



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Topi Sippola

Hitsausprosessi yhteistyörobotilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

18.3.2021

Tekijä Otsikko	Topi Sippola Hitsausprosessi yhteistyörobotilla
Sivumäärä Aika	44 sivua + 1 liite 18.3.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Tuntiopettaja Mikko Fischer Lehtori Timo Tuominen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli käyttää Omronin TM12-yhteistyörobotia pistehitsausprosessissa. Opinnäytetyö toteutettiin Peltitarvike Oy:lle ja oli osa Roboreel-hanketta. Työn tavoitteena oli hitsata eräitä tuotteita yhteistyörobotilla hyödyntäen. Hitsausprosessissa robotti pitää kiinni tuotteesta ja antaa ohjelman kautta hitsauskäsken pistehitsauskoneelle. Ohjelman aikana robotti käy viemässä tuotteen sauman ja kannen hitsattavaksi pistehitsauskoneen leukojen väliin.</p> <p>Työ alkaa teoriaosuudella, joka käsittelee Omronin historiaa. Historiaosuuden jälkeen paneudutaan TM12-yhteistyörobotiin ja sen ominaisuuksiin, kuten tarttujaan, kameraan ja paikannustoimintoihin. Yhteistyörobotin ominaisuuksien jälkeen käsitellään robotin turv ominaisuuksia, jossa käydään läpi mm. standardeja, voiman ja tehon rajoituksia ja nopeuden ja etäisyyden valvontaa. Työssä käydään myös läpi yleistietoa hitsauksesta ja hitsaus tavoista. Teoriaosuuden jälkeen työssä käydään läpi projektiin liittyvät laitteistot ja ohjelmistot. Tämän jälkeen käsitellään projektin eteneminen, robotiin tutustuminen ja tarttujan suunnittelu, yhteistyörobotin ja pistehitsauskoneen kommunikoinnin toteuttaminen, robotin ohjelmointia TMflow-ohjelmalla ja lopuksi testiajoa 20 kappaleen erissä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena yhteistyörobotin ja pistehitsauskoneen yhteistyössä onnistuttiin. Tuotteiden hitsauksesta saatiin hyviä tuloksia ja päästiin ajamaan suurempia testieriä yhtäjaksoisesti robotilla. Testierät kuitenkin osoittivat, että robotin tarttuminen tuotteeseen on herkkä ympäristön muutoksille. Millimetrien erot tartunnassa vaikuttavat hitsauksen lopputulokseen.</p>	
Avainsanat	Yhteistyörobotti, Hitsaus, Omron, TMflow

Author Title	Topi Sippola Welding Process with a Collaborative Robot
Number of Pages Date	44 pages + 1 appendix 18 March 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Mikko Fischer, Teacher Timo Tuominen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis work was to use Omron's TM12 collaborative robot in the spot welding process. The thesis work was implemented for Peltitarvike Oy and was part of the Roboreel project. The aim of the work was to weld some products by using a collaborative robot. In the welding process, the robot holds the product and gives the welding command to the spot welding machine through the program. During the program, the robot takes the product seam and the cover to be welded between the jaws of the spot welding machine.</p> <p>The thesis begins with a theory section dealing with the history of Omron. After the history section, TM12 collaborative robot and its features such as gripper, camera and positioning functions are explained. After the features of collaborative robot, the thesis deals with security features of the robot, e.g. standards, force and power limitations, and speed and distance control. The thesis also covers general information about welding and welding methods. After the theoretical part, the hardware and software related to the project are reviewed. This is followed by explaining the progress of the project, familiarization with the robot and the design of the gripper, the implementation of the communication between the robot and the spot welding machine, the programming of the robot with TMflow, and finally the test run in batches of 20 pieces.</p> <p>As the result of the thesis work, the collaboration between the collaboration robot and the spot welding machine was successful. The welding of the products gave good results, and it was possible to run larger test batches continuously with the robot. However, test batches showed that the robot's sticking to the product is sensitive to changes in the environment. Millimeter differences in sticking affect the welding result.</p>	
Keywords	Collaboration robot, Weld, Omron, TMflow

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Omron	1
2.1	Omronin historia	1
2.2	Omron 2000-luvulla	3
3	Yhteistyörobotti	4
3.1	TM12-robotti	4
3.2	Konenäkökamera	6
3.3	TM landmark ja TM calibration plate	8
3.4	Robotin työskentelykoordinaatisto	9
3.5	Robotin tarttuja	11
4	Yhteistyörobotin turvaominaisuudet	12
4.1	Turva-asetukset	12
4.2	Turvastandardit	14
4.3	Turvallinen valvottu pysäytys	15
4.4	Käsin ohjaus	16
4.5	Nopeuden ja etäisyyden valvonta	17
4.6	Voiman- ja tehonrajoitus	17
5	Hitsaus	18
5.1	Yleistä hitsauksesta	18
5.2	Automaatio hitsauksessa	19
5.3	Yhteistyörobotit hitsauksessa	20
6	Peltitarvike Oy	20
7	Projektin laitteisto ja ohjelmat	21
7.1	TM12-yhteistyörobotti	21

7.2	TECNA-pistehitsauskone	22
7.3	TMflow	23
7.4	Palletointialusta ja pöytä	24
8	Projektin eteneminen	25
8.1	Aloituspalaveri ja tutustuminen tulevaan projektiin	25
8.2	Yhteistyörobottiin tutustuminen	25
8.3	Ohjelmoinnin harjoittelua	26
8.4	Tarttujen suunnittelua	27
8.5	Palletoinnin ja hitsauksen testaus	30
8.6	Robotin kytkentä hitsauskoneeseen	33
8.7	Projektinohjelman teko	35
8.8	Robotin testiajo	40
8.8.1	Erä 1	40
8.8.2	Erä 2	40
8.8.3	Erä 3	40
8.8.4	Erä 4	41
9	Yhteenveto	41
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1. TECNA-pistehitsauskoneen piirikaavio	

Lyhenteet

DI	Digital input. Digitaalinen sisääntulo.
DO	Digital output. Digitaalinen ulostulo.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardijärjestö.
MAG	Metal activite gas. Metallinen aktiivikaasu.
MIG	Metal inert gas. Metallinen inerttikaasu.
MIL	Military. Viittaus armeijaan.
NC	Normally closed. Normaalisti kiinni.
NO	Normally open. Normaalisti auki.
PTP	Point to point. Pisteestä pisteeseen liikettä.
TCP	Tool center point. Työkalun keskipiste.
TIG	Tungsten inert gas. Volframi-inertti-kaasu.
TM	Techman. Robottivalmistajayritys.
TS	Technical spesification. Tekninen spesifikaatio.

1 Johdanto

Yhteistyörobottien osuus teollisuus- ja automaatioalalla on viime vuosina vahvasti jatkanut kasvua. Erikokoisten yritysten on mahdollisuus hyötyä yhteistyörobottien helposta ja nopeasta automatisoinnista. Normaali teollisuusrobotti tarvitsee ympärilleen turvajärjestelmiä, kuten turva-aidan. Sensoriteknologian kehittymisen myötä yhteistyöroboteilla on kyky toimia turvallisesti samassa tilassa ihmisten kanssa ilman ylimääräisiä turva-alueita.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Omronin TM12-yhteistyörobotin käyttöä hitsausprosessissa. Työ toteutettiin helsinkiläiselle Peltitarvike Oy:lle, joka valmistaa kattokaivoja ja linjakuivatuskouruja. Opinnäytetyön tavoitteena oli testata yhteistyörobotin ja pistehitsauskoneen välistä yhteistyötä erään Peltitarvike Oy:n tuotteen hitsauksessa. Normaalisti tuotteen hitsaa työntekijä ja ideana oli testata, olisiko mahdollista toteuttaa hitsaus yhteistyörobotilla siten, että pidetään kiinni tuotteesta ja antaa käsky pistehitsauskoneelle hitsausta varten. Opinnäytetyön eri vaiheita olivat robotin testaus Vantaan Varian tiloissa, robotin tarttujan suunnittelu, robotin ja pistehitsauskoneen kommunikoinnin onnistuminen sekä TMFlow-ohjelmalla ohjelmointi.

Opinnäytetyö alkoi Vantaan Varian tiloissa yhteistyörobottiin tutustuen. Projektissa käytetty robotti oli saatu koululta käyttöön, joten työ oli helppo aloittaa koulun tiloissa. Lopullinen työ tehtiin Peltitarvike Oy:n tiloissa. Peltitarvike Oy tarjosi myös apua tarttujan muokkaukseen ja palletointialustan tekoon.

2 Omron

2.1 Omronin historia

Omronin perusti Kazuma Tateisi vuonna 1933. Alun perin yritys oli pieni reletehdas, josta perustettiin Omron. Tokion yliopiston ilmailulaboratorio pyysi vuonna 1941 Omronia työskentelemään kotimaisen tarkkuuskytkimen kehityksessä. Pitkän testauksen jälkeen onnistuttiin luomaan ensimmäinen tarkkuuskytkin Japanissa. Kytkimeen omistautuminen ja

tutkiminen antoi Omronille edun ohjauskomponenttien kehittämisessä. Japanin tappio toisessa maailmansodassa heikensi tuntuvasti releiden ja tukituotteiden tilausten määrää. Tämän seurauksena yritys keskittyi muiden tuotteiden kehittämiseen, kuten naisten kihartimien ja pitkien tulitikkujen kehittämiseen. [1.]

Vuonna 1955 alkoi tarkkuuskytkimien kehittäminen Japanin puolustusviraston kehotuksesta kotimaisen tuotannon lisäämiseksi. Kytkimien oli täytettävä Yhdysvaltain armeijan MIL-Q-5923C-vaatimukset. Omron rakensi hallintorakenteen, joka kattoi kaiken tuotekehityksestä, tutkimuksesta ja tuotannosta yrityksen hallintoon. Tästä rakentui automaatiotekniikan liiketoiminnalle perusta, jota kutsutaan yrityksessä nimellä year one of automation. [1.]

Japanin talouden kasvu 1960-luvulla lisäsi liikennettä, joka aiheutti tarvetta liikenteenohjaukselle. Kansallisen tutkimuslaitoksen tilauksesta Omron kehitti ajoneuvojen havaitsemis- ja signaalihallintajärjestelmän. Huhtikuussa 1964 Kioton suuressa risteyksessä suoritettu kenttäkoe osoittautui onnistuneeksi. Testin perusteella kehitettiin automatisoitu liikennemerkki, joka oli ensimmäinen laatuaan maailmassa. Merkki otettiin käyttöön Tokion risteyksessä. Odotukset työvoimaa säästävistä järjestelmistä lisääntyivät 1960-luvun puolivälissä. Vastauksena odotuksiin Omron aloitti uuden tyyppisen rautatieaseman rakentamisen yhteistyössä Kinki Nippon Railwayn kanssa. Tarkoituksena oli kehittää automatisoitu lippuportti työmatkalaisille. Myöhemmin kehityksessä onnistuttiin, ja 1967 valmistui ensimmäinen miehittämätön rautatieasema. [2.]

1970-luvulla Omron perusti terveystekniikan osaston tutkimaan menetelmiä biometrinen tietojen keräämiseksi, joka on olennainen osa terveydenhallintaa. Japanin lääketieteellisten yhdistysten ja koulujen kanssa onnistuttiin luomaan erilaisia menestyviä tuotteita terveystekniikan alalle, kuten digitaalinen verenpainemittari ja digitaalinen lämpömittari. [2.]

Yksittäisten tuotteiden massatuotannon yleistymisen 1970- ja 80-luvulla sai aikaan nousevan tarpeen ohjelmoitaville ohjaimille nopealla prosessointinopeudella. Tämä aloitti työstökoneiden sekvenssiohjelmoinnin kehittämisen vuonna 1968. Näin onnistuttiin luomaan ohjelmoitava Sysmac-sarjaohjain. Omron-ohjelmoitavat sekvenssiohjaimet loivat

uudentyyppisen ohjauksen. Tämä ajoi tehdasautomaation levinneisyyttä ja kohensi Japanin valmistusteollisuuden tuottavuutta. Omron jatkoi sumean logiikan kehittämistä, jonka matemaatikko Lofti A. Zadeh esitteli alun perin seuraavan sukupolven ydinteknologiana. Saavutuksiin tällä alalla kuuluvat maailman nopein sumea ohjain 1987, erittäin nopea monitoiminen sumea ohjain ja maailman ensimmäinen sumea mikrotietokonesiru 1988. [3.]

