



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tommi Pelkkala

Robottisolun käyttöönotto, turvallisuus ja kehitys

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Automaatio

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Tommi Pelkkala

Työn nimi: Robottisolun käyttöönotto, turvallisuus ja kehitys

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 31

Työn toimeksiantajana toimi yritys Lillbacka Powerco Oy Alahärmästä, se valmistaa pääasiassa letkuliitinpuristimia. Yrityksellä oli robottisolun, jota ei oltu hyödynnetty yrityksen toiminnassa tarpeeksi. Robotin käyttöönotosta tai mahdollisista käyttökohteista ei ollut dokumentteja. Lisäksi yritys halusi esitellä solua messuilla, minkä vuoksi robottisolun turvallisuus täytyi varmentaa.

Työn tavoitteena oli saada robottisolusta turvallinen ja messukelpoinen laite, jonka voi käyttöönottaa helposti. Lisäksi muut käyttökohteet robottisolulle täytyi tarkistaa sekä etsiä laajennusmahdollisuuksia muiden laitteiden ja koneiden kanssa.

Työ alkoi purkamalla robottisolun ja siistimällä kaikki komponentit, jonka jälkeen robotti täytyi kalibroida ja ohjelma täytyi muuttaa uusien paikkatietojen mukaisiksi. Robotin sisääntulot täytyi selvittää, jotta saatiin selville liitännämahdollisuudet. Robotin ohjauskaappiin asennettiin kaksi relettä, jotka olivat liitoksissa turvalaserskanneriin. Skannerin turvarajojen avulla voitiin ohjata robotin nopeutta ja pysäyttää robotti.

Robottisolun saatiin turvallisesti turvalaserskannerin avulla ja tuleva pleksilasien lisääminen robotin ympärille tuo lisäturvallisuutta. Robottisolun tehty käyttöönotto-ohjeet todettiin päteviksi, ja uusien ja erilaisten laitteiden liittäminen soluun mahdolliseksi. Työn lopuksi tehtiin yhteenveto työn aikaansaannoksista ja mahdollisista muutoksista, kehityssuunnista ja käyttökohteista.

¹ Asiasanat: robotiikka, turvallisuusanalyysi, käyttöönotto, dokumentointi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical Automation

Author/s: Tommi Pelkkala

Title of thesis: Implementation, Safety and Development of a Robot Cell

Supervisor: Jarkko Pakkanen

Year: 2022

Number of pages: 31

The topic of the thesis was given by Lillbacka Powerco from Alahärmä which mainly produces crimping machines. The company had a robot cell which had not been utilized enough. There was no documentation of the robot cell or manuals for it either. Moreover, the company wanted to demonstrate the robot cell at trade fairs, which meant that the safety of the cell was to be checked.

The objective of the thesis was to make the robot safe for trade fairs and other exhibition events. The robot cell was supposed to be easy to start and handle. Another objective was to find additional ways to use the cell and to see if it were possible to install more devices and machines in the cell.

The work was started by uninstalling everything from the table of the cell and cleaning all its components. The robot had to be recalibrated and its program had to be changed to contain the new positional information. The inputs of the robot had to be clarified so that the connection possibilities could be planned. Two relays were installed inside the control cabin of the robot. The relays were connected to a safety scanner which can control the speed of the robot and stop it.

The robot cell was made safe with a safety scanner and by adding plexiglass around the cell. Manuals made for the robot cell were deemed adequate and the installation of additional devices was considered plausible. A summary of accomplishments, possible changes and future trends and uses was made at the end of the thesis.

¹ Keywords: robotics, safety analysis, implementation, documentation

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja kuvioluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	8
1.4 Yrityksen esittely	9
2 TEORIAA JA LAITTEIDEN ESITTELYÄ.....	10
2.1 Robotti.....	10
2.2 Robotin työkalut.....	10
2.3 Letkuliitinpuristin.....	11
2.4 Turvalaserskanneri.....	13
3 ROBOTTISOLUN KÄYTTÖÖNOTTO JA OMINAISUUDET.....	14
3.1 Robotin kalibrointi.....	14
3.2 Koodi	15
3.3 Lisälaitteiden liittäminen	16
3.4 Robotin ominaisuuksia	16
4 LAITTEIDEN ASENNUS, TESTAUS JA OHJEIDEN LAATIMINEN.....	18
4.1 Perussiistintä	18
4.2 Turvapiiri ja skannerin asennus.....	18
4.3 Robottiohjelman muokkaus	20
4.4 Robotin käyttöönoton pikaohjeet	21
5 TURVALLISUUS	23
6 VAIHTOEHTOISET LAITTEET.....	25
6.1 Robotit.....	25
6.2 Puristimet	25

6.3 Turvalaitteet.....	26
7 JATKOKEHITYS	27
8 TULOKSET JA POHDINTAA.....	28
LÄHTEET	30

Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Letkuliitinpuristin CC26	12
Kuva 2. Robotin paikannusurat	14
Kuva 3. LPMESSU-pääohjelma	15
Kuva 4. TURVANOPEUS-taustalogiikka.....	21
Kuvio 1. Laserskannerin ja robotin turvapiirin kytkentäkaavio.....	19
Kuvio 2. Skannerin turva-alueet.....	20

Käytetyt termit ja lyhenteet

HMI	HMI on lyhenne sanoista Human Machine Interface eli ihmisen ja koneen välisestä käyttöliittymästä. Tavanomaisesti tämä tarkoittaa näyttöä, nappeja tai mittaristoa.
ICC	ICC eli Intelligent Crimping Control on puristimien näytöissä käytävä käyttöliittymä, joka tarjoaa käyttäjälle tarkkaa ja monipuolista tietoa puristuksesta.
IP	IP on kansainvälinen sähkölaitteiden luokitusjärjestelmä, joka kertoo laitteen kestävyysominaisuudet ja koteloiden tiiveydet, esimerkiksi veden ja pölyn kannalta. IP tarkoittaa Ingress Protectionia eli tunkeutumissuojausta.
TP	TP on lyhenne sanoista Teach Pendant eli robotin manuaalisesta ohjaimesta ja koodinkirjoittajasta.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työn tarkoituksena on kehittää ja tutkia Lillbacka Powercon ulkopuolisten toimijoiden kokoamaa ja esiohjelmoitua robottisolua toimeksiantajan toiveiden mukaan sopivaksi sen yritystoiminnalle. Yrityksen sisällä ei ole kartoitettu robotin konkreettisia käyttökohteita eikä robotin hyödyllisyydestä ole vielä tarpeeksi näyttöä. Yrityksessä ei ole kokemusta robottien osalta, sillä robottisolujen toteutus on aikaisemmin ulkoistettu muille yrityksille. Työn robottisolu on hankittu hyödyttämään yrityksen liiketoimintaa uusien sovellusten parissa. Yrityksellä ei ole vielä paljoa kokemusta robottisoluista, joten projekti on pysynyt muun toiminnan varjossa.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on tutkia robottisolun yhteensopivuutta yrityksen laitteisiin ja tuoda esiin robottisolun hyötyjä sekä käytön haasteita. Työn robottisolu on tarkoitus hyödyntää yrityksen omiin tarkoituksiin, esimerkiksi esittelyyn messuilla. Robottisolusta täytyy siis tehdä yleisöturvallinen. Kun mietitään robotin yhteensopivuutta ja käytettävyyttä, pitää miettiä seuraavia asioita: Onko robotti tarpeeksi yksinkertainen ja yhteensopiva yrityksen laitteiden kanssa? Pitääkö laitteita muokata? Onko robotti parempi vaihtoehto työpisteellä kuin ihminen? Työn lopuksi on tarkoitus tehdä ohje robotin nopealle käyttöönotolle.

1.3 Työn rakenne

Työssä käydään läpi robotin ja yrityksen valmistaman letkuliitinpuristimen määritelmiä, ominaisuuksia sekä käyttöä solussa ja muissa sovelluksissa. Sen jälkeen tutkitaan robotin hyödyllisyyttä ja turvallisuutta. Työssä havainnollistetaan myös varsinaisia muutoksia, mitä robottisolu vaatii. Lopuksi pohditaan erilaisia robotti- ja turvallisuusvaihtoehtoja, työn onnistumista sekä jatkokehitysmahdollisuuksia ja tuloksia.

