoituu, tulee robotille pysäytys-
käsky, jolloin robotti lopettaa liikkumisen. Robotille menevää signaalia ohjataan
kuvien 18 ja 19 mukaisella ohjelmalla.



KUVA 18. Robotin turvaohjaus

Robotin tulee olla työpisteessä, jotta robottia tai servomoottoreita voi käyttää. Tällä tiedolla varmistetaan, että robotti on oikeissa paikassa eikä aiheuta vaara-
tilanteita. Robottia voi käyttää sekä automaatti, että opetustilassa. Kuvassa 19
asemien tiedot tuodaan ohjelman sisältä ja näistä vain toinen voi olla aktiivinen
kerralla, koska robotti ei voi olla kahdessa asemassa saman aikaisesti.



KUVA 19. Robotin safeguardin ohjaus

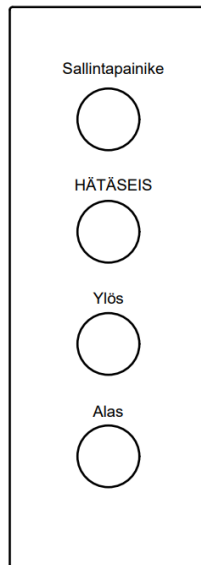
Kuvassa 19 esitetystä safeguard toiminnon ohjauksessa robotti lopettaa liikkeen, mikäli robotti ei ole hyvässä tilassa kuvan 18 mukaisesti. Lisäksi hätäseis ei saa

olla painettuna, vaikka robotilla on oma hätäseispiiri. Robotin hätäseis-toiminto on periaatteeltaan hyvin samanlainen, kuin safeguard-toiminto, mutta ne toimivat robotilla eri tavalla. Safeguard pysäyttää liikkeen, kun hätäseis katkaisee virrat. Hätäseis sekä safeguard-toiminnoille viedään tiedot turvalogiikalta turvareleellä.

4.4 Toiminta

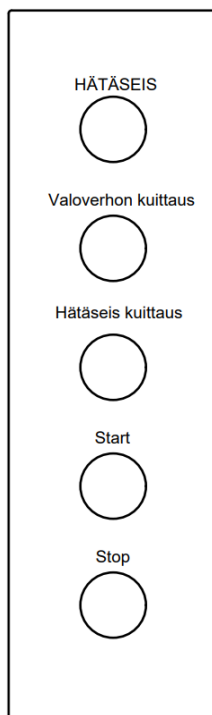
Hitsaussolun toiminnan on suunniteltu olevan hyvin samanlaista kuin vanhalla hitsaussolulla. Toiminta on kuitenkin tehokkaampaa sekä solun käyttöasteen ja käytettävyyden tulisi parantua. Solussa on kaksi operointimoodia, automaatio- ja opetustilat. Automaatitilassa hitsaussolua käytetään kappaleiden valmistukseen, jolloin robotti on toisella kääntöpöydällä hitsaamassa, kun toiselle pöydälle vaihdetaan hitsattavia kappaleita. Opetustilassa hitsaussolulle voidaan tehdä uusia hitsausohjelmia. Opetustila ohittaa hitsaussolussa olevat valoverhot, jolloin robottia voidaan liikuttaa. Opetustilan ollessa aktiivinen voidaan kääntöpöytiä pyörittää sallintapainikkeen ja suuntapainikkeen avulla, sallintapainikkeen tulee olla painettuna aina, kun pöytiä pyöritetään, muuten pöydät eivät pyöri. Opetusmoodissa voidaan siis liikuttaa robottia ja kääntöpöytiä uusiin asentoihin uusia ohjelmia varten. Moodin valinnan painike on sijoitettu hitsaussolun sähkökaapin oveen.

Hitsaussolun käyttöä ja ohjelmointia varten on painikkeita, joiden avulla voidaan kuitata valoverhoja ja käynnistää sekä pysäyttää solun toiminta. Solussa on neljä painikekoteloa, joista kaksi on sijoitettu valoverhojen sisälle pöytien paikoitusta varten, näiden painikekoteloiden havainnekuva on esitetty kuvassa 20 ja kaksi on sijoitettu valoverhojen ulkopuolelle hitsaussolun operointia varten automaattitilassa, näiden painikekoteloiden havainnekuva on esitetty kuvassa 21.



