



Puhallusmuovaussolun automatisointi

Daniel Jalokinos

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Konetekniikka
Älykkäät koneet / koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Älykkäät koneet / koneautomaatio

JALOKINOS, DANIEL:
Puhallusmuovaussolun automatisointi

Opinnäytetyö 70 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2021

Robotit ovat nykypäivän teollisuusautomaation keskiössä. Yritykset voivat korottaa tuotantokapasiteettiaan automaation avulla, samalla jopa parantaen laatua. Kun automaatioaste kasvaa jollakin teollisuuden alalla, täytyy kyseisen alan yritysten seurata kehityksen mukana tai hyväksyä kilpailukyvyyn heikkeneminen korkean volyymin tuotteissa. Opinnäytetyön pohjana oleva selvitys tehtiin muoviteollisuudessa toimivalle yritykselle, mutta yritys ei ole opinnäytetyön toimeksiantaja.

Työn tavoitteena oli kehittää konseptitason esitys puhallusmuovauskoneen ympärille rakennetun manuaalisolun automatisoinnista. Esityksen tarkoituksena on tulevaisuudessa johdattaa yritystä kohti koko puhallusmuovauspuolen automatisointia, joka mahdollistaisi yrityksen toiminnan laajenemisen myös korkean volyymin tuotteisiin.

Opinnäytetyö on tapaustutkimus, jonka lähtökohtana on yksittäisen manuaalisolun automatisointi. Työn tutkimusmenetelmänä käytettiin kvalitatiivista toimintatutkimusta konstruktiiivisella tutkimusotteella. Työ sisältää käsitellyistä aihealueista laajan teoriapohjan, joka koostettiin perinteisistä tutkimuslähteistä, kuten kirjoista ja tieteellisistä artikkeleista. Työn teoretietoa kuitenkin vahvistettiin tekemällä konseptitodistus robotilla, joka mahdollisti syvällisemmän ymmärryksen käytännön tason ongelmista solua automatisoidessa. Tämän lisäksi ehdotetun automaatoratkaisun toimivuutta tutkittiin simulaatiolla. Työ ei kuitenkaan sisällä kvantitatiivista analyysiä ehdotettujen ratkaisujen eduista.

Tutkielman tärkeimmät tulokset keskittyvät muottisuunnittelua ohjaaviin sääntöihin, jotka edesauttavat automaatiovalmiutta. Työn tärkeäksi anniksi nousee myös lukuisat esitetyt vaihtoehdot eri osioiden automatisoinnille, jotka toimivat jatkotutkimusaiheina tarpeen mukaisesti. Kyseinen lähestymistapa mahdollistaa työn käyttämisen toimivan automaatoratkaisun kehittämiseen yrityksen tarpeen mukaisesti sen sijaan, että yritettäisiin luoda kaikkiin tilanteisiin sopivaa yksittäistä automaatoratkaisua. Työn tulokset viittaavat siihen, että muovialan pk-yritysten automatisointitarpeet voivat olla toteutettavissa odotettua pienemmällä työmäärällä. Tätä työtä tukisi jatkotutkimus ehdotettujen ratkaisujen hyötyjen vertailusta kvantitatiivisen analyysin keinoin. Nämä työt muodostaisivat yhdessä toimivan kokonaisuuden, joka toimisi erinomaisena lähteenä automaatiohanketta aloittavalle muovialan pk-yritykselle.

Avainsanat: automaatio, robotti, puhallusmuovaus, liepeen poisto

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Intelligent Machines / Machine Automation

JALOKINOS, DANIEL:
Automation of a Blow Molding Cell

Bachelor's thesis 70 pages, appendices 0 pages
May 2021

The purpose of this study was to develop a concept-level framework for the robotic automation of manual cells operating alongside blow molding machinery. The goal of this thesis was to lay the foundation for the company to automate their blow molding facility and be able to expand their production to high-volume products while maintaining their profit margins.