1.4 Yrityksen esittely

Työn toimeksiantaja on Etelä-Pohjanmaalla, Alahärmässä pääasiallisesti letkuliitinpuristimia valmistava Lillbacka Powerco Oy, joka on osa Lillbacka Group -konsernia (Saariaho, 2016). Konserniin kuuluu huvipuisto Power Park. Konserniin kuului myös levytyökeskuksia ja laserleikkauskoneita valmistava Finn-Power Oy, joka on nykyisin osa Prima Power -konsernia. Yritys omistaa konttorin myös Yhdysvalloissa, Nashvillessa. Yritys alkoi Jorma Lillbackan perustamana toiminimenä Lillbackan konepaja vuonna 1969. Yritys oli aikoinaan Suomen suurin toiminimi. Lillbackan konepaja muutettiin osakeyhtiöksi vuonna 1994 ja nimi vaihdettiin nykyiseksi Lillbacka Powercoksi.

Yritys toimii maailmanlaajuisesti ja alalla toimii useita vastaavia yrityksiä. Yritys on toiminut alalla noin viisikymmentä vuotta ja se työllistää noin 225 henkilöä, mutta vakituisia työntekijöitä on todellisuudessa vähemmän, sillä kesätyöntekijät ovat laskettu mukaan annettuun lukumäärään (Asiakastieto, i.a.). Liikevaihtoa yrityksellä oli lähes 24 miljoona vuonna 2020. Lillbacka Powercon toimitusjohtajana toimii Pekka Lillbacka.

2 TEORIAA JA LAITTEIDEN ESITTELYÄ

2.1 Robotti

Robotin määritelmä on yksinkertainen. Se on mekaaninen kone, jolla on vähintään kolme niveltä, kyky liikuttaa materiaalia paikasta toiseen ja mahdollisuus käyttää työkaluja materiaalin jalostukseen teollisessa tuotannossa (Aalto ym., 1999, s. 13). Lisäksi robotin liikeradan ja muun käyttäytymisen täytyy olla joustavasti uudelleenohjelmoitava, jotta sitä voitaisiin käyttää mahdollisimman monenlaisissa työtehtävissä. Nykyään liikettä ja käyttäytymistä voidaan ohjelmoida robotin ympäristössä olevien antureiden, kuten konenäkökameroiden ja paikannuslasereiden avulla. Anturit välittävät tietoa robotille, jonka sisäiset algoritmit luovat esimerkiksi uuden liikeradan tai uuden esineen nostokomennon. Robotin liikettä voidaan ohjata tarkoilla servomooottoreilla tai suurten robottien tapauksessa jopa tehokkaiden hydraulikkavoimien avulla.

Robotteja on monenlaisia, mutta koska työssä käytettiin kuusiakselista robottia, on muiden robottityyppien avaaminen työn kannalta tarpeetonta. Kuusiakselirobotti tai kuuden vapausasteen robotti on kuuden pyörivän nivelen omaava, usein servomooottoreilla toimiva ohjelmoitava robotti (Aalto ym., 1999, s. 18). Kyseistä robottityyppi kutsutaan myös artikuloituksi robotiksi. Kuusiakselirobotti on melko notkea ja se pystyy tarttumaan kappaleisiin monenlaisista kulmista. Kuusiakselirobotti pystyy liikkumaan pallomaisen alueen sisällä monenlaisessa asennossa kappaleita siirtäen.

Työssä käytetyn robotin malli on Fanuc LR Mate 200iD/7L. Itse robotti toimii 24 voltin tasajännitteellä, mutta robotin ohjauslaatikko vaatii 230 voltin vaihtojännitteen syötön (Fanuc, i.a.). Robotin maksimi painokapasiteetti on 7 kilogrammaa ja yltää 911 millimetriin. Robotilla on myös turvaluokitus IP67. Se tarkoittaa, että robotti on pölytiivis ja vedenpitävä.

2.2 Robotin työkalut

Robotin työkalu tarkoittaa mekaanista robotin osaa, jota se liikuttaa pisteestä toiseen (Aalto ym., 1999, s. 60). Yleisin robotin työkalu on tarrain (myöhemmin tarttuja). Mekaanisesti toimivia tarttujatyyppejä on monenlaisia, kuten pneumaattisia, hydraulisia tai sähköisiä tarttuja. Muita tarttujatyyppejä ovat esimerkiksi alipainetarttuja, magneettitarttuja ja imukuppitarttuja.

Alipaine- ja imukuppitarttijat soveltuvat sileäpintaisten kappaleiden siirtelyyn varsinkin, jos kappaleen pintaa ei haluta naarmuttaa (Aalto ym., 1999, s. 63-64). Alipaine- ja imukuppitarttujen hyviä puolia on niiden luja ote sekä yksinkertainen ja luotettava rakenne. Huono puoli on niiden taipumus pudottaa kappale välittömästi paineen kadotessa. Magneettitarttijat toimivat luonnollisesti vain magneettisista aineista valmistettujen tasapintaisten kappaleiden siirtelyyn (Aalto ym., 1999, s. 64). Hyvä puoli magneettitarttujassa on sen nopea tartunta, mutta liian nopea työkierto johtaa magneetin ja kappaleen lämpötilan nousuun.

Robotti voi käyttää monenlaisia työkaluja, mutta prosessityökalujen kuten hitsin ja maalauksruiskun asentaminen robottiin vaatii paljon robotin muokkausta, minkä vuoksi robottivalmistajat ovat kehittäneet myytäväksi valmiita hitsaamiseen ja maalaamiseen erikoistuneita robotteja (Aalto ym., 1999, s. 76-77).

Työssä käsiteltävän robottisolun robotin työkaluna käytetään paineilmalla toimivaa mekaanista Schunk-tarttujaa, jonka avulla solun pöydässä olevassa makasiinissa olevat puristettavat materiaalit saadaan kuljetettua puristimeen. Tarttujassa ei ole kumista tehtyjä tarrauspinnoja, minkä vuoksi tarttujan tarttuminen erilaisiin kappaleisiin ja pintoihin ei ole erityisen luja. Tarttujassa on yksinkertaiset V-muotoiset urat, joihin solussa tällä hetkellä olevat materiaalit jäävät hyvin kiinni.

2.3 Letkuliitinpuristin

Letkuliitinpuristin on kone, joka käyttää hydraulikkaöljyä liikuttaakseen puristinpäässä olevia teräsloukoja suurella paineella (Finn-Power, 2021a). Hydraulikkaöljy kiertää öljysäiliöstä puristinpäätyn sähkömoottorilla toimivan pumpun avulla. Lillbacka Powerco valmistaa lukuisia letkuliitinpuristimia monenlaisiin käyttötarkoituksiin.

Letkuliitinpuristimia käyttävät asiakkaat ovat esimerkiksi hyödyntäneet konetta erilaisten kylmämuokkausliitoksien tekoon eli kahden kappaleen yhdistämiseen. Toimenpide tuottaa varmemman liitoksen kuin tavanomainen hitsaus, sillä se ei jätä heikkoa reunaa samoin kuin perinteisempi hitsaus. Monenlaisten muotojen puristaminen putkille ja tavanomaisten pulttien valmistus on myös yleinen käytätapa, mutta alkuperäinen käyttötarkoitus oli

hydrauliikkaliittimien puristaminen vastaaviin letkuihin. Robottisolussa käytetään puristinmallia CC26, josta kuva alla.



Kuva 1. Letkuliitinpuristin CC26

Kyseinen letkuliitinpuristin toimii 230 voltin yksivaiheisella vaihtojännitteellä ja pystyy puristamaan 1350 kilonewtonin puristusvoimalla sekä 275 baarin maksimipaineella (Finn-Power, 2021b). Moottorin teho on 1,5 kilowattia. Puristuksen halkaisijan väli on kymmenestä millistä 61 milliin. Puristin painaa 185 kilogrammaa. Puristimen koneikko on turvaluokituksestaan IP54 eli pölysuojattu ja roiskuvilta vedeltä suojattu, mutta puristinta ei suositella käytettävän muualla kuin kuivassa tilassa.

