

Jenni Alatalo

LEI POMON PAKKAUSLINJAN KEHITTÄMINEN JA SIMULOINTI

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

2019

LEIPOMON PAKKAUSLINJAN KEHITTÄMINEN JA SIMULOINTI

Alatalo, Jenni
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2019
Sivumäärä: 40
Liitteitä: 0

Asiasanat: automaatio, pakkaus koneet, yhteistyörobotit, leipomoteollisuus, simulointi

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka kääretortun leikkaaminen ja pakkaaminen annosrasioihin voidaan automatisoida leipomoyrityksessä. Opinnäytetyössä etsittiin tuotantomäärät huomioiden sopivimmat laitteet, selvitettiin investoinnin kustannusarvio ja tehtiin simulointi automatisointisuunnitelman mukaisesti. Investoinnin taloudellisia vaikutuksia ja kannattavuutta ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. Opinnäytetyö tehtiin Tmi Pekan Parhaat, Pekka Leinoselle ja työ suoritettiin osana projekteja, joissa olivat mukana Prizztech Oy ja Samk.

Teoriaosuudessa käsiteltiin erilaisia tuotannon automatisointiin käytettäviä laitteita. Näistä käytiin läpi vain kyseiseen toimintaympäristöön soveltuvia laitteita, joten esimerkiksi robottien osalta tarkastelu painottui yhteistyörobotteihin teollisuusrobottien sijaan.

Automatisointisuunnitelmassa vertailtiin erilaisia vaihtoehtoja, joilla leikkaus- ja pakkausprosessin vaiheet voitaisiin automatisoida. Laitteiden hintoja ja lisätietoja kysyttiin laitetoimittajilta ja laskettiin niiden perusteella investoinnin kustannusarvio. Tuloksena syntyi kolme ratkaisuvaihtoehtoa, joiden automatisoinnin aste ja budjetti ovat erilaiset. Kustannustehokkaimmaksi automatisointisuunnitelmaksi valikoitui ratkaisu, jossa käytetään yhteistyörobotteja kääretorttujen leikkaamiseen ja rasiaan pakkaamiseen.

DEVELOPMENT AND SIMULATION OF THE PACKAGING LINE IN A BAKERY

Alatalo, Jenni

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

April 2019

Number of pages: 40

Appendices: 0

Keywords: automation, packaging machines, collaborative robots, bakery industry, simulation

The purpose of this thesis was to find out how cutting and packaging of swiss roll slices can be automated in a bakery enterprise. The most appropriate devices were found based on the production volume, the costs were estimated, and a simulation was made according to the most cost-effective automation plan. Economical effects and cost-effectiveness of the investment were not dealt with in this thesis. The thesis was made for Tmi Pekan Parhaat, Pekka Leinonen and it was made as part of projects with Prizztech Ltd and Satakunta University of Applied Sciences.

Various devices used in automation of production were dealt with in the theory part of the thesis. It covers only appropriate devices considering the operational environment. For example, only collaborative robots instead of industrial robots were considered in this thesis.

Various possibilities were compared in the automation plan in order to find out how cutting and packaging processes can be automated. Prices and further information of the devices were asked from the equipment suppliers and cost estimate of the investment was made based on them. As a result of this thesis there are three automation options that have different levels of automation and budget. As the most cost-effective automation plan was selected a solution in which a collaborative robot is used for cutting and packaging of swiss roll slices.

SISÄLLYS

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 5 |
| 2 | PEKAN PARHAAT..... | 6 |
| 2.1 | Yritysesittely..... | 6 |
| 2.2 | Nykyinen tuotantoprosessi ja kehittämistarpeet..... | 6 |
| 3 | TUOTANNON AUTOMATISOINTI..... | 9 |
| 3.1 | Automaatio..... | 9 |
| 3.2 | Pakkauslinja..... | 10 |
| 3.3 | Anturit..... | 11 |
| 3.4 | Yhteistyörobotit..... | 13 |
| 3.5 | Tarttujat..... | 14 |
| 4 | AUTOMATISOINTISUUNNITELMA..... | 16 |
| 4.1 | Kääretortun leikkaaminen..... | 16 |
| 4.2 | Tuotteen siirtäminen rasiaan..... | 18 |
| 4.3 | Rasioiden pakkaaminen muovikääreeseen..... | 23 |
| 4.4 | Valmiiden tuotteiden käsittely..... | 25 |
| 4.5 | Kuljetinjärjestelmä..... | 27 |
| 4.6 | Ratkaisuvaihtoehdot..... | 28 |
| 5 | INVESTOINNIN KUSTANNUKSET..... | 29 |
| 6 | SIMULOINTI..... | 32 |
| 6.1 | Komponentit..... | 32 |
| 6.2 | Ohjelman tekeminen..... | 33 |
| 6.3 | Havainnot..... | 35 |
| 7 | YHTEENVETO..... | 37 |
| | LÄHTEET..... | 38 |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka kääretortun leikkaaminen ja pakkaaminen voidaan automatisoida leipomoyrityksessä. Opinnäytetyössä etsittiin tuotantomäärät huomioiden sopivimmat laitteet, arvioitiin investoinnin hankintahinta ja tehtiin lopuksi simulointi automatisointisuunnitelman mukaisesti. Tavoitteena on, että automatisointi mahdollistaisi tehokkaamman ajankäytön, säästöjen saavuttamisen pakkaamisen nopeutumisen vuoksi sekä tuotantomäärän kasvattamisen.

Laitteiden valinnassa huomiota kiinnitettiin laitteiden hinnan lisäksi myös sopivuuteen leipomoympäristöön, jolloin hygienia on erityisen tärkeää. Laitteiden vaatima tila on myös merkittävä tekijä, jotta työskentely on miellyttävää ja turvallista. Laitteiden valinnassa on suuri etu, mikäli niitä voidaan käyttää tarvittaessa muidenkin tuotteiden valmistusprosessissa. Näin investoinnista saadaan suurempi hyöty.

Opinnäytetyö toteutettiin osana 5VTA – Viisi vaikuttavaa teknologia-askelta elintarvikealan pk-yrityksissä -hanketta. Hankkeessa ovat mukana Satakunnan ammattikorkeakoulu, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Satakuntaliitto ja Etelä-Pohjanmaan liitto. Hankkeen pyrkimyksenä on tunnistaa, evaluoida ja mallintaa toimintatapoja, joiden avulla pienet ja keskisuuret elintarviketeollisuuden yritykset pystyvät kustannustehokkuuttaan parantamalla lisäämään kilpailukykyään. Hanke toteutetaan Satakunnassa ja Etelä-Pohjanmaalla ja saa rahoitusta rakennerahastolta. Opinnäytetyöprojektissa olivat mukana Prizztech Oy ja Samk.

2 PEKAN PARHAAT

2.1 Yritysesittely

Tmi Pekan Parhaat, Pekka Leinonen on tammikuussa 1993 perustettu leipomoalan yritys Ulvilassa. Yrityksellä on kymmenkunta työntekijää, joista kuusi on leipureita. Leipomotuotteita valmistetaan Friitala-talossa, entisissä Friitalan nahkatehtaan tiloissa, jossa toimii myös kahvilamyymälä. Myöhemmin leipomon toiminta on laajentunut ja Porin Aittaluotoon on avattu vuonna 2009 gluteenittomia tuotteita valmistava toimipiste, jonka yhteydessä toimii leipomomyymälä. Myös Raumalla toimii pullapuoti ja kahvila. (Tmi Pekan Parhaat, Pekka Leinosen www-sivut 2018.)

Pekan Parhaiden tuotteet tunnetaan erityisen laadukkaina ja maukkaina, sillä yritys panostaa hyviin raaka-aineisiin. Leivonnassa käytetään muun muassa kermaa, voita ja punaista maitoa. Kannattavuutta ja tehokkuutta edistettäessä raaka-aineista ei haluta jatkossakaan tinkiä. (Iltanen henkilökohtainen tiedonanto 27.9.2018.)

2.2 Nykyinen tuotantoprosessi ja kehittämistarpeet

Kääretorttuja pakataan neljään erikokoiseen pakkaukseen: isoimpaan muovipakkaukseen pakataan kokonainen kääretorttu puolikkaiksi leikattuna, pienempään muovipakkaukseen pakataan puolikas kääretorttu ja kaksi muuta pakkauskokoa ovat kartonkirasioissa myytäviä yksittäispakattuja kääretorttuannoksia. Leipomokahvilassa myydään lisäksi pakkaamattomia kääretorttuannoksia. (Iltanen henkilökohtainen tiedonanto 27.9.2018.)

Kääretorttuja valmistetaan tarpeen mukaan pitkän säilyvyysajan antaessa joustovaraa valmistukselle. Tuote säilyy vähintään kuukauden ja tästä ajasta 70 prosenttia on myyntiaikaa asiakkaalla. Tuotteita myydään omien leipomokahviloiden lisäksi kauppoissa ja valmistetaan tilauksesta suuriakin määriä muille asiakkaille. (Iltanen henkilökohtainen tiedonanto 27.9.2018.)

Valmistukseen osallistuva henkilömäärä riippuu tilauksen suuruudesta. Kahden työntekijän osallistuessa valmistukseen kääretorttujen valmistus on mahdollisuus valmistaa 150 päivässä. Yksittäispakattuja 75 gramman kääretorttuannoksia voidaan valmistaa 84 kappaletta tunnissa. (Iltanen henkilökohtainen tiedonanto 27.9.2018.)

Kääretortun valmistus tapahtuu Friitalan tuotantotiloissa seuraavien vaiheiden mukaisesti:

- 1) taikinan valmistus
- 2) taikinan levitys pellille
- 3) paistaminen (8 minuuttia)
- 4) pelliltä poistaminen ja jäähtytys (noin tunti)
- 5) kreemin levitys
- 6) rullaus
- 7) säilytys kylmässä yön yli (6° C)
- 8) päiden tasaus ja kääretortun puolitus

Osa tuotteista pakataan tässä vaiheessa muovipakkauksiin, joihin mahtuu yksi tai kaksi kääretortun puolikasta. Yksittäispakattujen kääretorttupalojen valmistuksessa on vielä seuraavat vaiheet:

- 9) puolikkaiden leikkaaminen neljään osaan niin, että yhden palan painoksi tulee joko 75 tai 55 grammaa tilauksen mukaisesti
 - 10) kääretorttupalasen siirtäminen kartonkirasiaan
 - 11) rasian siirtäminen muovikääreeseen
 - 12) muovikäären sulkeminen pöytäsaumaajalla
 - 13) pakkauksen siirtäminen pahvilaatikkoon (8 annosrasiaa/pahvilaatikko)
- (Iltanen henkilökohtainen tiedonanto 27.9.2018.)