Tammikuussa 1990 yrityksen nimi vaihtui OMRON Tateisi Electronics Co:sta OMRON Corporationiksi. Samana vuonna esiteltiin vuosikymmenelle pitkän aikavälin johtamisvisio, nimeltään kultainen 90-luvun suunnitelma. Suunnitelma vaati 2000-luvulle tähtäävien yritysten kehittämistä kolmella avainalueella yhteiskunta, teollisuus ja jokapäiväinen elämä. Teollisuudessa Omron keskittyi mikroelektroniikkaan. Tavoitteena oli päästä ensimmäiseksi komponenttialalla maailmanlaajuisesti katsottuna ja alan johtavaksi järjestelmälalla. [3.]

2.2 Omron 2000-luvulla

Keihannan innovaatiokeskus avattiin 2003 jolloin tuli kuluneeksi 70 vuotta Omronin perustamisesta. Innovaatiokeskus sijaitsee Kansai Science Cityssä Kizuwagassa Kiotossa. Keskus on Omronin tutkimus- ja kehitystoiminnan ydin. Kiinan nopea talouskasvu 2000-luvulla teki siitä tärkeän strategisen kumppanin. Tämän takia Kiinan aluehallintokeskus päivitettiin pääkonttorin alueelle vuonna 2002. Omronin strategiana vahvistaa tuotantopohjaansa Kiinassa perustettiin elektronisten komponenttien tuotantolaitos Shenzheniin. Vuonna 2006 Shanghaihin perustettiin maailmanlaajuinen ohjauslaitteiden tuotantokeskus. Myös myöhemmin on perustettu tutkimus- ja kehityskeskus edistämään Kiinan kanssa tehtävää yhteistyöinnovaatiota. Huoli ilmastonmuutoksesta ja muista ympäristökysymyksistä sai Omronin perustamaan ympäristöratkaisut liiketoiminnan pääkonttorin tehdäkseen täysmittaisen aloitteen ympäristökysymyksiä ajatellen. Energiansäästötuotteiden ja virranvalvontalaitteiden kehittämiseen panostettiin entistä enemmän. [3.]

Nykypäivänä Omronin liiketoiminta-alueet on jaettu 3 osaan:

- teollisuusautomaatio
- elektroniset komponentit
- terveydenhoito.

Palveluja tarjotaan tällä hetkellä 120 maassa ympäri maapalloa. Euroopan markkinoiden kasvu on ollut yli 11 % viimeisen 10 vuoden aikana. Maaliskuussa 2020 tilastoitujen työntekijöiden määrä oli vajaa 30 000, joista 10 00 työskentelee Japanissa. [4; 5.]

3 Yhteistyörobotti

Nimitys yhteistyörobotti tulee kyvystä toimia ihmisten kanssa samassa työtilassa ilman turva-alueita ja aitoja, joita normaali teollisuusrobotti tarvitsee turvalliseen työn suorittamiseen. Teollisuusrobotit tarvitsevat oikean kokoiset turva-alueet ja aidat toimiessaan samassa tilassa ihmisten kanssa. Näitä turvalaitteita ei tarvita yhteistyörobotin hoitaessa työskentelyyn. Yhteistyörobotti, toiselta kutsumanimeltään cobotti, on varustettu kattavilla turvaominaisuuksilla ja konenäkökameralla. Robotin integroitu konenäkö mahdollistaa tunnistamaan muutokset ympäristössä. Robotin turvallisuus perustuu nopeuden ja voiman luontaisesta rajoittamisesta ja turva-antureista, jotka takaavat turvallisen käyttämisen. [6.]

3.1 TM12-robotti

TM-nimitys on lyhenne taiwanilaisen yhteistyöroboteja valmistavan firman nimestä Techman Robot. Omron aloitti yhteistyön 2018 tilivuoden toisesta puolikkaasta alkaen Techman Robot Inc:n kanssa. Yhteistyön myötä Omron markkinoi ja myy TM-sarjan yhteistyöroboteja yhteisen tavaramerkin alla. Lisäksi sovittiin yhteistyörobottien seuraavan sukupolven kehityksestä. Seuraavan sukupolven roboteja olisi tarkoitus helpommin integroida Omronin muihin automaatiotuotteisiin. Tämä mahdollistaa innovatiivisen tuotantoympäristön luomisen, jossa ihmisten ja koneiden yhteistyö sujuu mahdollisimman hyvin. TM-roboteista löytyy seuraavia ominaisuuksia: [7.]

- Älykäs sisäinen konenäköjärjestelmä, joka tunnistaa esineiden paikkoja, säännönmukaisuuksia ja viivakoodeja.
- Käytettävyyden kätevyys, konenäköä hyödyntävä poimi ja sijoita -sovellus helppo opettaa graafisessa flow-pohjaisessa käyttöliittymässä.
- Turvallisuusominaisuudet, robotit ovat ISO 101218 ja ISO/TS 15066 standardien mukaisia ja yhteistyölle vaadittujen turvallisuusvaatimusten mukaisia. [7.]

TM-robotteja on 4 eriä mallia, mallit jakautuvat niiden toimintasäteen ja kantokyvyn mukaan seuraaviin:

- TM5-700
- TM5-900
- TM12
- TM14. [8.]

Esim. TM5-700 robotin toimintasäde on 700 mm, kun taas TM 5-900 ulottuvuus on 900 mm. TM12-robotin toiminta-arvot ovat:

- toimintasäde 1300 mm
- maksimi kuorma 12 kg
- maksimi nopeus 1.3 m/s. [8.]



Kuva 1. Omronin yhteistyörobotti TM12 [9].

3.2 Konenäkökamera

Robotin kyky nähdä ja tulkita visuaalista tietoa komentokehotteiksi on ominaisuus, joka tekee yhteistyöroboteista nykyaikaisempia kuin tavallisista teollisuusroboteista. TM VisionTM on yhdistetty laitteisto ja ohjelmisto, joka on sisäänrakennettu robottiin. Järjestelmä tarjoaa käyttäjälle helposti opittavat ohjelmointitoiminnot kuten:

- näön tunnistus
- paikannus
- kuvanparannus
- viivakoodin tunnistus. [10.]

TM-sarjan robotit näkevät yhden tai useamman integroidun kameran kautta. Vähintään yksi konenäkökamera asennetaan robotinvarrelle, joka toimii kirjaimellisesti robotin silmänä. Joissakin tapauksissa on mahdollista asentaa lisäkameroita strategisiin paikkoihin robotin työtilassa. Tämän ansiosta robotilla on mahdollista saada laajempaa näkökulmaa tilasta ja siepata mahdollisimman paljon visuaalista dataa tehtävänsä suorittamiseen. [10.]

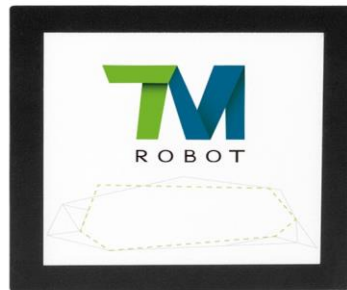
TM-robottien sisäänrakennettu järjestelmä mahdollistaa robotin toiminnan integroimalla robotin käden, silmän ja aivot yhdeksi kokonaisuudeksi. Tämä antaa käyttäjille mahdollisuuden tehdä erittäin tarkkaa työtä sekä myös joustavuutta nopeisiin linjanvaihtoihin. Kamerassa on painikkeita, jotka mahdollistavat paikan tallennuksen tai visiosolmujen luonnin TMflow-ohjelmaan. Painiketta painamalla robotti tallentaa kyseisen paikan sijainnin tai kuvan paikasta ohjelmaan. [11, s. 13.]



Kuva 2. Konenäkökamera robotin käsivarressa [10].

3.3 TM landmark ja TM calibration plate

TM landmark on pieni neliömäinen muovilevy. Mitoiltaan se on 0,2 cm paksu ja pinta-alaltaan 5x5 cm. Merkin ideana on, että kamera tunnistaa sen mustavalkoiset reunat ja keskeiset graafiset ominaisuudet. Merkin löydettyään robotti voi luoda perusjärjestelmän TM landmarkin ympärille. Tämä tarjoaa joustavan ja yksinkertaisen paikannustoiminnon käyttäjälle. [11, s. 13–14.]

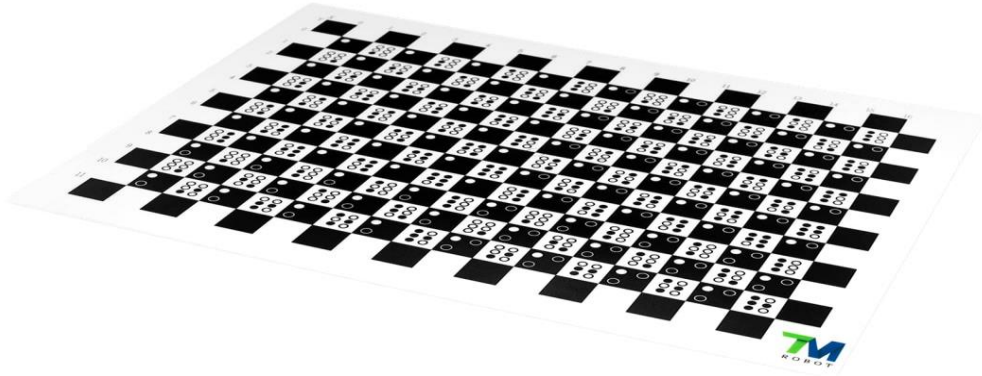


Kuva 3. TM landmark. [12.]

Robotin kameran ja työtilan kalibrointi onnistuu TM-kalibrointilevyn avulla. Levy on shakkilaudan tapainen, jossa on eri kuvioita mustavalkoisella pohjalla. Ennen kalibrointia on varmistettava, että kalibrointi levy on kameran suuntaisesti ja että se on vakaalla pohjalla levyn tärinän ja liikkumisen ehkäisemiseksi. Kalibrointi vaiheittain: [11, s.18.]

- Vaihe 1. Kallistuksen korjaus; korjaa työtilan kalibrointia varmistaaksesi kalibrointi levy on kameran suuntainen.
- Vaihe 2. Kallistuksen korjaus visuaalisesti; kalibroi kallistus painamalla vuokaavio kuvaketta, paina tarvittaessa uudelleen.
- Vaihe 3. Automaattinen työtilan kalibrointi; aloita kalibrointi painamalla käynnistä nappia. Robotti ottaa kuvia kalibrointilevystä monissa eri kulmissa työtilan sijainnin laskemiseksi suhteessa levyyn.

- Vaihe 4. Tallenna kalibrointitulokset työtilan tiedostoihin, kun tarkkuus on vahvistettu. [11, s.18.]



Kuva 4. Shakkilaudan tapainen TM-kalibrointilevy [13].

3.4 Robotin työskentelykoordinaatisto

Robotti käyttää pohjajärjestelmää. Tämä järjestelmä määrittelee robotin sijainnin ja asennon kolmiulotteisessa koordinaatistossa (X, Y ja Z). Robotin pohjajärjestelmät on jaettu 4 eri luokkaan: [14, 68–70.]

- robotin pohja
- mukautettu pohja
- työkalu pohja
- visio pohja. [14, s. 68–70.]

Pohja tarkoitusten mukaan käyttäjä voi suorittaa pisteiden suunnittelua eri näkökulmista riippuen projektista mikä pohja ja tila olisi paras mahdollisen liikkeen suorittamiseen. [14, s. 68–70.]

Robotin pohjaa kutsutaan myös maailman koordinaattijärjestelmäksi. Robotin määritelmässä se on määritetty robotin perustaksi. Kun robotti on käynnissä, se ei ole riippuvainen robotin asennosta tai ryhdistä. Alkupisteen asento ja koordinaatit pysyvät aina samana. [14, s. 68.]

Visio pohjan idea on lähestyä kohdetta kameralla, joten tukipohja luodaan kameralle. Kiinteän pisteen paikannuksessa kuvan suhde koordinaatit ja robotti laskevat paikannuskohteen absoluuttisesti, koordinaatit ja sen pohja luodaan kameras objektille. Robotin visio pohja voidaan rakentaa tukiaseman kanssa rinnakkain sallien käyttäjän suorittaa kokoonpano ja muut siihen liittyvät sovelluksen kaltevilla tavalla. [14, s. 69.]

Mukautettu pohja antaa käyttäjälle menetelmän luoda oman pohjan haluamaansa tasoon koordinaatistoa. Käyttäjä voi ohjata robottia mihin tahansa X-akselin pisteeseen ja XY-tukiaseman tasojen avulla voi luoda mukautetun pohjan. [14, s. 70.]

