

Teemu Kotila

PIKARIEN PAKKAAMINEN YHTEISTOIMINTAROBOTILLA

PIKARIEN PAKKAAMINEN YHTEISTOIMINTAROBOTILLA

Teemu Kotila
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Teemu Kotila
Opinnäytetyön nimi: Pikarien pakkaaminen yhteistoimintarobotilla
Työn ohjaaja: Kai Jokinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2019
Sivumäärä: 30 + 1 liite

Työssä suunniteltiin tuotekehityksenä uusi kollaboratiivinen robottisolun. Työ käsittelee robottisolun suunnittelua, valmistusta ja ohjelmointityötä. Opinnäytetyön tavoitteena oli vähentää työntekijöiden pakkaamistyötä ja korvata se yhteistoimintarobotin tekemällä työllä.

Pakkausprosessista tehtiin alkukartoitus yrityksen toimitiloissa. Alkukartoituksessa nähtiin käytännössä toiminta, jonka robottisolun tulisi tekemään. Robottisolun tehtiin kahtena erillisenä opinnäytetyönä, joista toinen on pikaripakkaussolun layout-suunnittelu.

Suunnittelutyökaluina käytettiin Automation Studio-, AutoCAD- ja SolidWorks-ohjelmistoja. Aluksi suunniteltiin robotin tarttuja ja pikarien lajittelulaite ja tämän jälkeen pahvilaatikkolinjaston toiminta. Robottisolun valmistus toteutettiin Oulun ammattikorkeakoulun tiloissa.

Työn tuloksena syntyi robottisolun, joka pystyi pakkaamaan pikareita hihnakuuljetimelta pahvilaatikkoon. Tuotantotilan testaaminen jouduttiin rajaamaan pois opinnäytetyöstä sen laajuuden vuoksi. Testaaminen tehdään TEHOJA-hankkeen henkilöstön toimesta. TEHOJA on Oulun ammattikorkeakoulussa oleva hanke, jossa yrityksille tarjotaan robotiikan avulla luotuja tuotantoratkaisuja.

Asiasanat: robotiikka, joustava automaatio, tuotesuunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Machine engineering, Machine automation

Author: Teemu Kotila

Title of thesis: Plastic Goblet Packaging with Collaborative Robot

Supervisor: Kai Jokinen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2019

Pages: 30+1 appendices

The topic of the thesis is planning, manufacturing and programming a new collaborative robotic cell. The aim of the thesis was to reduce monotonous packaging work of employees and replace it by working with a collaborative robot. The project started with an initial survey of the problem areas of the process in the company's premises. It was possible to see how the robot would work in practice. The cell was planned in two separate theses, and one of them was the layout design of a packaging robotic cell.

The design tools used were Automation Studio, AutoCAD and SolidWorks software. First the sorting and grasping devices were planned, and after that the cardboard line operation. The practical part of the thesis was carried out at a laboratory of Oulu University of Applied Sciences.

As a result of the work, a robotic cell was made which was able to pack plastic goblets from a conveyor belt into a cardboard box. The production space testing had to be cut off from this work because of the width of the thesis. The testing was carried out by employees of the TEHOJA project. It is a project implemented by Oulu University of Applied Sciences, where companies are offered robotic production solutions.

Keywords: robotics, flexible automation, product design

ALKULAUSE

Tässä opinnäytetyössä päästiin suunnittelemaan ja toteuttamaan robottisolu käytännössä. Työssä karttui yhteistoimintarobotiikan tietous ja käyttö. Opinnäytetyö oli kokonaisuutena mielenkiintoinen prosessi. Työn aihe saatiin TEHOJA-hankkeesta ja se tehtiin kahtena opinnäytetyönä Maustaja Oy:lle.

Kiitokset projektin toiselle opinnäytetyöntekijälle Tomi Impiölle yhteistyöstä laitteen suunnittelussa ja toteutuksessa. Lisäksi haluan kiittää Maustaja Oy:n tuotannonkehityspäällikkö Kari Mäkeä mielenkiintoisesta aiheesta, opinnäytetyön ohjaajaa yliopettaja Kai Jokista sekä ammattikorkeakoulun projekti-insinöörejä, Juho Liljamoja ja Lassi Kaivosojaa.

Oulussa 17.12.2018

Teemu Kotila

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Maustaja Oy	8
1.2 TEHOJA-hanke	8
2 TUOTEKEHITYSPROSESSI	9
3 TEOLLISUUSROBOTTI	10
3.1 Robottijärjestelmä ja tarttujan valinta	10
3.2 Robottijärjestelmän turvalaitteet	11
3.3 Kiertyväniveliset robotit	11
3.4 Kinematiikka	12
3.5 Koordinaatistot	12
3.6 Yhteistoimintarobotit	13
4 PNEUMATIIKAN KÄYTTÖKOHTEET	15
5 ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU	16
5.1 Alkukartoitus	16
5.2 Alustavat laitteistotestaukset	16
5.3 Esisuunnittelu	16
5.4 Yksityiskohtainen suunnittelu ja anturointi	19
6 ROBOTTISOLUN VALMISTUS LABORATORIOSSA	21
6.1 Ohjelmointi ja I/O-kytkennät	22
6.2 Testaus	23
7 ROBOTTISOLUN TURVALLISUUS JA KEHITYSKOHTEET	26
8 POHDINTA	27
LÄHTEET	29
LIITTEET	
Liite 1 Lohkokaavio solusta ja robotin toiminnoista	

SANASTO

5S	Lean-toimintamalli
I/O	Input ja Output
proof of concept	soveltuvuus selvitys
referenssipiste	tunnettu vertailupiste
Stack	pinoamiskomento
Thread	aliohjelmakomento
Waypoint	liikekomento

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on suunnitella ja tehdä proof of concept -tyyppinen ratkaisu laitteistosta, jossa kollaboratiivinen robotti poimii pikareita kuljetinhihnalta ja asettelee ne pahvilaatikoihin. Laitteisto valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) konelaboratoriossa.

Opinnäytetyön rajauksena on robottisolun toiminta ja yhteistyörobotin ohjelmointi. Tavoitteena on saada toimiva prototyyppi, jossa laitteiston operaattorin tehtäväksi jää aihoiden asettelu koneeseen ja laadun valvonta. Lisäksi tavoitteena on tehostaa tuotantoprosessia ja tehdä siitä joustava muillekin tuotteille. Pikareita on mahdollista nostaa useampia kuin yksi kappale kerralla yhdellä työkierrolla. Opinnäytetyö kuuluu TEHOJA-hankkeeseen. Työstä valmistui toinen opinnäytetyö Pikaripakkaussolun layout-suunnittelu Tomi Impiön tekemänä (Impiö 2018, 6).

1.1 Maustaja Oy

Syksyllä 1972 Pyhännän kunnassa perustettiin yritys Pyhännän Einestuote Oy. Ensimmäinen tuote oli paahdettu sipuli, kunnes vuonna 1974 ketsuppi teki läpimurron. Muutamassa vuodessa yrityksestä tuli Suomen johtava ketsupin valmistaja. Vuosien kuluessa se lisäsi tuotevalikoimaan sinapit, hillot ja sokerikuorutut. Myöhemmin mukaan tulivat myös salaattinkastikkeet, majoneesit ja urheilujuomat. Maustaja on merkittävä pohjoismainen elintarvikkeiden sopimusvalmistaja. Yritys työllistää nykyisin 80 työntekijää. (Maustajan tarina. 2018.)

