

Nico Lahtonen

## **KONEPALVELU YHTEISTOIMINNALLISELLA ROBOTILLA**

# KONEPALVELU YHTEISTOIMINNALLISELLA ROBOTILLA

Nico Lahtonen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2020  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Nico Lahtonen  
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Konepalvelu yhteistoiminnallisella robotilla  
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Machine Tending with Collaborative Robot  
Työn ohjaaja: Juha Junttila  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020  
Sivumäärä: 31 + 1 liite

---

Opinnäytetyö on osa Oulun ammattikorkeakoulun Roboreel-hanketta, ja se teutettiin Sah-Ko Oy:lle. Hankkeessa kartoitetaan yrityksille robotiikan ja automaation käyttöönottamisen tuomia riskejä ja mahdollisuuksia liiketoiminnan parantamiseen. Työssä selvitettiin, onnistuuko käytössä olevan CNC-sorvin automatisointi kollaboratiivisen robotin avulla ja voisiko se toimia tuotannossa.

Työ aloitettiin perehtymällä integroitaviin koneisiin eli sorviin ja kollaboratiiviseen robottiin. Niiden välille tuli löytää tapa, jolla koneet pystyvät kommunikoimaan keskenään. Molemmissa koneissa oli mahdollisuus välittää ja vastaanottaa tietoa digitaalisilla I/O-signaaleilla, joten ne valittiin kommunikointitavaksi. Tämän jälkeen kartoitettiin tarvittavat toimi- ja turvalaitteet kokeilun mahdollistamiseksi.

Konepalvelusovelluksessa robotin täytyy suorittaa samat toimenpiteet, kuin mitä ihminen tekisi sorvatessaan kappaleita. Aihio asetetaan pakkaan, ohjelma käynnistetään ja valmis kappale otetaan pois koneesta. Näitä toimintoja varten tarvittiin paineilmasyylinterit sorvin turvaovelle sekä pakan polkimelle, jotta robotti pysyy ohjaamaan niitä. Robotti käynnistää sorvin ohjelman digitaalisen signaalin avulla. Koneiden ja toimilaitteiden välille suunniteltiin tarvittavat kytkennät. Yhteistoiminnan testaamista varten molemmille koneille laadittiin kappalekohtaiset ohjelmat. Aihoiden paikoittamiseen käytettiin robotin kameraa, jotta se toimisi erikokoisten aihoiden kanssa tuoden joustavuutta tuotantoon.

Työn tuloksena saatiin toimiva robottisolukone, joka suoritti kappaleiden valmistuksen täysin itsenäisesti. Robottia ohjelmoidessa yrityksen työntekijä perehdytettiin sen käyttöön, jotta käyttöönotto ja ohjelman teko onnistuvat myös itsenäisesti. Yritys pääsi kokemaan, miten robottiaivusteinen automaatio toimisi sen tuotannossa. Opinnäytetyön perusteella yrityksessä aloitettiin kehitysprojekti, jonka tavoitteena on rakentaa työn kaltaisia robottisoluja myös muille koneistusosaston koneille.

---

Asiasanat: robotiikka, automaatio, konepalvelu, koneistus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical engineering, Machine automation

---

Author: Nico Lahtonen

Title of thesis: Machine Tending with Collaborative Robot

Supervisor: Juha Junntila

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 31 + 1 appendice

---

This thesis is a part of Oulu university of applied sciences's Roboreel project and it was made for company named Sah-Ko Oy. Project's goal is to map the risks and possibilities of taking robotics and automation as a part of company's production, and how it would improve their business. Work's goal was to find out that is it possible to automate an existing CNC-lathe with the collaborative robot, and could it work in company's production.

The work began with studying the features of the machines used in this project. Two machines needed a way how to communicate with each other. Both machines had an option to send and receive digital I/O-signals, so it was chosen as a way of communication. The necessary operating and safety devices were mapped to make the experiment work.

In machine tending the robot needs to carry out the same actions as human would do operating the lathe. Blank is set to the chuck and program is started. A finished product is removed when program is finished. To make these actions being controlled by the robot, pneumatic actuator was installed to the lathe's door and pneumatic cylinder to the pedal which operates the chuck. Robot starts the lathe's program with digital signal. The necessary wirings were planned to connect the machines and external devices. Manufacturing programs were made for both machines to test their cooperation. A robot's camera was used to locate the blanks so it could work with different types of shapes and sizes instead of one, giving flexibility to the production.

Functioning robot cell was made as the result of the work. It carried out a series of working cycles independently. While programming the robot company's employee was taught to operate the robot and shown how to make a new program. Company had an opportunity to see how robot-aided automation would work in their production. Based on this thesis a project was started inside the company. Project's goal is to get at least two similar robot cells for their production.

---

Keywords: robotics, automation, machine tending, machining

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 KOLLABORATIIVINEN ROBOTTI	7
3 ROBOTTISOLU	12
4 KOKEILUN SUUNNITTELU	13
4.1 Kommunikointi	13
4.2 Toimilaitteet ja anturit	16
4.3 Kappaleiden poiminta	18
5 ROBOTTISOLUN ASENTAMINEN	21
6 TOIMINNAN TESTAUS	26
7 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	30
Liite 1 Robotin ja cnc-sorvin toiminnot	

# 1 JOHDANTO

Oulun ammattikorkeakoulu on mukana Roboreel-hankkeessa, jossa ammattikorkeakoulut ja ammatilliset oppilaitokset parantavat yritysten liiketoimintamahdollisuuksia kartoittamalla robotiikan ja automaation käyttöön ottamisen tuomia riskejä ja mahdollisuuksia (1). Hanke esiteltiin paikalliselle konepajalle, ja yritys halusi lähteä siihen mukaan. Yrityksen tavoitteena on ollut laajentaa valmistettävien tuotteiden kirjoa, mutta pula ammattitaitoisista koneistajista teki sen mahdottomaksi.

Opinnäytetyössä selvitetään toimenpiteet, joilla CNC-sorvista ja robotista voidaan muodostaa automaattinen robottisoluk. Työ toteutetaan Sah-Ko Oy:lle sen konepajan tiloihin. Robottisoluk muodostuu Universal Robots 10 -kollaboratiivisesta robotista ja HAAS SL30 -CNC-sorvista.

Opinnäytetyössä selvitetään, kuinka muodostaa kommunikaatioyhteys koneiden välille, jonka kautta välitetään tietoa työkierron ja laitteiden tilasta. Robotin tulisi suorittaa aihoiden nouto, niiden asettaminen sorville ja valmiiden kappaleiden poistaminen sorvilta. Robotti ohjaa myös tarvittavia toimilaitteita IO-liitäntöjensä kautta. Tavoitteena on luoda järjestelmä, jolla työsarjoja voidaan suorittaa automaattisesti. Tämä vapauttaa työntekijän haastaviin, ihmisen ajattelua ja tarkkuutta vaativiin tehtäviin, samalla kun robotti hoitaa yksinkertaisen työkappaleiden vaihdon.

## 2 KOLLABORATIIVINEN ROBOTTI

Teollisuusrobotit olivat ennen kiinteästi asennettuja suurikokoisia koneita, eikä niitä ole tarkoitettu siirrettäviksi eri työtehtäviin. Ne olivat eristettyinä suoja-aidoilla, ja niiden työskentelystä varoitetaan äänillä tai huomiovaloilla. Robotin työkierto pysähtyy, jos ihminen menee sen työalueelle (16, s. 10). Tämän kaltaiset robotit ovat edelleen välttämättömiä sovelluksissa, joissa käsiteltävät kappaleet ovat raskaita ja tarvitaan laajempaa ulottuvuutta. Hyvänä esimerkkinä ovat auto-tehtaiden linjastot, joissa auton kokoonpano suoritetaan automaattisesti kuvan 1 kaltaisilla roboteilla.