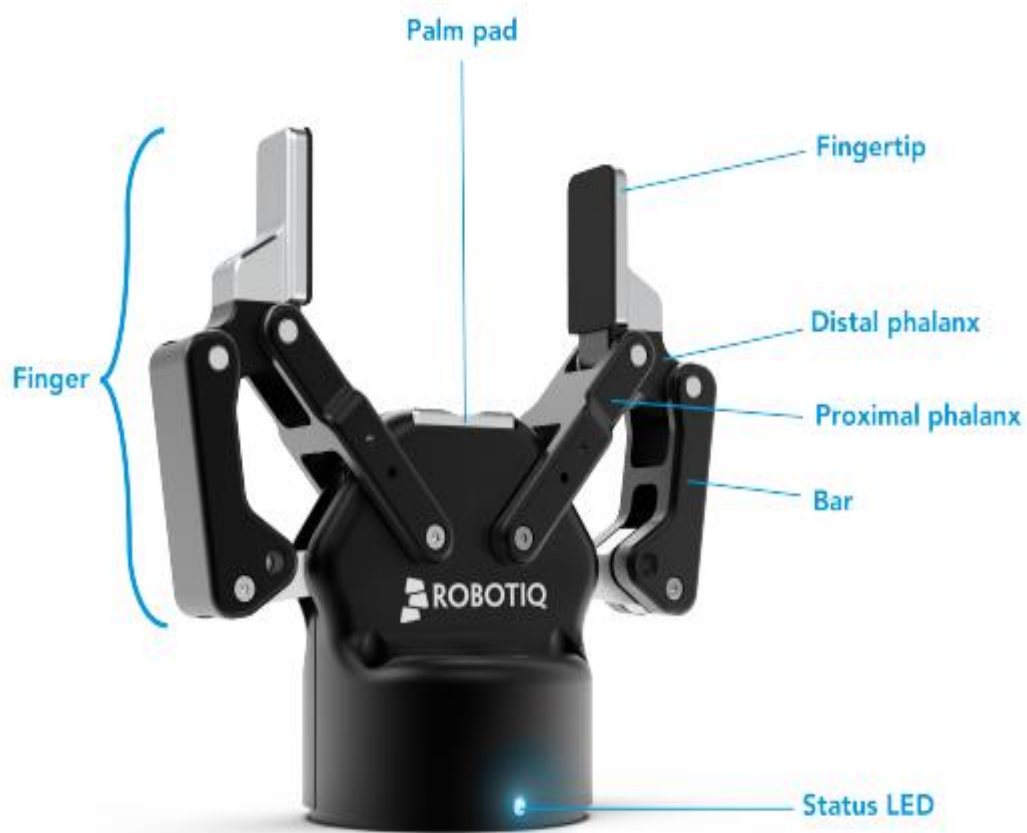
Työkalupohjaa käytetään määrittämään robotin TCP:n sijainti ja asento. Ennen työkalun käyttöä TCP:n sijainti ja asento on määritettävä. Jos TCP:tä ei ole määritetty laipan keskipistettä käytetään tukipohjan lähtöpaikkana. Projektin työkalu voidaan vaihtaa kuluminen tai muun syyn takia ilman, että virtausta tarvitsee ohjelmoida uudelleen. Ainoastaan työkalupohja pitää määrittää uudestaan. [14, s. 70.]



Kuva 5. Robotin tarttujan ja pohjan koordinaatisto [14, s. 68].

3.5 Robotin tarttuja

Omronin TM-12 yhteistyörobotissa on käytössä Robotiq 2F-140 -tarttuja. Tarttujalla on kaksi nivellettyä sormea, joista molemmilla on kaksi niveltä. Kosketuspisteitä esineeseen tarttujalla voi olla 5, kaksi kummallakin puolella ja keskellä kämmenessä yksi. Tarttujan sormet ovat alikäytettyjä, mikä tarkoittaa, että moottoreita on vähemmän kuin nivelten kokonaismäärä. Tällaisen kokoonpanon avulla sormet voivat sopeutua automaattisesti tarttuneen kohteen muotoon, ja se myös yksinkertaistaa tarttujan hallintaa. [15, s. 8.]



Kuva 6. Robotiq 2F-140 tarttuja [15, s. 8].

4 Yhteistyörobotin turvaominaisuudet

TM-12-yhteistyörobotti on suunniteltu siten, että vaarat voidaan vähentää mahdollisimman pienelle tasolle. Robotin toiminnassa on keskitytty ihmisen ja robotin yhteistyön turvallisuuteen. Robotti on rakennettu asiaankuuluvien turvallisuusstandardien mukaisesti. TM-12-robotit on tarkoitettu osien kokoonpanoon ja hyötykuormien käsittelyyn. Kaikissa sovelluksissa on otettava huomioon riskinarviointi. Sovellusta ja käyttöä miettiessä on ajateltava, sopeutuuko robotti tarkoitettuun prosessiin. Ennen robotin asentamista ja käyttöä on tehtävä riskinarviointi tarkoitettujen sovellusten olosuhteiden perusteella. Riskinarviointit voivat olla viitteitä standardien ISO 10218-2-, ISO 12100- ja ISO/TS 15066 -spesifikaatiokirjoihin. Tarkoitus riskinarvioilla on ennakoida mahdolliset onnettomuudet, joita voi tapahtua käyttöprosessissa ja asianmukaisilla suojaustoimenpiteillä henkilövahinkojen välttämiseksi. [16, s. 13.]

4.1 Turva-asetukset

Robotin käyttöliittymän turva-asetukset sivulla voidaan nähdä kolme eri valikkoa, joilla voidaan määrittää robotille eri asetuksia turvallisuuden takaamiseksi. [14, s. 22.] Turvapysäytyskriteerit välilehdellä (kuva 7) voi asettaa robotin:

- TCP-nopeuden
- TCP:n voiman
- liitosten sijainnin
- liitoksen nopeuden
- liitoksen vääntömomentin. [14, s. 23.]

Suojausportilla on yhteensä kahta tyyppiä suojausportilla A: suojaus taukoportilla ja suojausportti B: yhteistoimintatila. Kunkin suojaustoimenpiteen määritelmä on viitattu ”Turvallisuusopas” vastaavalle ohjelmisto- ja laitteistoversiolle. Tällä asetuksella asetetaan suojausportin A jatkamismekanismi. Nämä asetukset tulee asettaa riskinarvioinnin mukaisesti. [14, s. 24.]

TCP		Hand Guide TCP Speed Limit ?	
TCP Speed	<input type="text" value="3.0000"/> m/sec	<input type="text" value="2.500"/> m/sec	
TCP Force	<input type="text" value="150"/> N		
	Joint Speed	Joint Torque	Min/Max Joint Position ?
J1:	<input type="text" value="130"/> deg/sec	<input type="text" value="65"/> Nm	<input type="text" value="-270"/> ~ <input type="text" value="270"/> deg
J2:	<input type="text" value="130"/> deg/sec	<input type="text" value="65"/> Nm	<input type="text" value="-180"/> ~ <input type="text" value="180"/> deg
J3:	<input type="text" value="190"/> deg/sec	<input type="text" value="65"/> Nm	<input type="text" value="-166"/> ~ <input type="text" value="166"/> deg
J4:	<input type="text" value="190"/> deg/sec	<input type="text" value="15"/> Nm	<input type="text" value="-180"/> ~ <input type="text" value="180"/> deg
J5:	<input type="text" value="190"/> deg/sec	<input type="text" value="40"/> Nm	<input type="text" value="-180"/> ~ <input type="text" value="180"/> deg
J6:	<input type="text" value="190"/> deg/sec	<input type="text" value="15"/> Nm	<input type="text" value="-270"/> ~ <input type="text" value="270"/> deg

Kuva 7. Turva-asetusmääritykset nivelille.

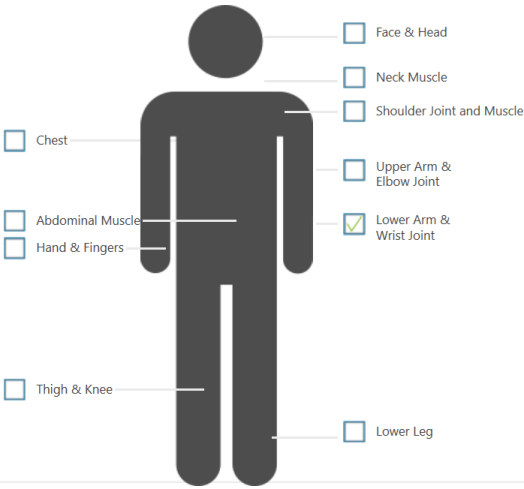
Kehon alueen riskiasetusten osalta käyttäjä pystyy asettamaan valikoidun ihmiskehon osan, joka voi olla kontaktissa robotin kanssa yhteistyötila vaatimusten mukaisesti. Tämän välilehden oikealla puolella oleva tulos näyttää robotin ajonopeuden yhteistyötilassa (kuva 8). Asetusarvo voidaan asettaa, kun robotin käyttäjä on vahvistanut sen. [14, s. 26.] Laskentatulokset sisältää

- automaattisesti alennetun nopeuden arvon
- automaattisen alennetun arvon pisteestä pisteeseen liikkumisnopeus
- pienin mahdollinen kosketuspinta robotin ja ihmiskehon välillä. [14, s. 26.]

Käyttäjän on vahvistettava oikeasta alakulmasta kenttä (kuva 8) ennen asetuseron tallentamista. [14, s. 26.]

Body Region Risk Setting More Limit Setting

1. Please set body regions that could be contacted by the robot in the collaborative workspace



2. Result

When robot enters the collaborative workspace, the path motion set with 100% speed will be automatically changed into mm/sec

When robot enters the collaborative workspace, the PTP motion set with 100% speed will be automatically changed into %

When robot enters the collaborative workspace, the speed setting will be achieved within ms

Enable G-Sensor ?

Input boxes highlighted with blue borders have been modified to be higher than the default values. Minimum possible contact area calculation have been removed. In this case, it's user's responsibility and liability to perform risk assessment and validate safety parameters due to the modification.

This feature is designed for user to quickly have a basic setting

Kuva 8. Turvamääritykset ihmiskehölle.

4.2 Turvastandardit

ISO 10218-2 määrittää turvallisuusvaatimukset teollisuusrobottijärjestelmien ja teollisuusrobottien integroinnille, kuten standardissa ISO 10218-1 on määritelty teollisuusrobottisoluille. [17.] Standardi käsittää seuraavia asioita:

- teollisuusrobottijärjestelmän tai kennon suunnittelu, valmistus, asennus, käyttö, huolto ja käytöstä poistaminen
- tärkeitä ja tarvittavia tietoja teollisuusjärjestelmän tai kennon suunnittelua, valmistusta, asennusta, käyttöä, huoltoa ja käytöstä poistamista varten
- teollisen robottijärjestelmän tai kennon komponentti laitteisto. [17.]

ISO 10218-2 -standardi kuvaa näiden järjestelmien tunnistamat perusvaarat ja vaaratilanteet ja tarjoaa vaatimuksia näihin vaaroihin liittyvien riskien vähentämiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. ISO 10218-2 -standardissa määritetään myös vaatimukset teollisuusrobottijärjestelmälle osana integroitua valmistusjärjestelmää. [17.] Standardi ei erityisesti käsittele prosesseihin liittyviä vaaroja kuten

- lasersäteily
- hitsausavu
- irtonaiset sirut/osat. [17.]

On olemassa muita standardeja, joita voi soveltaa kyseisiin prosessivaaroihin.

ISO/TS 15066 on maailman ensimmäinen teknisten turvallisuusvaatimusten eritelmä yhteistyörobottisovelluksille. Standardi on suunniteltu täydentämään ISO-10218-1- ja ISO 10218-2 -standardien robottiturvallisuus vaatimuksia ja ohjeita teollisuuden yhteistyörobottien toiminnalle. Standardissa määritetään turvallisuusvaatimukset yhteistyöteollisuuden robottijärjestelmille ja työympäristöille. Se tarjoaa myös kattavat ohjeet heille, jotka tekevät robottisovellusten riskinarviointia. Lisäksi standardi hahmottaa suurimmat sallitut teho- ja nopeusraajat yhteistyöroboteille, joita käytetään teho- ja voimanrajoitustilanteissa. [18.]

4.3 Turvallinen valvottu pysäytys

Tällaista yhteistyöominaisuutta on mahdollista käyttää, kun robotti työskentelee enimmäkseen yksin, mutta välillä ihminen saattaa joutua siirtymään robotin toiminta-alueelle. Esimerkiksi robotin työstämälle osalle on tehtävä jokin tietty toimenpide robotin työskentelytilassa. Kyseessä voi olla raskaita osia, joita robotin on käsiteltävä ja työntekijän on tehtävä toissijainen toimenpide osalle, kun robotti edelleen käsittelee sitä. Näin henkilön voi työskennellä kyseisen osan kanssa, jota robotti käsittelee. Ihmisen tullessa ennalta määritetylle turva-alueelle robotti pysäyttää kaikki liikkeensä kokonaan. Tällöin robotti ei ole suljettu, mutta jarrut ovat päällä turvallisuuden vuoksi. Tällainen ominaisuus voi vaikuttaa tehokkuuteen negatiivisesti, jos ihmisten on työskenneltävä robotin ympäristössä jatkuvasti. Valvotun pysäytyksen idea on tehokkaampi silloin, kun robotti työskentelee enimmäkseen yksin. [19.]