1.2 TEHOJA-hanke

TEHOJA-hanke on Pohjois-Pohjanmaan elinkeinoelämän yrityksille ja toimijoille tarkoitettu mahdollisuus hyödyntää joustavan robotiikan sovellutuksia tuotannossaan. Hankkeen tavoitteet ovat tutkimus-, koulutus- ja kehitysyhteistyötoiminnassa sekä alueen yritysten yhteistyön kehittämisessä. (TEHOJA-hanke. 2016.)

2 TUOTEKEHITYSPROSESSI

Opinnäytetyö tehtiin tuotekehitysmenetelmänä. Tässä tuotekehitysprosessissa valmiina oli tuoteidea, jonka pohjalta opinnäytetyö toteutettiin. Työ tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa olevalla Universal Robots -yhteistyörobotilla.

Jokinen kertoo kirjassaan (1998, 9.) tuotekehityksen olevan tavoitteellista toimintaa, jossa kehitetään uusi tai parannettu tuote, ja esittää siihen kuuluvat prosessivaiheet. Monivaiheisessa prosessissa käsitellään aluksi tuoteidea, kehitysnäkymät, markkinoiden soveltuvuus ja hankkeen käynnistämiseen tarvittavat tiedot. Tämän jälkeen tuotekehitysprosessissa voidaan edetä todellisen tuotteen luonnosteluun, yksityiskohtaiseen suunnitteluun, optimointiin, työpiirustusten tekemiseen, käyttöohjeiden laadintaan ja tuotantomenetelmien kehittämiseen. Asetetut tavoitteet pyritään täyttämään niin teknisesti ja taloudellisesti kuin se on mahdollista ja tarkoituksenmukaista. (Jokinen 1998, 9.)

Jokisen (1998, 9) esittämä monivaiheinen tuotekehitysprosessi kuvaa tuotekehityksen vaiheita yrityksen näkökulmasta. Opinnäytetyö alkaa tuotteen luonnostelu -tuotekehitysvaiheesta monivaiheisessa prosessissa. Yleisessä suunnittelussa hyödynnetään esisuunnitteluvaihetta, jossa vertaillaan ja käydään läpi eri toteutusratkaisuja. Näistä valitaan paras toteutusvaihtoehto ja edetään yksityiskohtaiseen suunnitteluun, laitteistotestaukseen ja optimointiin. Opinnäytetyössä ei tehty käyttöohjeiden laadintaa laitteistolle.

3 TEOLLISUUSROBOTTI

Teollisuusrobotti on yleiskäyttöinen tietokoneohjattu mekaaninen laite, joka toiminnallaan mahdollistaa työkappaleiden ja työvälineiden käsittelyn. Robotti toimii helposti muokattavan ohjelman mukaan, joten sitä voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin. Robotin liikkeet mahdollistavat sähköiset, pneumaattiset ja hydrauliset toimilaitteet. (Teollisuusrobotti. 2012.)

3.1 Robottijärjestelmä ja tarttujan valinta

Tuotantoteknistä esisuunnitteluvaihetta voidaan hyödyntää yleisessä suunnittelussa. Käytettävän tekniikan valintaperusteina voisi pitää tuotteiden ominaisuudet kuten koko ja muoto, haluttu kapasiteetti, tulevaisuudessa olevat optiot, soveltuvuus tuotantoon ja investointi hinta. (Kuivanen 1999, 114.)

Robottijärjestelmän valinnassa on otettava huomioon huollon ja varaosien tärkeys. Tiivistettynä Kuivanen kertoo robotin valinnassa huomioitavia asioita (Kuivanen 1999, 115):

- todellinen käsittelykyky ja ulottuvuus
- liitettävyys oheislaitteisiin
- erikoisominaisuudet ohjauksessa
- liikenopeuksien riittävyys
- soveltuvuus suunniteltuun tehtävään.

Kuivanen kertoo oheislaitteiden kuten tarraimen ja tartunnan suunnittelusta: "Robotin tartunta tuotteeseen on yksi järjestelmän kriittisimmistä osista." Tartuntatavat on jaettavissa karkeasti kahteen ratkaisuun: alipaineimuun ja mekaaniseen tartuntaan. Tarttujan valinnassa alipaineimu sallii suuret tuotteiden kokovaihtelut. Huomioitavia asioita ovat tuotteen tasainen pinta ja imukuppien siirto, joka voidaan esimerkiksi erikseen suunnitella. (Kuivanen 1999, 115 - 116.)

Mekaanisessa tarttujassa on havainnoitava tartuntatapa, tartuntakohta ja säädettävyys. Ongelmana Kuivanen pitää tarttujan kasvavaa monimutkaisuutta. Yksinkertaisia prototyyppi tartuntakokeita voi tehdä käsin ilman robottia. Tartun-

ta materiaali, korkeus ja muoto on otettava huomioon tarttujan valinnassa. (Kuivanen 1999, 116.)

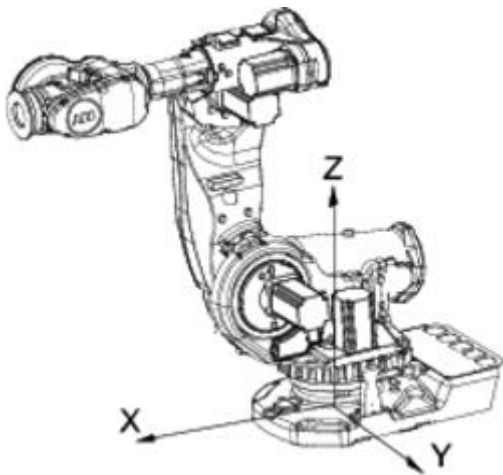
3.2 Robottijärjestelmän turvalaitteet

Standardit määrittelevät turvalaitteiden kytkennät ja niihin hyväksyttävät komponentit. Tarpeen vaatiessa hätäpysäytys on tehtävä oheislaitteille, jos se on turvallisuuden kannalta oleellista. Robottijärjestelmässä kaikki hätäpysäytystoiminnot pitää kytkeä samaan hätäpysäytyspiiriin ja piiri on lisättävä, jos sitä muutoin ei ole. (Kuivanen 1999, 54.)

3.3 Kiertyväniveliset robotit

Kiertyväniveliset robotit eli teollisuusrobotit ovat niitä, joissa tukivarret on kytketty peräkkäin nivelillä toisiinsa kiinni. Näin saadaan ulottuvia ja vaikeisiinkin paikkoihin taittuvia robotteja. (Robotiikka yleinen 2016, 14.)

Robotin osat voidaan jakaa alhaalta rungosta laskettuna kuuteen osaan: tukirunko, karuselli, linkki, tasapainottaja, käsi ja ranne (Slickerieder 2016). (Kuva 1.)