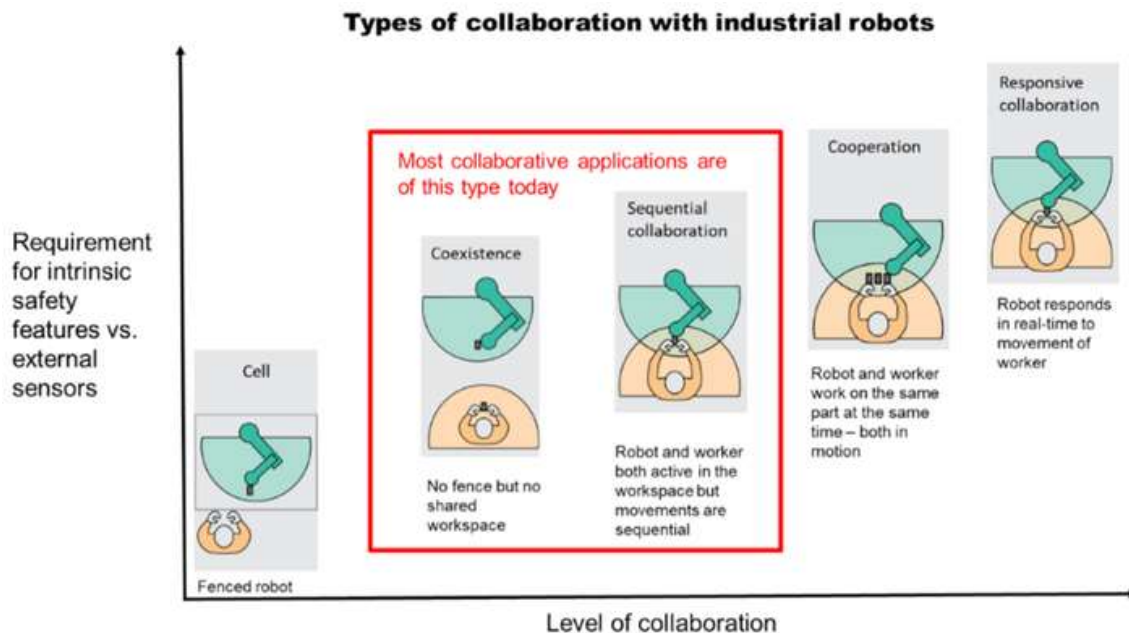


*KUVA 1. ABB IRB 8700 -teollisuusrobotti (2)*

IRB 8700 on moderni ja suurikokoinen teollisuusrobotti. Mallin mukaan sen ulottuvuus on 3,5–4,2 m ja hyötykuorma 550–1 000 kg. Ulottuvuuden ja kuormankantokykynsä vuoksi robotti itse painaa noin 4 500 kg (2). Tämänkaltaisen robotti vaatii suojaustoimenpiteitä ihmisen ollessa sen työskentelyalueella, kuten robotin liikkeiden hidastamista tai kokonaan pysäyttämistä.

Suurikokoinen ja vahva robotti vaatii laajan alueen turvallista työskentelemistä varten. Sitä ei ole helppo siirtää suorittamaan eri tehtäviä, sillä vaaditut suojaukset ovat kiinteästi asennettuja. Teknologian kehittyessä robottien koko ja hinta on

laskenut, mikä mahdollistaa niiden käytön myös kevyissä sovelluksissa. Kevyiden ja pienten kollaboratiivisten, eli yhteistoiminnallisten robottien on mahdollista olla vuorovaikutuksessa ihmisen kanssa jaetussa työtilassa. Kollaboratiivisuusaste robotin ja ihmisen välillä on jaettu neljään eri luokkaan kuvan 2 mukaan (3).



*KUVA 2. Robotin ja ihmisen työskentely luokittain (3)*

Mitä tiiviimpää yhteistyö on, sitä enemmän syntyy riskejä. Tämän vuoksi kollaboratiivisissa roboteissa on useita antureita, jotka mittaavat sen niveliin kohdistuvaa momenttia ja tarvittavaa virtaa. Törmäyksen sattuessa robotti tunnistaa törmäyksen anturien avulla, milloin se pysähtyy kokonaan tai liikkuu voiman vastakkaiseen suuntaan välttääkseen vahinkojen syntymisen. Robotti on muotoiltu siten, ettei teräviä reunoja ole lainkaan, ja puristumisen mahdollisuus on minimoitu.

Kollaboratiivisten robottien etu on myös niiden nopea ja helppo ohjelmoiminen. Haluttu tehtävä voidaan näyttää robotille sitä manuaalisesti liikuttaen, hankalan ohjelmakoodin luomisen sijaan. Robotti voidaan siirtää nopeasti eri työpisteelle uuteen tehtävään sen turvaominaisuuksien sekä helpon ohjelmoinnin ansiosta. Useat eri valmistajat ovat kiinnostuneet kollaboratiivisten robottien markkinoista, minkä ansiosta malleja on lukuisia erilaisiin työtehtäviin.



ABB:n valmistama YUMI on teollisuuden kokoonpanoon soveltuva kollaboratiivinen robotti, joka on suunniteltu erityen toimimaan yhdessä ihmisen kanssa. (Kuva 3.)



*KUVA 3. ABB YUMI -robotti (4)*

Yumi on kaksikäinen ja 7-akselinen robotti. Sen ihmistä mukaileviin käsiin ja runkoon on integroitu IRC5-ohjain. Robotti painaa 38 kg, sen ulottuvuus on 560 mm ja hyötykuorma on 500 g. Sen kevyt rakenne ja pieni voima soveltuvat hyvin tiiviiseen työskentelyyn ihmisen kanssa. Yumi voidaan ohjelmoida manuaalisesti käsiä liikuttamalla. Siinä on myös sisäänrakennettu kamera työkappaleiden löytämistä varten. (4.)

Markkinoille on kehitetty myös 3- ja 4-akselisia kollaboratiivisia robotteja. Ne ovat huomattavasti pienempiä ja yksinkertaisempia kuin käsivarsirobotit, mutta soveltuvat hyvin esimerkiksi työtehtäviin laboratorioissa. Hyvänä esimerkkinä toimii Precise Automationin PF 400, joka on yksinkertainen 4-akselinen kollaboratiivinen SCARA-robotti. (Kuva 4.)



*KUVA 4. Precise Automation PF 400 -näytteenkäsittelyrobotti (5)*

PF 400 painaa 20 kg ja sen ulottuvuus on 576–731 mm. Kun sen tarttujan massa on 500 g, robotin hyötykuorma on 1 kg. Pienestä koostaan huolimatta robotissa on myös isompien tapaan paljon turvaominaisuuksia. Robotin liikeradat voidaan opettaa tarttujaa käsin liikuttamalla. Sitä voidaan ohjata myös etänä tietokoneella tai tabletilla. (5.)

Yleisimmin käytettyjä kollaboratiivisia robotteja ovat käsivarsirobotit (kuva 5). Ne ovat ulkomuodoltaan samanlaisia kuin perinteiset teollisuusrobotit. Kollaboratiivisten robottien pieni koko ja paino tekee niiden käytöstä joustavaa, mikä mahdollistaa niiden käytön useissa eri sovelluksissa.



*KUVA 5. Kuka LRB iiwa -käsivarsirobotti (6)*

Kuka LRB iiwa on 7-akselinen käsivarsirobotti. Se painaa 20–30 kg, ja pystyy käsittelemään kappaleita, joiden massa on 7–14 kg. Robotin toimintasäde on 820 mm. Se on suunniteltu yhteistyöhön ihmisen ja robotin välillä. Sen nivelissä on tarkat momenttianturit kosketuksen havaitsemista varten, ja tahattoman törmäyksen sattuessa se vähentää välittömästi voimaa ja liikkeen nopeutta. Robotti pysyy myös käsittelemään herkkiäkin komponentteja vahingoittamatta niitä. (6.)