4.4 Käsien ohjaus

Tämän tyyppistä yhteistyötyöskentelytapaa käytetään käsiopetukseen tai polunopetukseen, jos halutaan opettaa robotille polkuja helposti ja nopeasti. [19.] Käsien ohjauksella pystyy tallentamaan robotin silloisen paikan nappia painamalla. Robotin tarttuja liikkuu käsiesi liikkeiden mukaan toista nappia painamalla. Käsinohjaus on siitä turvallinen tapa, että työskentelijä tuntee itse robotin liikkeitä niitä opettaessa ja samalla oppii robotin liikeradat.



Kuva 8. Robotin kameran sivussa paikan tallennus- ja liikennapit.

4.5 Nopeuden ja etäisyyden valvonta

Robotin ympäristöä tarkkaillaan lasereilla ja näköjärjestelmillä, jotka seuraavat työntekijöiden asemaa. Robotti työskentelee sille ennalta määrättyjen turvavyöhykkeiden sisällä. Jos ihminen ylittää tietyn turva-alueen rajat, robotti reagoi siihen määrättyllä nopeuden vaihdolla (yleensä vauhti hidastuu) ja lopulta robotti pysähtyy, kun työntekijä on liian lähellä. [19.]

Mitä eroa on turvallisuuden valvotulla pysäytyksellä ja nopeuden ja etäisyyden valvotulla pysäytyksellä? Turvallisuuden valvottu pysäytys toimii silloin, kun robotti pysähtyy jonkin tullen sen turvaparametrien yli. Robotti odottaa, kunnes työntekijä on tarpeeksi kaukana toimiakseen jälleen. Nopeuden ja etäisyyden valvotulla pysäytyksellä robotti toimii sillä nopeudella, jonka sille määritetyt turva-alueet osoittavat. Turva-alueita porrastetaan siten, että robotti muuttaa liikenopeutta sen mukaan, mitä lähempänä työntekijä on robottia, kunnes työntekijän ollessa tarpeeksi lähellä robotti pysähtyy. [19.]

4.6 Voiman- ja tehonrajoitus

Voiman ja tehonrajoituksen ansiosta yhteistyörobotti voi tuntea tiellään epänormaali voimat. Robotti on ohjelmoitu pysähtymään, kun se lukee ylikuormituksen voimana. Robotit on suunniteltu myös hajauttamaan voimat iskujen sattuessa laajalle pinnalle. Tämä on yksi syy siihen, miksi robotit ovat pyöreämpiä. Roboteilla ei ole myöskään paljaita moottoreita. Suurin osa yhteistyöroboteista on kolmannen osapuolen sertifioimia, jotka keskittyvät teollisuuden turvallisuuteen ihmisen ja robotin välisessä yhteistyössä. [19.]

Yhteistyörobottien pääominaisuus on lukea niiden voimia nivelissään. Tämä antaa robotille mahdollisuuden havaita, kun siihen kohdistuu epätavallisia voimia työsken-telyn aikana. Näissä tilanteissa robotit ohjelmoidaan pysähtymään tai joskus kääntämään nivel-tä, joka välittää alkukontaktin. Tästä johtuen robotit pystyvät reagoimaan välittömästi, jos joutuvat kosketuksiin ihmisen kanssa ja hävittämään osan iskusta välittyvästä energiasta. [19.]

5 Hitsaus

5.1 Yleistä hitsauksesta

Hitsauksen tarkoitus on osien liittämistä yhteen käyttämällä hyväksi lämpöä tai puristusta siten, että kappaleet muodostavat hitsauksen jälkeen jatkuvan liitoksen. Hitsauksessa on mahdollista käyttää lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineen sulamispiste. [20.]

Hitsausprosesseissa käytetään yleensä hyväksi lämpöä, joka sulattaa liitettävien kappaleiden railopinnat ja hitsauslisäaine. Tämän prosessin tuloksena on hitsisula, joka jäähmettyy hitsiksi ja liittää osat toisiinsa. Yleensä hitsausprosessien lämmönlähteenä on valokaari, silloin kyseisiä prosesseja kutsutaan kaarihitsausprosesseiksi. Sähköenergia muutetaan elektrodina olevan sulavan lisäainelangan ja kappaleen välissä palavan valokaaren avulla lämmöksi. [20.]

Kaasussa tapahtuvaa sähköpurkausta nimitetään valokaareksi. Valokaaren avulla pystytään kehittämään nopeasti ja tehokkaasti tarpeeksi korkeita lämpötiloja ja suuria lämpömääriä. Lämpötila valokaareissa vaihtelee riippuen hitsausprosessista; korkeimmillaan lämpötila on kymmeniä tuhansia asteita. Valokaaren ytimen lämpötila on puikkohitsauksessa noin 5000–6000 C°. Hitsauksessa on käytössä muitakin energian lähteitä mm. kaasuliekki, fokusoitu säde (laser- tai elektronisuihku), mekaaninen energia ja diffuusio. [20.]

Hitsausprosessi on suojattava ympäröivältä atmosfääriltä toisin sanoen ilmalta, varsinkin ilman tyveltä ja hapelta, joiden vaikutus hitsin lopputulokseen on heikentävä. Suojaminen tapahtuu hitsausprosesseissa eri tavoin: [20.]

- kuona: mm. puikko- ja jauhekaarhitsaus
- tyhjiö: elektronisuihkuhitsaus
- mekaaninen puristus: vastushitsaus
- suojakaasu: mm. MIG/MAG-, TIG- ja plasmahitsaus
- suojakaasu ja kuona: MAG-täytelankahitsaus. [20.]

Hitsaus mahdollistaa mm. metallien, muovien ja keraamien liittämisen. Kappaleiden hitsausta toisiinsa nimitetään myös liitoshitsaukseksi. Hitsausta voidaan käyttää myös kappaleen pinnan pinnoittamiseen, jolloin käytetty termi on päälle hitsaus. Sillä voidaan korjata kuluneita kappaleita alkuperäiseen kuntoon. [20.]

Yleisimmät kaarihitsausprosessit ovat:

- MAG-hitsaus
- MIG-hitsaus
- puikkohitsaus
- MAG-täytelankahitsaus
- jauhekaarihitsaus
- TIG-hitsaus
- plasmahitsaus. [20.]

Muita hitsausprosesseja ovat vielä:

- vastushitsaus
- kuonahitsaus
- kaasukaarihitsaus
- kitkahitsaus
- laserhitsaus
- elektronisuihkuhitsaus. [20.]

5.2 Automaatio hitsauksessa

Robotteja käyttäessä mihin tahansa prosessiin menetelmä on muutettava automaation mukaiseksi. Sama pätee hitsaukseen, jossa käytetään useita työkaluja, joita ei sen käsikirjasta löydy. Ihmiset eivät tarvitse ohjelmointia robottihitsaajien tapaan. Hitsaus vaatii koulutusta ja taitoa. Ammattimaisten hitsaajien määrä ei kuitenkaan vastaa alan tarpeita. American Welding Societyn mukaan vuoteen 2022 mennessä teollisuudella on pulaa 450 000 hitsaajasta. Sen sijaan että hitsausteollisuus antaisi tärkeiden projektien jäädä jälkeen työpulan takia, olisi roboteilla mahdollista paikata työpula vajetta. Robotit pystyvät automatisoimaan prosessin, mikä takaa paremman tarkkuuden, vähemmän jätettä ja

nopeamman toiminnan. Saatavilla olevien koneiden avulla robotit sopeutuvat monenlaisiin hitsausprosesseihin, joita ovat esimerkiksi kaari, vastus, piste, TIG ja paljon muuta. [21.]

Pystymme jakamaan automaattiset hitsausprosessit kahteen luokkaan, automaattisiin ja puoliautomaattisiin. Täysautomaattisessa hitsaustoiminnossa mittatilaustyönä valmistettu laite suorittaa lähes kaikki toiminnot latauksesta ja indeksoinnista laadunvalvontaan ja purkamiseen asti. Puoliautomaattisessa prosessissa käyttäjä lataa työkappaleen manuaalisesti ja hitsisäädin järjestää toiminnan ennalta asetettujen parametrien mukaan. Prosessin valmistuttua operaattori poistaa työkappaleen koneesta. [22.]

5.3 Yhteistyörobotit hitsauksessa

Jotkut yrityksen käyttävät jo yhteistyörobotteja. Näillä koneilla on ihmisystävällinen muotoilu, joka mahdollistaa helpon vuorovaikutuksen ihmisten ja robotin välillä. Anturien avulla yhteistyörobotit pystyvät keräämään tietoa ja reagoimaan muuttuviin tilanteisiin. Teollisuusrobotit vaativat perinteisesti aikaisempaa ohjelmointia suurten tehtävien suorittamiseksi. Nämä kestävät käyttöä, mutta hankalat ja kalliit laitteet vievät paljon tilaa ja rahaa ollakseen kannattavia vaihtoehtoja pienemmille yrityksille. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi insinöörit ovat kehittäneet ja luoneet entistä kestävämpiä yhteistyörobotteja, jotka pystyvät toimimaan ihmisten kanssa teollisissa sovelluksissa. Näiden robottien suunnittelijat toivovat vähentävän 90 % tehtävistä, joita olisi mahdollista suorittaa automaattisesti. Yhteistyörobottien yhtenä ideana olisi integroitua manuaalisiin hitsialueisiin täydentämään ihmisten välistä työtä. Tällaisten ideoiden odotetaan kasvavan vielä enemmän tulevaisuudessa, mitä nyt markkinoilla on. [21.]

6 Peltitarvike Oy

Peltitarvike on perustettu vuonna 1965. Se on Suomen merkittävin linjakuivatuskourujen ja kattokaivojen valmistaja ja markkinajohtaja. Yrityksen päätuotteita ovat ohutlevytuot-

teet rakennus-, lvi- sekä vedeneritysalan tuotteet. Näiden lisäksi yritys tarjoaa metalliteollisuuden laserleikkaus- ja alihankintapalveluita. Peltitarvike Oy on myös kattoliitto ry:n aktiivinen jäsen. [23.]

Yrityksen toiminnan tärkeitä arvoja ovat

- räätälöidyt tuotteet
- asiakaslähtöinen tuotekehitys
- korkea tekninen laatu
- asiantunteva asiakaspalvelu ja tuotetuki
- nopeat toimitukset. [23.]

Yritys työllistää vakituisesti 30 henkilöä, joista osa on kulkenut yrityksen matkassa vuodesta 1965 lähtien. Työntekijöissä yhdistyvät nuorekkuus ja kokemus parhaalla mahdollisella tavalla. [23.]

7 Projektin laitteisto ja ohjelmat

7.1 TM12-yhteistyörobotti

TM12-yhteistyörobotti on tällä hetkellä yksi tehokkaimmista yhteistyöroboteista. 12 kg:n kuormituskapasiteetilla robotti soveltuu alan vaikeimpiin tehtäviin. Näiden robottien suuren lujuuden ansiosta ne sopivat mahtavasti raskaiden tavaroiden pakkaamiseen tai tavaroiden syöttämiseen koneeseen. [24.]

TM-yhteistyörobotit ovat markkinoiden ensimmäiset konenäöllä integroidut robotit. Myös laitteisto ja ohjelmisto sisältävät järjestelmät sekä erilaiset robottinäkötoiminnot. Robotti pystyy vertailemaan kuvioita, paikantamaan esineitä, tunnistamaan värejä ja lukemaan viivakoodeja. Robotin ominaisuutena on myös käyttöystävällinen käyttöliittymä, jonka avulla kaikki voivat käyttää robottia. Integroitujen näkötoimintojen lisäksi robotilla on erityisen suuri tarkkuus. TM-robotin tarkkuus on 0,5 mm, mikä mahdollistaa sille erittäin herkkiä tehtäviä. [24.]

7.2 TECNA-pistehitsauskone

TECNA-pistehitsauskone on suunniteltu vastaamaan kaikkia pistehitsauksen tarpeita. Hitsauskoneessa ohjausyksikkö on sijoitettu eteen, jotta käyttäjä voi tarkastella hitsaus-tietoja myös työjakson aikana. Lisäksi pneumaattiset komennot ja paineilmamittari on sijoitettu laitteen yläosaan helpottamaan säätöä. [25.] Pistehitsauskoneen pääominaisuuDET:

- säädettävät varsien pituudet
- säädettävä elektrodin isku
- vesijähdytteinen muuntaja, varret ja elektrodit.
- mikroprosessorin ohjausyksikkö TECNA TE101
- elektrodin nopeuden säätöventtiilit
- sylinterin pään iskunvaimennin ja äänenvaimentimet
- kaksivaiheinen sähköinen poljin
- mahdollisuus toiseen jalkapolkimeen
- kaksi erilaista aikavirran säätöä. [25.]