KUVA 1. Teollisuusrobotti ja koordinaatisto tukirungossa. (What is a coordinate system? 2016)

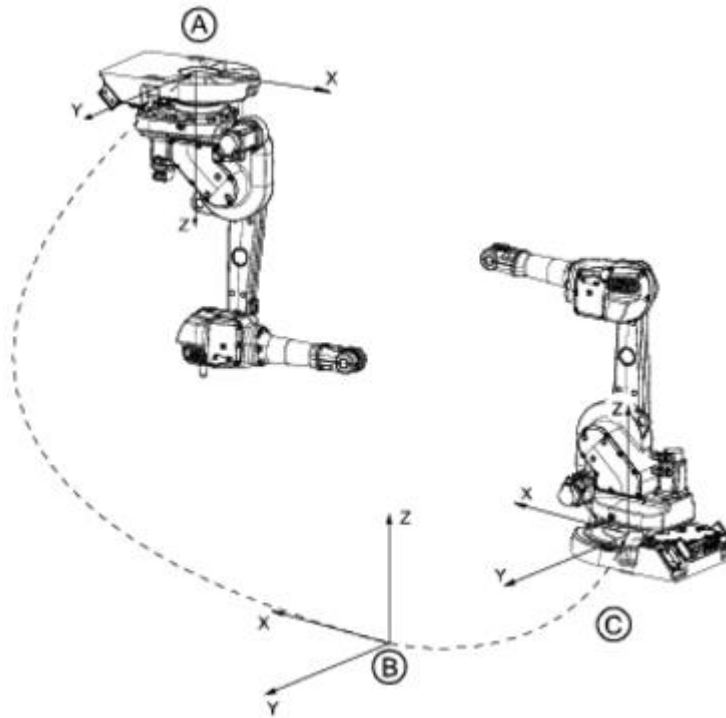
3.4 Kinematiikka

Nivelrobotin tukivarsista kaksi liikkuu toistensa suhteen työkalu koordinaatistossa jonkin tietyn yleensä ennalta määritetyn suoran mukaisesti tai suoran ympäri. Tätä akselia voidaan kutsua robotin niveleksi. Robotti muuttaa näiden nivelien avulla tukivarsien keskinäisiä asentoa ja asemaa. Niveleitä kutsutaan robotin vapausasteeksi (DOF, degree of freedom), joka on robotin perusliikkeitä. Nykyaikaisissa yhteistyöroboteissa on yleensä kuusi tai neljä vapausastetta. Käsivarsi-robotteja voidaan kutsua serial linked -tyyppiseksi, jossa tukivarret kytketään edellisen perään. (Robotiikka yleinen 2016, 28.)

3.5 Koordinaatistot

Teollisuusrobottiin on ohjelmoitu useita koordinaatistoja, joita se voi ajaa yhtä aikaa. Robotin koordinaatisto systeemit on määritelty ja kuvailtu robotiikan ISO 9787:2013 -standardissa (ISO 9787(en). 2013). Koordinaatistoista ja niiden mahdollistavasta toiminnasta on eritelty seuraavassa luettelossa (Slickenrieder 2016):

- Globaalikoordinaatisto on kiinteä koordinaatisto, jota käytetään robotti systeemeissä, esimerkiksi robotin kelkan määrittämisessä tai kattorakenteisiin kiinnityksessä (kuva 2).



KUVA 2. Globaalikoordinaatisto (B) ja kaksi eri robottia systeemissä. (What is a coordinate system? 2016)

- Robotinkoordinaatisto on robotin rakenteen koordinaatisto, joka on sidottu robotin jalustaan, yleensä globaalikoordinaatiston referenssi.
- Työkappaleen koordinaatisto on yleensä globaalikoordinaatiston referenssi.
- Työkalukoordinaatisto mahdollistaa lineaarista liikettä työkalun kärjen mukaan esim. hitsaus. Jokaiselle työkalulle määritetään oma koordinaatisto, esimerkiksi työkalun rikkoutuessa seuraa koordinaatiston uusi määrittäminen.
- Tc (Tool center point) on työkalun oma referenssipiste. Työkalukoordinaatistoon siirretään tiedot tcp:sta.

3.6 Yhteistoimintarobotit

Yhteistoimintarobotit ovat robotteja, jotka voivat toimia ihmisten läheisyydessä ilman turva-aitoja. Niissä on törmäyksen tunnistus ja liikkeen voiman määritys. Robottiin voi kytkeä ihmisen liikkeen tunnistavan kameran, jolla robotin nopeutta voidaan laskea, kun ihminen on robotin lähellä. Lisäksi robotin ohjelmaan voi määrittää virtuaalisia raja-aitoja robotin liikkeen pysäyttämiseksi.

Yhteistoimintarobottien käyttöä on suunniteltu pienemmille tuotantomäärille, sillä pitää ihmisen työpanoksen ja liikkeen tuotantolinjastolla. Tiivistettynä yhteistoimintarobotilla voidaan pitää seuraavia etuja (Robotiikka yleinen. 2016, 18):

- Ohjelmointi ei vaadi ammattilaista, sillä tcp-pisteen määrittäminen alussa riittää pitkälle.
- Robottien vaatima tila normaalia pienempi.
- Turva-aidat eivät ole välttämättömät.
- Poistaa tylsät työvaiheet.
- On uudelleen sijoitettavissa eri työtehtäviin.
- Osaamista löytyy Suomesta.

4 PNEUMATIIKAN KÄYTTÖKOHTEET

Fonselius, Korhonen, Saarineva ja Pekkola kertovat paineilman olevan on helpokäyttöinen väliaine, koska paineilma on vaaratonta, siistiä ja varastoitavissa. Paineilmaa käytetään pääasiassa toimilaitteissa energian lähteenä, kuten sylindereissä ja moottoreissa. (Fonselius – Korhonen – Saarineva – Pekkola 1993, 3.)

Koneautomaattoratkaisuissa pneumatiikka muun muassa soveltuu, kun käsiteltävä kappale on kevyt ja vaatimuksena on nopeat liikkeet. Pneumatiikka soveltuu myös, kun vaatimuksena on hygieeninen järjestelmä, kuten elintarviketeollisuudessa. Tiivistettynä pneumatiikan käyttökohteina voidaan pitää (Fonselius ym. 1993, 3 - 5)

- toimilaitteet
- paineilmajärjestelmät
- mittausjärjestelmät
- servojärjestelmät
- Low-Cost-sovellutukset.

5 ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU

Suunnittelusta pidettiin aloituspalaveri Pyhännällä Maustaja Oy:ssa, jossa laadittiin lähtötietomuistio ja tavoitteet tulevasta laitteistosta. Tuotantotiloissa vierailtiin katsomassa purituslaitteistoa, sen toimintaa ja toiminta-aluetta. Robottisolun toimintaa ja siihen liittyvää laitteistoa alettiin visioimaan ja luonnostelemaan.

5.1 Alkukartoitus

Alkutilanteessa puritus- ja pakkausprosessissa työskentelee kaksi työntekijää. Pikarit tulevat purituksesta liukuhihnaa pitkin ja laskeutuvat keräilijälautaselle. Työvaiheessa pyörivältä keräilijälautaselta pikareita kerätään käsin ja asetellaan ne pahvilaatikkoon. Tämän työn yhteistyörobotti tulisi tekemään. Robotin tekemästä työstä rajattiin ulos pahvilaatikon muodostus, sen sisään muovipussin asetus ja täyden pahvilaatikon siirto kuljetuslavalle.