This thesis is a case study branching out from a single manual cell automation process. The study was done as an innovation action research with a constructive approach. The theoretical information for this thesis was gathered partly from traditional sources (e.g. books, scientific journals) but the work also included tests with a physical robot as well as using simulations to test proposed solutions. This work, however, did not include quantitative analysis into the benefits of the proposed solutions.

The results of this thesis are most apparent in the principles given for mold design to accommodate robotic manipulation of parts, as well as in the numerous options presented for the different subsections of the automation solution. These options were expanded upon and presented as future research targets. This approach enables the findings of this thesis to be used in more general terms to develop an automation solution suitable for the exact task at hand, instead of trying to provide a one-size-fits-all solution. This thesis can easily be transformed into a blow molding automation checklist, with suggestions given for future reading on the subject.

The findings of this work theory-wise indicate that transforming manual cells into robotic cells in the plastic industry is not an unattainable goal for SMEs and can be done in distinct steps. A follow-up research diving into the quantitative results of compared solutions would add more value to this study.

Key words: automation, robot, blow molding, machine tending, deflashing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TEOLLISUUSROBOTIT	8
	2.1 Robottimallit ja niiden käyttökohteet.....	8
	2.2. Hankinta ja käyttö Suomessa.....	13
3	ROBOTTISTANDARDIT JA HYVÄKSYNNÄT	16
4	TUOTANNON AUTOMAATIOPROSESSIN VALINTA.....	18
5	MUOVITUONTANTOPROSESSIT	22
6	TYÖKALUT JA MENETELMÄT	25
7	LÄHTÖKOHDAT ENNEN TYÖN ALOITTAMISTA.....	28
	7.1 Prosessikuvaus.....	28
	7.2 Manuaalisolun ongelmat	33
	7.3 Olemassa olevat automaatoratkaisut	33
8	KONSEPTITODISTUS.....	36
	8.1 Testien tavoite ja kulku.....	36
	8.2 Ensimmäinen testivaihe	36
	8.3 Toinen testivaihe	38
	8.4 Konseptitodistuksen tulokset.....	39
9	MANUAALISOLUN KORVAAMINEN ROBOTTISOLULLA.....	46
	9.1 Simulointi	46
	9.2 Simulaation vienti toimivaksi automaatoratkaisuksi.....	50
	9.3 Yleisiä huomioita puhallusmuovauskoneen automatisointiin.....	51
10	YLEISEN AUTOMATISOINTIRATKAISUN KEHITTÄMINEN	55
	10.1 Automaatoratkaisun yleistäminen koko tuotantoon.....	55
	10.2 Automaatoratkaisun kehittäminen.....	56
	10.2.1 Robotin valinta	56
	10.2.2 Liepeiden leikkaus	59
	10.2.3 Lämmitysmetodi.....	61
	10.2.4 Inserttien paletointi.....	61
	10.3 Kustannusvertailu	62
11	POHDINTA	64
	LÄHTEET	66

LYHENTEET JA TERMIT

Cobotti	Yhteistyörobotti. Teollisuusrobotti, joka on suunniteltu toimimaan ihmisten kanssa yhteistyössä. Engl. cobot, collaborative robot
Insertti	Irto-osa, lisäke
Järjestelmäintegraattori	Henkilö / yritys, joka saa automaatiokokonaisuuden osat toimimaan yhteen ja vastaa toimivasta lopputuloksesta
Konseptitodistus	Yksinkertaistettu malli, joka testaa konseptin toimivuutta. Engl. Proof-of-Concept, POC
Manuaalisolu	Työpiste, jossa työn tekee ihminen
Offline-ohjelmointi	Robotin etäohjelmointi tietokoneella olematta yhteydessä robottiin. Engl. offline programming, OLP.
(Opetus)pendantti	Robotin ohjaukseen ja ohjelmointiin käytetty käsiohjain. Engl. teaching pendant.
Pick-and-place	Työtehtävä, jossa kappaleita poimitaan ja siirretään eri sijaintiin
Robottisol	Työpiste, jossa työn tekee robotti
SME	Pk-yritys. Engl. Small and medium-sized enterprise
Synkroniliike	Synkronoitu liike, eli yhdenaikainen liike usean robotin tai robotin ja ulkoisen akselin välillä
Tarttuja	Puristinmallinen robotin työpää. Engl. gripper
Termoplastinen muovi	Kestomuovi. Lämmittämällä uudelleen muokattava muovi.
Työalue	Alue, jolla robotti ylettää tekemään töitä. Engl. work envelope
UR	Universal Robots. Yhteistyörobottien valmistaja.
Ylettyvyys	Etäisyys, johon robotti kykenee vielä ylettämään. Mitataan yleensä rungon keskeltä tai ensimmäisestä nivelestä. Engl. reach