Kuva 9. Projektissa käytetty pistehitsauskone.

7.3 TMflow

TMflow on graafinen käyttöliittymä. Ohjelman tarkoituksena on tarjota käyttäjille kätevä ja yksinkertainen käyttöliittymä robotin liike- ja logiikkaohjelmointiympäristöihin. Käyttöliittymän kautta käyttäjät voivat hallita ja asettaa robotin parametrit ja suunnitella robotin liike- ja prosessilogiikkaa. TMflow'n käyttösuunnittelussa on otettu huomioon myös kosketusnäyttöjen toimintatapoja, jolloin voit hallita useita robotteja yhdestä Windows-tabletista. [14, s. 10.]

7.4 Palletointialusta ja pöytä

Palletointialustalla on robotin järjestelmällisen esineiden noudon kannalta tärkeä tehtävä. Projektia varten valmistettiin laserleikkauskoneella 46 cm leveä ja 58 cm pitkä levy, mihin on leikattu 5x4-rivistössä aukkoja tuotteita varten. Aukot ovat 4,8 cm välein alustassa, 5 vaaka- ja 4 pystyriveissä. Jokaisen aukon muodossa on väkänen sauman paikantamisen vuoksi. Tuotteen pohjassa on lovi mikä istuu aukon väkänen kanssa kohdilleen. Alustan väkänen tehtävä on auttaa robottia noutamaan tuote tietyssä asennossa, sillä tuotteen sauman hitsausalue on 180° väkäsestä.



Kuva 10. Projektissa käytetty palletointialusta.

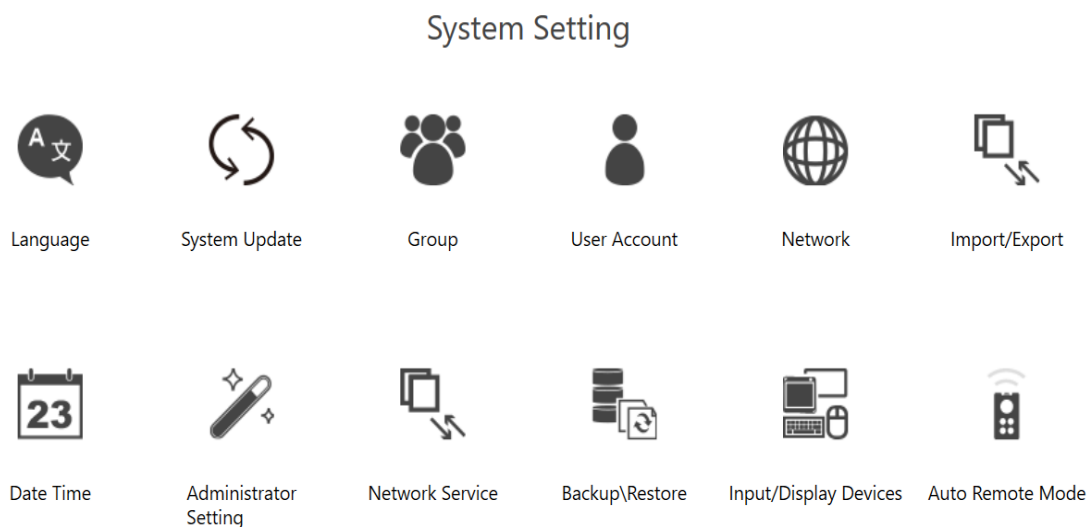
8 Projektin eteneminen

8.1 Aloituspalaveri ja tutustuminen tulevaan projektiin

Projekti saatiin käyntiin sopimalla vierailu Peltitarvike Oy:n tiloihin Helsingin Kivikkoon. Tapaamisessa kävimme läpi projektin tarkempaa tarkoitusta ja tavoitteita. Palaverissa ilmeni myös, mitä halutaan hitsata ja millä tavalla robotin tulisi se suorittaa. Kävimme myös läpi aikataulua projektiin liittyen, joten ensiksi sovimme robotin pysyvän kuukauden Vantaan Varian tiloissa testausta varten.

8.2 Yhteistyörobottiin tutustuminen

Kun projekti aloitettiin, ensimmäinen idea oli tutustua robotin toimintaan. Tutkin robotin liikeratoja, työkaluja, nosto ominaisuuksia, sovellusmahdollisuuksia ja liikkuvuutta. Omronin sivustolla on opetusvideoita robotin toimintaan ja ohjelmointiin liittyen, näitä videoita kävin myös läpi tutustuessani robotin toimintaan. Kun perusteet alkoivat olla hallinnassani, aloitin keskittymisen robotin asetuksiin ja ohjelmointiin TMflow-ohjelmalla ja käsinohjauksella.



Kuva 11. Järjestelmäasetusten päävalikko.

8.3 Ohjelmoinnin harjoittelua

Robotin ollessa Vantaan Varian tiloissa minulla oli hyvin aikaa harjoitella robotin ohjelmointia ja liikeratojen toistoja, kuten PTP-, Line- ja WayPoint-liikkeiden hallintaa. Ensimmäisinä kertoina harjoittelin robotin perinteisiä liikkeitä X-, Y- ja Z-koordinaatistossa. Lisäksi tutustuin robotin asetuksiin. TMflow-ohjelmasta löytyy useita eri ominaisuuksia kuten Set, Wait for, If, Goto, Move, Compliance, Pallet ja monia muita. Äsken lueteltuihin ominaisuuksiin keskityin enemmän, koska niitä tulen tarvitsemaan projektissa.



Kuva 12. Osa TMflow-ohjelman ominaisuuksista.

8.4 Tarttujen suunnittelua

Robotin tarttuessa kiinni tuotteeseen on tarttujen pidolla ja asennolla suuri merkitys tuotteen kannen asentoon ja sauman osumiseen kohdilleen hitsauksen aikana. Robotin viessä tuotteen pistehitsauskoneelle on sauman osuttava tarpeeksi päällekkäin, mutta ei liikaa mennä yli sauman, jotta tuotteen standardihalkaisija säilyy. Ensimmäinen idea oli tehdä robotille tarttumat, joiden koko olisi niin suuri, että tarttumat pystyisivät pitämään kiinni

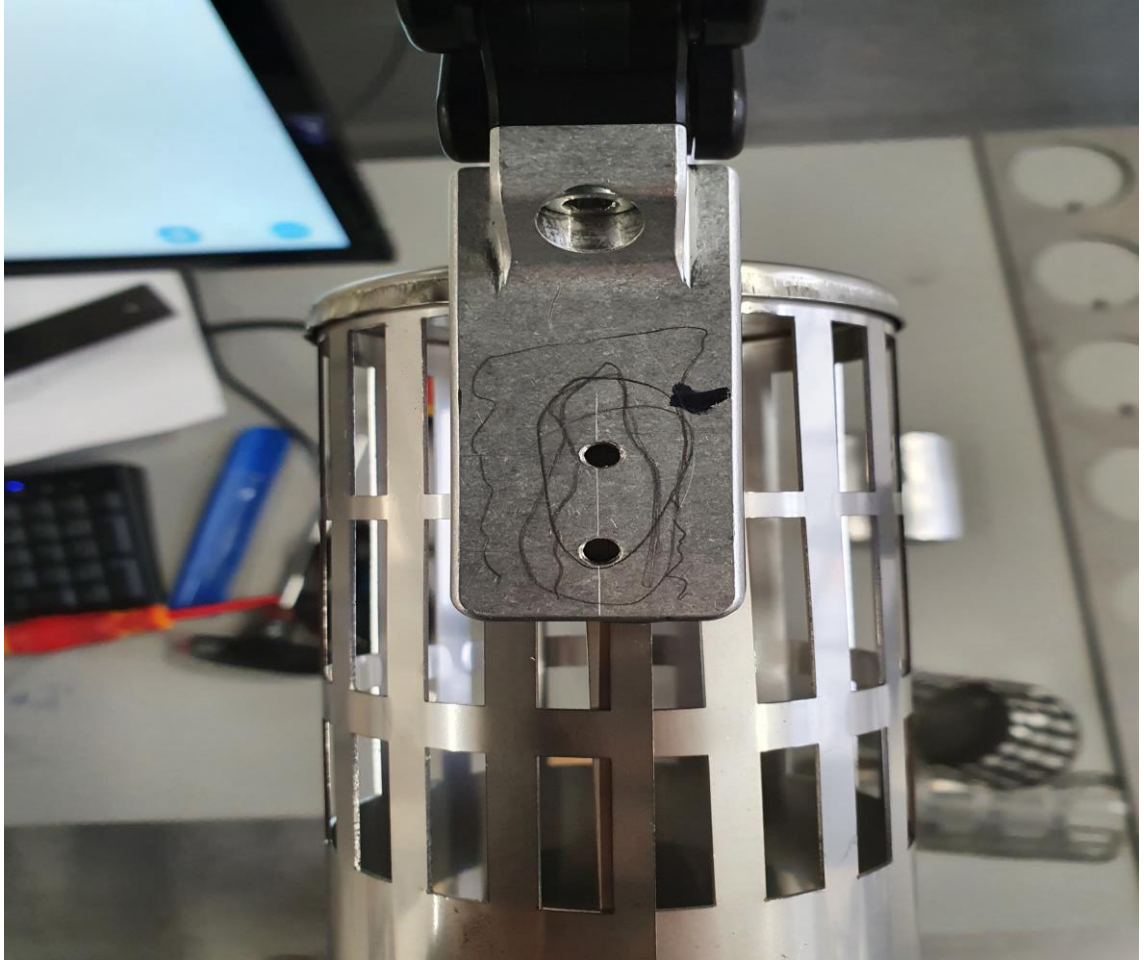
lähes koko ympärysmitalta tuotetta, mutta kuitenkin jättämään saumalle välin hitsausta varten. Suuremman tartunta pinta-alan etuja olisi myös laajempi tartunta-alue tuotteeseen ja näin tukevampi ote hitsauksen aikana.



Kuva 13. Ensimmäinen tarttujamalli, josta kuitenkin luovuttiin.

Suurempien tarttujien ongelma oli kuitenkin sauman hitsauksen tasaisuus. Tuotteen pohjat taipuvat eri tavalla, mikä taas vaikuttaa sauman lopputulokseen. TMflowohjelmalla pystyy asettamaan tartuntavoiman ja puristusetäisyyden, mutta niiden vaihtaminen arvosta toiseen ei auttanut asiaan, yksilöiden erilaisen taipumisen vuoksi. Ongelmaan ratkaisuna vaihdoin robotin tartunta kohdan tuotteen saumalle. Robotin tarttuminen sauman kohdalta auttaa pitämään sauman saman levyisenä yksilöstä riippumatta, koska toinen puoli tarttujasta tukee 180° saumasta. Tartuntakohdan muuttaminen tarkoitti sitä,

että vanhoja tarttuvia pitäisi muokata tai kehittää uudet, koska niillä ei pääse käsiksi hitsamaan saumaa koko matkalta. Tähän ratkaisuna kokeilin käyttää robotin valmiita tarttuvia, koska niiden tartuntapito osoittautui yllättävän hyväksi. Tuloksista päätellen päädyin muokkaamaan valmiita tarttuvia hitsaukseen sopiviksi.



Kuva 14. Robotin valmiit tarttumat, joiden käyttöön päädyttiin.



Kuva 15. Tarttujaan tehty lovi hitsausta varten.