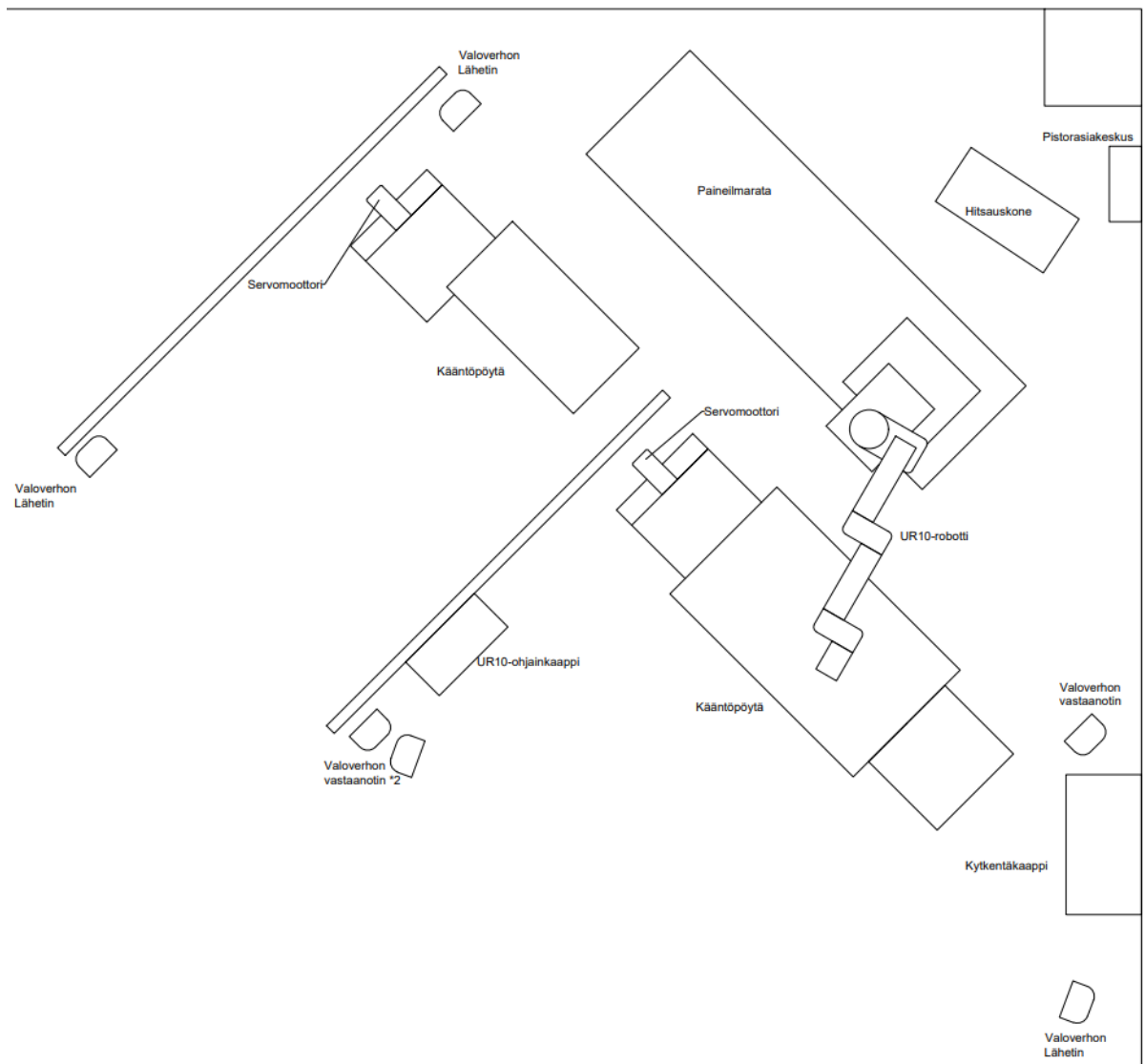
KUVA 20. Havainnekuva painikekotelosta.

Painikekoteloidissa on kaikki painikkeet, mitä solun operointiin automaattitilassa tarvitaan. Painikekoteloiden painikkeiden lisäksi solun käyttöä varten on moodin valinta painike sekä robotin, että hitsauskoneen käyttöliittymät, joita käytetään kosketusnäyttöisillä näytöillä.



KUVA 21. Havainnekuva painikekotelosta.