Tuotantolaitteiston prosessitoiminta valokuvattiin ja videoitiin suunnittelutyötä varten. Pikareita tulee hihnakuljettimelta kaksi kappaletta kerralla ja tahtiaika on 60 pkt/min. Lisäksi laite ei saa aiheuttaa terveysriskiä, sen pitää olla helposti puhdistettavissa ja noudattaa elintarviketeollisuuden määräyksiä ja standardeja (Laittehygieniä elintarviketeollisuudessa. 2002, 11).

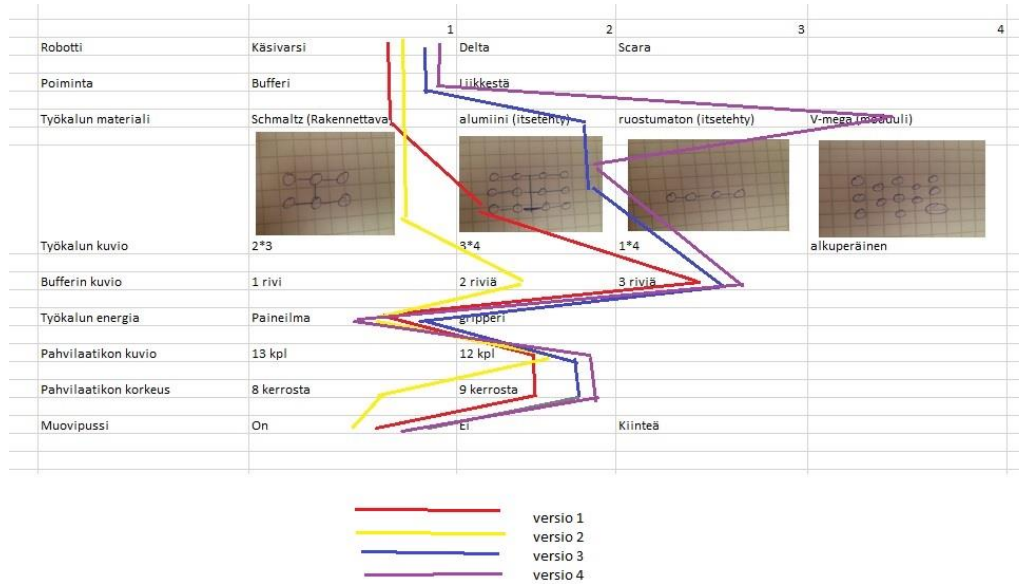
5.2 Alustavat laitteistotestaukset

Ensimmäiset alustavat testaukset robotilla tehtiin ennen varsinaisen laitteiston rakentamista. Testauksessa saatiin selville robotilla mahdollistettavan yhden pakkaamisliikkeen ajaksi 9 sekuntia. Testaus suoritettiin tartunnalla ja pinoamisella lyhyillä välimatkoilla. Laskemalla selvitettiin, että pikareita pitää nostaa vähintään 7 kpl kerralla, jotta tavoiteltu tahtiaika toteutuu.

5.3 Esisuunnittelu

Esisuunnittelu työkaluina käytettiin paperille luonnostelua ja morfologista kaaviota eri vaihtoehtojen vertailusta. Morfologisessa kaaviossa vertailtiin neljästä toteutusvaihtoehdosta (kuva 3). Samalla etsittiin teknistä tietoa toimilaitteista

laitetoimittajien tuotekuvastoista. Laskentoja tehtiin muun muassa putkiston tyhjenemisajasta ja alipaineen tuotosta. Laitteistossa käytettäväksi robotiksi valittiin Universal Robots UR 10, robotin käsivarren tarvittavan ulottuvuuden vuoksi. Pienemmässä UR 5 -mallissa vaadittava ulottuvuus ei olisi riittänyt.



KUVA 3. Morfologinen kaavio esisuunnittelussa

Esisuunnittelussa vertailtiin kompaktiejektoria, tarttujassa olevaa kiinteää ejektoria ja älyllistä laitetta. Kompaktiejektorin tehon todettiin jäävän alle vaaditusta, eikä vastaavaa tai teholtaan suurempaa kompaktiejektoria voida hyödyntää laitteistossa. Suorakaiteen muotoinen älyllisen laitteen alipaineentuotto olisi ollut paras näistä kolmesta vaihtoehdosta, mutta pakattavaan laatikkoon ja kuljetuslavaan olisi pitänyt tehdä suuria rakenteellisia muutoksia. Tässä olisi myös tullut huomattavaa häviötä pikareitten lukumäärässä kuljetuslavaa kohden.

Alustavien testitulosten ja pahvilaatikon mittojen perusteella alettiin toteuttaa ratkaisua, jossa pikarien lukumäärä on 12 pikaria ja suorakaiteen muotoinen 4x3-lajittelukuvio pahvilaatikossa ja tarttujassa. Toteutusvaihtoehtona 12 kappaleen tarttujalle on alumiiniprofiilista tehty H-muotoinen runko, johon kiinnittäisiin paineilmaletkut ja imukupit tartuntaan. Tässä toteutusvaihtoehdossa olisi pitänyt suunnitella ja valmistaa kaksi eri tarttujaa kummallekin tuotteelle. Tähän ratkaisuun ei päädytty, koska tarttujassa saattaisi olla teräviä reunoja ja ylimääräistä painoa. Vaihtoehtoja vertailtaessa päädyttiin vaihtoehto 1 ratkai-

suun, jossa tarttuja on rakennettavissa ja muokattavissa erillisillä pyöreillä rakennuspalikoilla 4x3-kuvioon, johon saa kiinnitettyä kiinteään ejektorin (kuva 4). Tämä oli kustannustehokkain ja turvallisin ratkaisu toteuttaa.

	Ratkaisuvaihtoehdot	Tehävän asetusta vastaava	Toteutuskelpoisuus hyvä	Täyttää kiinteät vaatimukset	Kustannukset sallituissa rajoissa	Täyttää turvallisuus vaatimukset	Helppo käyttää	Huomautukset	Päätökset
	A	B	C	D	E	F			
VE1	+	+	+	+	+	+		Tilattava rakennemuoduli	+
VE2	+	+	(-)	+	+	+		Tahtiaika tuottaa ongelmia, tilattava rakennemuoduli, yksinkertainen/helppo toteuttaa	-
VE3	+	+	(-)	+	(?)	+		Sopii vain yhdelle tuotteelle	-
VE4	+	(-)	+	(-)	+	+		Tarvitsi ostaa 200x300 alipainesysteemi 3*4 kuviolle, toimii 2*4 kuviolla koulun laitteella, kallis, paras modulaarisuus eri tuotteille	?