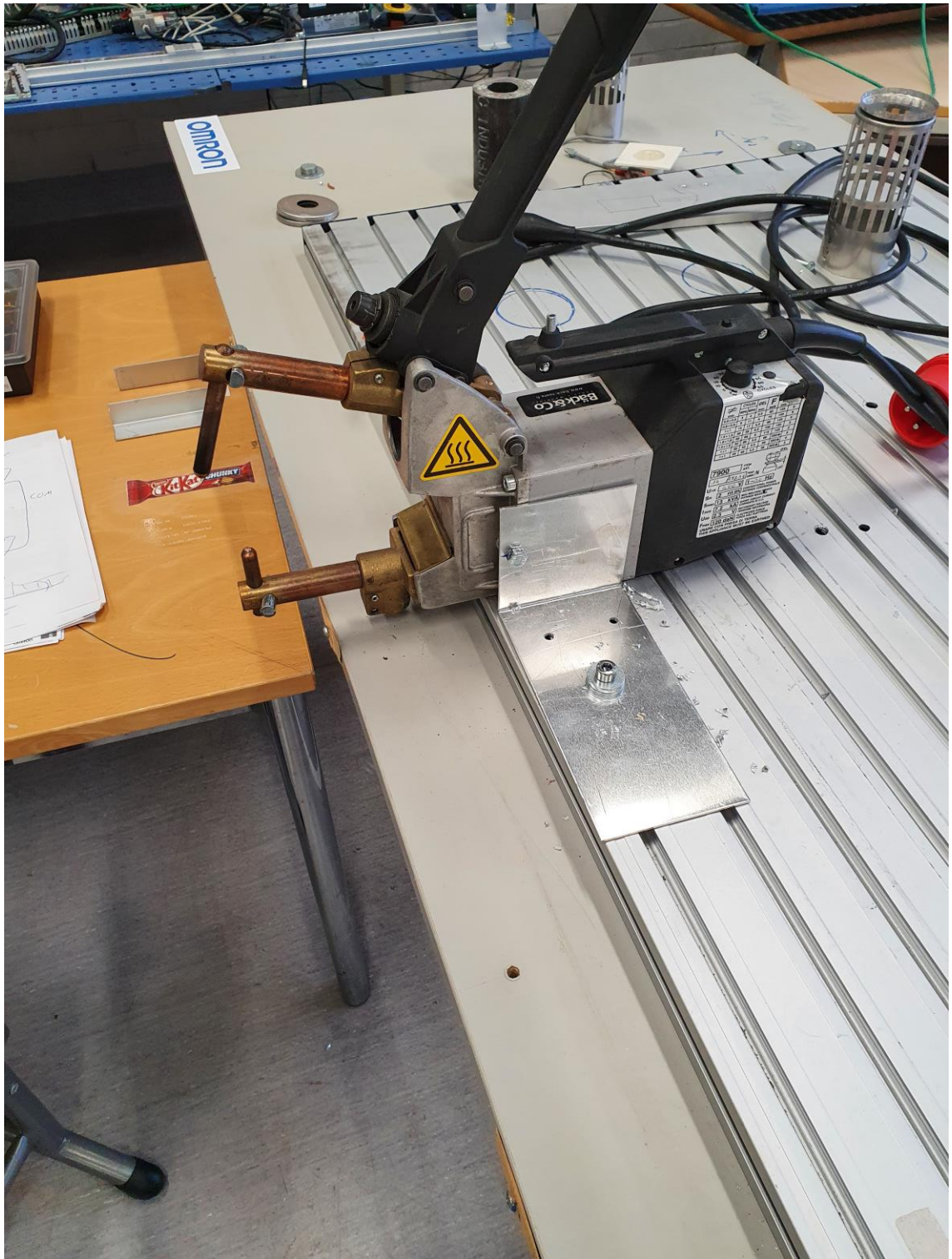
8.5 Palletoinnin ja hitsauksen testaus

Robotin ollessa vielä Vantaan Varian tiloissa päätin testata palletointia ja hitsausta etukäteen. Ensimmäisenä harjoittelin palletointiohjelman käyttöä. Pallet-ominaisuudella voidaan ohjata robotille tietty koordinaatisto, mistä tuotteet haetaan tässä kyseisessä projektissa Peltitarvike Oy:n tuotteita. Palletoinnin ideana on antaa robotille 3 kulmapistettä. Pisteiden sijoittamisen jälkeen robotti luo näiden koordinaattien perusteella työskentelyalueen. Pisteiden tallentamisen jälkeen käyttäjä pystyy valitsemaan:

- Haluamansa kuvion, mitä robotti käyttää palletointiin.
- Rivien ja sarakkeiden määrään, eli kuinka alue on jaettu pisteiden sisällä.
- Työskentelytason määrittäminen, toimiiko robotti yhdessä tasossa vai useammassa. (hyödyllinen esim. päällekkäin pakkaamiseen)

Palletoinnin testauksessa käytettiin 2x10-alustaa, joten palletointialue jaettiin 2 sarakkeeseen ja 10 riviin. Suurin hankaluus palletoinnin onnistumisessa oli kulmapisteiden tarkka sijoittaminen, koska ne määrittävät muiden 2x10-pisteiden sijoittumisen palletointialueessa.

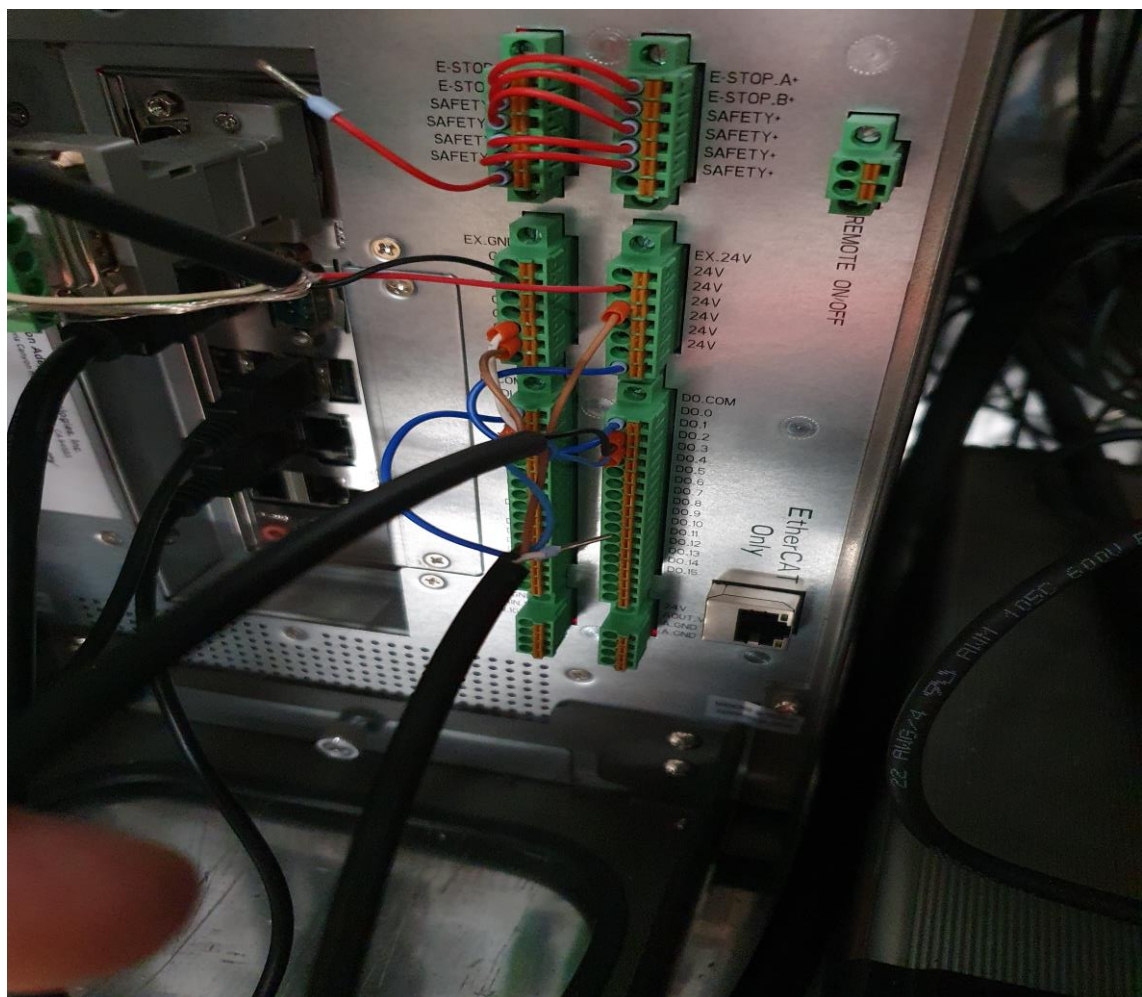
Palletoinnin testauksen jälkeen päätin lisätä testausta varten hitsauspisteen. Hitsauspisteen testauksen onnistuminen vahvistaisi näkemystä, miten robotti pystyy toimimaan hitsauksen kanssa yhteistyössä? Vantaan Varian tiloissa oli mahdollista käyttää pistehitsauslaitetta, jolla pystyi testaamaan hitsauksen toimivuutta. Kyseinen laite oli sirompi malli, joka oli mahdollista siirtää haluamaansa paikkaan testausta varten. Pistehitsauskone pultattiin pöytään kiinni mallintaakseen Peltitarvike Oy:n pistehitsauskoneen korkeutta ja työympäristöä. Testiä varten pistehitsauskoneenkärkiä piti myös lyhentää, jotta tuote mahtuisi hitsausleukojen väliin. Testauksen tulos oli onnistunut, Varian pistehitsauskone onnistui melko hyvin hitsaamaan sauman yhteen ja leukojen puristusvoima ei heiluttanut liikaa robotin varsia. Hitsauskoneessa oli kuitenkin suhteellisen paljon tehoa ja kärjet hieman tylpät, joka sai sauman välillä takertumaan hitsauskoneenkärkeen.



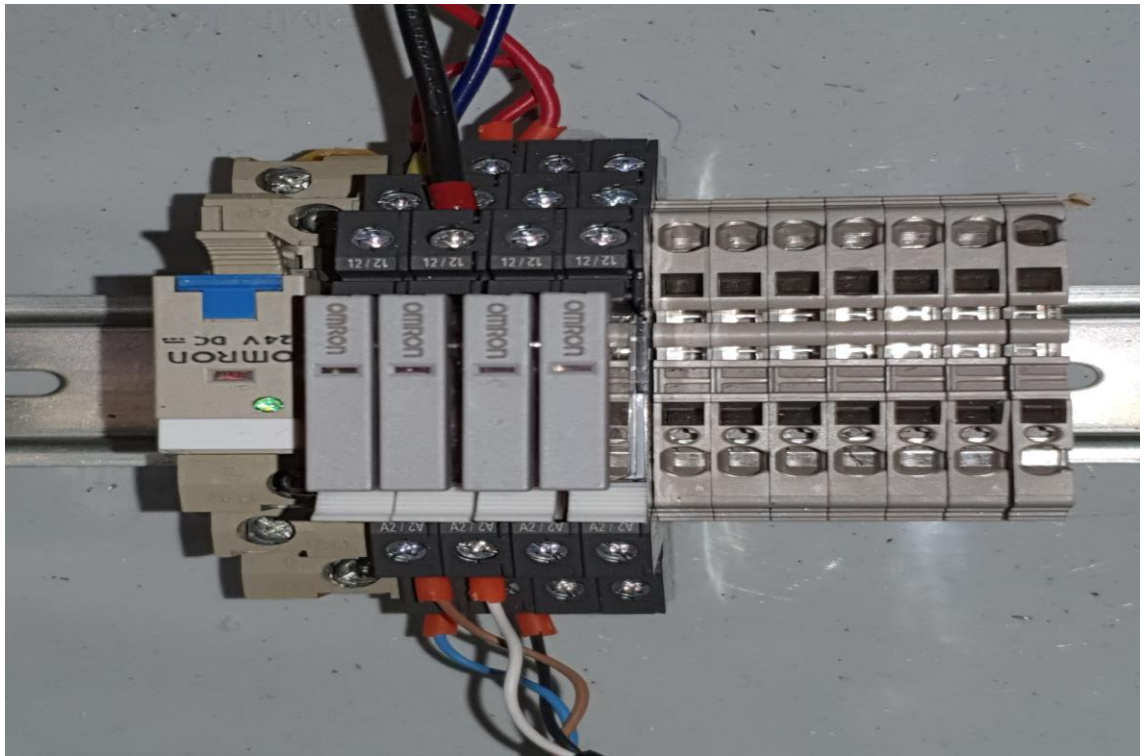
Kuva 16. Vantaan Variassa testauksessa käytetty pistehitsauskone.