Puristimen HMI eli koneen ja ihmisen välinen käyttöliittymä on sisään- ja ulosmenonapin, virtakytkimen sekä näytön muodostava pöytään kiinnitettävä ohjain. Näyttönä toimii Epec 6107 seitsemän tuuman älynäyttö. CC26 ja muut uudemman sukupolven puristimet käyttävät näyttössä Intelligent Crimping Controlia eli ICC-ohjausjärjestelmää (Epec, i.a.-a). ICC tarjoaa operoijalle mahdollisuuden tarkkailla puristusmittaa ja puristukseen tarvittavaa painetta sekä lopullista puristusmittaa. Lisäksi näyttö suosittelee tiettyyn puristusmittaan soveltuvaa leukasarjaa. Näyttö on paritettu Lillbackan omiin tarpeisiin muokatun Epec 3610 -ohjausyksikön kanssa. Ohjausyksikköä käytetään puristimessa liikkeenohjausyksikkönä (Epec, i.a.-b). Näyttö ja liikkeenohjausyksikkö kommunikoivat CANopen-protokollaa käyttäen. Näyttö on

ohjelmoitu CODESYS 3.5-ohjelmalla ja liikkeenohjausyksikkö vastaavasti CODESYS 2.3-ohjelmalla.

2.4 Turvalaserskanneri

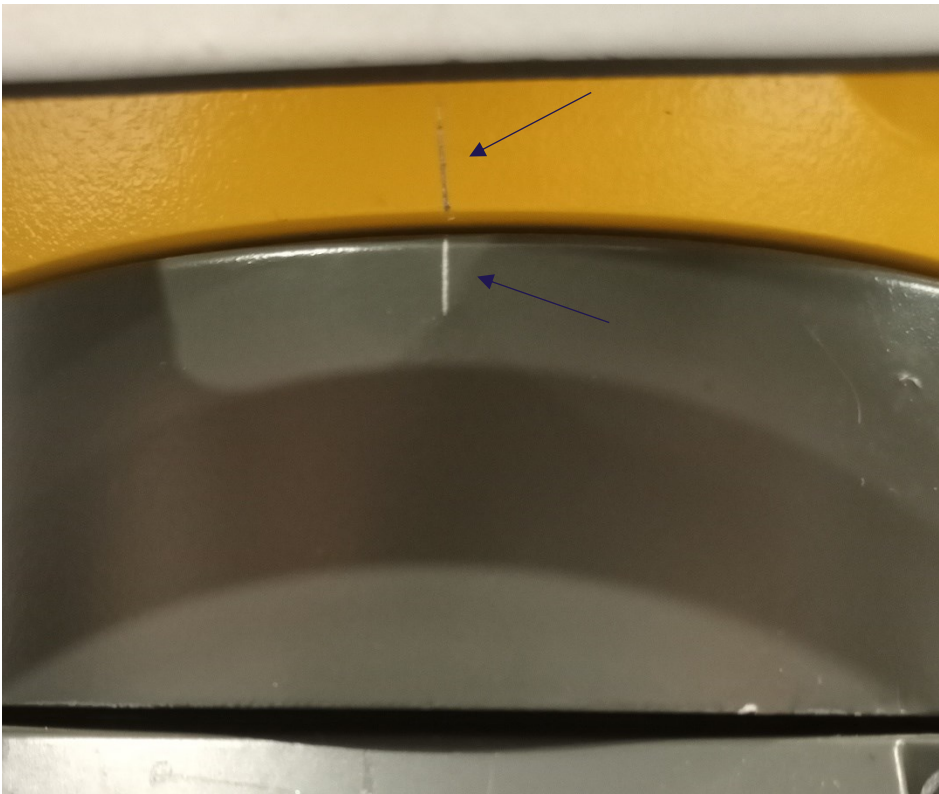
Turvalaserskanneri on turvalaite, joka tarkastelee ympärillä olevaa aluetta lasersäteiden avulla. Työssä käytetään SICK microScan3 -turvalaitetta tuotenimikkeellä MICS3-AAAZ40AZ1P01. Laite toimii 24 voltin tasajännitteellä ja pystyy skannaamaan maksimissaan neljän metrin päähän 275 asteen alueelta (SICK, i.a.-a). Skanneri on turvaluokituksiltaan IP65 eli pölytiivis ja vesisuihkutiivis.

Turvaskannerin skannattava alue määritellään SICKin Safety Designer -ohjelmiston avulla (SICK, i.a.-a). Ohjelmistossa voi määrittää kaksi erillistä turva-aluetta, punainen ja keltainen, joista kummallekin voi asettaa erilaisia funktioita. Keltaisella alueella on varoitus tai koneen hidastus, ja punaiselle alueelle on koneiden pysäytys tai hätäseis. Kun alue on määritelty, turvaskanneri muistaa alueen niin kuin se on. Mikäli alueelle tulee muutos, turvaskanneri lähettää signaalin OSSD1.A- ja/tai OSSD1.B-kanavasta.

3 ROBOTTISOLUN KÄYTTÖÖNOTTO JA OMINAISUUDET

3.1 Robotin kalibrointi

Toimeksiantajan robottisolussa oli tehty I/O-liitännät letkuliitinpuristimen ja robotin välille, robotilla oli valmis ohjelma sekä osittain toimiva työkierto. Robotti oli kuitenkin menettänyt kalibrointitietonsa ja asemansa, koska robotin patterit olivat loppu. Tämän vuoksi robotti piti kalibroida uudelleen ja antaa sille tarkat paikkatiedot. Kalibrointi tapahtuu asettamalla robotin akselit sen tehtaassa asettamiin paikannusuriin. Kuva paikannusurista on kuvassa 2.