Toinen yleinen kollaboratiivinen käsivarsirobotti on kuvassa 6 esitetty Universal Robotsin UR10. Se on teollisuuteen tarkoitettu 6-akselinen kollaboratiivinen robotti. Robotin kantokyky on 10 kg ja ulottuvuus 1,3 m. Robotin oma massa on 28,9 kg. (7.)



*KUVA 6. Universal Robots UR10 ja sen ohjausyksikkö (14)*

Robotin ohjaukseen käytetään kosketusnäytöllä varustettua käsipaneelia. Ohjelmointi tapahtuu manuaalisesti robottia liikuttamalla haluttuihin pisteisiin, ja paikoi-  
tusta voidaan hienosäätää käsipaneelin kautta. Nivelissä olevien momenttiantu-  
reiden ansiosta UR10 voi työskennellä ihmisten kanssa jopa ilman erillistä suo-  
jausta, sillä törmäyksen sattuessa robotin tuottama voima on alle 150 N (13). Kun  
voima on alle 150 N, se täyttää standardin vaatimukset, jolloin sen on mahdollista  
toimia ihmisen läheisyydessä ilman turva-aitoja tai muita suojalaitteita.

### 3 ROBOTTISOLU

Robottisoluun kuuluu CNC-sorvi ja kollaboratiivinen robotti. Robotin on määrä toimia vuorovaikutteisesti sorvin kanssa ilman ihmisen jatkuvaa läsnäoloa. Robotti syöttää sorville aihion, käynnistää sorvin työstöohjelman ja työkierron loppuksi ottaa valmiin kappaleen pois.

CNC-sorvi on työstökone, jolla valmistetaan pyörähdyssymmetrisiä kappaleita lastuavalla työstömenetelmällä. Työstettävä aihio kiinnitetään koneen pakkaan, ja sitä pyöritetään halutulla nopeudella. Sorvauksessa työkappale pyörii, ja työkalu pysyy niin sanotusti paikoillaan. Työkalua liikutetaan kohtisuorasti ja pitkitäin aihion pyörähdysakseliin nähden, jotta saadaan aikaiseksi halutut muodot. CNC tarkoittaa computer numerical control, eli tietokone ohjaa konetta yksiselitteisillä symboleilla. Manuaalisista sorveista poiketen, automaattisorvia ohjataan G-koodeilla. Niillä kerrotaan koneelle kappaleen valmistamiseen tarvittavat arvot, kuten työstöradat, työkalut ja kierrosnopeudet. Työssä käytettävä sorvi on HAAS SL 30. (Kuva 7.)



*KUVA 7. Haas SL 30 -CNC-sorvi*

Työhön valittiin robotiksi Universal Robotsin UR10. Valinta tehtiin perustuen sen hyvään saatavuuteen, hankittuun kokemukseen robotin käytöstä ja sen helppoon ohjelmointiin. Sen kantokyky ja ulottuvuus olivat riittävät työtä varten.

## 4 KOKEILUN SUUNNITTELU

Jotta koneet pystyvät toimimaan yhdessä, täytyy selvittää, kuinka tieto saadaan liikkumaan niiden välillä. Yhdistämiseen vaikuttavat koneista löytyvät liitännämahdollisuudet. Mikäli koneissa ei ole samoja liitäntöjä, tarvitaan muunnin, joka muuttaa koneiden välittämät informaatiot yhteensopiviksi. Suunnittelussa myös valittiin tarvittavat toimilaitteet, sekä tarttuja kappaleen poimintaa varten.

### 4.1 Kommunikointi

Aluksi täytyi perehtyä sorviin, koska sen rakenne sekä ominaisuudet olivat ennestään tuntemattomia. Koneen manuaalista löytyi paljon tietoa sen käytöstä, rakenteesta ja ominaisuuksista. Koneesta ei löytynyt ethernet-liitännää, joka olisi ollut varma tapa luoda yhteys koneiden välille. Manuaaliin perehdyttäessä löytyi tietoa koodeista, joilla pystyttiin ohjaamaan koneen sisäisiä releitä päälle ja pois.

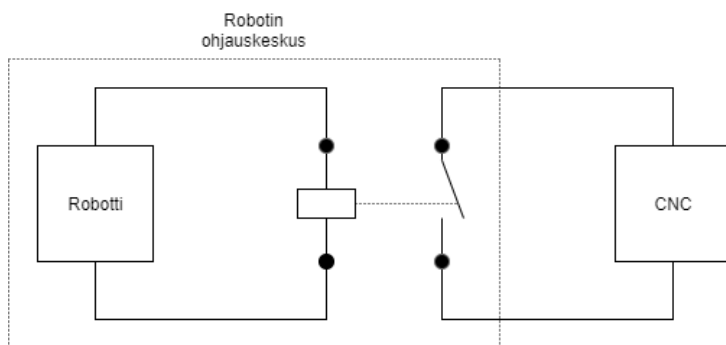
Sorvin takana olevaa sähkökaappia ja kytkentäkaavioita tutkimalla löytyi viisi kappaletta M-releitä (kuva 8), joita ohjataan G-koodin avulla. Digitaaliset I/O-releet on asennettu sorviin erilaisten lisälaitteiden ohjaamista varten. Niiden avulla sorviin voidaan lisätä esimerkiksi ylimääräinen leikkuunestepumppu. Releet ovat vapaasti ohjattavissa työstöohjelmasta käsin, ja niillä saadaan vietyä yksinkertaista tilatietoa ulos sorvista.



*KUVA 8. M-releet, mustat ovat releitä ja vihreät niiden riviliittimet*

Robotissa on vastaavasti kahdeksan liitäntäpaikkaa digitaalisia tulosignaaleja sekä kahdeksan liitäntäpaikkaa lähtösignaaleja varten. Digitaalisten signaalien välittäminen on yksinkertaista ja helppoa toteuttaa, joten se valittiin kommunikointivaksi koneiden välille. Tuloliitännöjen kautta kone saa tietoa ulkopuolisilta laitteilta, ja lähtöliitännöjen avulla kone ohjaa ulkopuolisia laitteita. I/O-signaalit toimivat kuten kytkimet ilmaisemalla päällä- tai poissa-tilan. Signaalia muutetaan, kun liitin kytketään jännitteelliseksi tai jännitteettömäksi. Esimerkiksi robottiin kytkettävät anturit ja sorvin M-releet ovat tulosignaaleja robotille.

Robotin ohjelma luodaan siten, että kun jännite syntyy tiettyyn tuloliitännään, se suorittaa sitä vastaavan työvaiheen. Työvaiheen aikana robotti ohjaa tarvittavia toimilaitteita, esimerkiksi venttiilejä, omilla lähtösignaaleilla. Tarvitaan myös signaali robotilta sorville, mikä kertoo robotin olevan valmis (kuva 9). Sorvi ja robotti käyttävät 24 V:n tasavirtaa signaaleissaan, joten erillistä muuntajaa signaalia varten ei tarvittu.



*KUVA 9. Koneiden välinen kommunikaatio, jossa signaali välitetään robotilta sorville*

Releiden toiminnan testausta varten sorviin rakennettiin yksinkertainen ohjelma, joka kuvaa sorvin ja robotin välisten tehtävien vuorottelua seuraavan esimerkin mukaan:

- Kara myötöpäivään
- Odota 5 s
- M21
- Odota 5 s
- Kara myötöpäivään.