Hitsaussolun paikka säilyi samana, jolloin ei tarvitse tehdä suurempia muutoksia laitteiden paikkoihin. Suuremmat osat, kuten paineilmarata ja kääntöpöydät pidettiin paikallaan, jolloin hitsaussolun käyttöönotto olisi helpompaa ja vähemmän työtä vaativaa. Hitsaussolun layoutista on esitetty havainnekuva kuvassa 22.



KUVA 22. Hitsaussolun layout

Hitsaussolun layout kuvassa 22 nähdään laitteiden sijainnit, jotka kuuluvat hitsaussoluun. Kuvassa on esitetty paineilmaradan, kääntöpöytien, valoverhojen sijainnit. Kuvan 22 laitteet on piirretty oikeilla mitoilla, joten laitteet ovat kuvassa suhteellisessa koossa.

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli suunnitella Tenimet Oy:lle hitsaussolun uudistus, jossa vanhan hitsausrobotin tilalle vaihdettaisiin uudempi ja modernimpi robotti. Aiemmin käytetty robotti oli vanha ja siinä oli alkanut esiintyä ongelmia, joiden korjaaminen osoittautui koko ajan hankalammaksi. Myös varaosien saatavuus vanhalle robotille on yleensä haastavaa. Muita tavoitteita oli tarkoitus parantaa hitsaussolun käytettävyyttä sekä helpottaa ohjelmien tekoa yleisellä tasolla.

Hitsaussoluun kuuluvien kääntöpöytien servomoottorien uusinta suunniteltiin osana opinnäytetyötä. Servomoottorit päätettiin uusida, jotta pöytien käytettävyyttä ja ohjelmointia voitaisiin helpottaa. Hitsaussolun operointipäätteenä toimii UR10-robotin käyttöliittymä, josta voidaan tehdä uusia ohjelmia sekä robotille, että kääntöpöydille. Hitsausohjelmien tekoon hitsauskoneella on oma käyttöliittymä, josta voidaan tehdä hitsauskoneen ohjelmat. Jotta robottiin voitiin yhdistää servomoottorit ja hitsauskone, tarvitsi robotille hankkia lisää I/O:ta. Robotin I/O:ta tarvitsi laajentaa I/O-moduulilla, johon voi yhdistää hitsauskoneen digitaaliset I/O:t, servomoottorit yhdistettiin moduuliin kenttäväylällä.

Hitsaussoluun sisältyi yksi PLC, jota käytetään servojen paikoitukseen. Robotilta välitetään kenttäväylän kautta rekisteriin tieto, mihin asemaan pöytä halutaan asettaa, tästä rekisteristä tieto voidaan lukea logiikkaan. Kenttäväylän kautta tapahtuvaan kommunikointiin käytettiin rekistereitä, joihin robotti sekä PLC voivat kirjoittaa arvoja. Logiikkaan tehtiin ohjelmat servojen ohjaamista varten valmiiden mallien pohjalta, näihin pohjiin joutui tekemään vain pieniä muutoksia, kuten pöydän kulman asetus- ja mitta-arvoa. Logiikkaan tehtiin ohjelma, jossa robotilta tuleva arvo pöydän halutusta kulmasta kirjoitetaan ohjelman sisällä olevaan muuttujaan. Muuttujasta arvo kirjoitetaan logiikassa olevaan ohjelmaan, jotta tieto saadaan servomoottorille. Arvon perusteella servomoottori ajatetaan oikeaan kulmaan.

Työssä suunniteltiin hitsaussolun uudistaminen sekä hankittiin tiedot tarvittavista komponenteista, joista tehtiin myös tarjouspyynnöt. Lisäksi tehtiin tarvittavat kytkentäkuvat ja valmisteltiin logiikoiden ohjelmat, jotta ne voitiin ladata logiikoihin

välittömästi niiden asennuksen jälkeen. Logiikkaohjelma tehtiin PLC:n, lisäksi turvalogiikan turvakontrollerille, jolla ohjattiin hitsaussolun laitteiden turvatuloja. Työn aikana myös testattiin soluun tulevia servovahvistimia asettamalla niille IP-osoitteet ja pyörittämällä tietokoneohjelmalla servomoottoria.