Kuva 2. Robotin paikannusurat

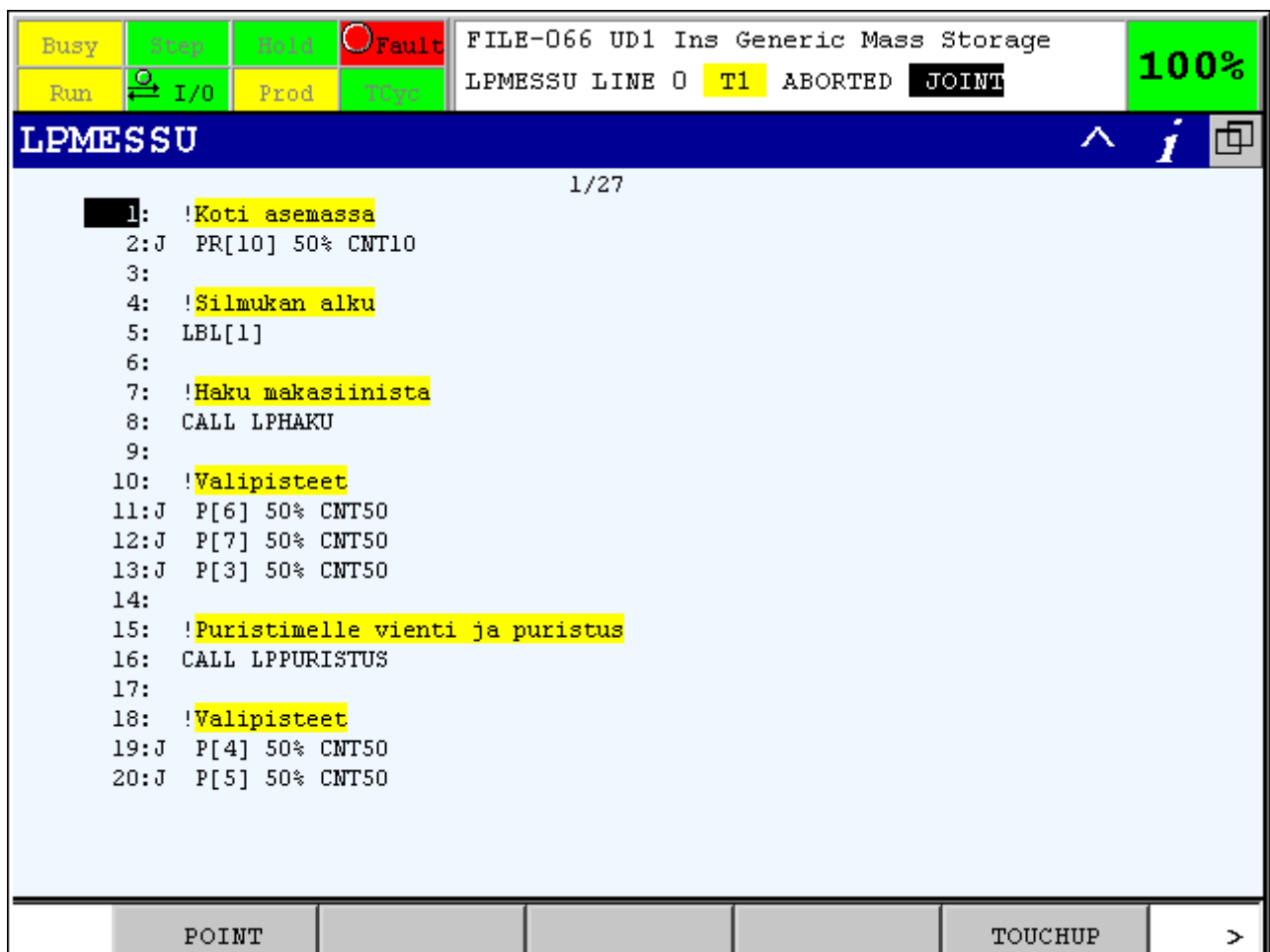
Urat on vaikeasti havaittavissa ja niiden asettaminen tarkasti on sekä työlästä että epäluotettavaa. Pienikin virhe jokaisen akselin kohdalla voi vaikuttaa suurestikin robotin lopullisen paikoinnuksen tarkkuuteen. Tämä tarkoittaa yleensä uudelleenkalibrointia tai ohjelman paikannustietojen uudelleen määrittämistä.

Urien paikannusten jälkeen robotin servot kalibroidaan ja niille annetaan tämänhetkiset paikannustiedot Teach Pendantin eli TP:n avulla. Kalibrointi ja paikannustietojen antaminen

robotin servoille ja muistiin TP:n avulla on melko hidas prosessi, sillä se vaatii useita robotin uudelleenkäynnistyksiä. Kalibroinnin jälkeen on hyvä tarkistaa kalibroinnin onnistuminen ajamalla robotin ohjelmaa hitaasti ja turvallisesti. Robotin kalibrointi voidaan todeta onnistuneeksi, jos robotti ei törmää ohjelman ajon aikana paikkoihin, joihin se ei ennen törmännyt.

3.2 Koodi

Robotin ohjelma oli jo hyvällä mallilla ennen työn aloitusta, vaikka ohjelmaa ajaessa robotti hankasi puristettavien putkien makasiinia eikä robotin paikoitus puristusvaiheissa ollut tyydyttävä. Alla on kuva osasta robotin pääohjelmaa nimeltä "LPMESSU" (kuva 3).



Kuva 3. LPMESSU-pääohjelma

Ohjelmassa on useita kutsuja muihin aliohjelmiin, jotka ohjaavat esimerkiksi puristettavan materiaalin hakua ja sen puristusta. Ohjelmassa on tyypillisiä pisteisiinliikkumiskomentoja, jotka on merkitty kirjaimella P, sekä niiden tunnusnumero hakasulkuihin. Liikkumiskomennon

nopeuden näkee ohjelman rivin puolivälissä olevasta prosenttiluvusta, mikä on manuaalijajossa maksiminopeuden 250 millimetriä sekunnissa ja nolla millimetriä sekunnissa välillä. Tässä tapauksessa nopeus kaikille liikkeille on puolet maksiminopeudesta eli 125 millimetriä sekunnissa. Liikkeen tyyppin näkee koodin rivinumeron jälkeisestä kirjaimesta. Ohjelmassa käytetään ”Joint” eli nivelliikettä ja ”Linear” eli suoraa liikettä, jotka ovat vastaavasti lyhennetty J- ja L-kirjaimiksi.

3.3 Lisälaitteiden liittäminen

Robottisoluun voidaan liittää muita laitteita samalla tavalla kuin puristin on liitetty digitaalisella I/O-liitännällä. Puristimen tapauksessa robotti antaa sisääntulosignaalin puristimen liikkeenohjausyksikölle. Liikkeenohjausyksikkö lähettää tiedon puristimen näytölle. Näyttöön on määriteltä puristettava mitta, johon liikkeenohjausyksikkö ajatuttaa releiden ja pumpun avulla puristimen leuat.

Turvalaserskannerin tapauksessa robotin signaaleihin voidaan asentaa samantyyppisiä releitä, joita käytetään puristimessa. Skanneri tarvitsee erillisen turvareleen, jotta skannerin ja releiden välinen yhteys toimii turvallisesti. Lisäksi skannerin piirissä on kolmivärinen merkkivalo, jonka valot aktivoituvat turvaskannerin rajojen laukeamisen yhteydessä. Robottia voidaan ohjata skannerin lähettämien signaalien avulla esimerkiksi hidastamalla robotin liikeno- peutta tai täysin pysäyttämällä robotti.

3.4 Robotin ominaisuuksia

Robotti todettiin paljon tarkemmaksi ja pitkäikäisemmäksi puristimen operoijaksi. Robotin tarkkuus ja nopeus ylitti selvästi ihmisen tarkkuuden ja nopeuden. Robotti on luonnollisesti pitkäikäisempi ja tehokkaampi, sillä se ei tarvitse lepoaikoja eikä sen työntekoon vaikuta mikään muu kuin sähköenergian saatavuus ja säännölliset huollot. Huollot saattavat viedä jonkin aikaa, mutta ilman niitä robotti voi jäädä epäkuuntoon, mikäli tarpeellisia huoltoja laiminlyödään.

Investoinnin kannalta työssä käytettävä robotti on myös parempi vaihtoehto, sillä käytetyn teollisuusrobotin kertakustannus on internetissä olevien myynti-ilmoitusten mukaan 10 000 eurosta 15 000 euroon. Vastaavasti uuden puristimen operoija tarvitsee kuukausittain tietyn

määrän palkkaa. Robotti siis maksaa itsensä takaisin operoijan palkasta riippuen vuoden tai kahden sisällä.