Cycle Start on sorvin ohjaustaulun painike, jolla ohjelma saadaan käynnistettyä. Sitä painamalla kara alkoi pyörimään. Kara on sorvin osa, joka pyörii moottorin avulla. Karaan kiinnitetään pakka, mikä mahdollistaa työkappaleen kiinnittämisen työstöä varten. Asetetun odotuksen jälkeen kara pysähtyi ja releeseen M21 kytkeytyi jännite, joka todettiin yleismittarin avulla. Seuraavan odotuksen jälkeen ohjelma ei kuitenkaan jatkanut etenemistä, vaan jäi odottamaan paluusignaalia. Ohjelma ei jatkunut myöskään ohjaustaulun painikkeita käyttämällä. Kokeilun tuloksesta huomattiin, että M2X-koodin käyttö pysäyttää sorvin ja muuttaa releen koskettimen asentoa. Ohjaustauluun tuli ilmoitus, että sorvi odottaa MFin-signaalia.

Releet pystytään myös aktivoimaan käyttämällä ohjelmakoodia M5X, ja sammuttamaan koodilla M6X. Seuraavaa testausta varten ohjelman rakennetta täytyi muuttaa esimerkin mukaiseksi:

- Kara myötäpäivään
- Odota 5 s
- M51
- Odota 5 s
- M61
- Kara myötäpäivään.

Muutosten jälkeen releeseen kytkeytyi jännite, mutta kara jatkoi liikettään. Sorvi on saatava pysähtymään robotin suorittamaa tehtävää varten. Ohjelmaan lisättiin karan pysäytys ja odotus M-koodien väliin. Tämä todettiin kuitenkin liian riskialttiiksi menetelmäksi, sillä robotin pysähtyessä tai virhetilanteessa sorvi jatkaisi työkiertoaan odotuksen loputtua, robotin sijainnista huolimatta. Seuraavaksi yritettiin asettaa ohjelma tauolle M-koodien välissä, mutta ohjelmaa ei saatu jatkuamaan, muuten kuin Cycle Start -painiketta manuaalisesti painamalla.

Ohjelman jatkaminen robotin tarttujalla manuaalisesti painiketta painamalla on mahdollista, mutta siinä syntyy helposti virheitä. Ohjaustaulu, jossa painike sijaitsee, on käsin liikutettavan varren päässä. Se liikkuisi helposti väärään paikkaan robotin sitä painaessa tai ihmisen siihen koskiessa. Painikkeen käyttämisen sijaan signaali täytyy välittää sähköisesti.

Sorvin manuaalista tai sen sähkökaapista ei kuitenkaan löydetty mainintaa siitä, miten sorvi vastaanottaa tulosignaaleja. Seuraavaksi selvitettiin, että mikä on ohjaustaulun ilmoituksessa mainitun MFin-kaapelin toimintaperiaate. Ilmoitus tuli näyttöön, kun M2X-koodia käytettiin sorvin ohjelman pysäyttämiseksi. Asiaan perehdyttäessä opittiin, että MFin on Haasin valmistama turvakaapeli. Kaapeli on tarkoitettu käytettäväksi ulkopuolisten lisälaitteiden kanssa. Sen avulla lisälaite käynnistetään ja vastaanotetaan paluusignaali, jonka saapuessa releen kosketin vapautuu ja sorvin työstöohjelma jatkuu.

MFin-kaapelin toimintaan perehdyttiin tarkemmin ja arvioitiin, voidaanko sen toiminto toteuttaa ilman varsinaista kaapelia. Kaapelissa on johtimet lähtevää signaalia varten, mitkä antavat ulkoiselle laitteelle käskyn suorittaa toimintonsa. Ulkopuolinen laite antaa paluusignaalin sorville toimintonsa päätteeksi. Tämä signaali aktivoi releen, joka antaa Cycle Start -painikkeelle pulssin aivan kuin sitä painettaisiin manuaalisesti. Pitkän toimitusajan ja kalliin hinnan perusteella MFin-kaapelia vastaavaa toiminto päätettiin toteuttaa erillisosina. Sitä varten hankitaan ylimääräinen rele, joka ohjaa Cycle Start -painiketta. Kun testaukset oli suoritettu, varsinaisen kokeilun suunnitteleminen pystyttiin aloittamaan.

## **4.2 Toimilaitteet ja anturit**

Sorvien tärkein turvavaruste on turvaovi, joka estää pääsyn pyörivän karan luokse. Jos ovi aukeaa kesken työkierron, kara pysähtyy. Uusissa työstökoneissa voi olla tehdasasenteisesti automaattinen ovi ja pakka, jotka ovat tarkoitettu roboti-integraatioita varten. Opinnäytetyössä käytetty sorvi on vanhempaa mallia, joten siinä oli kaksiosainen käsin toimiva turvaovi. Yhden oven liikematka on 800 mm. Oven aukaiseminen robotin tarttujaa käyttäen todettiin ongelmalliseksi, sillä turvaovi pyrki valumaan takaisin kiinni. Oven mahdollinen kolahdus voi aiheuttaa robotissa turvapysähdyksen, joka pysäyttäisi työkierron. Oven avaaminen päätettiin toteuttaa ulkoisella toimilaitteella. Sopivaksi osoittautui Feston valmistama männänvarreton toimilaite, joka toimii paineilmalla. (Kuva 10.)

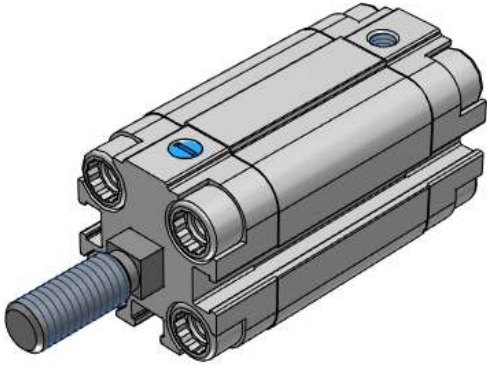




*KUVA 10. Toimilaite turvaovelle (8)*

Toimilaite on tähän sovellukseen perinteistä sylinteriä parempi. Pitkä sylinterin isku ja ohut männänvarsi rasittavat sylinteriä helpommin, koska se taipuu liikkeensä päässä ja kuluttaisi varrentiivistettä huomattavasti nopeammin. Oven liikenopeutta rajoitettiin käyttämällä vastusventtiilejä. Vaikka robotti ohjaa ovea, tulee sen olla käytettävissä myös silloin, kun robotti ei ole päällä. Oven ja sylinterin välille tehtiin sokkakiinnitys, joka on helppo ja nopea tapa irrottaa ovi sylinteristä. Kun sokka ei ole kiinni robotin ohjaamassa toimilaitteessa, voidaan sorvia käyttää manuaalisesti. Sorvin oveen päätettiin asentaa induktiiviset anturit, jotta robotti tietää missä asennossa ovi on.

Sorvi ei käynnistä ohjelmaansa pakan ollessa auki. Pakka on sorvin osa, joka on kiinnitetty pyörivään karaan. Pakka toimii yleensä hydraulikalla, ja siinä on kolme leukaa työstettävään kappaleeseen tarttumista varten. Pakka aukaistaan, kun työstettävä kappale halutaan vaihtaa, ja suljetaan työkierron ajaksi. Opinnäytetyössä käytetyn sorvin pakka pystyttiin aukaisemaan työstöohjelman komennolla, mutta sen sulkeminen ei onnistunut käyttämällä samaa komentoa pysäytyksen jälkeen. Kun ihminen käyttää konetta, pakka avataan ja suljetaan mekaanisesti poljinta painamalla. Toiminto päätettiin suorittaa vastaavanlaisesti pienellä paineilmasylinterillä (kuva 11) robotin ohjaamana.