Hitsaussolun rakentamista ja käyttöönottoa voitiin aloittaa jo suunnitteluvaiheessa, kun tarvittavat osat saapuivat. Hitsaussolu on tarkoitus tehdä suunnitelman pohjalta. Vanhasta hitsaussolusta purettiin pois vanha robotti, servomoottorit ja kytkentäkaappi. Purkutöiden jälkeen voitiin suunnitella uusien laitteiden asennus vanhojen paikoille, jotta käyttöönotto olisi mahdollisimman helppoa osien saapumisen jälkeen.

Suunnitelman pohjalta saatiin tuotettua tarvittavat osaluettelot, kytkentäkuvat ja ohjelmat, jotta yritys pystyi tekemään päätöksen uudistuksen toteuttamisesta. Uudistamisen kustannukseksi tuli kaikkiaan noin 10 000 €. Uudistaminen oli toteutettavissa kyseisellä summalla. Kyseinen summa mahdollisti uudistuksen toteuttamisen kohtuullisella budjetilla.

Jatkokehityksenä tähän työhön olisi hitsaussolun rakentaminen, laadittujen ohjelmien hienosäätö, jotta ne toimivat suunnitellulla tavalla. Hitsaussolun kasauksen jälkeen tulisi testata kaikki laitteet ja niiden toiminta, erityisesti hitsaussoluun kuuluvien turvalitteiden toiminta, jotta vaaratilanteilta vältytään. Hitsaussolun riskiarvio tulee todentaa, jotta hitsaussolulle saadaan CE-merkintä.

Työn onnistumista kuvaa se, että yritys toteuttaa hitsaussolun uudistuksen tämän työn pohjalta. Työssä tuotetuiden kytkentäkuvien avulla mahdollistettiin hitsaussolun nopea kasaus ja käyttöönotto. Kytkentäkuvien ollessa valmiiksi tehtyjä, dokumentaatiota ei tarvitse tehdä kokoamisen yhteydessä. Työn aihe oli laaja, koska se sisälsi paljon tehtävää eri osa-alueilla, jolloin myös tässä raportissa läpikäytäviä asioita on jouduttu karsimaan. Hitsaussolun kommunikointi kenttäväylien kautta todettiin toimivaksi asennusvaiheessa. Tämän opinnäytetyön valmistuksessa hitsaussolun kokoaminen oli hyvällä mallilla. Laitteiden välistä kommunikointia on voitu testata ja todeta ne toimiviksi.

LÄHTEET

Builtin, robotics, automotive cars manufacturing assembly. n.d. Luettu 3.2.2021.
<https://builtin.com/robotics/automotive-cars-manufacturing-assembly>

Builtin, robotics. n.d. Luettu 3.2.2021.
<https://builtin.com/robotics>

Circuitdigest, Servo motor working and basics. n.d. 23.2.2021.
<https://circuitdigest.com/article/servo-motor-working-and-basics>

Esab, MIG/MAG-hitsaus. n.d. Luettu 11.2.2021.
<https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/mig-mag-hitsaus.cfm>

Esab, MIG/MAG-hitsaus. n.d. Viitattu 11.2.2021.
<https://www.esab.fi/shared/content/blog/images/gmaw.jpg>

Finder, Tenimet Oy. n.d. Luettu 4.2.2021.
<https://www.finder.fi/Metallituotteet/Tenimet+Oy/Tervakoski/yhteystiedot/250657>

Global Electronic Services, Type 2 vs. Type 4: Your Guide to Safety Light Curtain Types. n.d. Luettu 16.3.2021. <https://gesrepair.com/type-2-vs-type-4-safety-light-curtains/>

International Federation of Robotics, industrial robots. n.d. Luettu 23.2.2021
<https://ifr.org/industrial-robots>

International Federation of Robotics, service robots. n.d. Luettu 16.3.2021.
<https://ifr.org/service-robots>

International Federation of Robotics, standardization. n.d. Luettu 16.3.2021.
<https://ifr.org/standardisation>

International Federation of Robotics, types of human-industrial robot collaboration. Julkaistu 2018. Viitattu 23.2.2021.
https://ifr.org/downloads/press2018/IFR_Graphic_Types_of_HRC_web_750.jpg

Kemppi, MIG/MAG-hitsaus. n.d. Luettu 16.3.2021.
<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mig-maghitsaus/>

Kemppi, robottihitsaus. n.d. Luettu 12.2.2021.
<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>

RobotWorx, A Little about Servo Amplifiers. n.d. Luettu 16.3.2021.
<https://www.robots.com/articles/a-little-about-servo-amplifiers>