4 LAITTEIDEN ASENNUS, TESTAUS JA OHJEIDEN LAATIMINEN

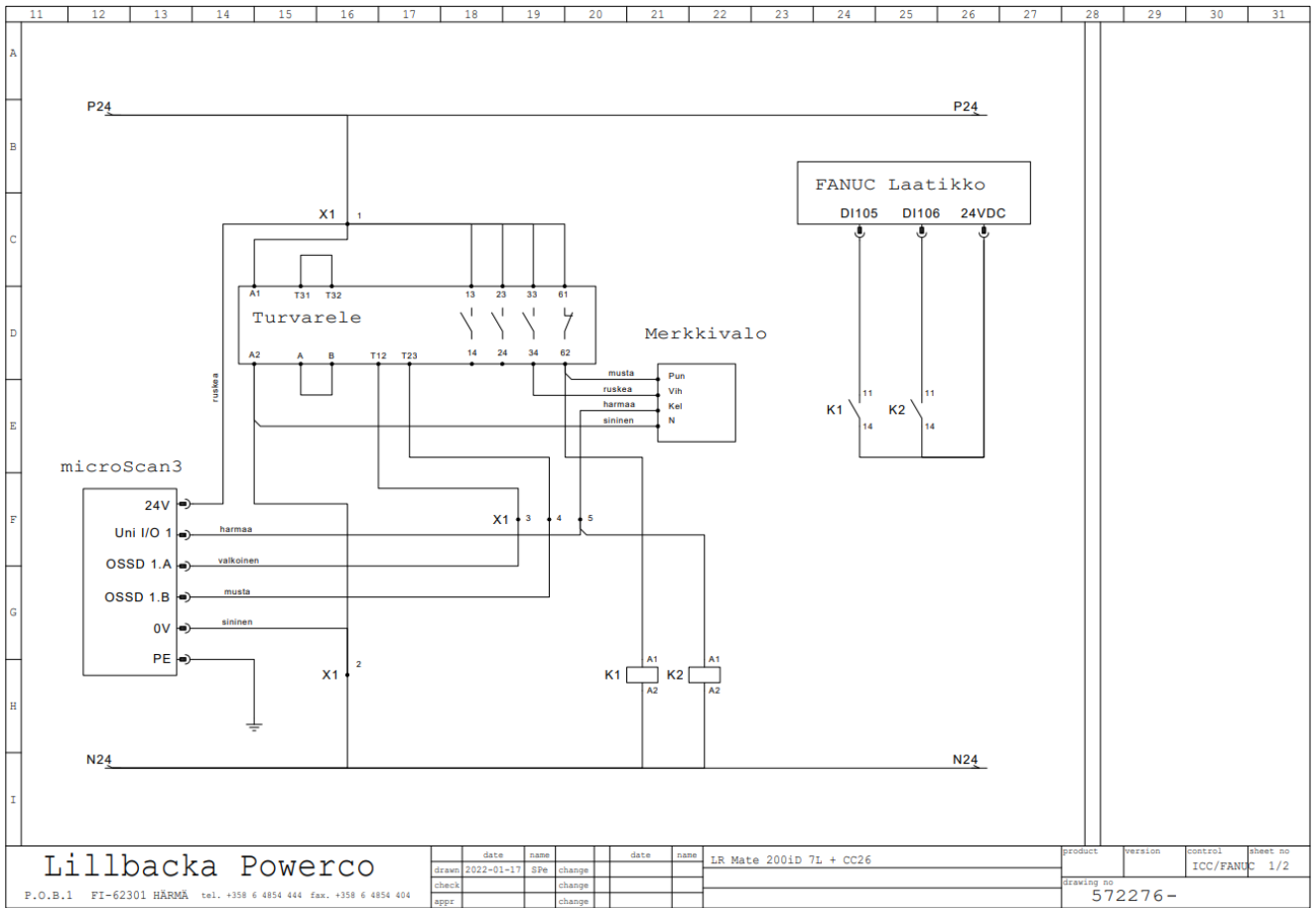
4.1 Perussiistintä

Robottisolu oli varastoinnin aikana tehdashallin sisällä likaantunut ja epämiellyttävän näköinen pelti pilasi robotin ulkonäön. Robottisolu purettiin, pestiin ja maalattiin sekä pöydän kannen päällykseksi leikattiin kumimatto, minkä jälkeen robottisolu koottiin uudelleen. Letkuliitinpuristimen hydraulikkaletkut olivat suhteettoman pitkät, joten ne vaihdettiin lyhyimmiksi, näin saatiin samalla lisää tilaa solun sisälle.

Robottisolun alaosiin suunniteltiin yhdessä yrityksen mekaniikkasuunnittelijoiden kanssa peltiseinät, jotta solun sisäiset komponentit eivät olisi näkyvissä messuilla eikä puristimen koneikko tuottaisi ylimääräistä melua. Peltiseiniin tarvittiin tarpeeksi suuri ovi, jotta robotin ohjauslaatikkoon pääsisi ergonomisesti käsiksi. Lisäksi tarvittiin kaksi reikää solun sähkösyötölle ja paineilmalle.

4.2 Turvapiiri ja skannerin asennus

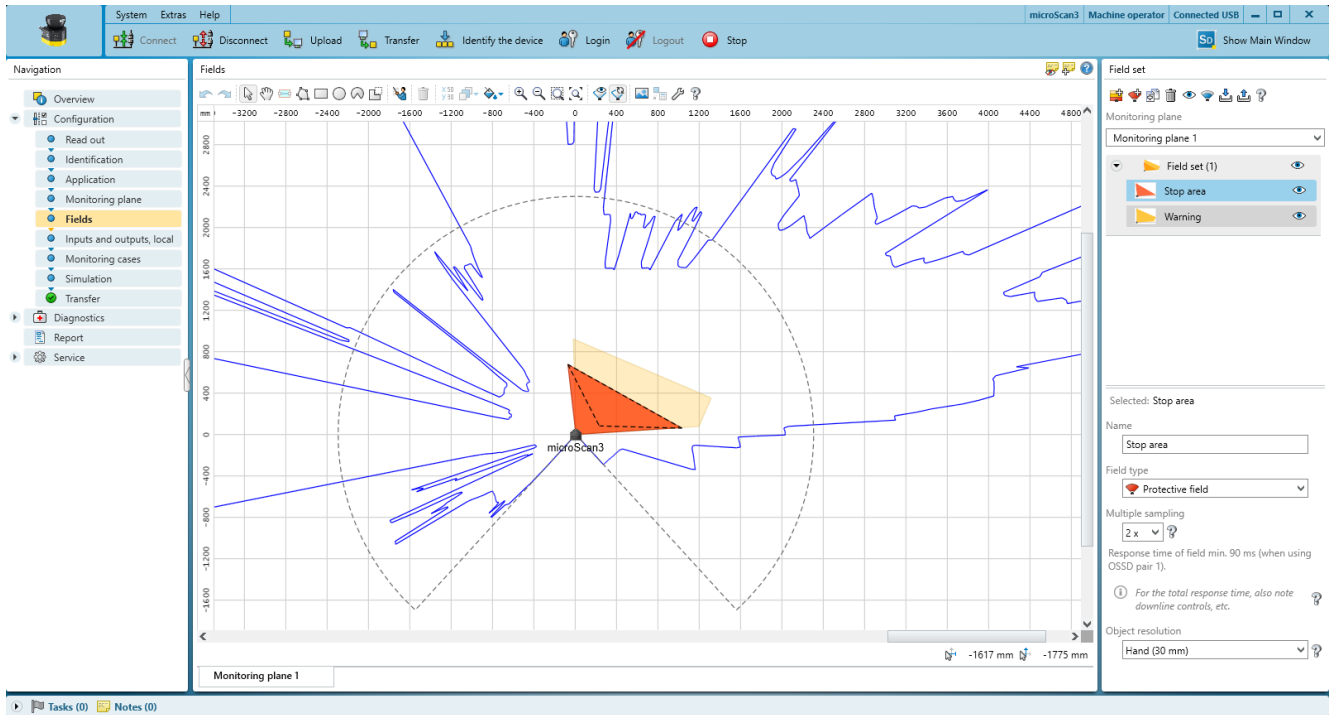
Robotin kaappiin asennettiin kaksi relettä, joita käytettiin SICK-turvalaserskannerin turvarajojen sisääntuloina. Robotin ohjelmassa sisääntulot ovat DI106 ensimmäiselle rajakytkimelle ja DI105 toiselle rajalle. Vertex Electrical Diagram -sähköpiirustusohjelmalla tehtiin tarkka kytkentäkaavio skannerin ja robotin välisestä turvapiiristä. KytKentäkaavio on kuviossa 1.



Kuvio 1. Laserskannerin ja robotin turvapiiriin kytkentäkaavio

Kuviosta 1 näkyy yksinkertainen sisääntulojen kytkentä, jossa käytetään kahden releen normaalisti avautuvia releiden kärkiä. Turvareleessä käytetään samanlaisia kärkiä merkkivalon punaisen valon ja vihreän valon kytkentään. Merkkivaloista keltainen valo on suoraan kytketty riviliittimeen numero viisi, koska hidastusraja ei tee turvareleellä mitään, mikä vaatisi sitä. Riviliittintä numero yksi käytetään positiivisena syöttönä ja numeroa kaksi negatiivisena syöttönä. Syötöt ovat peräisin erillisestä säädettävästä virtalähteestä. Skannerin maadoitus on liitetty riviliittimien asennuksessa käytettyyn kiskoon maadoitusriviliittimellä.