KUVA 4. Vaihtoehtoverailu

Vaihtoehtoverailun tietojen perusteella suunniteltiin pikarien lajittelualue eli puskurialue. Suunnittelussa päädyttiin painovoimaiseen pikarien puskurointiin suunnittelemalla hihnakuuljettimen päähän noin 30 asteen kulmaan oleva lajittelualusta. Pikarien lajittelutekniikkana oli kaksi ratkaisua, joista ensimmäinen oli DC-moottoriin kiinnitetty tanko, jossa on harjakset pikarien liikutteluun sivuttain, kun pikarit tulevat liukuhihnalta lajittelualustaan. Tähän ei päädytty, koska lajiteltaessa pikarit saattaisivat tarrautua harjaksiin kiinni ja näin asettua väärään kuvioon 45 asteen lajittelukäännöksellä.

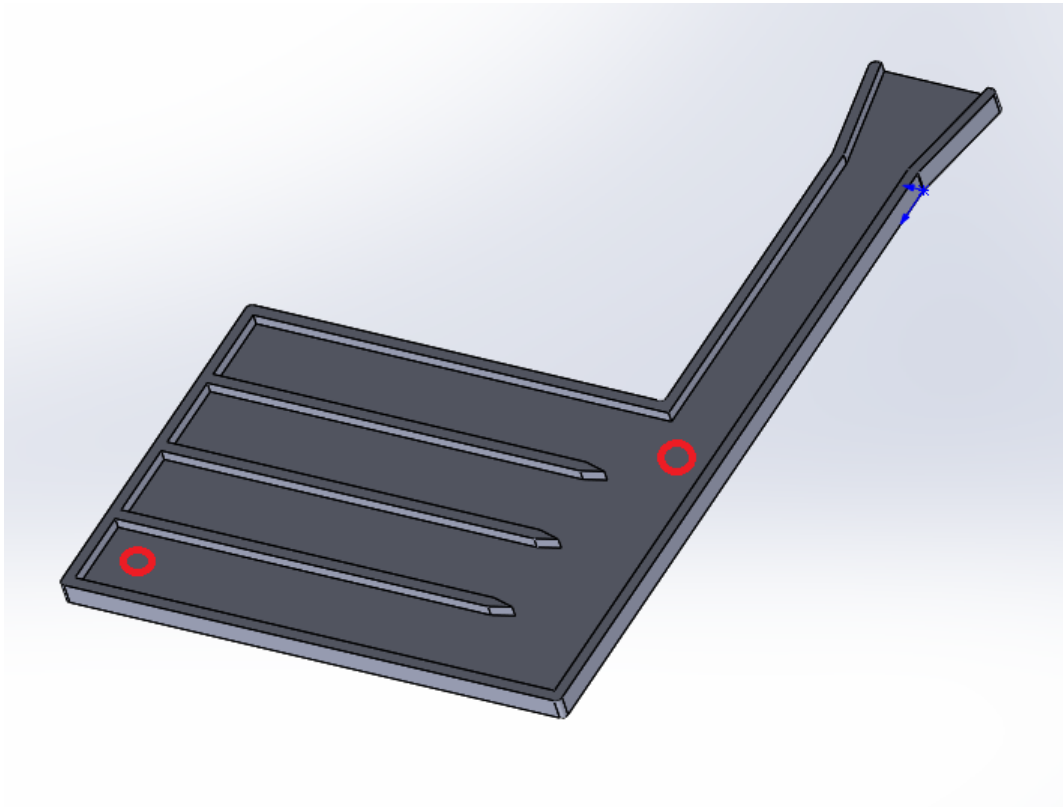
Päädyttiin toiseen ratkaisuun, jossa liukusylinterin päässä oleva tanko lajittelee pikarit puskurialueella. Tankoon kiinnitettäisiin kuminen levy, joka osuu pikareihin ja siirtää ne eteenpäin. Tämä oli yksikertaisin ja toimintavarmin ratkaisu toteuttaa pikarien lajittelu. Lisäksi se olisi tekniikkana helppo toteuttaa eri tuotteiden lajittelussa.

Ehdolla oli myös laitteisto, jossa pikarit poimittaisiin suoraan hihnakuuljettimelta pahvilaatikkoon ja yhteistyörobotti varustettaisiin konenäöllä. Tässä ratkaisussa ei olisi tarvinnut lajittelualustaa. Laskelmien perusteella tällä tekniikalla ei olisi päästy vaadittavaan tahtiaikaan. Lisäksi tarttujassa olisi pitänyt olla tyhjiä ali-

paineimukuppien sulkevaa tekniikkaa ja laitteiston toimivuus olisi ollut epävarmaa.

5.4 Yksityiskohtainen suunnittelu ja anturointi

Toimilaitteista ja antureista etsittiin yksityiskohtaista tietoa internetistä. Solidworksillä suunniteltiin ja testattiin pikarien lajittelulaitteiston toimintaa. Suunniteltiin puskurialueeseen tulevien anturien paikkaa, jotka tunnistaisivat pikarit (kuva 5). Kulmassa vasemmalla alhaalla oleva anturi 5 antaisi tiedon, kun kaikki 12 pikaria on lajiteltu ja robotti voi nostaa pikarit alustalta. Oikealla oleva anturi antaa tiedon lajittelua hoitavalle sylinterille puskurissa odottavan neljä pikaria.



KUVA 5. Puskurialue ja suunnitellut anturinpaikat

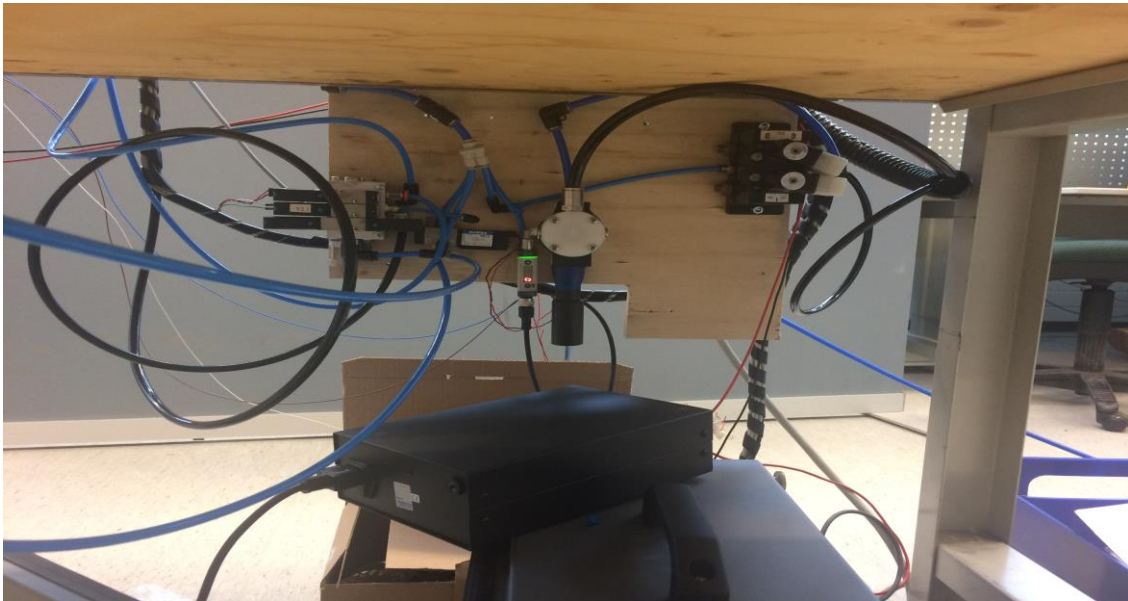
Lisäksi tehtiin lohkokaavio robotin toiminnalle, jota hyödynnettiin robotin ohjelmoinnissa (liite 1). Laitteiston paineilmakaavio suunniteltiin ja piirrettiin paperille käsin ja lopulliset piirustukset kaaviosta tehtiin Automation studio -suunnitteluohjelmalla. Laitteiston paineilmakaavioon tehtiin valmistustyövaiheessa muutoksia ja siihen tuli lisää komponentteja, kuten pahvilaatikon syöt-

töön tulevat suuttimet. Robottisoluun tehtävät sähköautomaatio I/O-kytkennät tehtäisiin Oamkin laboratoriohenkilökunnan toimesta.