Pienemmän kääretorttupalasen korkeus on 40 mm ja halkaisija 50 mm. Suuremman annospalan korkeus on myös 40 mm, mutta halkaisija 70 mm. Suuremmat kääretorttupalaset pakataan kartonkirasioihin, joiden mitat ovat 70x70x40 mm. Rasiat toimitetaan käyttövalmiina pinossa leipomolle. Ne ovat helposti poimittavissa eivätkä tartu kiinni toisiinsa. (Iltanen sähköposti 15.11.2018; Iltanen sähköposti 7.1.2019.)

Kääretorttujen paistoaika on vain kahdeksan minuuttia ja uuneja on yhdeksän, joten uunikapasiteettia on riittävästi suurellekin valmistettavalle määrälle. Kääretorttujen annetaan jäähtyä noin tunnin, jotta kreemi ei sula päällystettäessä. Kreemin levitys ja kääretortun rullaus vievät vain muutamia sekunteja. Rullauksen jälkeen kääretortut siirretään kylmään yöksi, koska leikkaaminen onnistuu paremmin kylmänä. (Iltanen henkilökohtainen tiedonanto 27.9.2018.)

Aikaa vievin työvaihe on prosessin loppupäässä yksittäispakattavien tuotteiden leikkaaminen ja pakkaaminen, jotka soveltuisivat hyvin automatisoitaviksi ilman, että tuotteen laatu kärsii. Tällä hetkellä pakkaamisen hitaus on suurin este tuotantomäärän kasvattamiselle. Kääretorttuannoksia pakataan noin 20 000 palaa kuukaudessa ja tavoitteena olisi valmistaa automatisoinnin myötä 60 000–70 000 annosta yhden kuukauden eli 22 työpäivän aikana. Laitteiden hankinta voisi mahdollistaa lisäksi muidenkin tuotteiden pakkaamisen tehostamisen, jolloin laitehankinnasta saatava hyöty olisi vielä suurempi. (Iltanen henkilökohtainen tiedonanto 27.9.2018.)

Yhden työntekijän palkka sivukuluineen on noin 50 000 euroa vuodessa. Tavoitteena on vapauttaa työntekijöiltä leikkaamiseen ja pakkaamiseen kuluva työaika tuottavampiin työtehtäviin ja mahdollistaa samalla suuremman tuotantomäärän. Investoinnin kustannukset voisivat olla yhteensä puoli miljoonaa euroa. (Leinonen henkilökohtainen tiedonanto 18.10.2018.)

Yrityksen toiveena on huomioida projektissa erilaiset tavat nopeuttaa prosessia, joten selvitystyö ei kohdistu pelkästään täysin automaattisiin laitteisiin. Laitteiden valinnassa huomioitavia asioita ovat esimerkiksi leipomotilan jauhopöly. Laitteiden täytyy kestää pölyä tai ne täytyy suojata hyvin. Lämpötila on varsin vakaa, joten sitä ei tarvitse huomioida laitevalinnoissa. Kääretortun leikkaus täytyy tapahtua painamalla, koska sahaavalla liikkeellä leikkaus ei onnistu siististi. Lisäksi on huomioitava rajallinen tila ja työntekijöiden turvallisuus. Tämän vuoksi turva-aitoja tarvitsevat teollisuusrobotit eivät tule kysymykseen projektin toteutuksessa. (Iltanen henkilökohtainen tiedonanto 27.9.2018; Leinonen henkilökohtainen tiedonanto 18.10.2018.)

3 TUOTANNON AUTOMATISOINTI

3.1 Automaatio

Automaatiolla tarkoitetaan itsestään ilman ohjausta tapahtuvaa tai toimivaa. Automaatio-käsite pitää sisällään muun muassa instrumenttitekniikan, mittaus- ja säätötekniikan, servotekniikan sekä logiikkaohjauksen. Ohjelmoitavia logiikoita käytetään ohjaamaan järjestelmän toimilaitteita antureilta saatujen tietojen perusteella. Ohjelmoitavan logiikan käyttöliittymästä käytetään nimeä HMI (Human-Machine Interface), joka voidaan toteuttaa näyttölaitteilla tai PC-valvomo-ohjelmistojen avulla. Automaatiota on myös automaattisten tuotantolaitteiden ja -laitosten suunnittelu ja toteuttaminen sekä automaattisten koneiden ja tuotantolinjojen valinta. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2010, 7.)

Automaatiolla saavutettavia hyötyjä ovat muun muassa toistettavuus, parempi laadunhallinta, jätteiden vähentyminen, integraatio yrityksen muiden järjestelmien kanssa, kasvanut tuotanto ja pienentynyt työvoiman tarve. Haittapuolia ovat puolestaan suuri alkuinvestointi ja riippuvuus kunnossapidosta. (Keinänen ym. 2010, 7.) Automaation kehittyminen on muuttanut paljon työntekijän työnkuvaa valmistavassa teollisuudessa. Yksitoikkoinen, nopeatahtinen ja raskas työ on jäänyt koneiden hoidettavaksi työntekijöiden työn ollessa nykyisin tuotantolinjan toiminnan valvontaa, häiriö- ja vikatilanteiden poistamista ja selvittämistä sekä koneiden ja robottien ohjelmointia uusia tuotantotehtäviä varten. Automaation hyödyntäminen voi näin ollen tehdä työstä mielenkiintoisempaa, monipuolisempaa ja motivoivampaa työntekijöille. (Heinonkoski, Asp & Hyppönen 2008, 103–104.)

Myös leipomoalalla automatisoinnista saadaan monenlaisia hyötyjä. Automatisointia suunnitellessa on tärkeää tunnistaa ne prosessin vaiheet ja ongelmat, joihin erityisesti toivotaan ratkaisua automatisoinnin avulla. Niitä voivat olla esimerkiksi työtaturmariskin vähentäminen automatisoimalla tapaturmille altistavat työtehtävät, tuotteiden tasalaatuisuuden parantaminen ainesosien automaattisen annostelun avulla, työvoimakustannusten vähentäminen ja tuotantokapasiteetin lisääminen. (The Bakery Networkin www-sivut 2019.)

3.2 Pakkauslinja

Tehokkaasti toimiva tuotteiden pakkauslinja koneineen on tärkeä tekijä valmistusmäärien ja kannattavuuden näkökulmasta. Useimmilla pakkauslinjoilla on kolme erillistä osaa. Linjan alussa tuotteet ja pakkausmateriaalit siirretään pakkauslinjalle, seuraavassa vaiheessa tuote pakataan ja lopuksi pakattu tuote siirretään kuljetusta varten. Koneiden suorittamia tehtäviä ovat esimerkiksi kappaleen siirtäminen, palletointi ja kappaleen kohdistaminen täyttöä, etikettien kiinnitystä tai pakkausta varten. (Packaging Digestin www-sivut 2018.)

Mikäli kuljettimen liike on jatkuvaa, syöttölaitteen tulisi siirtää tavaraa kuljettimelle samalla nopeudella kuin kuljetin liikkuu. Näin tavara ei luisu eikä kuluta kuljettimen pintaa eikä muodostu tarvetta välivarastoinnille. Erilaisia syötintyypppejä ovat esimerkiksi edestakaisin liikkuva syöttäjä, hihna-, rulla-, täry- ja ruuvisyötin. (Keinänen ym. 2010, 168.)

Kuljetin voi siirtää tavaraa sekä vaaka- että pystysuunnassa. Kuljetettavan materiaalin perusteella valitaan tarkoituksenmukainen kuljetintyyppi. Kappaletavara-automaatiossa käytettäviä kuljetintyypppejä ovat hihna- ja lamellikuljettimet, rullakuljettimet ja -radat, ketjukuljettimet, tärykuljettimet, liu'ut sekä muut kuljettimet, joita ovat esimerkiksi imuilma- ja paineilmakuljettimet, magneetikuljettimet sekä vihivaunut. (Keinänen ym. 2010, 168–172.)

Kuljettimilla on keskeinen rooli tuotteiden pakkausprosessissa. Kuljetinjärjestelmä auttaa kehittämään tuottavuutta ja tehokkuutta monin tavoin. Kuljetinjärjestelmä automatisoi tuotteiden siirtämisen, mikä vähentää tehtävään kuluvaan aikaa, kustannuksia ja työvoimantarvetta. Kuljettimien energiankulutus on alhainen ja poistaa työturvallisuutta vaarantavia tai työntekijöille epämukavia työvaiheita. Kuljetinjärjestelmät edesauttavat virheetöntä tuotantoa esimerkiksi keräämällä tietoa varastohallintajärjestelmää varten. Kuljettimet voivat myös säästää arvokasta lattiapinta-alaa muita toimintoja varten. (Hill 2018.)

3.3 Anturit

Antureita käytetään keräämään tietoa prosessista ja koneen tilasta. Kappaletavara-automaatiossa digitaaliset eli kaksitilaiset anturit ovat hyvin yleisiä. Niitä käytetään tunnistamaan esimerkiksi liikettä, materiaalia, kosketusta tai väriä. Anturi välittää tiedon yleensä sähköisesti, mutta myös pneumaattinen toteutus on mahdollinen. Koneautomaatiossa tyypillisten boolean-tyyppisten (true/false) antureiden avulla saatavia tietoja ovat esimerkiksi henkilön oleminen koneen vaara-alueella tai kappaleen sijainti robotin poiminta-alueella. Signaalimuutosten perusteella voidaan myös laskea lukumääriä. Tavallisia antureiden avulla tarkkailtavia prosessin tilaa kuvaavia suureita ovat esimerkiksi paikka, lämpötila, paine, voima, pituus, kiertokulma ja nestepinnan korkeus. Prosessiteollisuudessa mittaavat analogia-anturit ovat yleisiä ja niiden antama suure muutetaan standardiviestiksi lähettimessä. (Keinänen ym. 2010, 187–190.)