SICK-turvalaserskanneri asennettiin kytkentäkaavion mukaisesti. Skannerin ohjelmointi ja sen turva-alueiden määrittäminen vaati SICK Safety Designer -sovelluksen. Ohjelmaan piirrettiin testialue, jossa voi turvallisen etäisyyden päästä kokeilla robotin ja skannerin välistä yhteyttä. Ohjelmassa on kahden tyyppisiä alueita, joista keltainen hidasti ja punainen pysäytti robotin. Sovellus ja skannerin turva-alueet on kuvattu kuviossa 2.

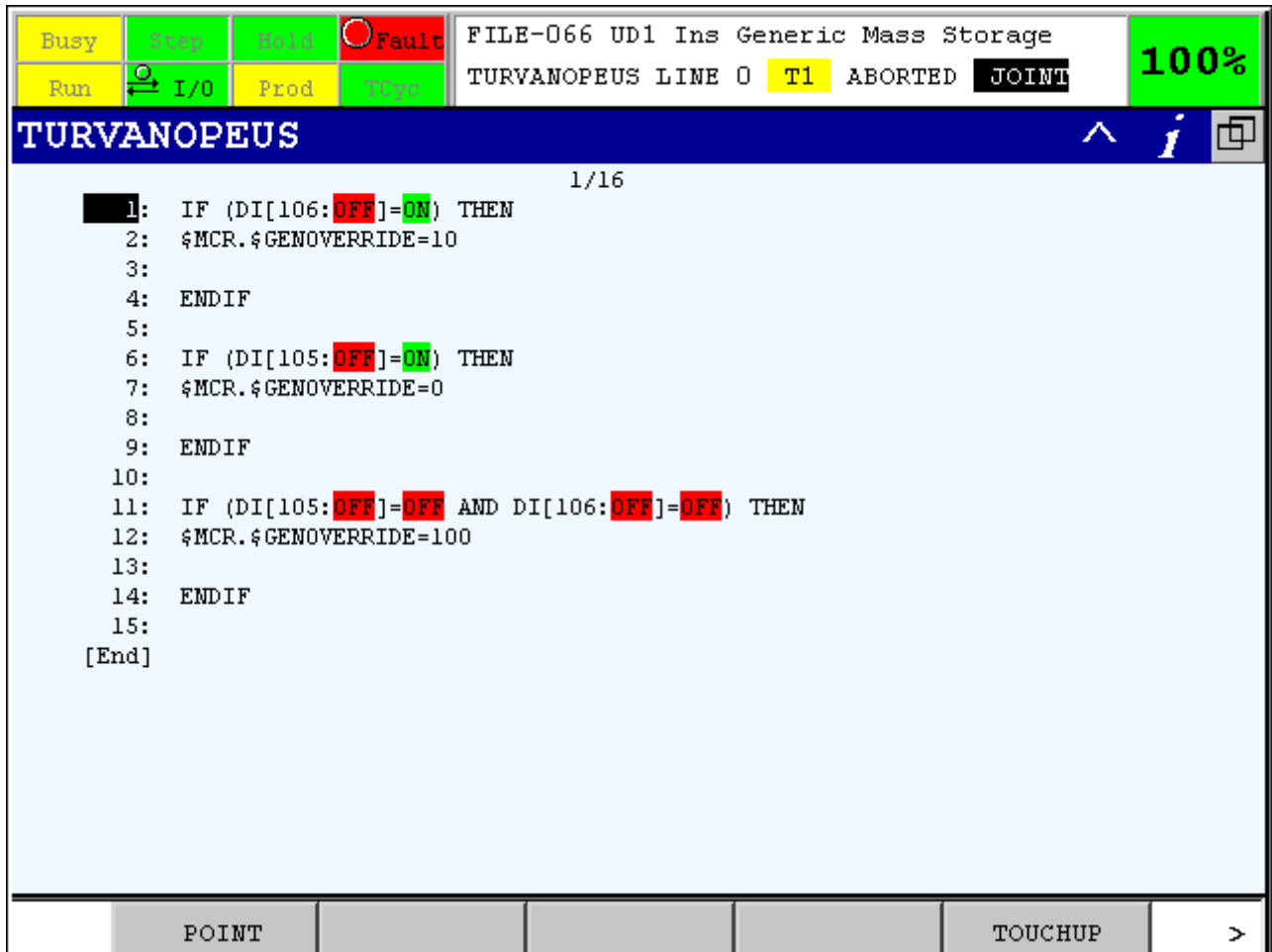


Kuvio 2. Skannerin turva-alueet

Kuviosta 2 nähdään skannerin alueiden melko yksinkertainen seinämä. Sininen alue kuvastaa kohtaa, missä skannerin laseri on havainnut esteen. Esteiden liikkeitä näkyvät ohjelmassa reaaliajassa. Turvarajat laukeavat, kun sininen alue tulee kontaktiin keltaisen tai punaisen alueen kanssa.

4.3 Robottiohjelman muokkaus

Robottiin luotiin TP:lla jatkuva taustalogiikkaohjelma nimeltä "TURVANOPEUS", joka teki jatkuvaa tarkkailua skannerin releen sisääntulosta. Ohjelma hidasti robotin nopeuden kymmenen prosenttiin sen maksiminopeudesta, kun skannerin ensimmäinen raja, eli DI106-sisääntulo laukesi, sekä asetti sen pysähdyksiin, kun toinen raja, eli DI105-sisääntulo laukesi. Kuvassa 4 on kuva jatkuvasta logiikkaohjelmasta.



Kuva 4. TURVANOPEUS-taustalogiikka

Ohjelman kirjoittaminen oli suhteellisen yksinkertaista. Siinä käytetään pääasiassa IF-lauseita ja makroja. Makrot pakottavat robotin nopeuden määrättyihin arvoihin.

Lisäksi robotin pääohjelmaa täytyi hienosäätää, jotta liike olisi mahdollisimman sulavaa eikä robotin koura iskisi putkien makasiiniin. Kalibrointien jälkeen koodissa olleet paikkatiedot eivät enää pitäneet paikkaansa, joten ne täytyi löytää uudelleen manuaalisesti asemoimalla robotti oikeisiin paikkoihin. Paikkatiedot otettiin ylös ja kirjoitettiin TP:lla ohjelmaan.

4.4 Robotin käyttöönoton pikaohjeet

Yksi yrityksen vaatimuksista oli yksinkertaiset robotin käyttöönotto-ohjeet. Ohjeista täytyi ilmetä, kuinka robottia liikutetaan manuaalisesti ja kuinka robotin automaattiajo käynnistetään. Ohjeiden loppuun täytyi myös lisätä robotin erilaisten vikatilojen toimintaohjeet. Esimerkkejä ovat pattereiden vaihto, kalibrointi ja ohjelman resetointi. Varsinaisen ohjelman muokkaus

vaatii suurempaa perehtymistä ja perehdyttämistä, kuin mitä käyttöönotto-ohjeet voivat antaa.

Ohjeet testattiin yrityksen messutapahtumiin osallistujalla henkilökunnalla. Testauksessa ilmeni puutteita itse kytkimien ja nappien tarkan kuvaamisen kohdalla. Ohje vaatii huomattavasti enemmän kuvia, jotta voitaisiin antaa käyttäjälle selvä kuva tarpeellisista toimenpiteistä tietyn ongelman poistamiseksi tai tahdotun ohjelman käynnistämiseksi.