*KUVA 11. Kompaktisylinteri polkimelle (9)*

### **4.3 Kappaleiden poiminta**

Käytännön kokeilua varten oli valittu erikokoisia aihioita, jotta tiedettäisiin mihin robotti ja tarttuja soveltuvat parhaiten. Koska työkalupaleen mittoja ei ollut vielä tiedossa, päätettiin kokeilussa testata Robotiqin valmistamaa rannekameraa (kuva 12). Kameran avulla kappaleet pystytään poimimaan, vaikka ne ovat satunnaisissa pisteissä alustalla, josta niitä on opetettu etsimään. Ohjelmaa rakennettaessa kappaleen muoto ja koko opetetaan robotin kameralle. Opetetun geometrian avulla robotti tietää millaisia osia alustalta täytyy poimia. Valaistus ja kontrastierot kappaleen ja alustan välillä ovat erittäin tärkeitä. Valaistusta lisättiin kameraa varten, ja aihioden alustana käytettiin keltaiseksi maalattua kuormalavaa.



*KUVA 12. Rannekamera tarttujan ja työkalulaipan välissä (10)*

Tarttujana testin aikana toimi Robotiqin valmistama servo-ohjattu 2F-140 (kuva 13). Se on adaptiivinen kaksisorminen tarttuja, joka avautuu 140 mm:iin asti. Rakenteen mahdollistaa tarttumisen työkappaleen sisä- ja ulkopinnalta. Se sopii myös pyöreiden kappaleiden tartuntaan, sillä sen sormet taipuvat niiden keskellä olevasta nivelestä ja siinä on keskittävä ura rungossaan. Tartuntavoiman säätöalue on 10–125 N ja tarttujan massa on 1 kg. Tarttujalla on myös IP40-luokitus. (11).

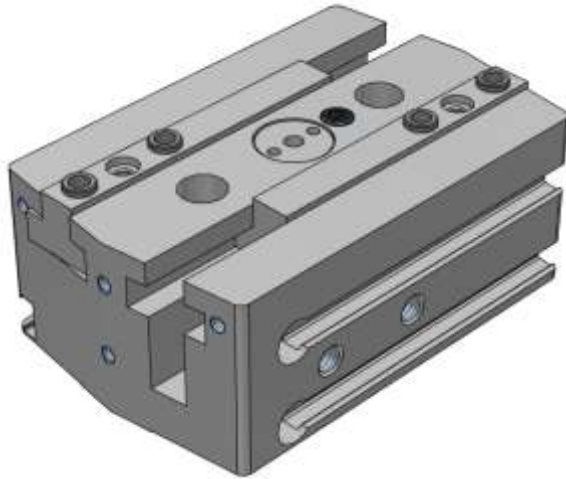


*KUVA 13. Robotiq 2F-140 elektroninen tarttuja (11)*

Saman yhtiön valmistama tarttuja on helppo ottaa käyttöön robotin kanssa. Se asennetaan suoraan robotin työkalulaippaan, ja johdot kytketään ohjauskeskukseen. Robotti tunnistaa tarttujan asennon, ja sitä voidaan ohjata tarkemmin kuin pelkällä auki/kiinni toiminnolla. Servo-ohjauksen ansiosta robotti tietää saatiinko ote halutusta kappaleesta vai ei. Tämän ansiosta tarttuja sopii useisiin eri muotoisiin ja kokoisiin kappaleisiin. Tarttuja maksaa noin 4 000 €.

Varsinaista tuotantoa varten robottiin valittiin sähkötoimista vahvempi paineilmatarttuja Festo HGPL-25-20-A-B (kuva 14). Paineilmatarttujan massa on 1 kg, sen iskunpituus on 40 mm ja tartuntavoima 6 bar:n työpaineella on 512 N (12). Tarttuja valittiin sillä perusteella, että se kykenee käsittelemään yhtä painavia kappaleita, kuin mikä robotin kantokyky on. Laskettu voima haluttiin ylittää, sillä aihoiden pinnat ovat yleensä likaisia ja ruosteisia, joten voimaa on hyvä olla riittävästi

aihion painoon nähden. Muotoiluilla kynsillä pystytään käsittelemään 9 kg painavia kappaleita, joita mahdollisesti olisi tuotantovaiheessa. Kyseisen tarttujan toimintaa ei kuitenkaan käytännön testaukseen ehditty saada, sillä sen toimitusaika oli liian pitkä.

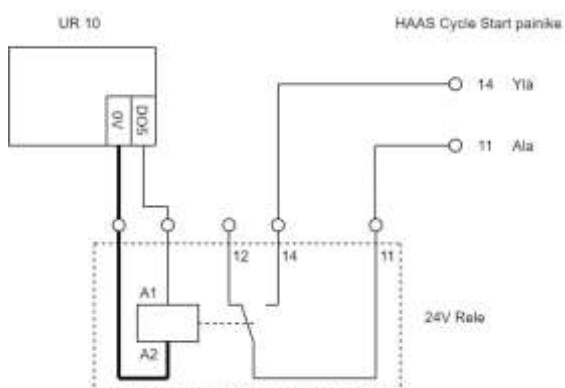


*KUVA 14. Festo HGPL-25-20-A-B tarttuja (12)*

Paineilmatarttujan etuina ovat huomattavasti halvempi hinta sekä suurempi puristusvoima sähkötoimiseen tarttujaan verrattuna. Paineilmatarttuja maksaa noin 800 €. Tarttujan kynnet joudutaan valmistamaan itse, ja ne kiinnitetään liu'uissa olevilla ruuveilla tarttujaan kiinni. Liikettä ei voida säätää muuten kuin auki/kiinni-toiminnolla ilman erillistä anturointia.

## 5 ROBOTISOLUN ASENTAMINEN

Ennen ohjelman luontia täytyy tehdä tarvittavat kytkennät koneiden välille. Ensimmäisenä sorvin sähkökaappiin asennettiin liitäntäkisko kytkentöjen helpottamiseksi. M-releet sijaitsivat ruuvikiinnitteisen suojalevyn takana. Suojalevyn kannen asennettiin riviliitinkisko kytkennän helpottamiseksi. Tämä estää myös herkkien elektronisten osien rikkoutumista, jotka paljastuvat suojalevyn alta sitä avattaessa. M-releiden johdot liitettiin kiskoon omiin merkittyihin liittimiinsä. Tämän jälkeen suoritettiin kytkennät Cycle Start -painiketta varten ohjaustaulussa kuvan 15 mukaisesti.



*KUVA 15. Kytkentäkaavio Cycle Start -painikkeelle*

Ohjaustaulun takalevy aukaistiin, jotta päästiin käsiksi sen sisällä oleviin johtimiin. Relettä varten tulevat johtimet vedettiin kuvassa 16 näkyvää vartta pitkin, jossa olivat muutkin ohjaustaulun kaapelit.



*KUVA 16. Ohjaustaulu aukaistuna, releen paikka korostettuna*

Releen kytkeminen painonapin rinnalle tulee tehdä mahdollisimman lyhyillä johtimilla kuvan 17 mukaisesti. Painikkeen vaatima jännite on niin pieni, että se indusoituu helposti johtimeen, mikä saattaa aiheuttaa koko ohjaustaulun toimimattomuuden (15). Asia tuli ilmi lukemalla keskusteluja eri foorumeilta ja blogikirjoituksista robottien käytöstä konepalvelussa.