Antureiden virheettömän toiminnan kannalta seuraavat ominaisuudet ovat hyvin keskeisiä:

- luotettavuus, lujuus ja suojaus
- tarkkuus, herkkyys ja tunnistamisetäisyys
- reaktionopeus
- kytkentätaajuus
- ohjauskyky.

Tyypillisiä ongelmia antureita käytettäessä ovat epälineaarisuus ja häiriöalttius. Häiriöitä aiheuttaa eniten lämpötilan vaihtelu. (Keinänen ym. 2010, 190.) Yksi suurimpia virheitä, joita tehdään anturia valittaessa, on jättää huomioimatta ympäristön vaikutukset anturiin. Poikkeukselliset lämpötilat tai nopeat lämpötilavaihtelut voivat vahingoittaa anturia. Anturi ei välttämättä ole vesitiivis, kestä kovia puhdistusaineita tai painetta puhdistuksen yhteydessä. Anturi saattaa olla herkkä myös sähkömagneettiselle tai radiotaajuiselle häiriölle, mikä voi vaurioittaa virtalähdettä, aiheuttaa virheellistä dataa tai toimintaa. (Otterstein 2000.)

Tuotteiden pakkaamisessa voidaan käyttää mekaanisia rajakytkimiä tai elektronisia lähestymiskytkimiä tuotteen läsnäolon havaitsemiseen. Rajakytkin vaatii fyysisen kosketuksen ja ohjauspäänä voi olla tappi, rullatappi tai vääntörulla. Rajakytkimet ovat

edullisia ja kestävätkä suuria virtoja, mutta ovat epätarkkoja, hitaita ja suurikokoisia. (Wilson 2005, 321–323; Keinänen ym. 2010, 188–192.)

Lähestymiskytkimet perustuvat erilaisiin toimintaperiaatteisiin ja ne eivät vaadi kosketusta kappaleen havaitsemiseksi. Lähestymiskytkimiä ovat induktiiviset, kapasitiiviset ja optiset lähestymiskytkimet sekä reed-kytkin, ultraääni-, hall- ja laseranturit. Lähestymiskytkinten etuja ovat pitkäikäisyys, suuri kytkentätiheys ja -nopeus ja ne kestävätkä voimakasta tärähtelyä ja värinää. Lähestymiskytkintä valittaessa on kuitenkin huomioitava vaadittava kytkentäetäisyys, ympäristön lämpötilan vaikutukset, kahden lähestymiskytkimen pienin vaadittava etäisyys, kytkintyyppin soveltuvuus tietyille tuotteille sekä kapasitiivisten ja optisten lähestymiskytkinten käytön yhteydessä pölyn ja lian aiheuttamat kytkentähäiriöt. (Keinänen ym. 2010, 193–199.)

Optisia antureita voi käyttää hyvin monenlaisten kohteiden havaitsemiseen. Kohteen koko, läpinäkyvyys, kiiltävyys ja liike eivät ole esteenä optisen anturin käytölle. Myös kohteen etäisyys voi olla muutamasta millimetristä sataan metriin. Optiset anturit tuottavat valokeilan, jonka vastaanotin havaitsee. Kun valokeila ei saavuta vastaanotinta, anturin lähettämä signaali muuttuu. (Wilson 2005, 358.)

Optisissa lähestymiskytkimissä valolähetin, vastaanotin, mittauselektronikka ja vaihto- ja tasavirtavahvistin ovat samassa kotelossa. Niissä käytetään LEDejä, jotka lähettävät valoa infrapuna-alueella ja vastaanotin on puolestaan herkkä juuri kyseisille aallonpituuksille. Optisia lähestymiskytkimiä käytetään tilanteesta riippuen lähettin/vastaanottopareina eli valoportteina, peilistä heijastavina eli valoverhoina, materiaalista heijastavina sekä merkintätunnistimina. (Keinänen ym. 2010, 196–197.)

Älykkäät anturit sisältävät tavallisesti mikroprosessorin ja älykkäillä antureilla saavutettavia etuja ovat mittausalueen määrittely ohjelmallisesti, mittausvirheiden vähentyminen, antureiden sisältämä itsediagnostiikka, mahdollisuus ajaa anturiin ja anturista digitaalista tietoa sekä toimintamoodin valinta (Keinänen ym. 2010, 188).

3.4 Yhteistyörobotit

Yhteistyörobotit on suunniteltu toimimaan yhteistyössä ihmisen kanssa. Yhteistyörobotia käytettäessä ei välttämättä tarvita turva-aitoja, koska turvallisuus on varmistettu muilla keinoin. Robotin voimaa ja liikenopeutta on rajoitettu turvalliselle tasolle ja anturit mahdollistavat esteiden havaitsemisen ja reagoinnin ajoissa, jotta robotti ei vahingoita ihmistä tai törmää esteisiin. (Henry 2015.) Yhteistyörobotin suunnittelussa huomioidaan, ettei robotti aiheuta puristumisvaaraa ja että muotoilu on mahdollisimman turvallinen. Moottori ja johdot ovat robotin sisällä. (RobotWorxin www-sivut 2018.)

Vaikka yhteistyörobotti on suunniteltu turvallisemmaksi käyttää, turva-aitoja tarvitaan silti, jos robotin suorittamaan tehtävään liittyy riskejä. Esimerkiksi robotin käsitellessä teräviä esineitä, raskaita kuormia tai mikäli robotti käyttää vaarallisia työkaluja, turvaaidat ovat tarpeellisia. Näissäkin tapauksissa robotin vaatima turvaetäisyys voi olla pienempi kuin perinteisillä roboteilla, joten pienempi tilantarve tuo säästöjä. (Henry 2015).

Yhteistyörobotit ovat kevyitä ja helppoja ohjelmoida, minkä vuoksi käyttöönotto on helppoa ja sen voi tarvittaessa siirtää suorittamaan eri tehtävää. Robotille voi opettaa pisteet myös liikuttamalla sitä käsin. Yhteistyörobotin hankintahinta, käyttö ja ylläpito ovat yleensä edullisempia kuin perinteisillä roboteilla. (Henry 2015; RobotWorx 2018.)

Hankintahinta vaihtelee 20 000–30 000 euron välillä, joten yhteistyörobotin takaisinmaksuajaksi tulee alle vuosi. Lisäksi tarvitaan myös tarttuvia ja muita lisävarusteita. Yhteistyörobotin käyttöikä on yleensä noin kaksikymmentä vuotta ja minimikäyttöiksi luvataan 35 000 tuntia. Robotille suositellaan kevyttä vuosihuoltoa, joka maksaa yleensä noin 400–500 euroa. Vuosihuollon lisäksi tarvitaan ohjelmistopäivitykset sekä kuluvien osien kulumisen seuranta. (Peltoranta 2017, 45.)

3.5 Tarttujat

Tarttujaa valittaessa tulee ottaa huomioon koko prosessi, johon robotti osallistuu. Robotin suorittama tehtävä määrittää yleensä tarttujatyypin. Hyvin nopeaan kappaleiden siirtelyyn sopii tavallisesti parhaiten imukuppitarttujat. Mekaanista tarttujaa käyttämällä saadaan puolestaan kappale siirrettyä tarkasti haluttuun paikkaan. Mikäli vaaditaan suurta nopeutta, tarttujan tulisi olla kevyt, jotta robottiin ei kohdistu liikaa voimia nopeuttaen osien kulumista. Ontto alumiinista valmistettu tarttuja on kevyt ja luja. Myös ympäristön asettamat vaatimukset täytyy ottaa huomioon tarttujaa valittaessa, sillä esimerkiksi hydraulikkaa ei voi käyttää elintarvike- ja lääketieteellisyydessä. Myöskään pneumatiikkaa käyttäviä tai imukuppitarttujia ei suositella hyvin suurta hygieniää vaativissa tiloissa. (Bouchard 2014.)

Myös seuraavat kappaleen ominaisuudet vaikuttavat tarttujan valintaan:

- Koko
- Paino
- Muoto (sylinterimäinen, kartio, monikulmio, epäsäännöllinen)
- Onko kappale kiinteä vai muotoutuva
- Jääkö siihen helposti jälkiä käsiteltäessä
- Onko tarkoituksena käsitellä erilaisia kappaleita samoilla tarttujilla

(Mason 2015.)

Esimerkiksi koneistetulle teräskomponentille mekaaninen tarttuja on yleensä hyvä ratkaisu, mutta hyvin pehmeälle ja epäsäännöllisen muotoiselle kappaleelle sormitarttuja ei välttämättä ole paras vaihtoehto. Imukuppitarttuja sopii hyvin litteälle kappaleelle, mutta joihinkin materiaaleihin se saattaa jättää jälkiä. Epäsäännöllisen muotoiselle kappaleelle voidaan myös valmistaa sopiva tarttuja. Jos kappaleen muoto tai koko muuttuu esimerkiksi koneistuksen jälkeen tai sama robotti käsittelee erilaisia kappaleita, tämä täytyy huomioida tarttujaa valittaessa. Joillakin tarttujilla on mahdollista tarttua kappaleeseen eri tavoin, mikä mahdollistaa erilaisten ja -kokoisten kappaleiden käsittelyn ilman tarttujan vaihtoa. (Mason 2015.)

Yhteistyörobotin tarttumat on suunniteltu siten, etteivät ne aiheuta vaaraa käyttäjälle. Myös tarttumat koskevat voiman ja nopeuden rajoitukset ja tarttuman muoto sekä materiaalit on oltava turvallisia. Tarttuman turvallinen toiminta täytyy huomioida myös hätäpysäytyksen aikana, ettei kappale putoa ja aiheuta vaaraa. (Mihelj, Bajd, Ude, Lenarčič, Stanovnik, Munih, Rejc & Šlajpah 2019, 184.)

Tarttuimissa voi olla erilaisia antureita, jotka parantavat turvallisuutta. Kapasitiivista anturia käytetään havaitsemaan käyttäjä ajoissa ja estämään vaaratilanteet. Kamerajärjestelmää voidaan käyttää sekä parantamaan turvallisuutta että havaitsemaan kappale. Kosketusanturi erottaa, onko kyseessä kappale vai ihminen. Antureilla voidaan myös mitata tarttuman käyttämää voimaa, jotta se pysyy turvallisissa rajoissa. Yhteistyörobotin tarttumat ovat usein kohtuullisen helppoja asentaa ja ohjelmoida. (Mihelj ym. 2019, 185.)