6 ROBOTTISOLUN VALMISTUS LABORATORIOSSA

Robottisolun runkorakenne rakennettiin alumiiniprofiilista ja kiinnitettiin pulttiliitoksella kiinni pöytään. Runkorakenteisiin kiinnitettiin rullakuljettimet pahvilaatikolinjastolle. Linjastoon asennettiin erityiset kuljetinkiskot lastausalueeseen, joissa pahvilaatikko pystyy liukumaan eteenpäin ja sivuttain. 3D-mallinnettu pikareiden lajittelualusta leikattiin pellistä ja vanerista vesileikkurilla oikean malliseksi.

Robottiin asennettiin paineilmaletkut puhallukselle ja alipaineelle, jonka suunta-venttiilit ovat vanerisessa paineilmataulussa (kuva 6). Pahvilaatikon paikoitukseen oleva sylinteri kiinnitettiin runkopöytään 3 mm:n pulteilla ja sylinterin päähän tulostettiin 3D-tulostimella lukitsin osa. Paikoituksen anturit kytkettiin riviliittimillä robotin I/O-tauluun. Pahvilaatikkojen syöttöön käytettiin paineilma puhallussuuttimia pahvilaatikkojen liukumisen vahvistamiseksi.



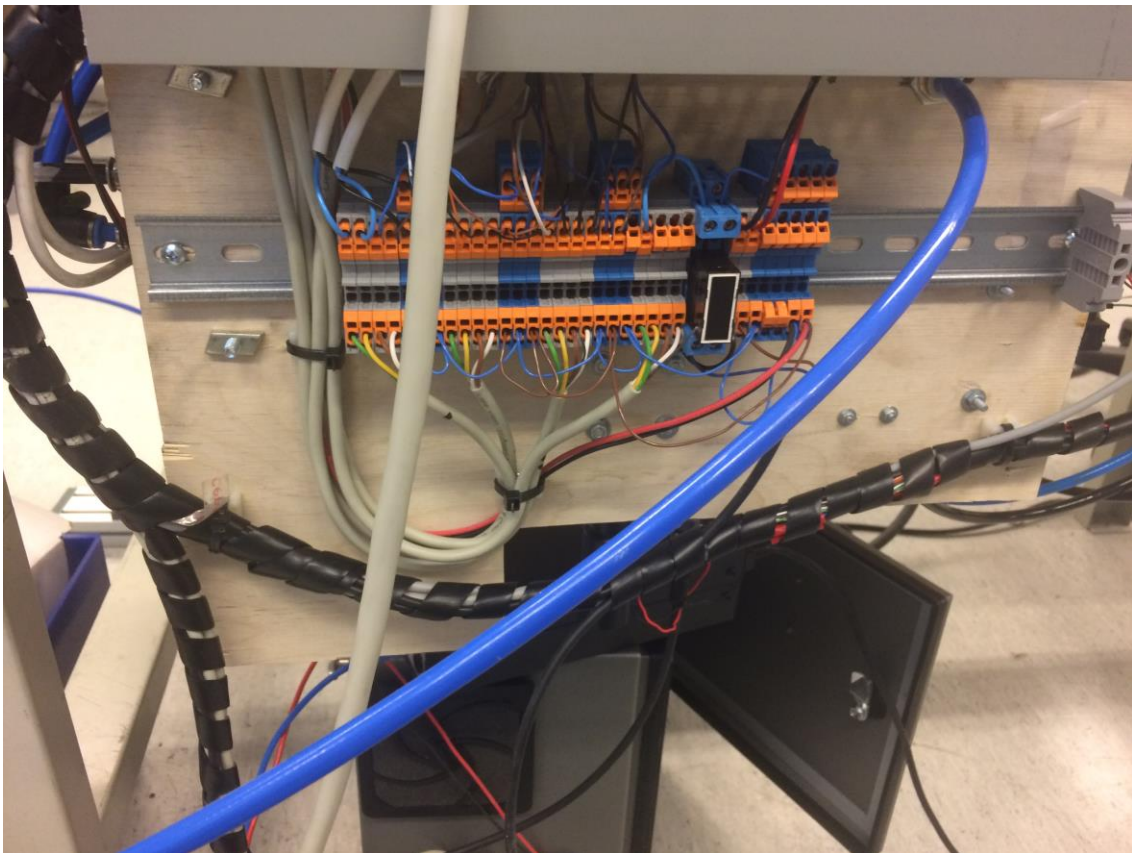
KUVA 6. Paineilmataulu

Puskurialueen liukusylinteriin vaihdettiin paineilma liittimet ja 8 mm:n paineilmaletkut nopeamman liikkeen aikaansaamiseksi. Liukusylinterin pätyyn kiinnitettiin pysäytin pulttiliitoksella, jonka avulla saatiin oikean mittainen työliike. Lisäksi

robotisoluun asennettiin DC-toiminen hihnakuljetin, josta pikarit tulevat ja liukuvat puskurialueelle.

6.1 Ohjelmointi ja I/O-kytkennät

Oamkin konetekniikan henkilökunnan kanssa robotin I/O-taulusta kytkettiin I/O-liitännät toimilaitteille ja antureille riviliittimin. Riviliittimet kiinnitettiin DIN-kiskoon, joka kiinnitettiin vanerilevyyn (kuva 7). Robotti ohjelmointiin teachpadillä, jossa huomioitiin toimilaitteiden omat aliohjelmat. Aliohjelmien ohjauksessa käytettiin kolmea thread-komentoa.



KUVA 7. Sähkökytkennät DIN-kiskossa

Thread-komennoissa toimivat toimilaitteet olivat puskurialueella pikareita lajitteleva liukusylinteri, pahvilaatikon paikoitusylinteri ja pahvilaatikon puhallussuuttimet. Liukusylinterin kelkan paikkaa tunnistettiin sylinteriin suunnitelluilla antureilla 1 ja 0. Tällöin sylinterin liikkeen ohjelmoiminen onnistui helpommin, kun ohjelma sai tunnistuksen kelkan paikasta.