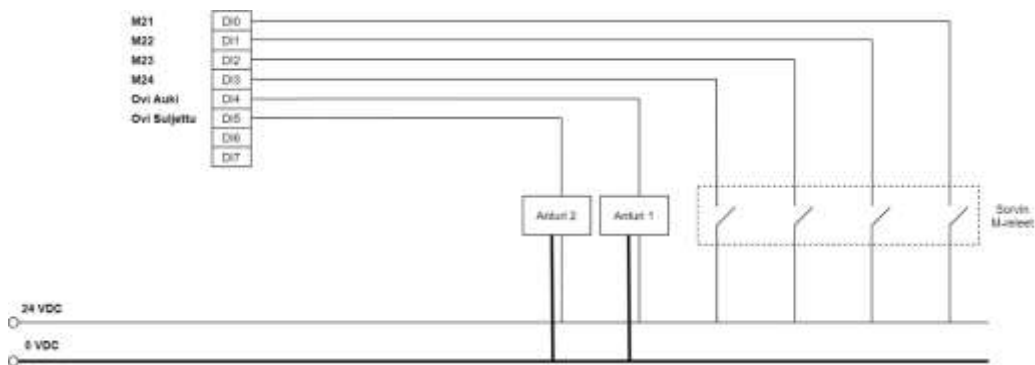
*KUVA 17. Cycle Start -rele kytkettynä*

Ohjaustaulun kytkentöjen ollessa valmiit, voidaan takalevy sulkea ja kytkeä johtimien toiset päät riviliittimeen sorvin ohjauskeskuksen sisälle. (Kuva 18.)



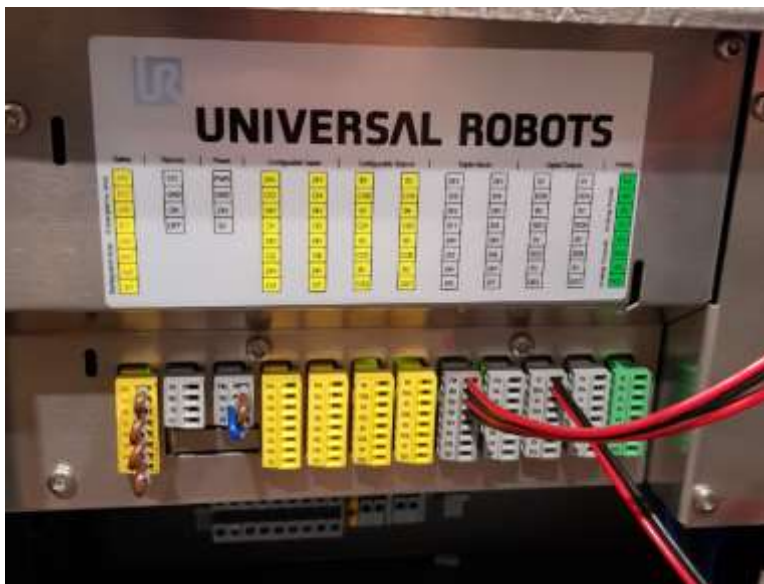
*KUVA 18. M-releet ja Cycle Start kytkettynä riviliittimiin*

Sorvin sisäisten kytkentöjen ollessa valmiit, vedetään johtimet sähkökaapista robotin ohjauskaapille. Johtimet kytketään robotin liitäntöihin kuvan 19 mukaisesti.



*KUVA 19. Kytkentäkaavio M-releille ja antureille*

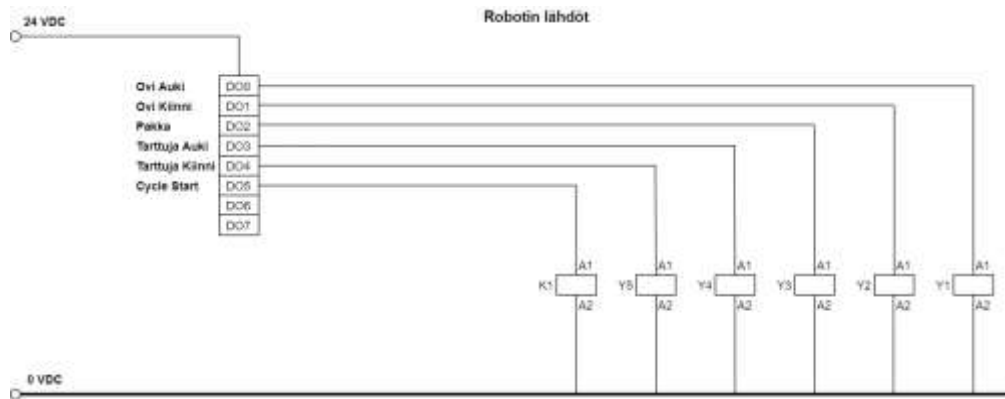
Kuvasta 20 nähdään, että robotin ohjauskaapissa on kahdeksan paikkaa digitaalisille tulosignaaleille (IN), sekä kahdeksan paikkaa digitaalisille lähtösignaaleille (OUT).



*KUVA 20. Robotin ohjauslaatikon riviliittimet*

Robotilta lähtevien signaalien johtimet kytketään kuvan 21 mukaisesti. Testauksessa robotin lähtösignaaleilla ohjataan vain pneumatiikkalaitteiden venttiileitä ja Cycle Start -painikkeen relettä.





*KUVA 21. Robotin ohjaamat venttiilit ja Cycle Start -rele*

Robotin testausta varten tarvittiin myös alusta, johon se kiinnitetään. Alusta tehtiin teräksestä hitsaamalla, jonka jälkeen laippojen päät koneistettiin suoriksi (kuva 22). Laippoihin tehtiin robotin paikoittamista varten kohdistusreiät, jotta robotti olisi aina samassa kohdassa, kun se asetetaan takaisin työpisteeseen. Robottia voidaan tarvita myös eri työstökoneilla, ja kun se on aina oikeassa kohdassa, ohjelmaa ei tarvitse muokata ennen työskentelyn aloittamista.



*KUVA 22. Robotin jalusta, laippa sorvattu suoraksi hitsaamisen jälkeen*

Jalustaan (kuva 23) kiinnitettiin levy, johon asennettiin pneumatiikka- ja vastusventtiilit toimilaitteita varten. Levyssä on myös jakotukki paineilmalle, jotta toimilaitteita voidaan lisätä tarvittaessa. Robotin siirto eri työpisteiden välillä selkeytyy,



kun kytkennät tehdään aina samalla tavalla kiinteisiin liittimiin. Kuvassa 23 nähdään myös työstökeskuksen avonainen turvaovi, johon robotin ohjaava sylinteri on kiinnitetty. Kuvan alaosassa punaisen polkimen päällä on pakkaa ohjaava sylinteri, ja työstökeskuksen sisällä aihio on kiinnitetty pakkaan.



*KUVA 23. Robotti jalustallaan, sylinterit ja pneumatiikkataulu*

## 6 TOIMINNAN TESTAUS

Sähkökytkentöjen ollessa valmiita aloitettiin kummankin koneen ohjelmien suunnittelu. Aluksi luotiin ohjelmapohja selkeyttämään koneiden välisten toimintojen vuorottelua (liite 1). Ohjelmat tulee rakentaa siten, että päällekkäisyyksiä tai vaaratilanteita ei pääse syntymään myöskään virhetilanteen sattuessa. Robotille ja sorville luodaan valmiit ohjelmapohjat, joihin lisätään tuotteiden vaihtuessa vain kappalekohtaiset muutokset. Muita muutoksia ei tarvita kuin robotille uuden geometrian opettaminen ja sorville työstöratojen ohjelmointi.