4 AUTOMATISOINTISUUNNITELMA

4.1 Kääretortun leikkaaminen

Kääretorttu voidaan leikata viipaleiksi ultraäänileikkurilla. Esimerkiksi Döinghaus cutting and more GmbH & Co. KG:n valmistama ultraääntä hyödyntävä Ultracut Nado olisi tarkoitukseen sopiva. Ultracut Nadolla voidaan viipaloida erimuotoisia tuotteita ja palasen koko, segmentit ja leikkausnopeus ovat säädettävissä kosketusnäytön avulla. Laitteen syöttö- ja poistokuljettimet helpottavat ja nopeuttavat tuotteen leikkausvaihetta. Laite on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja korkeus on säädettävissä. Laitteen koko on 3 450 x 1 690 x 1 940 mm. (Döinghaus cutting and more GmbH & Co. KG:n www-sivut 2019.) Finnvacum Oy maahantuo kyseisiä laitteita ja Ultracut Nadon hinta on 140 000 euroa (alv 0 %) (Nyberg henkilökohtainen tiedonanto 7.3.2019).



Kuva 1. Ultracut Nado (Döinghaus cutting and more GmbH & Co. KG:n www-sivut 2019)

Cortex Oy:n toimittama Bakon Nano Ultrasonic Slicer maksaisi noin 80 000 € (alv 0 %) (Mäkinen sähköposti 14.12.2018). Laitteella pystyy kuitenkin leikkaamaan enintään 65 mm korkeita tuotteita, joten tämä laite soveltuisi ainoastaan pienempien kääretorttujen leikkaamiseen. Tässä ultraäänileikkurissa ei ole syöttö- ja poistokuljetinta, joten aikaa ei säästyisi käsin leikkaamiseen verrattuna (Bakon Food Equipment 2019.)

Ultraäänileikkureita selvitettäessä tuli esille, että ultraäänileikkurin hankinta ei toisi olennaista hyötyä, koska ajansäästö jäisi hyvin pieneksi myös leikattaessa Ultracut Nadolla käsin leikkaamiseen verrattuna ja laite vaatii paljon tilaa. Laitetta ei todennäköisesti voisi hyödyntää muiden tuotteiden leikkaamisessa, joten takaisinmaksuaika olisi varsin pitkä.

Kääretortun leikkaaminen annospalasiaksi tehdään tällä hetkellä käsin ja yksi vaihtoehto työvaiheen tehostamiseksi olisi moniteräinen leikkuri. Aikaa säästyisi huomattavasti, jos koko kääretortun voisi leikata yhdellä painalluksella. Leikkaamisen voisi suorittaa robotti tarttuen kaksisormitarttujalla leikkuriin. Leikkurin valmistuksessa on huomioitava, että robotti saa siitä tukevan otteen tarttujalla. Kääretortun leikkaaminen nopeutuisi leikkuria käyttämällä nykytilanteeseen verrattuna, vaikka leikkauksen suorittaisi työntekijä, mutta robotti voisi suorittaa sen tehokkaasti säästäen työntekijän aikaa.

Tarkoitukseen sopivaa leikkuria ei ole valmiina saatavilla, mutta sen voisi mahdollisesti tilata mittatilaustyönä. Mittatilaustyönä valmistetun leikkurin hinnaksi on arvioitu enintään 1 000 euroa, jota käytetään investoinnin kokonaishintaa laskettaessa. Arviohinta saatiin tässä opinnäytetyössä 3D-mallintamalla moniteräinen leikkuri ja viemällä malli koneistettuja metallikappaleita toimittavan yrityksen palveluun hinta-arvioon. Moniteräisen leikkurin toimintaa on testattu tulostamalla leikkuri muovista ja tekemällä UR5-yhteistyörobotilla testileikkauksia. Leikkurin mahdollista valmistajaa ja tarkempia määrittelyjä tuotteesta ei kuitenkaan selvitetä tarkemmin tässä opinnäytetyössä.

Toinen vaihtoehto robotilla tapahtuvaan leikkaamiseen on yhden terän käyttö. Tällöin robotti ottaa terän ja leikkaa ennalta ohjelmoitun leikkuusuunnitelman mukaisesti kääretortun kahdeksaksi palaksi. Yhdellä terällä leikkaaminen on vähän hitaampaa, mutta

vaatii robotilta selvästi pienemmän voiman ja nopeuden. Näin yhteistyörobotti soveltuisi tähän tehtävään paremmin. Yhden leikkuuterän teettämisen hinnaksi arvioitiin noin 500 euroa.

4.2 Tuotteen siirtäminen rasiaan

Tuotteen siirtäminen rasioihin voidaan automatisoida käyttäen yhteistyörobottia tai esimerkiksi kuljettimen avulla, jolloin tuote siirtyy toista hihnaa pitkin tulevaan rasiaan. Mikäli robotti siirtää tuotteen rasiaan, sen täytyisi myös poimia samalla tarttujalla rasian pinosta, koska tarttujan vaihtaminen kesken tehtäväkierron ei ole kannattavaa. Tarttujan valitsemisessa on myös hyvin tärkeää, ettei se jätä sulkeutuessaan jälkiä tuotteeseen.

Universal Robots A/S:n valmistama UR3 tai UR5 sopisi tehtävään, koska kääretorttupalaset ovat niin kevyitä, ettei ole tarpeellista investoida suurempaan robottiin. UR3-robotin ohjelmointi on helppoa kosketusnäyttöisellä Teach Pendantilla. UR3-robotti painaa 11 kg ja sen maksimikuorma on 3 kg. Robotilla on 6 niveltä, jotka kääntyvät 720 astetta ja maksimietäisyys on 500 mm. (Universal Robots A/S 2018a.) UR5-robotti on muuten vastaavanlainen kuin UR3, mutta maksimietäisyys on 850 mm, hyötykuorma 5 kg ja paino 20,6 kg.



Kuva 2. UR3-yhteistyörobotti (Universal Robots A/S 2018b)

UR-robotteja maahantuo kolme yritystä: VSA-Service Oy, Posicraft Oy ja Servicepoint Oy. Jokaiselta maahantuoajalta kysyttiin UR3- ja UR5-robottien hintatietoja sekä tarkoitukseen sopivan tarttujan hintaa. Robottien hintatiedot näkyvät taulukossa 1. Kaikki hinnat ovat arvonlisäverottomia.

Taulukko 1. UR-robottien hintatiedot (Holma sähköposti 16.12.2018; Kemppinen sähköposti 14.12.2018; Kirmanen sähköposti 18.12.2018)

| Yritys | UR3 | UR5 |
|-----------------|----------|----------|
| VSA-Service Oy | 19 750 € | 23 900 € |
| Servicepoint Oy | 22 700 € | 27 000 € |
| Posicraft Oy | 19 900 € | 24 000 € |

Posicraft Oy ilmoitti hinnat myös e-sarjan roboteille: UR3e, 22 850 € ja UR5e, 27 150 €. Merkittävimpiä parannuksia e-sarjan roboteilla verrattuna CB-sarjan roboteihin on toistotarkkuus sekä uudistettu käyttöjärjestelmä ja kosketusnäyttö. E-sarjan robotit julistettiin kesäkuussa 2018. (Kirmanen sähköposti 18.12.2018.)

VSA-Service Oy suositteli esimerkiksi sähkömekaanista Robotiq 2F-140 tarttujaa, jonka hinta on 3 850 € (Kuva 3). Tarttujaa varten suositeltiin valmistamaan tarkoitukseen sopivat erikoisleuat ja niiden hinta olisi joitakin satasia. Robottiin on mahdollista asentaa kahdet tarttajat, jolloin imukuppitarttujilla voisi poimia kartonkirasiat. Jos paineilmaa ei ole käytössä, alipainepumpulla varustettu OnRobot VG-10 maksaisi 4 268 €. (Holma sähköposti 16.12.2018.)



Kuva 3. Robotiq 2F-140 tarttuja (Universal Robots A/S 2018c)

Posicraft Oy suositteli kartonkirasioiden käsittelyyn alipainetarttuvia, joiden hinnat ovat 2 500–3 500 euroa. Kääretorttuviaipaleiden siirtämiseen soveltuisi parhaiten Robotiqin valmistama 2F-140-tarttuja, jonka hinta on noin 4 000 euroa. (Kirmanen sähköposti 18.12.2018.) Tarttujalla voidaan tarttua sekä ulko- että sisäpuolelta. Tarttujan tartuntaleveys on 140 mm. Sulkeutumisnopeus ja -voima ovat säädettävissä. Nopeutta voidaan säätää 30:stä 250:een mm/s ja voimaa 10–125 N. Tarttujan hyötykuorma on 2,5 kg ja tarttujan massa 1,0 kg. (Holma sähköposti 16.12.2018.)

Servicepoint Oy:n kautta OnRobotin RG2-tarttuja (Kuva 4) maksaisi 3 300 € (alv 0 %) ja Weiss Roboticsin tarttuja (Kuva 5) on samassa hintaluokassa, mutta siinä on hieman enemmän ominaisuuksia. Tarttujiin pitää suunnitella sormet erikseen. (Kempinen sähköposti 14.12.2018.)



Kuva 4. OnRobot RG2 tarttuja (OnRobot A/S 2018)

OnRobot RG2 tarttujan voima on säädettävissä välillä 3–40 N ja tarttuja avautuu 0–110 mm:iin saakka. Tarttuja havaitsee, jos se menettää otteen kappaleesta ja välittää myös signaalin kappaleeseen tarttumisesta. Automaattinen työkalukeskipisteen (TCP) laskenta helpottaa myös ohjelmointia ja tekee robotin liikkeistä tarkemmat. (OnRobot A/S 2018.)



Kuva 5. Weiss Robotics GRIPKIT-P1 tarttuja (Thinkbot Solutions LLC 2018)

Weiss Roboticsin tarttumat ovat yhteensopivia kaikkien Universal robottien kanssa ja niitä on sekä pneumaattisina että sähkömekaanisina. Sähkömekaanisia tarttujia on saatavilla neljää eri mallia, joilla on erilaiset ominaisuudet. Suurin tarttumaleveys on Gripkit-CR2 tarttujalla (85 mm). (Weiss Robotics GmbH & Co. KG 2017.)