Robotin ollessa aloituspisteessä ohjelmarungossa robotti odottaa pikarien lajittelua. Anturi 5 tunnistaa puskurialueen kulmassa olevan pikarin ja sai tiedon lajittelualustan olevan täynnä. Robotti poimii pikarit alustalta ja vie ne pahvilaatikkoon. Varmistuksena tämän työliikkeen aloituksessa on tyhjä pahvilaatikko lastausalustalla, joka varmistettiin anturilla 2. Robotti tekee liikkeet waypointeilla ja osa on pyöristettyjä liikkeitä sulavan liikkeen aikaansaamiseksi. Stack-komennossa määritettiin pakkaamissuora, pohjapiste ja lopetuspiste. Ohjelmointiin stack-komentoon kahdeksan kerrosta, lyhyt paineilmapuhallus pikarien asettelussa pahvilaatikkoon.

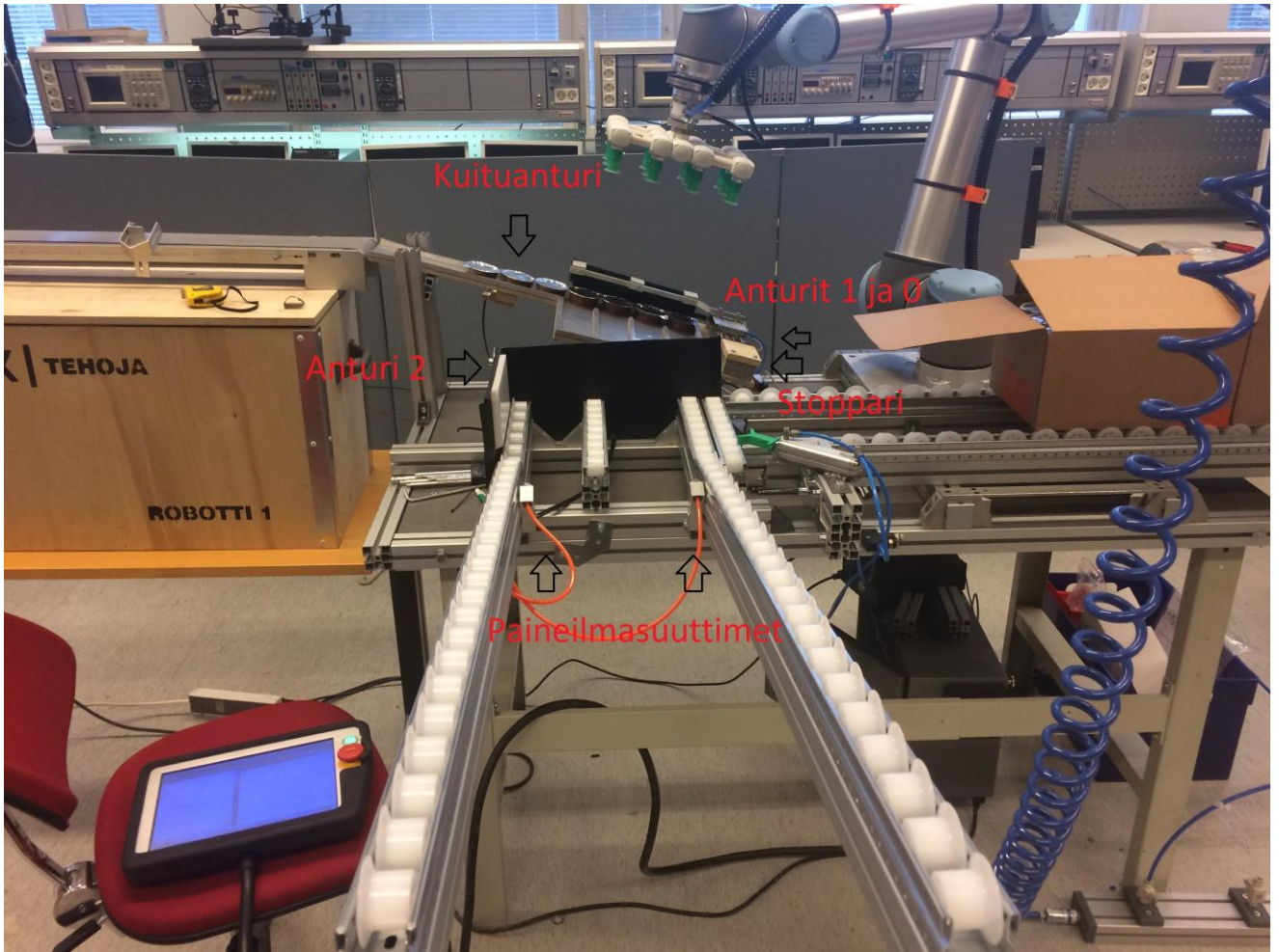
Kun robotti on pinonnut kahdeksan kerrosta pikareita pahvilaatikkoon se siirtää waypoint-liikkeellä täyden pahvilaatikon sivulle pahvilaatikkolinjastolla ja palaa ohjelmarungossa alkuun. Uusi tyhjä pahvilaatikko siirtyy paineilma avusteisesti lastausalueelle ja paikoittuu siihen paineilmasylinterillä. Täysi pahvilaatikko jää operaattorin nostettavaksi linjastolta kuljetuslavalle.

Alipaine-ejektorissa on alipaineentunnistus, joka tunnistaa alipaineen. Huonossa tartunnassa tai alipainevuodoissa robotti pysäyttää liikkeen. Alipaine tunnistuksen raja-arvot asetettiin ohje arvoihin, mutta sitä jouduttiin hieman säätämään oikean toiminnan varmistamiseksi.

6.2 Testaus

Varsinaisissa laitteistotesteissä saatiin aluksi lupaavia tuloksia ja päästiin 60 pikarilla 120kpl/min tahtiaikaan, kunnes lajittelusylinteri teki virheellisen liikkeen. Lajittelusylinterin valoanturi ei toiminut odotetulla tavalla, koska sylinterissä oleva kahva häiritsi liikkeellään anturia. Valoanturi siirrettiin metallisen putken päähän puskurialustan reunaan.

Lisättiin myös laskuri robotin ohjelmaan. Liukusylinteri sai käskyn liikkeeseen, kun laskuri laski neljään hihnakuljettimelta lajittelualustaan liukuvista pikareista. Tälläkään tekniikalla ei saatu pikarien lajittelulaitteistoa toimimaan oikein valoanturin väärän toimintaetäisyyden takia. Laitteistoon vaihdettiin kuituanturi tunnistamaan pikareita (kuva 8).



KUVA 8. Lajittelulaitteisto ja kuituanturin paikka

Pikarien tunnistusongelma oli myös kuituanturilla toimivassa tekniikassa. Laskuri laski oikein, mutta pikareita ei saatu tunnistettua oikein suuren liikenopeuden takia. Näin lajittelua hoitava liukusylinteri teki virheellisen liikkeen ja laskuri oli neljässä pikarissa, vaikka todellisesti laskurin oli ohittanut eri lukumäärä pikareita.