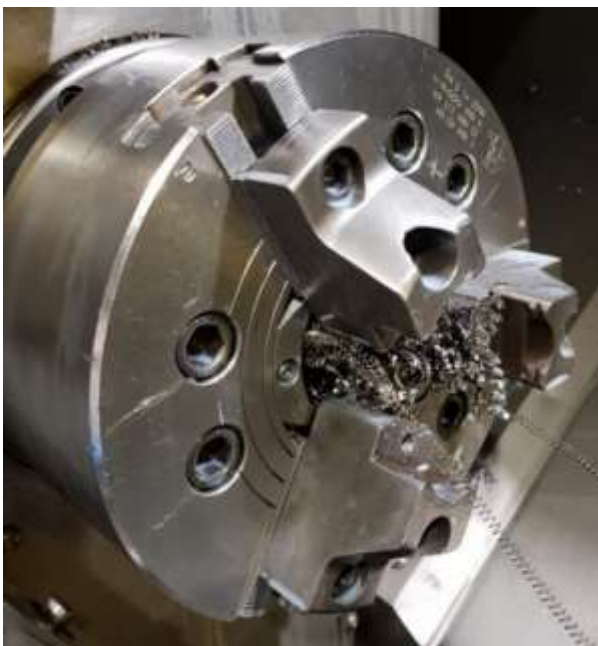
Robotin eri työvaiheet jaettiin omiksi lyhyiksi aliohjelmiksi. Pääohjelma rakennettiin kutsumalla aliohjelmiä oikeassa järjestyksessä. Tämä yksinkertaisti ohjelmoinnin kulkua, ja nopeutti osatoimintojen hienosäätöä. Tehdyt muutokset pystyttiin testaamaan pelkästään siltä osalta, mitä oli muutettu, eikä koko ohjelmaa tarvinnut ajaa läpi. Aliohjelmien käyttö helpottaa myös eri tehtävien ohjelmointia, sillä yleisimmät osatoiminnot löytyvät valmiiksi tallennettuina ohjelmakirjastosta.

Koneiden ohjelmien ollessa valmiita, pystyttiin suorittamaan kokeilu koneiden yhteistoiminnasta. Ennen kokeilun aloittamista molempien koneiden ohjelmat valittiin kirjastosta, ja liikeakselit ajettiin 0-pisteeseen. Ohjelma käynnistettiin painamalla Cycle Start -painiketta manuaalisesti sorvin ohjaustaulusta, mikä avasi sorvin pakan ja antoi robotille luvan toimia. Robotti asetti kappaleen sorvin pakkaan, ja sulki sen leuat. Robotti poistui omaan 0-pisteeseen ja antoi sorville luvan jatkaa ohjelmaansa. Sorvi työsti kappaleen valmiiksi ja palasi omaan 0-pisteeseen. Kun sorvi pysähtyy, robotti saa luvan aukaista oven ja noutaa valmiin kappaleen. Valmis kappale vietiin eri lavalle, minkä jälkeen robotti hakee uuden aihion. Näin työkierto alkoi alusta. Yksityiskohtainen toimintojen kuvaus löytyy liitteestä 1. Tärkeimpänä asiana pystyttiin toteamaan, että koneiden välinen kommunikointi toimi kuten oli suunniteltu. Sorvi sekä robotti suorittivat omat tehtävänsä vuorollaan, eikä päällekkäisyyksiä tai vaaratilanteita syntynyt.

Testauksen ja ohjelmoinnin aikana huomattiin, ettei pakkaan asetettu aihio jää aina kohtisuoraan pakkaan nähden. Tämä on välttämätöntä sorvaamisessa, sillä

työstöratoja ohjataan pakan keskipisteeseen mitoittaen. Vinossa pyörivä aihio aiheuttaa mittavirheen tai jopa työkalun rikkoutumisen. Jotta kappaleen paikoitus pakkaan helpottuisi, jouduttiin rakentamaan välilaskualusta aihiolle. Robotti poimii kappaleen lavalta, ja laskee sen viistolle alustalle. Alustan tehtävä on paikoittaa aihio aina samaan paikkaan painovoiman avulla. Tällä tavoin kappaleen asettuminen suoraan pakan sulkeutuessa helpottui huomattavasti. Paikoituksen edelleen parantamiseksi, sorvin revolveriin voitaisiin asentaa jousi, joka painaisi kappaleen täysin sorvin pakkaa vasten. Robotti estäisi kappaletta tippumasta ja sulki pakan kappaleen ollessa kunnolla paikoillaan.

Robotti ei itse pysty painamaan kappaletta pakkaa vasten, sillä se saattaa lukea kasvaneen voiman törmäykseksi aiheuttaen robotin ja ohjelmakierron pysähtymisen. Ongelmaan auttaisi päivitetty UR10e-robottimalli, jossa on uutena ominaisuutena voimantunnistus. Liikettä suoritettaessa robotille voidaan kertoa, minkälaista voimaa pystytään odottamaan liikkeen aikana. Robotti ei siis automaattisesti tulkitse voiman kasvua tahattomaksi törmäykseksi. Tällä ominaisuudella aihion keskittäminen pakkaan onnistuisi ilman erillisiä työkaluja tai muutoksia ohjelman rakenteeseen, mikä taas puolestaan vähentää riskejä. Ensimmäisen kappaleen ollessa valmiina huomattiin miten paljon pakan leukojen väliin jää lastua työstön päätteeksi. (Kuva 24.)



*KUVA 24. Pakkaan jäävät lastut*

Ongelman ratkaisemiseksi voitaisiin käyttää samaa jouta, joka painaisi kappaletta pakkaa vasten. Pakan takana on koneen läpi kulkeva karaputki, joka mahdollistaa pitkien aihoiden käyttämisen. Jousi työntäisi syntynyttä lastua avonaista putkea pitkin, pois pakan leukojen välistä. Jos tämä menetelmä ei riitä, voitaisiin sorvin työkalurevolveriin lisätä koukkumainen työkalu, jolla lastut voisi repäistä pois. Robotin tarttujaan asennettiin valmiiksi avoin pneumatiikkaletkun pää, jolla saadaan puhallettua pienet lastut pois. Testauksessa syntyneeseen määrään sillä ei ollut minkäänlaista vaikutusta.

Testauksen aikana tuotteita valmistettiin noin 20 kappaletta. Sorvin ohjelma oli luotu mahdollisimman tehokkaaksi ja nopeaksi, sillä ihminen on valvonut työtä jatkuvasti. Jos robottisolun valmistaisi valvomattomana, esimerkiksi 200 kappaleen sarjan, tulisi työstöarvoja muuttaa kevyemmiksi, jotta työkalujen kulumisen ja rikkoutumisen riski olisi minimoitu. Eniten rasittuvia työkaluja voitaisiin lisätä revolveriin useampi kappale. Käytettävää työkalua pystyttäisiin vaihtamaan, kun yhdellä terällä on ajettu tietty määrä työkiertoja. Kun sarja on ajettu loppuun, työkalut tarkastettaisiin sekä tarvittaessa vaihdettaisiin ihmisen toimesta. Työkalujen huono kunto saattaisi johtaa koko sarjan hylkäämiseen, mikä koituisi kalliiksi materiaalien ja ajan osalta.

Jos työkalu rikkoutuu, sorvi huomaa omien parametrien avulla liian suureksi kasvaneen voiman. Tällöin kone lopettaa työstön, ja tekee virheilmoituksen. Jos robottisolun rinnalle kytketään esimerkiksi Raspberry Pi -tietokone, voitaisiin koneen tilasta saada tietoja etänä. Esimerkiksi ilta- tai yöaikaan koneen toimiessa valvomattomana, voitaisiin tiettyjä vikatiloja kuitata etänä.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Sah-Ko Oy. Opinnäytetyö on osa Roboreel-hanketta, ja se suoritettiin yrityksen konepajan tiloissa. Opinnäytetyössä selvitettiin tarvittavat toimenpiteet, joilla CNC-sorvista ja robotista voidaan muodostaa automaattinen robottisolu.

Työn tuloksena saatiin onnistunut kokeilu, jossa robotti ja sorvi suorittivat työkierroja eri kappaleilla siten, ettei ihmisen tarvinnut niihin puuttua. Tämän mahdollistamiseksi koneiden välille luotiin yhteys I/O-signaalien avulla sekä asennettiin ulkopuolisia toimilaitteita. Koekäyttöjen aikana yrityksen henkilöstöä opastettiin robotin käyttämiseen ja ohjelmointiin.