Tarttujen vertailun perusteella voidaan sanoa, että tuotteiden käsittelyyn sopisi parhaiten Robotiqin valmistama 2F-140 tarttuja, koska sillä on suuri tartuntapinta-ala eikä se jätä jälkiä tuotteeseen, koska tarttumapinta on tasainen. Lisäksi se pystyy rakenteensa vuoksi tarttumaan eri tavoin kohteeseen ja saa siten paremman otteen. Esimerkiksi Weiss Roboticsin tarttuja jättäisi jälkiä tuotteeseen ja OnRobotin tarttujalla on hyvin pieni tartuntapinta-ala. Robotiqin valmistamalla tarttujalla voidaan käyttää leikkuria kääretortun leikkaamiseen annospalaksi, poimia rasiat nipusta ja siirtää tuotteen rasiaan, joten toisen tarttujan hankinta ei ole tarpeellista näiden tehtävien suorittamiseksi.

Samankaltainen yhteistyörobotti on saatavilla myös Omronilta. Omron TM-robotteihin on lisäksi integroitu konenäköjärjestelmä, mistä on hyötyä erityisesti tuotteiden poimimisessa, mikäli ne eivät ole aina täsmälleen samassa paikassa. Konenäköjärjestelmää voi hyödyntää myös esimerkiksi laaduntarkastuksessa, mittaamisessa ja lajittelussa. Esimerkiksi TM5-900 (Kuva 6) robotti painaa 22,6 kg, maksimikuorma on 4 kg, maksimietäisyys 900 mm ja siinä on 6 niveltä (Omron Corporation 2018a.) Myös tämän robotin kanssa voidaan käyttää Robotiqin kaksisormitarttujaa (Omron Corporation 2019). TM5-900 robotin hinta Omron Electronics Oy:ltä ostettuna on 24 000 € (alv 0 %) (Onnela sähköposti 10.12.2018).



Kuva 6. Omron TM5-900 (Omron Corporation 2018b)

Tuote on mahdollista siirtää rasiaan ja pakata muoviin myös pakkauskoneella, jossa on automaattinen kotelon muodostus ja panostus. Tällöin tuotteet täytyisi kuitenkin asettaa kuljettimelle vaaka-asentoon. Cortex Oy:n toimittamana pakkauskone automaattisella kotelon muodostuksella ja panostuksella maksaisi yli 200 000 € (alv 0 %) (Mäkinen sähköposti 14.12.2018). Kotelon muodostus koneellisesti ei kuitenkaan ole kustannustehokasta, koska rasiat tilataan nykyisin valmiiksi muotoon liimattuina.

4.3 Rasioiden pakkaaminen muovikääreeseen

Mikäli robotti siirtää tuotteen rasiaan, tarvitaan erillinen pakkauskone muovittamaan rasia ja sulkemaan muovikääreeseen päät. Tähän tarkoitukseen soveltuvia flowpack-koneita on tarjolla hyvin monella valmistajalla. Esimerkiksi Cortex Oy:n toimittama PFM Pearl (Kuva 7) maksaisi 40 000 € (alv 0 %) (Mäkinen sähköposti 14.12.2018). Koneen mitat ovat 3 690 x 903 x 1 300 (+ pakkausmateriaalikela) mm ja pakkausnopeus enintään 120 kpl/min (Mäkinen sähköposti 3.1.2019).



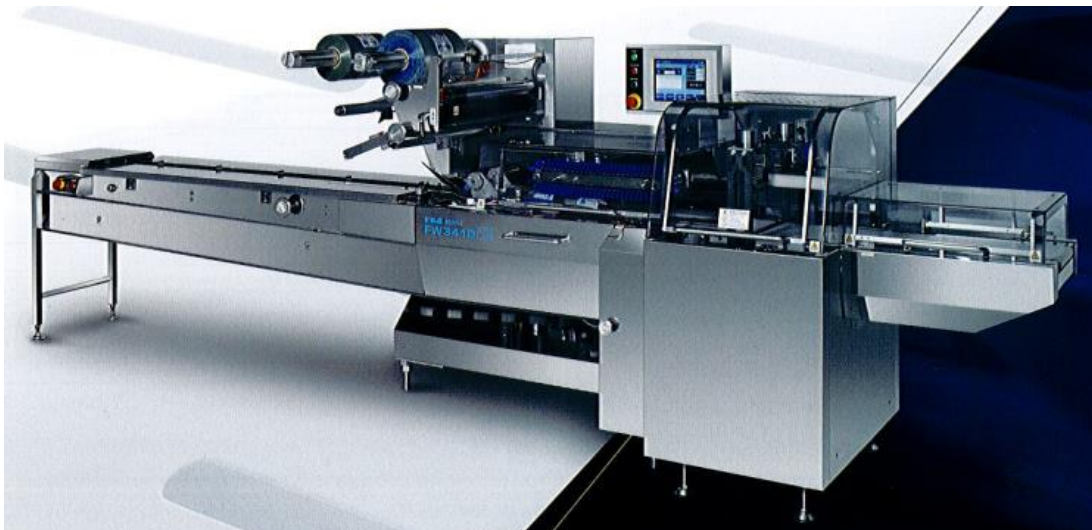
Kuva 7. PFM Pearl (PFM Packaging Machinery S.p.a. 2019)

Linepack Oy:n mukaan esimerkiksi Reepack Reeflow 100RB (Kuva 8) olisi hyvä vaihtoehto tuotteiden pakkaamiseen. Koneen hinta on 120 000 euroa. (Ihalainen sähköposti 19.2.2019.) Koneen mitat ovat 4 370 x 1 460 x 1 850 mm (Reepack S.R.L. 2019).



Kuva 8. Reepack Reeflow 100RB (Reepack S.R.L 2019)

Finnvacum Oy:n kautta olisi saatavilla Fuji Machinery Ltd:n valmistama Fuji FW3410/B CX (Kuva 9), jonka hinta on 95 000 euroa (alv 0 %). Koneen mitat ovat 4 660 mm pituus, 1 130 mm leveys ja 1 492 mm korkeus. (Forss sähköposti 4.3.2019.)



Kuva 9. Fuji FW3410/B CX. (Forss sähköposti 4.3.2019)

4.4 Valmiiden tuotteiden käsittely

Valmiit rasioihin pakatut ja muovitetut tuotteet siirtyvät flowpack-koneesta pyörivälle vastaanottopöydälle (Kuva 10). Oriplan Oy:n pyörivän vastaanottopöydän halkaisija on 1 200 mm ja korkeus on säädettävissä 800–840 mm. Pöydän hinta on 2 200 € + rahti. (Oriplan 2019; Heikkonen henkilökohtainen tiedonanto 6.2.2019.) Tuotteita kerääntyy tasaisesti pöydälle liukuen kohti pöydän keskiosaa. Pöydän täytyessä tuotteet voidaan siirtää pahvilaatikoihin. Pahvilaatikoihin pakkaamista ei ole tarkoitus automatisoida, joten se tehdään edelleen käsin. Käytettäessä pyörivää pöytää tuotteiden pakkaamista pahvilaatikoihin voidaan tehdä käsin aina pöydän täytyttyä, jolloin tuotteita on saatavilla hyvinkin nopeasti tehtävään pakkaamiseen. Kun pöytä sitten tyhjenee, voi pakkaaja siirtyä muihin tehtäviin, kunnes pöytä on taas täynnä



Kuva 10. Pyörivä vastaanottopöytä (Oriplan Oy 2019)

Linepack Oy:n valmistama tuote on nimeltään Pyöröpöytä LP (Kuva 11). Pyöröpöydän hinta on 4 700 euroa. Tuote on konedirektiivin mukainen ja valmistettu kauttaaltaan ruostumattomasta teräksestä. Korkeus on säädettävissä konejalkojen avulla. (Ihalainen sähköposti 20.2.2019a.)



Kuva 11. Pyöröpöytä LP (Ihalainen sähköposti 20.2.2019b)

4.5 Kuljetinjärjestelmä

Robotin siirtäessä palaset rasioihin tarvitaan kuljetin ja anturit, jotta robotti saa tiedon, milloin tuote on poimittavissa. Tässä tapauksessa laitteet on kannattavinta hankkia yhtenä toimituksena niin, että tarvittava työ kuuluu hintaan.

Kuljettimet, anturit ja flowpack-koneen voisi toimittaa esimerkiksi Linepack Oy, joka tekisi myös tarvittavan asennustyön. Nämä laitteet ja asennustyö yhteensä maksaisivat karkean arvion mukaan 160 000 euroa. (Ihalainen sähköposti 26.12.2018.) Kuvassa 12 esimerkki Linepack Oy:n toimittamasta kuljettimesta.



Kuva 12. Linepack Oy:n toimittama kuljetin (Ihalainen sähköposti 26.12.2018)

Jepptech Oy:n arvio robotin ja kuljetinjärjestelmän yhteishinnaksi olisi 70 000 euroa. Käyttöönottoon ja koulutukseen liittyvät kulut eivät sisälly hintaan. (Mäkinen sähköposti 3.1.2019.) Myös VSA-Service Oy voisi toimittaa yhteistyörobotin lisäksi kuljetin asennustöineen. Kuljettimien hinnat ovat VSA-Service Oy:n mukaan noin

2000–4 000 euroa ja asennustyö suunnilleen 1 000–2 000 euroa. (Holma sähköposti 5.2.2019.)

4.6 Ratkaisuvaihtoehdot

Tässä opinnäytetyössä tehdyn automatisointisuunnitelman sekä laajan kustannusten selvityksen perusteella automatisointi voidaan toteuttaa eri tavoin hyödyntäen edellä esiteltyjä laitevaihtoehtoja. Ensimmäinen vaihtoehto on toteuttaa automatisointi hankkimalla ultraäänileikkuri, kuljetin, anturit, yhteistyörobotti, tarttuja, flowpack-kone ja pyörivä vastaanottopöytä. Tämän vaihtoehdon etuja ovat kaikkien vaiheiden automatisointi, jolloin käsin tehtäväksi työvaiheeksi jää ainoastaan pakattujen tuotteiden siirtäminen pahvilaatikoihin. Tämä investointivaihtoehto on kuitenkin kallein, vie huomattavasti enemmän tilaa ja leikkauksen automatisointi tuo vain hyvin pienen ajansäästön. Ultraäänileikkuria ei todennäköisesti voi hyödyntää muihin tuotteisiin, joten investointi ei ole kovin kannattava. Laitteiden hinnat ja ratkaisuvaihtoehtojen kustannukset eritellään tarkemmin taulukoissa 2–4 seuraavassa luvussa.