5 TURVALLISUUS

Robottisolun turvallisuus oli aluksi melko alhainen, sillä kuka tahansa pääsi robotin liikeratojen lähelle ongelmitta. Robotti ei pysähtynyt eikä robotilla ollut tarvittavia turvallisuuskriteereitä. Robottisolun turvallisuutta on tarkoitus lisätä asentamalla pleksilasit robotin ympärille, jottei sen liikeradalle pääsisi ylimääräisiä esineitä eikä ihmisiä. Robotti täyttäisi näin Suomen Standardoimisliiton vaatimuksen robotin aiheuttamien ihmisiin kohdistuvien vahinkojenestämisen suosituksen (SFS, 2011, s. 20). Robotin servomootorit huomaavat iskun ja pysähtyvät, mikäli robotti iskee pleksilaseihin. Laseihin on tarkoitus asentaa rajakytkimet lasioviin. Ovien avautuessa ja samalla kytkimien lauetessa robotin on tarkoitus pysähtyä. Pleksilaseja ja rajakytkimiä ei voitu työn ohessa asentaa hitaiden toimitusaikojen vuoksi.

Työssä käytetty sopiva turvalaite SICK-turvaskanneri ei ole yrityksen omaisuutta, minkä vuoksi sitä ei voida käyttää messuilla. Turvaskanneri tosin toisi robottisolulle sekä turvallisuutta että mielenkiintoa messuille. Turvaskannerin asennus vaatisi vain muutaman releen lisää robotin ohjainkeskuksen sisään sekä ohjelman muokkausta. Turvaskannerin turvarajat on yksinkertaista määrittää SICK Safety Designer -sovelluksen avulla. Turvaskanneri on hinnaltaan puolet nykyisen robotin hinnasta eli lähes 5000 euroa, tehden skannerista melko suuren investoinnin.

Valoverho olisi ollut myös yksi vaihtoehto, joka on samalla tasolla turvallisuuden ja asennuksen vaativuudessa kuin turvaskanneri. Valoverho olisi voinut myös korvata pleksilasit ja niissä käytettävät rajakytkimet. Valoverhoa ei valitettavasti voitu kokeilla robottisolussa, koska valoverhoa ei ollut saatavilla.

Käyttöönotto-ohjeiden osalta turvallisuussäädökset toteutuvat niiltä osin, mihin käyttöohjeet ovat tarkoitettukin. Robottisolun turvallinen ja nopea käyttöönotto ja käynnistys messuja varten toteutuu käyttöönotto-ohjeiden perusteella. Robottisolun turvallinen kuljettaminen, kunnossapito ja kokoonpano eivät ole käyttöönotto-ohjeita koskevia asioita, joten näille toimeksiantajan täytyy itse todentaa turvalliset menetelmät.

Myöhemmin huomattiin, ettei puristimen ja robotin hätäseispiirejä oltu yhdistetty, vaan puristimen hätäseis pysäytti vain puristimen, ja robotin hätäseis pysäytti vain robotin. Hätäseispiirit on yhdistettävä ketjuttamalla hätäseispiirit keskenään (Aalto ym., 1999, s. 54). Vaikeinta oli

löytää robotin ohjauslaatikon hätäseispiiri, koska ohjauslaatikosta ei ollut saatavilla sähkökaavioita. Hätäseispiirejä ei ehditty yhdistää työn aikana.

Robotti voidaan todeta messuturvalliseksi vasta, kun robotin liikeradalle ei pääse ketään tai että robotti pysähtyy vieraiden asioiden lähestyessä ja hätäseispiirit yhdistetään. Lisäksi robottiin ja solun lähettyville on lisättävä varoitustekstejä ja -merkintöjä sekä muita robotin ominaisuuksiin liittyviä merkintöjä kuten CE-merkintä ja valmistusvuosi (Aalto ym., 1999, s. 165; SFS, 2011, s. 46).

6 VAIHTOEHTOISET LAITTEET

6.1 Robotit

Robottisoluuun muita Fanuc LR Mate 200iD/7L -robotin tapaisia tai korvaavia laitteita on monenlaisia itse Fanucilta sekä muilta robottivalmistajilta. Fanucilla on monta eri mittaan yltyviä ja eri painoarvoja käsitteleviä, samaa robottipohjaa käyttäviä malleja. Robottisolussa ei ole tosin käyttöä suurempia painoja nostavalle robotille, sillä puristettava materiaali ei paina nykyisen robotin kantokykyä enempää. Robotin pituus toisi mahdollisuuksia laajentaa solua ja liittää useampia materiaalmakasiineja pöydän lähetyville.

Muiden valmistajien roboteista esimerkiksi Universal Robots UR5e -robotti omaa lähes samat ominaisuudet, mitat sekä kantokyvyn kuin nykyinen robottikin (Universal Robots, i.a.). UR5e on 850 millimetriä pitkä, mikä on 61 millimetriä lyhyempi kuin nykyinen ja pystyy kantamaan viisi kilogrammaa, mikä kaksi kilogrammaa vähemmän kuin nykyinen. Näillä pituuksilla ja painoilla ei ole kuitenkaan kovin paljon merkitystä itse robottisolun toimintaan, sillä nykyinen robotti yltyä jo pidemmälle kuin vaadittaisiin ja kantaa enemmän kuin tarvittaisiin. UR5e olisi parempi vaihtoehto ohjelmoinnin kannalta, sillä kyseisen robotin paikkatiedot voidaan antaa yksinkertaisesti asettamalla robotti haluttuun paikkaan ja asentoon ”kelluttamalla”, eli vapauttamalla robotin akseleiden lukitus niin, että robottia voi liikuttaa käsin. Lisäksi robottiin kuuluu helppokäyttöisempi tablettimainen ohjain.

ABB IRB 1200 -roboteista pidempi versio on lähes identtinen nykyisen robotin kanssa. IRB 1200 on vain 11 millimetriä lyhyempi ja pystyy kantamaan kaksi kilogrammaa vähemmän kuin nykyinen (ABB, i.a.) Lisäksi robotin saa IP67-turvaluokituksena, mikä on sama kuin nykyisessä robotissa. Robotin vahvuutena on pienempi ja yksinkertaisempi ohjain sekä mahdollisuus ohjelmoida robottia etäohjelmoimalla tai offline-tilassa ABB:n omalla RobotStudio-ohjelmalla. ABB:n roboteilla täytyy ottaa huomioon, että niiden koordinaatistofilosofia poikkeaa hieman muiden valmistajien omista filosofioista.

6.2 Puristimet

Robottisolussa voidaan käyttää monta erilaista letkuliitinpuristinta, mutta useimmat vaativat huomattavasti enemmän tilaa, joten solu täytyisi uudelleen sommitella ja pöytää muokata.

Yksi mahdollisista ja usein käytetyistä puristimista voisi olla FP120. Se on huomattavasti isompi, eikä sitä voida asentaa solun pöydälle. Pöytä täytyisi asettaa niin, että robotti ylittäisi puristimen puristusleukoihin. FP120-puristimen etu olisi sen voimakkaampi puristusvoima ja mahdollisuus asentaa isompia leukoja. Kyseinen puristin pystyy puristamaan 2800 kilonewtonin puristusvoimalla ja 300 baarin paineella (Finn-Power, i.a.). Leukojen maksimipuristusväli on 87 millimetriä, mikä on 26 millia suurempi kuin nykyisessä puristimessa. Puristimen huono puoli on sen suuri koko ja paino, joka on lähes 1100 kilogrammaa.

Lillbacka Powercolla on useita samankaltaisia puristimia kuin nykyinen, esimerkiksi vähemmän tehokkaampi ja pienempi CC22-malli tai akulla toimiva P32CS-puristin. P51-puristin voisi olla myös hyvä vaihtoehto, sillä se vastaa puristusvoimaltaan ja leukojen puristusväliltään FP120-puristinta. Huono puoli P32CS- ja P51-puristimissa on niiden ikääntyneet ohjauspaneelit. Puristimiin ei myöskään kuulu ICC-ominaisuuksia, joita CC26- ja FP120-puristimissa on.

6.3 Turvalaitteet

Turvalaserskannereita on muilta valmistajilta vähän, eikä yksikään skanneri ole ylivoimaisesti toista parempi. OEM valmistaa UAM-05-turvalaserskanneria, jonka skannaamisalue on viiden metrin päähän 270 asteen alueelta (OEM, i.a.).