Robottisolun käyttäminen tuotannossa antaa yritykselle mahdollisuuden vastata täysin uudentyyppisiin tarjouksiin. Aiempaa pitempiä sarjoja voidaan tuottaa kustannustehokkaasti ja nopeasti, vaikkei vaadittavaa työvoimakapasiteettiä olisi saatavilla. Yritys pääsi kokemaan, miten robottiväkeinen automaatio toimisi sen tuotannossa. Ennen opinnäytetyön suorittamista osalla henkilökuntaa oli ollut käsitys, että robottien käyttäminen olisi hyvin hankalaa. Ennakkoluulot muuttuivat työn aikana, kun robotin kanssa työskentelyä seurattiin käytännön tilanteessa. Opinnäytetyön perusteella yrityksessä aloitettiin kehitysprojekti, jonka tavoitteena on rakentaa työn kaltaisia robottisoluja myös muille koneistusosaston koneille.

Robottisolu ei korvaa työntekijöitä. Sen avulla operaattori pystyy keskittymään haastavampiin tehtäviin kappaleen vaihtamisen sijaan. Robottisolu mahdollistaa myös tuotannon jatkumisen normaalin työajan jälkeen. Jokainen valmistettava kappale ei sovi valvomattomaan ajoon. Esimerkiksi haastava materiaali tai rikkoutumisherkkiä työkaluja vaativat muodot on parempi suorittaa ihmisen läsnä ollessa. Helposti työstettävät materiaalit, yksinkertaiset muodot ja nopea työstöaika toimivat parhaiten automatisoituna.

Tiedonhaku aiheesta osoittautui hankalaksi. Vaikka vastaavia sovelluksia on käytössä paljon, ei niistä juuri löytynyt tietoa internetistä. Luulen tämän aiheutuvan siitä, että koneiden integroiminen on hyvin tapauskohtaista eikä ammattisalaisuuksia haluta paljastaa kilpailijoille.

## LÄHTEET

1. Kone 6AIKA Robotiikasta resilienssiä ja elinvoimaa (ROBOREEL). 2020. Oamk. Saatavissa: [https://www.oamk.fi/hankkeet/kotimaiset\\_kaynnissa/?hanke\\_id=1920](https://www.oamk.fi/hankkeet/kotimaiset_kaynnissa/?hanke_id=1920). Hakupäivä 23.5.2020.
2. IRB 8700. ABB. 2020. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-8700>. Hakupäivä 29.3.2019.
3. Demystifying Collaborative Industrial Robots. 2018. IFR. Saatavissa: [https://ifr.org/downloads/papers/IFR\\_Demystifying\\_Collaborative\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf). Hakupäivä 20.3.2019.
4. YuMi® - IRB 14000 | Collaborative Robot. 2020. ABB. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14000-yumi>. Hakupäivä 29.3.2019.
5. PF300/400 Sample Handlers. Precise Automation. Saatavissa: <http://precise-automation.com/SampleHandler.html>. Hakupäivä 29.3.2019.
6. LBR iiwa. 2020. KUKA. Saatavissa: <https://www.kuka.com/en-se/products/robotics-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>. Hakupäivä 1.4.2019.
7. Technical specifications UR10. 2014. Universal Robots. Saatavissa: [https://www.universal-robots.com/media/50880/ur10\\_bz.pdf](https://www.universal-robots.com/media/50880/ur10_bz.pdf). Hakupäivä 1.4.2019.
8. Linear drive DGC. Festo. Saatavissa: [https://www.festo.com/cat/fi\\_fi/products\\_DGC?CurrentIDCode1=DGC-25-800-GF-PPV-A&CurrentPartNo=532447](https://www.festo.com/cat/fi_fi/products_DGC?CurrentIDCode1=DGC-25-800-GF-PPV-A&CurrentPartNo=532447). Hakupäivä 2.4.2019.

9. CAD for compact cylinder AEVULQ-16-20-A-P-A #157076. Festo. Saatavissa: [https://www.festo.com/eap/en-gb\\_gb/DKI3CAD2/start.do?language=en-gb&country=gb&PartNo=157076](https://www.festo.com/eap/en-gb_gb/DKI3CAD2/start.do?language=en-gb&country=gb&PartNo=157076). Hakupäivä 2.4.2019.
10. Robotiq Wrist Camera. Wired Workers. Saatavissa: <https://wiredworkers.io/product/robotiq-wrist-camera/>. Hakupäivä 2.4.2019.
11. Robotiq 2F-140. Wired Workers. Saatavissa: <https://wiredworkers.io/product/robotiq-2f-140/>. Hakupäivä 2.4.2019.
12. Parallel gripper HGPL. Festo. Saatavissa: [https://www.festo.com/cat/fi\\_fi/products\\_HGPL?CurrentIDCode1=HGPL-25-20-A-B&CurrentPartNo=3361483](https://www.festo.com/cat/fi_fi/products_HGPL?CurrentIDCode1=HGPL-25-20-A-B&CurrentPartNo=3361483). Hakupäivä 2.4.2019.
13. Why cobots? 2020. Robotiq. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/products/collaborative-robots-cobots-benefits/>. Hakupäivä 28.5.2020.
14. Universal Robots UR5, UR10. 2020. Alibaba. Saatavissa: [https://www.alibaba.com/product-detail/Universal-Robots-UR5-UR10\\_166904228.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Universal-Robots-UR5-UR10_166904228.html). Hakupäivä 1.6.2020.
15. Maltais, David 2017. How to Connect Universal Robots to CNC Machines. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/my-intervention-experience-or-lack-of-it/>. Hakupäivä 3.6.2020.
16. Salmi, Timo – Väättäinen, Otso – Malm, Timo – Marstio, Ilari 2014. Ihmisen ja robotin yhteistyö – haasteita ja mahdollisuuksia. Saatavissa: <https://docplayer.fi/19640030-Ihmisen-ja-robotin-yhteistyö-haasteita-ja-mahdollisuuksia.html>. Hakupäivä 3.6.2020.

CNC: Valmisteleva G-koodi

CNC: Työkalut 0-pisteeseen

CNC: Istukka auki

CNC: Robotin kutsu (M51 Lastaus)

UR: Aukaisee keskuksen turvaoven ja odottaa että se on täysin auki

UR: Poimii aihion ja asettaa sen istukalle

UR: Sulkee istukan

UR: Palaaminen 0-pisteeseen

UR: Turvaovi kiinni

UR: Cycle-start

CNC: Kutsun nollaus (M61 Lastaus)

CNC: Ensimmäinen työkierto

CNC: Ensimmäinen työkierto valmis, robotin kutsu (M52 Kääntö)

UR: Aukaisee keskuksen turvaoven ja odottaa että se on täysin auki

UR: Ottaa kiinni kappaleesta

UR: Aukaisee istukan

UR: Kääntää kappaleen ja asettaa sen takaisin istukkaan

UR: Istukka kiinni

UR: Palaaminen 0-pisteeseen

UR: Turvaovi kiinni

UR: Cycle-start

CNC: Kutsun nollaus (M62 Kääntö)

CNC: Toinen työkierto

CNC: Toinen työkierto valmis, työkalut 0-pisteeseen ja robotin kutsu (M53 Poisto ja lastaus)

UR: Aukaisee keskuksen turvaoven ja odottaa että se on täysin auki

UR: Ottaa kiinni valmiista kappaleesta

UR: Aukaisee istukan

UR: Poistaa valmiin kappaleen keskuksesta

UR: Asettaa kappaleen lavalle

UR: Hakee uuden aihion ja asettaa sen istukalle