Toinen vaihtoehto on suorittaa kääretortun leikkaus robotin avulla käyttäen moniteräistä leikkuria ja automatisoida tuotteen rasioihin siirtäminen sekä muovittaminen. Tämä vaihtoehto vaatisi robotin, tarttujan, kuljettimen, tarvittavien antureiden, flowpack-pakkaus koneen, moniteräisen leikkurin ja pyörivän vastaanottopöydän hankinnan. Tämän vaihtoehdon etuja ovat matalammat investointikustannukset, pienempi tilantarve ja laitteiden soveltuvuus tarvittaessa muihinkin tehtäviin, mikä pienentää investoinnin riskiä.

Kolmas vaihtoehto on investoida ainoastaan flowpack-koneeseen sekä vastaanottopöytään ja suorittaa muut vaiheet edelleen käsityönä. Tämä pakkausprosessin vaihe vie eniten aikaa ja tarkoitusta varten on saatavilla tehokkaita ja edullisia koneita, minkä vuoksi flowpack-koneen hankinta tuo todennäköisesti nopeasti säästöjä. Tässä tapauksessa alkuinvestointi on pienin, kone on nopea ja helppo ottaa käyttöön, mutta saatava hyöty jää pienimmäksi, koska tuotteen leikkaus ja rasioihin siirtäminen jäisivät edelleen käsin tehtäväksi.

5 INVESTOINNIN KUSTANNUKSET

Ensimmäisessä vaihtoehdossa, jossa automatisointi toteutetaan hankkimalla ultraäänileikkuri, kuljetin, anturit, yhteistyörobotti, tarttuja, flowpack-kone ja pyörivä vastaanottopöytä, laitteiden hankintahinta on korkein. Kaikki laitteet maksaisivat yhteensä noin 211 000 tai 215 000 euroa robotista riippuen (Taulukko 2). Laskelmassa on huomioitu edullisimmat vaihtoehdot ja Finnvacum Oy:n toimittama Ultracut Nado ultraäänileikkuri, jolla pystytään leikkaamaan myös suuremmat tuotteet.

Taulukko 2. Investoinnin hankintahinta ratkaisuvaihtoehdolle 1

| Laitteet | Yritys | Hinta (€, alv 0%) |
|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Ultracut Nado ultraäänileikkuri | Finnvacum Oy | 140 000 |
| Kuljetin ja asennus | VSA-Service Oy | 4 500 |
| PFM Pearl flowpack-kone | Cortex Oy | 40 000 |
| Yhteistyörobotti | Useita vaihtoehtoja | 20 000–24 000 |
| Robotiq 2F-140 tarttuja | VSA-Service Oy, Posicraft Oy | 4 000 |
| Pyörivä vastaanottopöytä | Oriplan Oy | 2 200 |
| Yhteensä | | 210 700–214 700 |

Toinen toteutusvaihtoehto olisi kuten edellä, mutta ultraäänileikkurin sijaan hankitaan mittatilaustyönä valmistettu moniteräinen leikkuri. Tällöin hinnaksi tulisi noin 72 000 euroa tai 76 000 euroa robotista riippuen (Taulukko 3).

Taulukko 3. Ratkaisuvaihtoehto 2.

| Laitteet | Hinta (€, alv 0 %) |
|--------------------------|--------------------|
| Moniteräinen leikkuri | 1 000 |
| Robotti | 20 000–24 000 |
| Robotiq 2F-140 tarttuja | 4 000 |
| Kuljetin ja asennus | 4 500 |
| Flowpack-kone | 40 000 |
| Pyörivä vastaanottopöytä | 2 200 |
| Yhteensä | 71 700–75 700 |

Kolmas toteutusvaihtoehto on investoida ainoastaan flowpack-koneeseen ja vastaanottopöytään, jolloin hankintahinta on koneesta riippuen noin 42 200 euroa. Kaikissa edellä luetelluissa vaihtoehtoissa tulee ottaa huomioon, että hinnat ovat karkeita arvioita investoinnin suuruusluokan arvioimiseksi.

Taulukossa 4 on esitetty kaikki saadut hintatiedot. Muista laitteista oli hyvin saatavilla tietoja ja hinnat pystyttiin määrittelemään tarkemmin, mutta kuljetinjärjestelmän arvioitu hinta vaihteli hyvin paljon kysyttäessä eri toimittajilta. Tarkempaa tarjousta varten kuljettimien osalta toimittajat tarvitsevat lisätietoja, joten hinta-arviot ovat tässä vaiheessa vain suuntaa antavia.

Taulukko 4. Yhteenveto hintatiedoista

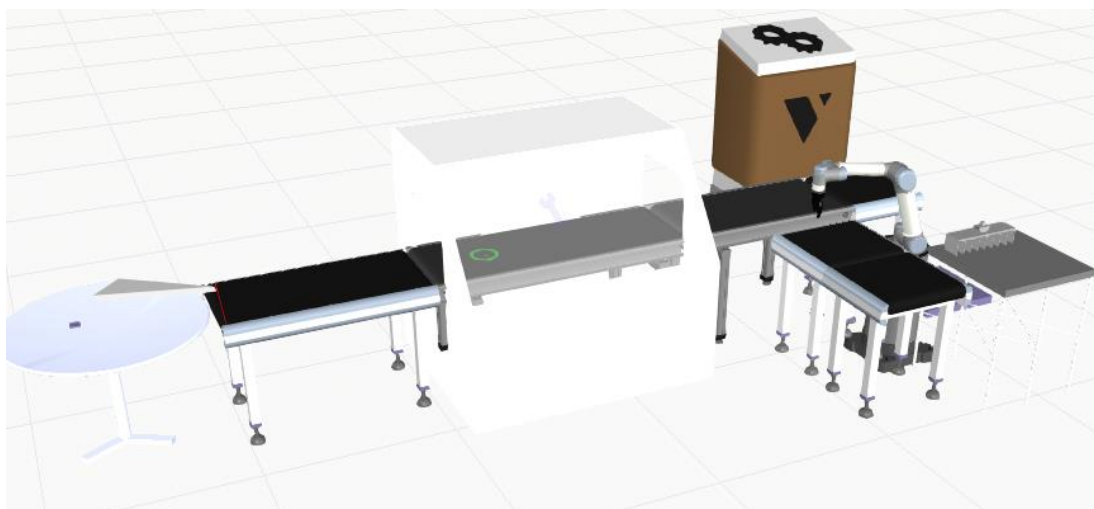
| Laitteet | Yritys | Hinta (€, alv 0 %) |
|--|---|--------------------|
| Döinghaus Ultracut Nado | Finnvacum Oy | 140 000 |
| Bakon Nano Ultrasonic Slicer | Cortex Oy | 80 000 |
| UR3 yhteistyörobotti | VSA-Service Oy, Posicraft Oy ja Service-point Oy | 19 750–22 700 |
| UR3e | Posicraft Oy | 22 850 |
| UR5 | VSA-Service Oy, Posicraft Oy ja Service-point Oy | 23 900–27 000 |
| UR5e | Posicraft Oy | 27 150 |
| TM5-900 yhteistyörobotti | Omron Electronics Oy | 24 000 |
| Robotiq 2F-140 2-sormi-tarttuja | VSA-Service Oy, Posicraft Oy | 3 850–4 000 |
| OnRobot VG-10 imukupi-tarttuja | VSA-Service Oy | 4 268 |
| Alipainetarttijat | Posicraft Oy | 2 500–3 500 |
| OnRobot RG2 2-sormi-tarttuja | Servicepoint Oy | 3 300 |
| Weiss Robotics Gripkit | Servicepoint Oy | noin 3 300 |
| Pakkaus kone automaattisella kotelonmuodostuksella ja panostuksella | Cortex Oy | yli 200 000 |
| PFM Pearl | Cortex Oy | 40 000 |
| Reepack Reeflow 100RB | Linepack Oy | 120 000 |
| Fuji FW3410/B CX | Finnvacum Oy | 95 000 |
| Pyörivä vastaanottopöytä | Oriplan Oy | 2 200 |
| Pyöröpöytä LP | Linepack Oy | 4 700 |
| Kuljetinjärjestelmä, flow-pack-kone ja asennus | Linepack Oy | 160 000 |
| Robotti ja kuljetinjärjestelmä (hintaa ei sisällä käyttöönottoon ja koulutukseen liittyviä kuluja) | Jeppotech Oy | 70 000 |
| Kuljetinjärjestelmä | VSA-Service Oy | 2 000–4 000 |
| Kuljettimen asennustyö | VSA-Service Oy | 1 000–2 000 |

6 SIMULOINTI

6.1 Komponentit

5VTA-projektissa tehtiin ratkaisuvaihtoehdosta 2 simulaatio, jolla osoitetaan, miten tällainen automatisoitu linjasto toimii. Simulointi tehtiin Visual Components -ohjelmalla käyttäen geneerisiä komponentteja eli ohjelmasta valmiina löytyviä koneita ja laitteita. Tämän vuoksi simulointi ei ole riippuvainen tiettyjen valmistajien laitteista ja mitat ovat muokattavissa vastaamaan suunniteltujen laitteiden mittasuhteita. Yhteistyörobottina simuloinnissa käytetään UR5-robottia ja robotin tarttujana on Robotiq:n kaksisormitarttuja, joka soveltuu tähän tarkoitukseen erityisen hyvin.

Koska komponenttikirjastossa ei ole flowpack-konetta, muista laitteista on muokattu PFM Pearl -pakkauskonetta kokonaisuuden tilantarpeen hahmottamiseksi. Kääretortun leikkaamiseen käytettävä leikkuri ja pyörivä vastaanottopöytä on mallinnettu eri ohjelmissa ja tuotu Visual Components -ympäristöön. Sopivien laitteiden valitsemisen ja mallintamisen jälkeen laitteet sijoitettiin tilankäytöllisesti mahdollisimman tehokkaasti ja turvallisesti (Kuva 13).