Turvavaloverhot olisivat olleet yksi hyvä tapa lisätä robottisolun turvallisuutta. Valoverhoja valmistaa lukuisat valmistajat mukaan lukien SICK. C4000 Fusion-turvavaloverho toimii 21 metrin päähän ja on 300 millimetristä 1 800 millimetriin mallista riippuen (SICK, i.a.-b).

7 JATKOKEHITYS

Robottisolu on muutamien edellisissä luvuissa mainittujen turvallisuusvaatimusten täyttämisen jälkeen valmis messukäyttöön. Messujen jälkeen voidaan tarkastella seuraavia kehityssuuntia ja käyttökohteita solulle.

Letkuliitimien merkkauslaite (merkkain) olisi ollut erinomainen laite liittää soluun, mutta itse merkkauslaitetta ei ollut saatavilla sen prototyypistatuksen vuoksi. Merkkauslaite olisi voitu liittää sen logiikkaohjaimen käyttämällä robotissa olevia vapaita lähtöjä. Toimeksiantajan valmistama älyleukateline, joka vapauttaa oikeankokoisen leukasarjan puristimen ohjelman mukaan, voisi olla robotin ohjelmoimisen kannalta mielenkiintoinen projekti. Robottisoluun voisi yrittää liittää myös suurempia puristimia, jotka eivät mahdu solun pöydälle, vaan ne joudutaan asettamaan pöydän lähelle robotin yltämisetäisyydelle. Muita käyttökohteita robottisolulle voisi olla yrityksen kehitteillä olevat letkuliitinleikkurit, jossa robotti nostaisi valmiiksi leikatun letkun keräyspyörään.

Robottisolussa käytettyä puristettavaa materiaalia voisi vaihtaa ja tutkia minkälaisia kappaleita robotti kykenee asettamaan tarkasti puristimeen. Esimerkiksi löysempää hydraulikkaletkua puristetaan tavanomaisesti käsin, sillä robotin on hankala saada asetettua letkua oikein tarttujaan, puristimeen ja makasiiniin. Tähän voisi auttaa erilainen tarttuja tai makasiinin muutos.

Konenäkökameran avulla robotti voisi ottaa kappaleita suoraan laatikoista, jolloin makasiiniin ei tarvitse asettaa materiaalia manuaalisesti. Lisäksi konenäkökameran avulla robotti voisi olla turvallisempi, sillä robotti osaisi hidastaa tai täysin väistää ihmisiä ja muita esineitä, jotka tulevat robotin liikeradalle.

8 TULOKSET JA POHDINTAA

Robottisolun pöydän ympärille oli tarkoitus vielä lisätä peltikuoret ja pleksilasit, jottei puristimen moottorin ääni kuuluisi, eikä sisäisiä komponentteja paljastuisi ulkonäkö- ja turvallisuus-syistä. Toimitusongelmien vuoksi peltikuoret ja pleksilasit eivät saapuneet ajallaan, minkä vuoksi ne täytyy asentaa opinnäytetyön ulkopuolisena työnä.

Itse robotti voisi olla viisasta vaihtaa, sillä nykyinen Fanuc-robotti on tarkoitettu enimmäkseen jatkuvaan sarjatuotantoon, jossa ohjelmaa ei tarvitse muuttaa useasti. Laboratorio- ja tutkimuskäyttöön soveltuisi parhaiten Universal Robots UR5e, sen helpon ohjelmitavuuden ja tablettimaisen ohjaimen ansiosta. Turvalaitteeksi soveltuisi työssä käytetty microScan3-turvalaserskanneri loistavasti, sillä se on yksinkertainen liittää robottisoluun ja sen turvarajat on helppo määrittää. Nykyinen CC26-letkuliitinpuristin soveltuu robottisolun demonstraatiokappaleeksi, mutta solussa voisi käyttää pienitehoisempaa ja -kokoisempaa CC22-mallia.

Robottisoluun täytyy yrityksen puolelta saada tai kouluttaa pätevä henkilö operoimaan robottia messuilla, sillä pelkkä käyttöönotto-ohje ei anna riittävästi apua jokaisen mahdollisen ongelmatilanteen ratkomiseksi. Robottisolun kuljetuksen ja kokoonpanon turvallisesta toteuttamisesta vastaa yritys, sillä työn aikana tehdyt käyttöönotto-ohjeet eivät kattaneet näitä aiheita. Robotin kunnossapidon varmistamiseksi on myös suositeltavaa joko palkata pätevä huoltomies tai ulkoistaa robotin huolto.

Työ oli robotin käyttöönoton kannalta vaativa, sillä Fanuc-ohjelmointi ja robotin kalibrointi eivät olleet entuudestaan tuttuja. Turvalaserskanneri oli toisaalta helppo saada toimintakuntoon yksinkertaisten ohjeiden ansiosta. Turvapiirin rakentaminen oli myös aikaisemman kokemuksen pohjalta nopeasti valmis. Käyttöönotto-ohjeiden kirjoittaminen oli helppoa, mutta koska niitä ei testattu kuin muutaman kerran, ohjeita ei voida todeta täysin pettämättömiksi. Muutoin käyttöönotto-ohjeet olivat tyydyttäviä.

Robottisolu saatettiin sen alkuperäiseen turvapiirikytkentään ja ohjelmasta poistettiin käytöstä jatkuva taustalogiikkaohjelma. Varsinaiset fyysiset muutokset, kuten pleksilasien ja pöydän peltien asennus, tapahtunevat yrityksen omin neuvoin ennen tulevia messuja. Robottisolu on toiminut moitteettomasti työn päätyttyä.

Robottisolua voidaan kehittää eteenpäin yhdistämällä merkkain ja älyleukateline soluun, tuoden sille enemmän toimintoja. Myös muiden uusien ja kehitteillä olevien laitteiden liittäminen soluun voisi tuoda yritykselle mahdollisuuksia kokonaisvaltaiselle robottisolujen laajentamiselle.

LÄHTEET

Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., ym. (1999). *Robotiikka*. Talentum Oyj/MetalliTekniikka.

ABB. (i.a.). *IRB 1200*. Haettu 19.3.2022, <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1200>

Asiakastieto. (i.a.). *Lillbacka Powerco Oy*. Haettu 4.4.2022, <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/lillbacka-powerco-oy/10154054/yleiskuva>

Epec. (i.a.-a). *Epec 6107 Display Unit*. Haettu 17.3.2022, <https://epec.fi/epec-oy-products/displays/display-6107/>

Epec. (i.a.-b). *Epec 3610 Control Unit*. Haettu 17.3.2022, <https://epec.fi/products/control-system-products-3610/>

Fanuc. (i.a.). *Fanuc LR Mate 200iD*. Haettu 22.2.2022, <https://www.fanuc.eu/fi/en/robots/robot-filter-page/lrmate-series/lrmate-200id-71>

Finn-Power. (2021a). *Varaosakirja CC26/CCZ versio 1.1*

Finn-Power. (2021b). *Manual CC26/CCZ*

Finn-Power. (i.a.). *FP120-letkuliitinpuristin*. Haettu 19.3.2022, <https://finnpower.fi/products/production/fp120/>

OEM. (i.a.). *UAM-05 -turvalaserskanneri*. Haettu 22.3.2022, https://www.oem.fi/tuotteet/turva/turvalaserskannerit/uam-05--turvalaserskanneri_-332704

Saariaho, S. (3.5.2016). *Miljonääri huvin vuoksi*. <http://lounge.fim.com/miljonaari/>

SICK. (i.a.-a). *microScan3 Core I/O*. Haettu 22.2.2022, https://cdn.sick.com/media/docs/7/57/757/operating_instructions_microscan3_core_i_o_en_im0063757.pdf

SICK. (i.a.-b). *C4000 Fusion -turvaloverho*. Haettu 22.3.2022, <https://www.sick.com/fi/fi/turvavaloverhot/turvavaloverhot/c4000-fusion/c/g187259>

Suomen Standardoimisliitto (SFS). (2011). *Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit* (SFS-EN ISO 10218-1).

Universal Robots. (i.a.). *Universal Robot UR5e*. Haettu 19.3.2022, <https://www.universal-robots.com/products/ur5-robot/>