1 JOHDANTO

Nykypäivänä automaatio ja teollisuusrobotit ovat levinnet käytännössä kaikille teollisuuden aloille. Mitä korkeammaksi automaatioaste nousee alalla, sitä vaikeampi alan toimijoiden on pysyä kilpailukykyisenä nostamatta omaa automaatioastettaan. Robotisointi parantaa oikein käytettynä esimerkiksi tuotantokapasiteettia, tuotteiden laatua, sekä mahdollistaa ihmisen poistamisen työläistä tai vaarallisista työtehtävistä. Tämä opinnäytetyö on toteutettu ilman virallista toimeksiantajaa, mutta työ tehtiin eräälle muovialan yritykselle säilyttäen kosketuksen työelämään ja todelliseen alan tarpeeseen.

Yritys on aikaisemmin automatisoinut muuta tuotantoaan, mutta puhallusmuovauksen automatisointi on vielä varhaisessa vaiheessa. Käytetyt puhallusmuovauskoneet ovat melko vanhoja, eikä niitä ollut suunniteltu automaatiota mielessä pitäen. Näiden koneiden ympärillä olevat manuaalisolut toimivat tuotannon pulonkaulana, sillä ihminen rajoittaa niissä koko solun jaksonaikaa. Osa solun tehtävistä suoritetaan myös hieman eri tavoin eri hetkellä riippuen työntekijästä ja tilanteesta, joten tuotteiden tasalaatuisuus on myös yrityksen huolena. Yrityksen automaatio-osaaminen on rajoitettu vain hyvin pieneen henkilöstömäärään, joilla ei ollut aikaa muiden työtehtävien ohella paneutua puhallusmuovauspuolen automatisointiin. Tämän takia yritys nojasi ulkopuoliseen osaamiseen prosessin kartoituksessa, joka toimi tämän opinnäytetyön alkuna.

Työn tavoitteena on luoda konseptitason ehdotus yritykselle yhden ennalta määrätyn manuaalisolun automatisoinnista. Tuloksia ja esille nousseita huomioita pyritään lisäksi yleistämään käyttökelpoisiksi myös muiden muovikoneiden ja manuaalisolujen automatisointiin alalla. Työ pyrkii luomaan aiheesta ymmärryksen myös sellaiselle henkilöstölle, joilla ei ole aikaisempaa taustaa robottiautomaatiosta. Tämän takia käsiteltyjen teemojen teoriat pyritään esittelemään ennalta, jotta teos olisi ymmärrettävissä ilman ulkopuolista materiaalia. Työn konseptien lopulliseen implementointiin vaaditaan kuitenkin jonkin asteinen ymmärrys alasta, jonka takia teos soveltuukin ehkä parhaiten johtotason henkilöstölle, joka toivoo eräänlaista karttaa robotisoinnin aloittamiseen ja tehtävien jakoon työntekijöille.

Opinnäytetyössä esitetään muutostarpeita nykyisiin suunnittelukäytäntöihin, sekä avataan jatkoselvitystarpeita mahdollistaen yrityksen puhallusmuovauspuolen automaatiovalmiuden noston toivotulle tasolle. Seuraamalla esitettyjä askeleita, voi yritys luoda itselleen toimivan ja harkitun automaatiokokonaisuuden ja pystyä vastaamaan markkinoiden automaatiotarpeeseen.