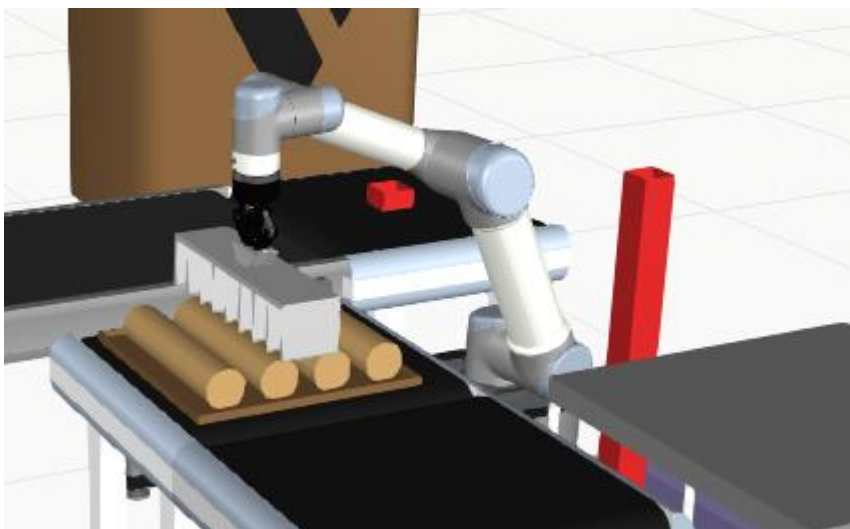


Kuva 13. Simuloinnin komponentit

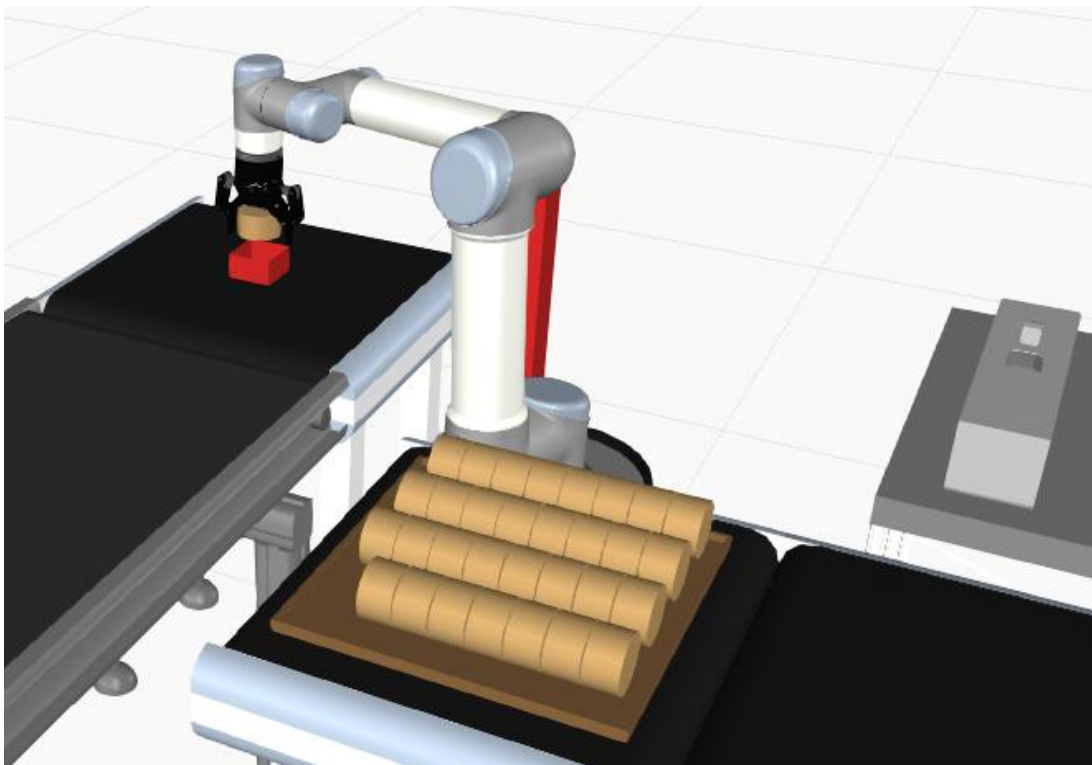
6.2 Ohjelman tekeminen

Simulointi tehtiin hyödyntäen Visual Componentsin Works-prosesseja, minkä vuoksi antureita ei tarvitse lisätä ja yhdistää signaaleja, jotta robotti saisi tiedon esimerkiksi siitä, milloin tuote on poimittavissa. Käytettäessä Works-prosesseja robotille lisätään taskit ja osoitetaan tarvittavat pisteet liikuttamalla robottia jog-toiminnon avulla. Robotin saa tarttumaan kappaleeseen ja sijoittamaan sen oikeaan paikkaan helpoiten snap-toiminnon avulla.

Aluksi robotti poimii ensimmäisen rasian ja siirtää sen kuljettimelle. Tämän jälkeen robotti ottaa aputasolta leikkurin, leikkaa pellillä olevat kääretortut ja siirtää leikkurin takaisin tasolle (Kuva 14). Kun kääretortut on leikattu annospalasiksi, robotti siirtää palasen rasiaan ja poimii jälleen uuden rasian pinosta (Kuva 15). Tällä välin kuljetin siirtää tuotteen pakkauskoneelle. Kun kaikki annospalat on siirretty, robotin ohjelma-kierto alkaa alusta.

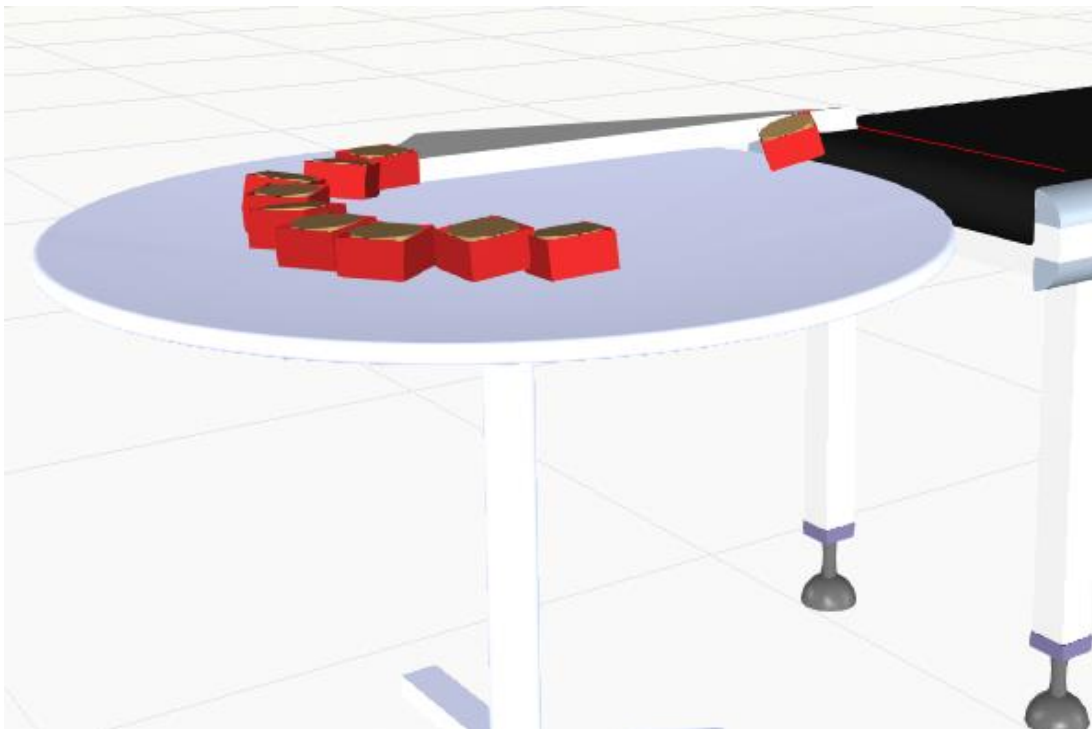


Kuva 14. Kääretorttujen leikkaaminen



Kuva 15. Tuotteen siirtäminen rasiaan

Pakatut tuotteet siirtyvät pyörivälle vastaanottopöydälle (Kuva 16). Simulointi toteutettiin pyörivän pöydän osalta tekemällä tuotteille polku, jota pitkin ne liukuvat halutulla tavalla kohti pöydän keskiosaa. Tuotteiden siirtymisessä pöydälle käytettiin myös Physics-ominaisuutta, minkä vuoksi tuotteet liikkuvat luonnollisesti huomioiden esimerkiksi pintojen muodot, korkeuserot sekä muut kappaleet. Ilman Physics-ominaisuutta tuotteet liikkuisivat suoraviivaisesti riippumatta pinnan muodoista ja voisivat mennä muiden kappaleiden läpi.



Kuva 16. Tuotteiden siirtyminen pöydälle

6.3 Havainnot

Simuloinnin myötä esimerkiksi robotin käyttö osoittautui tehokkaammaksi, mikäli robotti voi leikata peräkkäin useamman kääretortun. Työntekijä voisi siis nostaa kuljettimelle pellillisen kääretorttuja kerralla ja pellin käyttö saa myös kuljettimen pysymään puhtaana pidemmän aikaa. Simuloinnin avulla tarkasteltaessa UR5-robotin ulottuvuus osoittautui riittäväksi ja tilankäyttö on helpompi hahmottaa.