Lisättiin toinen kuituanturi, joka oli toiminnaltaan NPN-tekniikkaa. Anturin toiminta muutettiin transistorilla PNP-toiminnaksi. Pikarien laskuriohjelmaa muutettiin toimimaan kahdella kuituanturilla siten, että toinen antureista laski pikarien välejä ja toinen pikareita. Ongelmana tässä tekniikassa oli pikarien ponnahtaminen takaisin päin ja sekoitti pikarien välejä laskevan kuituanturin. Tämä ongelma voisi ratketa mekaanisella anturilla. Kahdella kuituanturilla päästiin 55kpl/min tahtiin 96 kpl pikareita (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Testaustulokset

Pikarirobo Testaus					
	n (kpl)	t (s)	tahtiaika kpl/s		kpl/min
	60	30	2,000		120,000
	46	36	1,278		76,667
	102	105	0,971		58,286
	96	110	0,873		52,364
	96	105	0,914		54,857
				ka	72

7 ROBOTTISOLUN TURVALLISUUS JA KEHITYSKOhteet

Riskinä laitteistossa on käden litistyminen toiminnassa olevien sylintereiden kanssa. Sylinterit ovat tehokkaita ja liikkuvat korkealla nopeudella. Lajittelualustan päälle asennettava muovinen läpinäkyvä suojakupu huoltoluukulla poistaa suurimman vaaran laitteistosta. Huoltoluukku on tarpeellinen mahdollisiin pikarien syöttöhäiriöihin. Laitteisto tarvitsee erillisen hätäseispainikkeen koko laitteiston pysäytykselle oheislaitteineen. Lisäksi laitteistoon pitää liittää prosessia kuvaavat liikennevalot, joita ei ehditty asentamaan laboratoriotyöskentelyn aikana.

Yhteistyörobotissa on voimantunnistus ja törmäyksen tunnistus, joka pysäyttää robotin liikkeen osuessa ihmiseen. Turhaa kosketusta ja pysäytystä robotilla tulee välttää. Robotin työliike alkaa, kun pikarit ovat lajiteltu puskurialueella ja pahvilaatikko on paikoitettu pakkaamista varten. Robotin liike pysähtyy, jos alipaine häviää putkistoista, esimerkiksi huonosta tartunnasta pikareihin. Tärkeää on pitää laitteisto puhtaana pölystä ja liasta. Tuotantotesteissä laitteisto kytetään purkituslaitteiston kanssa samaan toimintapiiriin.

8 POHDINTA

Työssä suunniteltiin ja valmistettiin proof of concept -prototyypinen robottisolu. Aloituspalaverissa vaatimuslistaan kirjatut kohdat täyttyivät, mutta tuotantoon soveltuvaan toimintavarmuuteen ei päästy. Laitteistoa käyttävälle operaattorille jäisi myös pahvilaatikkojen käsittely muiden tehtävien lisäksi. Toiminnaltaan robottisolu tehostaisi tuotantoprosessia. Se olisi vaihdettavissa muille pakattaville tuotteille vaadittavilla muokkauksilla puskurialueeseen ja tarttujaan. Ammatti- korkeakoulun TEHOJA-hankeen työntekijät jatkoivat laitteiston työstämistä tuotantoon soveltuvaksi.

Laitteistotesteissä alipaineen muodostuminen pikarien pohjaan vaikeutti pikarien kiinnitystä tarttujaan. Tämä korjattiin myöhemmin poraamalla lajittelualustaan reiät pikarien kohdille. Pikarien tunnistaminen nopeassa vauhdissa oli haasteellista. Kuituanturit saivat paremman tunnistuksen pikarien kansista kuin muoviosasta. Mekaanista anturia voisi hyödyntää laitteistossa, kunhan anturin saa aseteltua oikein. Lajittelualustan reunat tukisivat pikareita, eikä niitä pääse putoilemaan reunojen yli. Puskurialueen päälle asennettava suojakuppu huolto- luokkuinen parantaisi laitteen turvallisuutta.

Esisuunnitteluvaiheessa hylättiin ratkaisu, jossa olisi DC-moottoriin pikarien yläpuolelle olisi kytketty harjaksilla oleva tanko, joka pyörien lajittelisi pikarit. Tätä olisi voinut pitää turvallisempana ratkaisuna, koska harjakset eivät aiheuta suurta vaaraa ihmiselle. Pitää kuitenkin huomata ratkaisun olevan toiminnallisesti haasteellinen.

Robottisolun runkoa voisi pitää samana, jos pakattaisiin muita tuotteita. Se vaatisi kuitenkin tuotekohtaisen lajittelualustan, robottiohjelman ja tarttujan. Nämä olisi helppo asentaa ja vaihtaa eri tuotteeseen sopivaksi. Tuotekohtainen lajittelualusta ja tarttuja pitäisi olla suunniteltuna ja valmistettuna käyttöä varten. Lajittelutoimintaa suorittava tekniikka toimisi hyvin myös muillakin tuotteilla. Robotin ohjelma olisi helppo versioda muille tuotteille sopivaksi.

Työssä edettiin tuotekehityspäätösten mukaisesti. Laitteistosuunnittelu pohjautui vaatimuslistaan ja tuotespesifikaatioon. Etapeina pidettiin alkupalaveria,

esisuunnittelua, yksityiskohtaista suunnittelua, laboratoriotyöskentelyä ja loppukatselmointia. Katselmoinnit tehtiin opinnäytetyön tilaajan edustajan ja Oamkin konetekniikan henkilöstön kanssa. Laboratoriotyövaiheessa 5S-toimintamalli helpotti työskentelyä.

LÄHTEET

Fonselius, Jaakko – Korhonen, Juhani – Pekkola, Kari – Saarineva, Jarmo 1993. Koneautomaatio, Pneumatiikka. 6., uusittu painos. Helsinki: Painatuskeskus.

Impiö, Tomi 2018. Pikaripakkaussolun Layout-suunnittelu. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/149676> Hakupäivä: 26.11.2018.

ISO 9787:2013(en). 2013. Robots and robotic devices. ISO 2013. Saatavissa: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9787:en> (ostettava). Hakupäivä: 18.10.2018.

Jokinen, Tapani 1998. Tuotekehitys: 500. Kolmas muuttumaton painos. Espoo: Otatieto.

Kuivanen, Risto 1999. Robotiikka. Helsinki: Talentum Oyj / Metallitekniikka.

Laittehygieniä elintarviketeollisuudessa. 2002. VTT. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2002/P480.pdf> Hakupäivä 16.11.2018.

Maustajan tarina. 2018. Pyhäntä: Maustaja Oy. Saatavissa: <https://www.maustaja.fi/maustajan-tarina/> Hakupäivä 20.11.2018.

Robotiikka Yleinen. 2016. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu. Automaatio tekniikan luentoja. Saatavissa: http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf Hakupäivä 18.5.2018.

Slickenrieder, Klaus 2016. Assembly, Manipulation, Industrial Robotics 4 ects. Opintojakson luennot syksyllä 2016. Ulm: Hochschule Ulm, Luonnontieteiden ja tekniikan yksikkö.

TEHOJA-hanke. 2016 Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: http://www.oamk.fi/hankkeet/kotimaiset_kaynnissa/?hanke_id=1661 Hakupäivä 26.11.2018.

Teollisuusrobotti. 2012. Wikipedia. Saatavissa:
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti> Hakupäivä 26.11.2018.

What is a coordinate system? 2016. ABB. Saatavissa:
<http://developercenter.robotstudio.com/BlobProxy/manuals/IRC5FlexPendantOpManual/doc210.html> Hakupäivä: 7.1.2019.