2 TEOLLISUUSROBOTIT

2.1 Robottimallit ja niiden käyttökohteet

Tässä työssä robotilla tarkoitetaan standardin ISO 7373 mukaista määritelmää teollisuusrobotista: automaattisesti ohjattu, uudelleenohjelmoitava, monikäyttöinen manipulaattori, jossa on kolme tai useampi akseli (ISO 8373 2012, 3)¹. Teollisuusrobottien käyttö sarjatuotannossa on erittäin yleistä. Robottien voidaankin olettaa kasvattavan tuotantotehokkuutta oikein käytettynä, sillä toisin kuin ihmiset, robotit voivat työskennellä tauotta sekä usein nopeammin. Robottien hyöty näkyy myös niiden korkeassa toistotarkkuudessa, eli niiden työstämät kappaleet ovat usein tasalaatuisempia ihmisten tekemiin kappaleisiin verrattuna (International Federation of Robotics n.d.). Robotit pystyvät myös tekemään vaaralliseksi luokiteltuja tai yksitoikkoisia työtehtäviä, joita ihmiset eivät välttämättä halua tehdä. Tämä mahdollistaa myös työntekijöiden siirtämisen monimutkaisempiin tehtäviin, mikäli itseään toistavat työtehtävät voidaan korvata roboteilla.

Teollisuusrobotteja on useita eri malleja, jotka kaikki omaavat omat etunsa soteihin tehtäviin. Robottien valinnassa täytyy ottaa useita kriteerejä huomioon, mutta pohjan valinnalle tekee robotin malli. Malleja on olemassa suuri määrä, mutta tässä käsitellään yleisimmät.

Lineaarirobotti

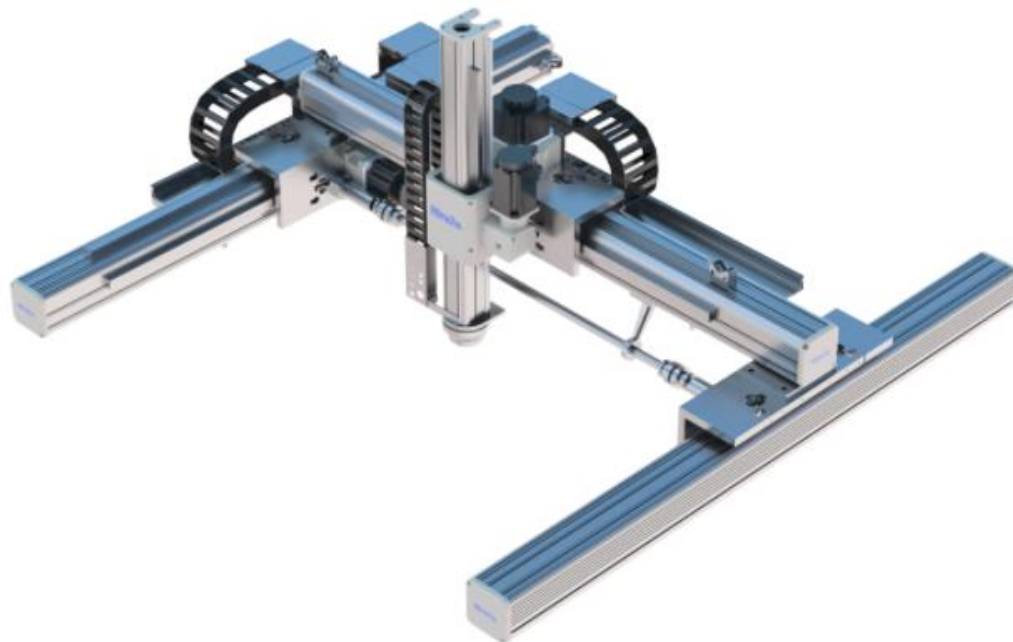
Lineaarirobotia (kuva 1) kutsutaan myös karteesiseksi robotiksi (engl. cartesian robot) (ISO 8373 2012, 10). Lineaarirobotti koostuu yleensä kolmesta tai useammasta lineaariaktuaattorista, jotka muodostavat robotin liikeradat. Riippuen lineaarirobotin asennuksesta, voi sillä olla ongelmia päästä käsiksi esimerkiksi laatikoiden sisälle, tai yleisesti navigoida esteiden ympäri. (Minner 2019.)