Tukes, Koneet. n.d. Luettu 14.3.2021
<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#1d878fa9>

Tukes, Koneiden sähkölaitteistoja koskevat turvallisuusvaatimukset ja sähkötyöt. n.d. Luettu 14.3.2021. <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/koneiden-sahkolaitteistoja-koskevat-turvallisuusvaatimukset-ja-sahkotyot>

Työturvallisuuskeskus, Koneturvallisuus. n.d. Luettu 14.3.2021. https://ttk.fi/tyoturvaluisuus_ja_tyosuojelu/tyoturvaluisuuden_perusteet/tyoymparisto/koneturvaluisuus

Universal Robots, UR10 robot. n.d. Luettu 3.2.2021. <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>

Universal Robots, user manual, UR10/CB3. Ver. 3.1. 2015. Luettu 1.4.2021. https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/105417/99203_UR10_User_Manual_en_Global.pdf

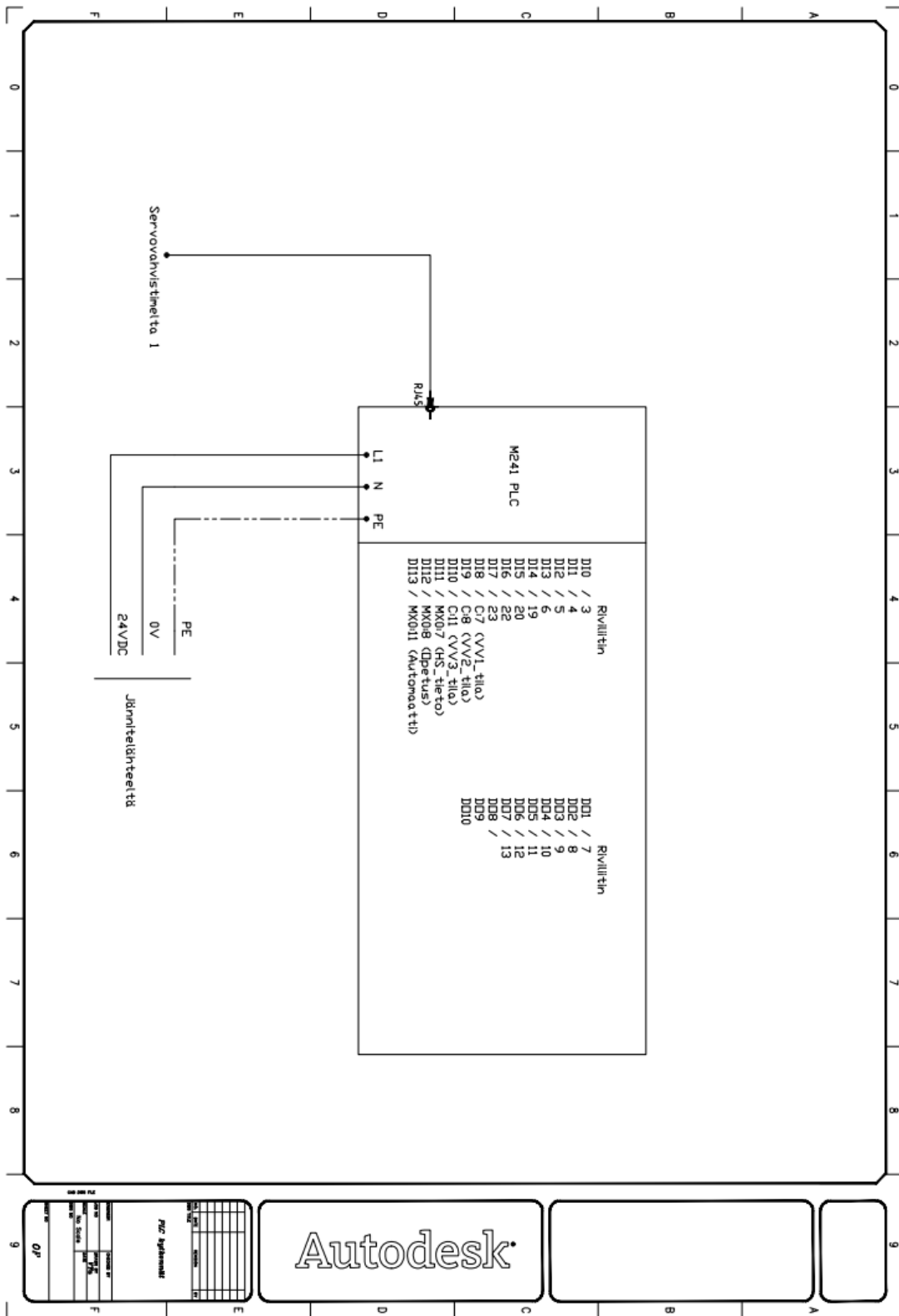
Wally Gastreich, Servo Motor. Realpars. julkaistu 27.8.2018. Luettu 18.3.2021. <https://realpars.com/servo-motor/>