8.6 Robotin kytkentä hitsauskoneeseen

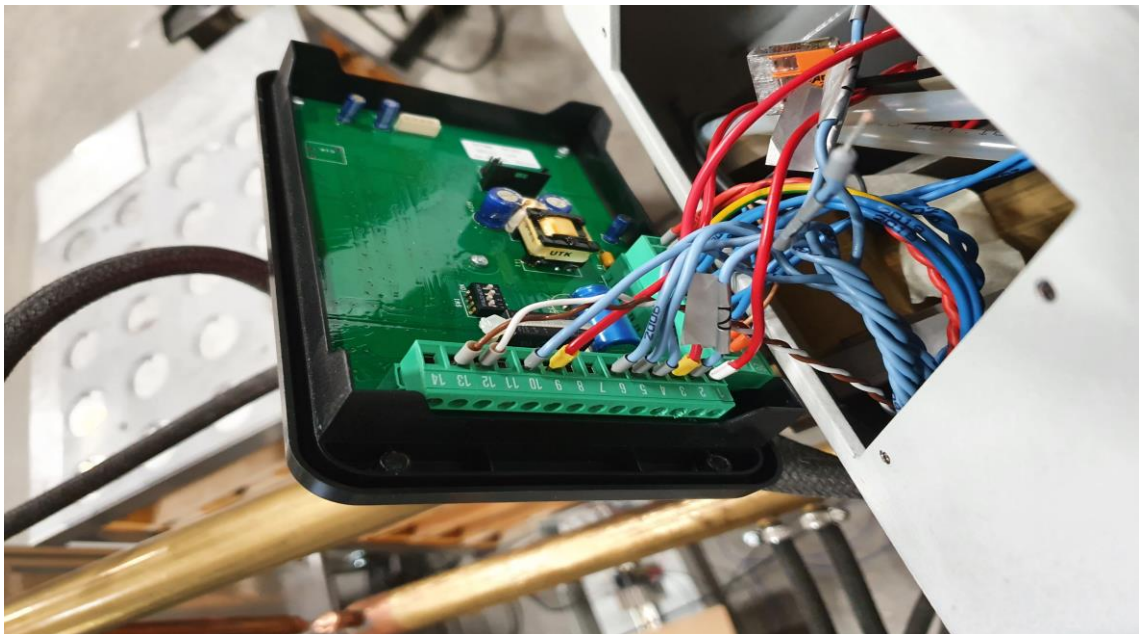
Kun robotti oli siirretty Peltitarvike Oy:lle, tuli aika kytkeä robotti pistehitsauslaitteeseen. Kytkeminen onnistui yhdistämällä robotin tietokoneyksikön takaa DI- ja DO-porteista Omronin releiden kautta pistehitsauskoneen kytkentäporttiin. Pistehitsauskoneen nykyinen käsky hitsaukselle tuli jalkapolkimen kautta. Polkimelta lähti 3 johtoa ohjauspaneelin portteihin 9, 1 ja 3. Portti 9 on NC ja 1 NO, eli kun 9 portti avautuu ja 1 menee kiinni, menee hitsauskäsky läpi. Näiden porttien tilalle kytkettiin käsky robotilta hitsaukselle, jotta hitsauskäsky meni läpi, oli molempien porttien saatava tieto samanaikaisesti. Hitsauksen onnistuttua pistehitsauskoneelta lähti tieto takaisin robotille, jotta robotti saa tiedon nollata bitit.



Kuva 17. Robotin kytkentä porteista DO.01, DO.02 ja DO.COM pistehitsauskoneelle.



Kuva 18. Releiden kautta kytkentä pistehitsauskoneelle.



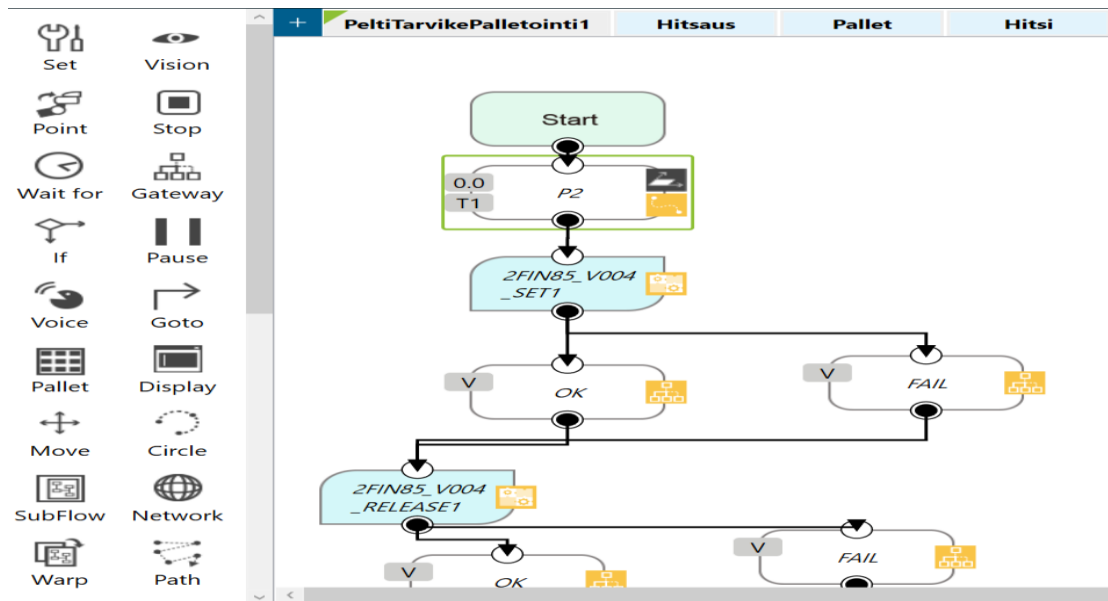
Kuva 19. Pistehitsauskoneen paneelin kytkentä portteihin 1, 3 ja 9.

8.7 Projektinohjelman teko

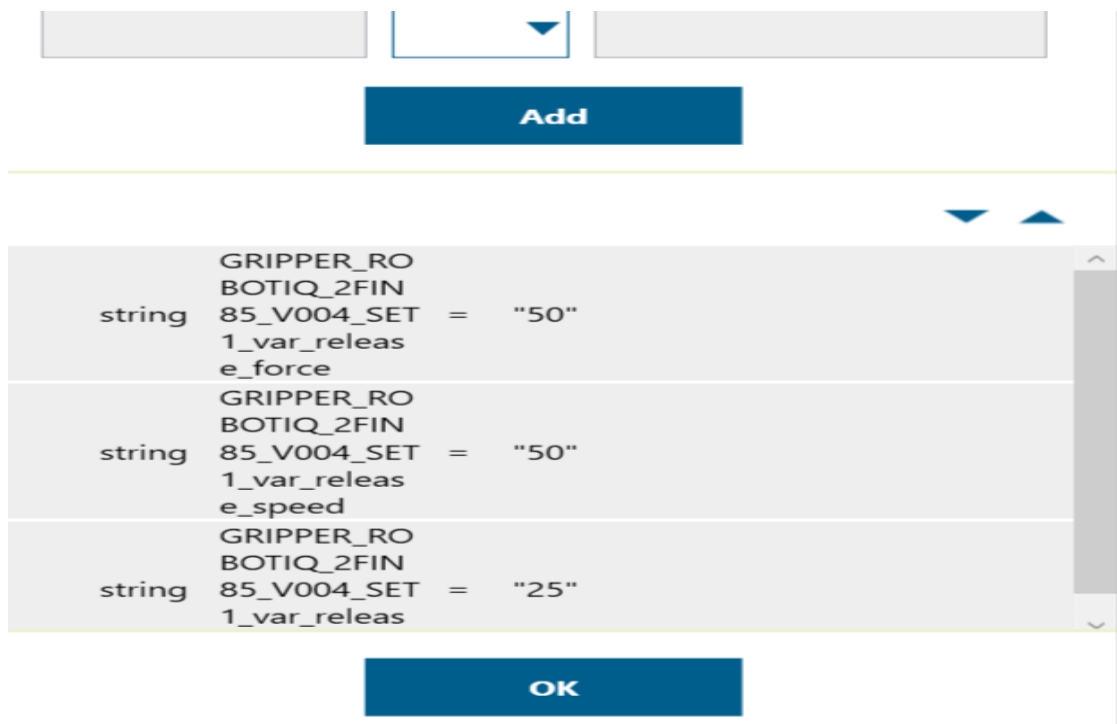
TMflow-ohjelmalla tehtiin tärkein osa projektista eli liikeradat tuotteen noutoa ja hitsausta varten. Harjoiteltuani TMflow-ohjelman käyttöä Vantaan Variassa tiesin etukäteen, miten ohjelmani pitäisi rakentua. Ennen ohjelmoinnin aloittamista kävin läpi työympäristön, missä robotin tulisi toimia. Kun robotin paikka oli selvä, piti varmistaa, millä etäisyydellä pistehitsauskone ja palletointipöytä olisivat robotista. Pöydän kaukaisin tuotteen noutopaikka pitäisi olla robotin käsivarren ulottuvilla. Myös pistehitsauskoneen etäisyys pitää olla sopiva robotin käsivarren taittuvuuden kannalta. Näiden seikkojen ollessa kunnossa aloin keskittymään robotin ohjelmointiin.

Ohjelma luotiin mahdollisimman selkeäksi ja tehokkaaksi, mutta kuitenkin helposti ymmärrettäväksi ja nopeaksi. Ohjelmassa on monta paikoituspistettä, joista osa toimii hitsauspisteinä. Lisäksi ohjelma käyttää palletointia hyväkseen tuotteen noutoa varten. Ohjelman kesto vaihtelee ajamisnopeudesta. Ohjelman kulku on seuraava:

- Ohjelma lähtee liikkeelle P2 pisteestä, jonka jälkeen set komennolla asetetaan tarttujalle vapautus ja tartunta arvot. Asetuksista tärkeimpiä ovat tartuntavoima ja vapautuksen suuruus.
- Seuraavaksi on vuorossa release-käsky, jolla avataan tarttujaa tietyn verran. Release pitää suorittaa ennen palletointia, koska tarttujan täytyy olla tarpeeksi auki tuotteen noutoa varten.
- Tarttujan avauksen jälkeen on palletointilohkon vuoro. Palletointi suorittaa 20 tuotteen noudon järjestyksessä annettujen kulmapisteiden sisällä. Palletointi alue on 4 saraketta ja 5 riviä eli 4x5 kokoinen. Robotti aloittaa kappaleiden noudon 1 kulmapisteestä ja lopettaa sen vastakkaisen kulman pisteeseen.
- Move käskyllä liikutetaan tarttujaa 91 mm alaspäin, jotta tartunta kohta olisi mahdollisimman tiukasti tuotteen kannessa.
- Tartuntakäskyllä kiinnitys tuotteeseen.
- Move-käskyllä 181 mm ylöspäin. Suurempi liike ylöspäin, ettei tuotteen alareuna osu muihin tuotteisiin yli liikkussa.



Kuva 20. Ohjelman aloituspiste, set ja tarttujan vapautus.



Kuva 21. Tarttujan voiman, nopeuden ja vapautuksen arvot.

X

Pallet

Node Name

Recorded on RobotBase T1

Motion Setting ?

PTP

Line

WayPoint

Please choose pallet pattern

Please teach 3 points to construct this pallet

1st Point

2nd Point

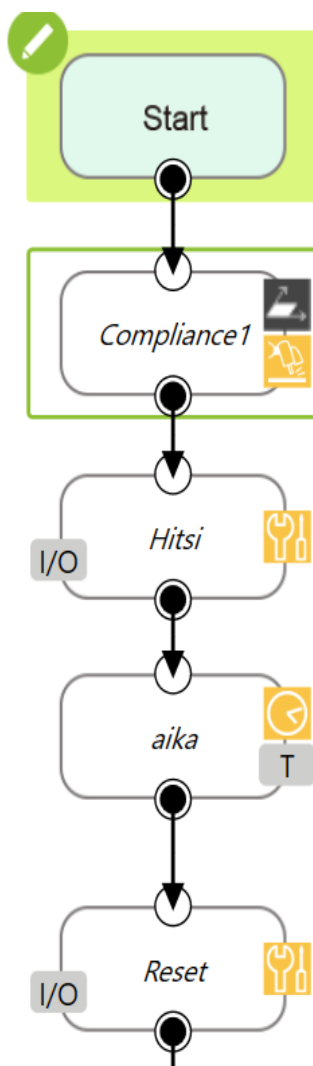
3rd Point

Number of Rows and Columns

Kuva 22. Palletointilohko jossa 5 riviä ja 4 saraketta.

- Way pointin kautta robotti tekee liikkeen pistehitsauskoneen eteen. Way pointit ovat hyödyllisiä, koska robotin käsivarren täytyy mahtua taittumaan sopivaan kulmaan ennen pistehitsauskoneen leukojen sisälleajoa.
- Ohjelma tekee kohtisuoran liikkeen tuotteen sauman ensimmäiselle hitsauspisteelle.
- Robotti käyttää hitsausaliohjelmaa hitsauksen suorittamiseen. Aliohjelma on hyödyllinen, kun on tarve käyttää samaa hitsausta monessa pisteessä.
- Suoritettuaan hitsauksen robotti tekee liikkeen kannen hitsauspisteelle.
- Robotti käyttää hitsausaliohjelmaa kannen hitsauspisteeseen. Robotti suorittaa saman hitsausaliohjelman myös loppuisissa hitsauspisteissä.