Moniteräisen leikkurin käyttöä leikkaamiseen testattiin tulostamalla leikkuri muovista ja tekemällä UR5-robotilla testileikkauksia. Testien perusteella osoittautui, että robotti ei pysty leikkaamaan moniteräisellä leikkurilla, koska sen voima ja nopeus eivät riitä tähän tehtävään. Kääretorttu aiheuttaa liian suuren vastuksen kiilamaiselle terälle, jolloin kääretorttuviipaleet juuttuvat terien väliin. Leikkaaminen onnistuu tehokkaasti robotin avulla, mikäli käytetään yksiteräistä leikkuria ja robotti leikkaa neljä kääretorttua peräkkäin. Robotti leikkaa ensin kääretorttujen päät tasaiseksi, minkä jälkeen kääretortut leikataan kahdeksaan osaan. Testauksen perusteella ratkaisuvaihtoehto 2 toimi suunnitellusti, mutta moniteräisen leikkurin sijaan suositellaan käytettävän yhteistyö-

robotilla yksiteräistä leikkuria. Yksiteräisellä leikkurilla leikkaaminen on tietysti hieman hitaampaa kuin moniteräisellä leikkurilla leikkaaminen, mutta kun leikkaaminen on ohjelmoitu robotille etukäteen, on yksiteräisellä leikkurilla leikkaaminen kuitenkin nopeampaa kuin ihmisen leikkaamana.

Vaikka käytettävä robotti on yhteistyörobotti, tällaisen teräleikkurin kanssa sovellus ei ole yhteistyörobottisovellus. Sovelluksen suunnittelussa täytyy tehdä riskianalyysi ja sen perusteella robotin ympärille turvaratkaisu. Turvaratkaisulla poissuljetaan mahdollisuus, että robotti vahingoittaa leikkurin terällä ihmistä.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka kääretortun leikkaaminen ja pakkaaminen annosrasioihin voidaan automatisoida leipomoyrityksessä. Työssä selvitettiin erilaisia toteutusvaihtoehtoja ja oltiin yhteydessä useisiin laitetoimittajiin, jotta saatiin lisätietoja laitteista sekä niiden hinnat. Haastavinta oli saada tietoa kuljetinjärjestelmistä ja niiden hintatasosta. Laitteiden hankintahinta osoittautui varsin kohtuulliseksi saatavaan hyötyyn nähden.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kolme erilaista ratkaisuvaihtoehtoa, joiden automaation aste ja budjetti eroavat toisistaan. Suositeltavimmaksi ratkaisuvaihtoehdoksi osoittautui vaihtoehto kaksi, jolloin kaikki toivotut prosessin vaiheet automatisoidaan, mutta laitteiden hankintahinta jää huomattavasti pienemmäksi ilman ultraäänileikkuria. Lisäksi tilansäästö on merkittävä. Tästä vaihtoehdosta tehtiin myös simulointi Visual Components -ohjelmalla.

Uskon, että opinnäytetyössä tehty selvitys auttaa investoinnin suunnittelussa ja antaa tarvittavia tietoja tarkemmille neuvotteluille laitetoimittajien kanssa. Oli hyvin mielenkiintoista perehtyä leipomoalalla käytettäviin laitteisiin ja saada käsitys, mitkä ovat eri työvaiheiden automatisoinnin kustannukset.

LÄHTEET

- Bakon Food Equipment:n www-sivut. 2019. Viitattu 15.2.2019. <https://bakon.com/bakery-equipment/ultrasonic-cutting-machines/ultrasonic-cutting-nano-ultrasonic-slicer/>
- Bouchard, S. 2014. How to choose the right robotic gripper for your application. Viitattu 27.10.2018. <https://blog.robotiq.com/bid/33127/How-To-Choose-The-Right-Robotic-Gripper-For-Your-Application>.
- Döinghaus cutting and more GmbH & Co. KG:n www-sivut. 2019. Viitattu 7.3.2019. <https://www.cuttingandmore.de/en/products/bakery-and-confectionery-trade/cakes-in-trays/ultracut-nado/>
- Forss, K. Flowpack-kone ja ultraäänileikkuri. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 4.3.2019 klo 23.39. Viitattu 5.3.2019.
- Heikkonen, T. 2019. Myyntijohtaja, Oriplan Oy. Turku. Henkilökohtainen tiedonanto 6.2.2019.
- Heinonkoski, R., Asp, R. & Hyppönen H. 2008. Automaatio – helppoa elämää? Helsinki: Opetushallitus.
- Henry, J. 2015. What are collaborative robots and why should you care? Viitattu 5.10.2018. <https://www.packagingdigest.com/robotics/what-are-collaborative-robots-and-why-should-you-care1505>
- Hill, K. 2018. 5 ways conveyors improve packaging productivity. Viitattu 8.10.2018. <https://www.packagingdigest.com/conveyors/5-ways-conveyors-improve-packaging-productivity-2018-09-21>
- Holma, J. UR3 ja UR5 robotit. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 16.12.2018 klo 22.05. Viitattu 17.12.2018.
- Holma, J. UR3 ja UR5 robotit. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 5.2.2019 klo 17.58. Viitattu 5.2.2019.
- Ihalainen, H. Flowpack-koneet ja kuljettimet. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 26.12.2018 klo 23.57. Viitattu 27.12.2018.
- Ihalainen, H. Flowpack-koneet ja kuljettimet. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 19.2.2019 klo 22.19. Viitattu 20.2.2019.
- Ihalainen, H. Flowpack-koneet ja kuljettimet. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 20.2.2019a klo 19.08. Viitattu 21.2.2019.
- Ihalainen, H. Flowpack-koneet ja kuljettimet. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 20.2.2019b klo 21.46. Viitattu 21.2.2019.
- Iltanen, M. 2018. Henkilöstöpäällikkö, Tmi Pekan Parhaat, Pekka Leinonen. Ulvila. Vierailu 27.9.2018.

Iltanen, M. Muutama kysymys liittyen opinnäytetyöhön. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 15.11.2018 klo 8.51. Viitattu 5.3.2019.

Iltanen, M. Muutama kysymys liittyen opinnäytetyöhön. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 7.1.2019 klo 9.46. Viitattu 5.3.2019.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2010. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 1.–2. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.

Kemppinen, O. UR3 ja UR5 robotit. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 14.12.2018 klo 10.13 ja 10.40. Viitattu 15.12.2018.

Kirmanen, S. UR3 ja UR5 robotit. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 18.12.2018 klo 13.11. Viitattu 20.12.2018.

Leinonen, P. 2018. Yrittäjä, Tmi Pekan Parhaat, Pekka Leinonen. Pori. Vierailu 18.10.2018.

Mason, A. 2015. How to select the right robot gripper. Viitattu 29.10.2018. <http://www.machinebuilding.net/ta/t0669.htm>

Mihelj, M., Bajd, T., Ude, A., Lenarčič, J., Stanovnik, A., Munih, M., Rejc J. & Šlajpah S. 2019. Robotics. 2. painos. Cham: Springer International Publishing AG.

Mäkinen, T. Tiedustelu kääretorttuviipaleiden leikkaamiseen ja pakkaamiseen sopivista laitteista. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 14.12.2018 klo 14.03. Viitattu 14.12.2018.

Mäkinen, T. Tiedustelu kääretorttuviipaleiden leikkaamiseen ja pakkaamiseen sopivista laitteista. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 3.1.2019 klo 7.34. Viitattu 13.1.2019.

Nyberg, M. 2019. Myyntipäällikkö, Finnvacum Oy. Helsinki. Henkilökohtainen tiedonanto 7.3.2019.

Omron Corporationin www-sivut. 2018a. Viitattu 20.12.2018. http://www.omron.com.tw/data_pdf/cat/tm_i836-e1_1_1_csm1066064.pdf

Omron Corporationin www-sivut. 2018b. Viitattu 20.12.2018. <http://www.omron.com.tw/products/family/3739/lineup.html>

Omron Corporationin www-sivut. 2019. Viitattu 11.3.2019. https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v1/collaborative_robots_datasheet_en.pdf

Onnela, J-P. Omron TM5-900. Vastaanottaja: Alatalo, J. Lähetetty 10.12.2018 klo 9.52. Viitattu 10.12.2018.

OnRobot A/S:n www-sivut. 2018. Viitattu 14.12.2018. <https://onrobot.com/products/rg2-gripper/>

Oriplan Oy:n www-sivut. 2019. Viitattu 27.1.2019. <https://www.oriplan.com/index.php/tuotteet/pakkauskoneet-ja-lavauslinjat/15-pyoriva-vastaanottopoyta>

- Otterstein, J. 2000. Selecting sensors for packaging motion control. Viitattu 26.10.2018. <https://www.machinedesign.com/technologies/selecting-sensors-packaging-motion-control>
- Packaging Digestin www-sivut. 2018. Viitattu 8.10.2018. <https://www.packagingdigest.com/segment/machinery-automation>
- Peltoranta, J. 2017. Robotiikalla lisää tuottavuutta työhön. Prometalli 2, 45. Viitattu 11.11.2018. <http://www.publico.com/magazine/pdf/844.pdf>
- PFM Packaging Machinery S.p.a.:n www-sivut. 2019. Viitattu 9.3.2019. <http://www.pfm.it/packaging-machinery/horizontal/pearl/>
- Reepack S.R.L.:n www-sivut. 2019. Viitattu 16.1.2019. <https://www.reepack.com/en/products/flow-wrap/rotatory-system/reeflow-100-rb/152/12/42>
- RobotWorxin www-sivut. 2018. Viitattu 5.10.2018. <https://www.robots.com/applications/collaborative>
- The Bakery Networkin www-sivut. 2019. Viitattu 6.3.2019. <http://www.thebakerynetwork.com/how-develop-automation-plan-your-bakery>
- Thinkbot Solutions LLC:n www-sivut. 2018. Viitattu 14.12.2018. <https://www.thinkbotsolutions.com/shop/weiss-robotics-gripkit-p1>
- Tmi Pekan Parhaat, Pekka Leinosen www-sivut. 2018. Viitattu 1.10.2018. <http://www.pekanparhaat.fi/uutinen.php?articleID=1>
- Universal Robots A/S:n www-sivut. 2018a. Viitattu 14.11.2018. https://www.universal-robots.com/media/1801258/eng_199901_ur_main-product_brochure_web_1.pdf
- Universal Robots A/S:n www-sivut. 2018b. Viitattu 14.11.2018. <https://www.universal-robots.com/products/ur3-robot/>
- Universal Robots A/S:n www-sivut. 2018c. Viitattu 16.12.2018. <https://www.universal-robots.com/plus/end-effectors/robotiq-2f-140/>
- Weiss Robotics GmbH Co. KG:n www-sivut. 2017. Viitattu 30.1.2019. <https://www.weiss-robotics.com/gripkit/en/>
- Wilson, J. S. 2005. Sensor Technology handbook. Amsterdam: Elsevier/Newnes.