LIITTEET

Liite 1. Osaluettelo

| Nro. | Nimi | Valmistaja | Tyyppinumero | Ikm |
|------|--|--------------------|---------------------------|-----|
| 1 | Robotti, UR10 | Universal Robots | UR10, CB3 | 1 |
| 2 | Kääntöpöytä | Yaskawa | SB-250 | 2 |
| 3 | Virtalähde (hitsauskone) | Fronius | TPS 2700 CMT | 1 |
| 4 | Robotin kytkentäkappale | Fronius | ROB 5000 | 1 |
| 5 | Teholähde | Murrelektronik | | 1 |
| 6 | Servomoottori, 100mm 5,97Nm IP65 Kiila Jarru | Schneider Electric | BMH1002T27F2A | 2 |
| 7 | Servovahvistin, LXM32M 30A peak 1x230V | Schneider Electric | LXM32MD30M2 | 2 |
| 8 | Servokaapeli, BSH MOOTTORI KAAPELI 1,5*2 10M | Schneider Electric | VW3M5101R100 | 2 |
| 9 | Enkooderikaapeli, M23 - RJ45, 10M | Schneider Electric | VW3M8102R100 | 2 |
| 10 | Ethernet-moduuli, TCP/IP kasetti ATV32 LXM32 | Schneider Electric | VW3A3616 | 2 |
| 11 | PLC M241-24IO TR,SO ETHERNET | Schneider Electric | TM241CE24T | 1 |
| 12 | Painikekotelo, 4 aukkoa | Schneider Electric | XALD04 | 2 |
| 13 | Painikekotelo, 5 aukkoa | Schneider Electric | XALD05 | 2 |
| 14 | Sienipainike punainen, D=30mm kääntövapautus | Schneider Electric | ZB5AS834 | 4 |
| 15 | XB5A Runko koskettimille, Muovi | Schneider Electric | ZB5AZ009 | 4 |
| 16 | NC Kosketin Ruuviliitin | Schneider Electric | ZBE102 | 8 |
| 17 | Ulkoneva Valopainike, vihreä LED valolle | Schneider Electric | ZB5AW133 | 4 |
| 18 | 24V LED Valop. Runko, Vihreä | Schneider Electric | ZB5AW0B31 | 4 |
| 19 | Ulkoneva Valopainike, valokoinen LED valolle | Schneider Electric | ZB5AW113 | 4 |
| 20 | 24V LED Valop. Runko, Valkoinen | Schneider Electric | ZB5AW0B11 | 4 |
| 21 | Ulkoneva Painike musta | Schneider Electric | ZB5AL2 | 6 |
| 22 | Kosketinyd. No | Schneider Electric | ZB5AZ101 | 6 |
| 30 | I/O-Moduuli | Phoenix Contact | ILB ETH 24 DI16 DIO16-2TX | 1 |
| 31 | Turvavaloverhot, 810mm 3S std tyyppi 4 | Schneider Electric | XUSL4E3BB081N | 3 |
| 32 | Litoskaapeli, PUR M12 5-napainen 10M | Schneider Electric | XZCP1164L10 | 3 |
| 33 | Litoskaapeli, PUR M12 8-napainen 10M | Schneider Electric | XZCP29P11L10 | 3 |
| 34 | Turvakontrolleri CPU, 8 DI 4 DO | Schneider Electric | XPSMCMC10804 | 1 |
| 35 | I/O-kortti, 8 DI 4 DO | Schneider Electric | XPSMCMMX0804 | 2 |
| 36 | Turvarele, 4O | Schneider Electric | XPSMCMRO0004 | 1 |

Liite 2. PLC-kytkennät



Liite 3. ROB 5000-kytkennät