- Liike way pointin kautta toiselle puolelle kantta. Toisena kannesta hitsataan vastakkainen puoli, ettei kansi nouse hitsauspisteiden aikana.
- Seuraavaksi ohjelma käy hitsaamassa kannen hitsauspisteet järjestyksessä, hyödyntäen way pointteja.
- Kannen hitsauspisteiden jälkeen ohjelma siirtyy hitsaamaan sauman hitsauspisteet.
- Suoritettuaan hitsaukset ajetaan tarttuja ja tuote ulos pistehitsauskoneen leukojen välistä.
- Lopuksi liike way pointin kautta säilytyslaatikon päälle ja pudotus sinne.
- Pudotuksen jälkeen ohjelma siirtyy takaisin palletointilohkoon noutamaan seuraavaa tuotetta.



Kuva 23. Hitsausaliiohjelma kannelle.



Single Axis

Direction & Distance

Direction

Z



Distance

20

mm

Force

-40

N

Target Speed

30

mm/s

OK

Kuva 24. Compliance-lohkon asetukset, tarttuja painaa Z-suunnassa, kunnes kohtaa 40 N voiman.



Advanced

Caution

Force under 30N or torque under 5000 mNm cannot be precisely performed.

Direction	Force	Distance Limit	Target Speed
<input type="checkbox"/> X	<input type="text"/> N	+ <input type="text"/> mm ~ - <input type="text"/> mm	<input type="text"/> mm/s
<input type="checkbox"/> Y	<input type="text"/> N	+ <input type="text"/> mm ~ - <input type="text"/> mm	<input type="text"/> mm/s
<input type="checkbox"/> Z	<input type="text"/> N	+ <input type="text"/> mm ~ - <input type="text"/> mm	<input type="text"/> mm/s
<input type="checkbox"/> RX	<input type="text"/> mNm	+ <input type="text"/> deg ~ - <input type="text"/> deg	<input type="text"/> deg/s
<input type="checkbox"/> RY	<input type="text"/> mNm	+ <input type="text"/> deg ~ - <input type="text"/> deg	<input type="text"/> deg/s
<input type="checkbox"/> RZ	<input type="text"/> mNm	+ <input type="text"/> deg ~ - <input type="text"/> deg	<input type="text"/> deg/s

Kuva 25. Lisäasetuksia Compliance-lohkolle, joka voi määrittää, missä suunnassa tarttuja kohtaa voiman.

8.8 Robotin testiajo

Saadessani robotin ohjelman läpiajovarmuuden hyvälle tasolle oli aika aloittaa suuremmat testiajot 20 kpl:n erissä. Testiajon tarkoitus oli nähdä virhemarginaalit ja poikkeukset tuotteiden välillä. Saamieni tulosten perusteella tein joidenkin testierien välillä pieniä muutoksia ohjelmaan.

8.8.1 Erä 1

Ohjelma ajoi kaikki 20 tuotetta läpi ilman ongelmia. Erässä tuli kuitenkin huomattua, että kansi nousi joidenkin tuotteiden kohdalla hieman ylemmäksi toiselta puolelta kantta. Ongelma johtui kannen hitsaus järjestyksestä, koska pistehitsauskoneen leukojen voima on sen verran suuri. Kannen hitsauksen järjestys ensimmäisestä hitsauspisteestä eteenpäin nosti kantta toiselta puolelta.

8.8.2 Erä 2

Toiseen erään muutin kannen hitsauspisteiden järjestystä. Ensimmäisen kannen hitsauspisteen jälkeen ohjelma siirtyy toiselle puolelle kantta hitsaamaan. Tämä ratkaisu auttoi kannen nousun ongelmaan. Toisen erän tulos oli hyvä. Kaikki 20 tuotetta menivät ohjelman läpi ilman ongelmia, ja hitsausjälki oli tasaista.

8.8.3 Erä 3

Seurattuani muutaman kappaleen kolmatta erää huomasin, että sauman hitsauspisteet sijoittuvat 1 cm:n verran ohi saumasta. Päätin seurata vielä parin kappaleen hitsausjälkeä, jos kyse oli vain tuotteiden eroista. Sauman hitsauksen virhe jatkui kuitenkin samana, joten päätin keskeyttää erän. Ajoin muutaman kappaleen läpi erästä 1 ja erästä 2 nähdäkseni, osuuko hitsaus samaan kohtaan kuin aikaisemmin näillä kappaleilla. Virhe toistui myös näillä kappaleilla, joten tuloksista päätellen hitsausympäristö oli muuttunut. Palletointipöytä tai pistehitsauskone olivat hieman liikahtaneet. Ratkaisuna ongelmaan muokkasin ohjelman hitsauspisteiden sijaintia. Muokkauksen jälkeen loput tuotteet onnistuivat ilman ongelmia.

8.8.4 Erä 4

Kaikki 20 tuotetta menivät ohjelman läpi ilman keskeytyksiä. Palletointialustan oikeassa etukulmassa olleiden tuotteiden kannet kuitenkin nousivat hieman toisesta reunasta. Tutkiessani hitsausympäristöä huomasin palletointipöydän liikkuneen oikeasta etukulmasta juuri sen verran, että se vaikutti hitsauksen tulokseen.

9 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli tutkia ja testata TM12-yhteistyörobotin toimintaa pistehitsausprosessissa Peltitarvike Oy:lle. Projektin tavoitteina oli tuotteen hitsauksen onnistuminen ja suurempien erien testaaminen. Työhön sisältyi robotin testausta Vantaan Varian tiloissa ja tarttujan suunnittelua, robotin ja pistehitsauskoneen kommunikoinnin yhdistäminen, työympäristön suunnittelu ja toteuttaminen sekä robotin ohjelmointia TMflow-ohjelmalla. Opinnäytetyössä käytiin läpi TM12-yhteistyörobotin ominaisuuksia ja turva-asetuksia. Työssä myös paneudutaan erilaisiin hitsaustapoihin.

Työn suunnitteluvaiheessa haasteita aiheutti tarttujan suunnittelu, sillä ensimmäinen versio tarttujasta ei toiminut halutulla tavalla. Ensimmäinen tarttuja oli liian epävarma sauman pidon kanssa. Robotin ja pistehitsauskoneen yhdistäminen aiheutti myös haasteita, sillä pistehitsauskoneen paneelin porttinumerot olivat epäselviä kytkentäkaaviossa. Lopulta sain selvitettyä oikeat portit kytkentää varten. Työn ohjelmointiosuudessa ei suurempia ongelmia ilmennyt. Ainoastaan hitsauspisteiden kohdalla robotti kohtasi välillä liian suuren voiman, kun pistehitsauskoneen leuat menivät kiinni. Ongelmaan ratkaisuna nostin suurinta sallittua voimaa niveliä kohden. Robotin testiajon tuloksina sain huomata, että hitsausprosessi on herkkä muutoksille. Palletointipöydän millimetrienkin liikahdukset vaikuttavat hitsauksen lopputulokseen. Pöytä ei ollut aivan kohtisuora, ja se myös hankaloitti palletointipisteiden kohdistamista.

Työtä oli mukava tehdä, koska työn rakenne oli monipuolinen. Pääsin suunnittelemaan tarttujaa, ohjelmoimaan robottia ja tekemään teoreettista työtä. Haastavinta projektissa oli toteuttaa tarpeeksi hyvä tartunta robotilla tuotteeseen, sillä millimetrienkin muutokset

tartunnassa vaikuttivat kannen sopivaan pitoon. Opinnäytetyön aikana opin paljon yhteistyöroboteista, niiden toiminnasta ja ominaisuuksista. Työn tavoitteet saavutettiin, ja Peltitarvike Oy oli tyytyväinen tuloksiin.

Lähteet

- 1 Improving Productivity in the Manufacturing Industry. Verkkoaineisto. URL: <https://www.omron.com/global/en/about/corporate/history/ayumi/manufacture/>. Luettu 3.1.2021.
- 2 Enhancing Lifestyles in Japan. Verkkoaineisto. URL: <https://www.omron.com/global/en/about/corporate/history/ayumi/innovation/>. Luettu 3.1.2021.
- 3 Creating a New Kind of Interactio Between People and Machines. Verkkoaineisto. URL: <https://www.omron.com/global/en/about/corporate/history/ayumi/matching/>. Luettu 3.1.2021.
- 4 Business Fields. Verkkoaineisto. URL: <https://industrial.omron.fi/fi/company-info/business-fields>. Luettu 3.1.2021.
- 5 Basic Corporate Information. Verkkoaineisto. URL: <https://www.omron.com/global/en/about/corporate/outline/>. Luettu 3.1.2021.
- 6 Yhteistyörobotit. URL: <https://www.wisematic.com/fi/project/yhteistyorobotti/>. Luettu 9.1.2021.
- 7 OMRON Corp. ja yhteistyörobotteja valmistava taiwanilainen Techman Robot Inc. strategiseen yhteistyöhön. Verkkoaineisto. maanantai 11. kesäkuuta 2018 URL: <https://industrial.omron.fi/fi/news-events/news/techman-strategic-alliance>. Luettu 10.1.2021.
- 8 Models. Verkkoaineisto. URL: <https://industrial.omron.fi/fi/products/collaborative-robots#downloads>. Luettu 10.1.2021.
- 9 Omron TM12 Yhteistyörobotti. Verkkoaineisto. URL: https://assets.omron.eu/images/robot_arm_tm12_tm12x_190x232_prod.jpg. Luettu 13.1.2021.
- 10 Robot Vision Systems: The Way To Industry 4.0 And Smart Factory Automation. Verkkoaineisto. URL: <https://www.tm-robot.com/en/blog/robot-vision-system/>. Luettu 13.1.2021.
- 11 Software Manual TMvision. Verkkoaineisto. URL: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v5/tm_vision_software_manual_installation_manual_en.pdf. Luettu 16.1.2021.
- 12 TM Landmark. Verkkoaineisto. URL: <https://www.tm-robot.com.cn/ko/product/tm-landmark/>. Luettu 17.1.2021.

- 13 TM-Calibration-plate. Verkkoaineisto. URL: <https://www.tm-robot.com/en/product/tm-calibration-plate/>. Luettu 17.1.2021.
- 14 Software Manual TMflow. Verkkoaineisto. URL: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v1/tm_flow_software_manual_installation_manual_en.pdf. Luettu 20.1.2021.
- 15 Robotiq 2F-85 & 2F-140. Verkkoaineisto. URL: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v4/robotiq_2f-85_2f-140_for_omron_tm_seriesrobots_instruction_manual_en.pdf. Luettu 23.1.2021.
- 16 Safety Manual. Verkkoaineisto. URL: <https://assets.omron.com/m/20e79cce6aeb8c37/original/TM-Safety-Manual-for-Hardware-Ver-3-0-3-1.pdf>. Luettu 27.1.2021.
- 17 ISO 10218-2:2011. Verkkoaineisto. URL: <https://www.iso.org/standard/41571.html>. Luettu 3.2.2021.
- 18 ISO/TS 15066 Explained. 6.3.2016. Verkkoaineisto. URL: https://www.motioncontrolonline.org/content-detail.cfm/Motion-Control-News/ISO-TS-15066-Explained/content_id/1729. Luettu 3.2.2021.
- 19 Mathieu Bélanger-Barrette. 5.5.2016. What Does Collaborative Robot Mean. Verkkoaineisto. URL: <https://blog.robotiq.com/what-does-collaborative-robot-mean>. Luettu 6.2.2021.
- 20 Hitsausmenetelmät. Verkkoaineisto. URL: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/hitsausmenetelmat.cfm>. Luettu 10.2.2021.
- 21 Robotic Welding Processes. Verkkoaineisto. 21.9.2019. URL: <https://www.summitsteelin.com/resources/blog/robotic-welding-processes/>. Luettu 12.2.2021.
- 22 Automated Welding and its Benefits. Verkkoaineisto. URL: <https://bpautomation.com/automated-welding-and-its-benefits/>. Luettu 13.2.2021.
- 23 Suomen johtavaa palvelua sadevesijärjestelmissä ja kattoturvatuotteissa. Verkkoaineisto. URL: <https://www.peltitarvike.fi/yritys/historiikki>. Luettu 15.2.2021
- 24 Techman Robot TM12. Verkkoaineisto. URL: <https://wiredworkers.io/meet-techman-robot-tm12/>. Luettu 17.2.2021.
- 25 Pneumatic spot welders-items 4645N-4649N-16-25 kVA. Verkkoaineisto. URL: <https://www.tecna.net/en/product/industrial/pneumatic-spot-welders-items-4645n-4649n-16-25-kva>. Luettu 20.2.2021

TECNA-pistehitsauskoneen piirikaavio