¹ “automatically controlled, reprogrammable (2.4), multipurpose (2.5) manipulator (2.1), programmable in three or more axes (4.3) --” (ISO 8373 2012, 3).



KUVA 1. Lineaarirobotti (International Federation of Robotics 2019)

Mikäli lineaarirobotti on rakennettu kahden samansuuntaisen X-akselin päälle, kutsutaan lineaarirobottia tällöin myös portaalirobotiksi (engl. gantry robot) (kuva 2). Robotti toimii tällöin X-akseleidensa välistä alapuolelle. Rakenne tuo lisävahvuutta robotille, ja koko robotin runko voidaan nostaa työalueen yläpuolelle. Tämä mahdollistaa erittäin suuret työtilat käyttäen kuitenkin erittäin vähän lattia-pinta-alaa. (Minner 2019.)



KUVA 2. Portaalirobotti (Hirata n.d.)

Lineaarirobottien työalue (engl. work envelope) on suorakulmio, joka useimmiten on käytännöllisempi ja tehokkaammin käytetty, kuin esimerkiksi SCARA robottien

ovaali työalue. Lineaarirobotit ovat rakenteeltaan myös erittäin yksinkertaisia, ja ne ovat edullisempia valmistaa tarkemmiksi, kuin muut robotit. Lineaarirobottien työkuorma (engl. payload) on myös yleensä suhteessa muihin robotteihin erittäin suuri. (Collins 2018.)

Delta

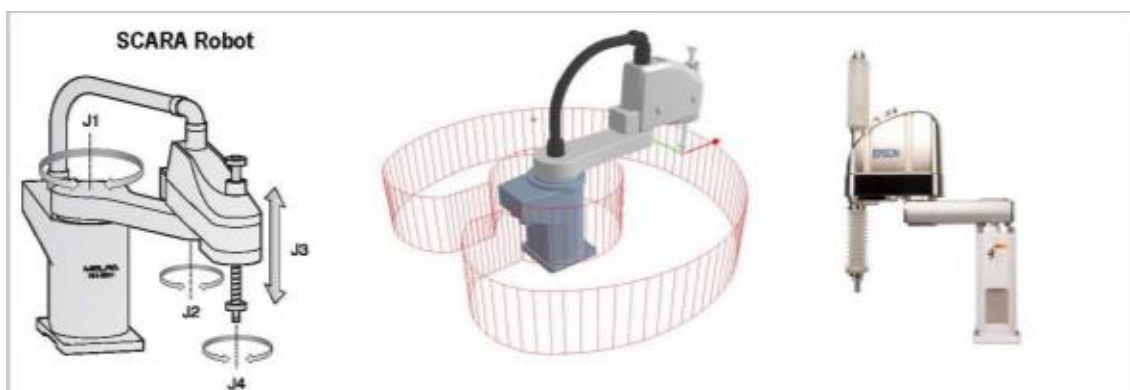
Delta robotit (kuva 3) käyttävät kolmea runkoon kiinnitettyä moottoria ohjatakseen työpäätä niihin kiinnitettyjen varsien kautta. Deltat ovat kattokiinnitteisiä ja niiden työalue on suoraa rungon alapuolella. Tämän hämähäkkimäisen rakenteen avulla niiden työpää on erittäin kevyt, ja kykenee siten erittäin korkeisiin kiihdytyksiin ja nopeuksiin. Delta robottien työalue on usein kuitenkin melko pieni, eikä niiden työkuorma voi olla kovin suuri. Deltoja käytetäänkin pääosin pick-and-place työtehtäviin kevyille kappaleille. (Minner 2019.)



KUVA 3. Delta robotti (International Federation of Robotics 2019)

SCARA

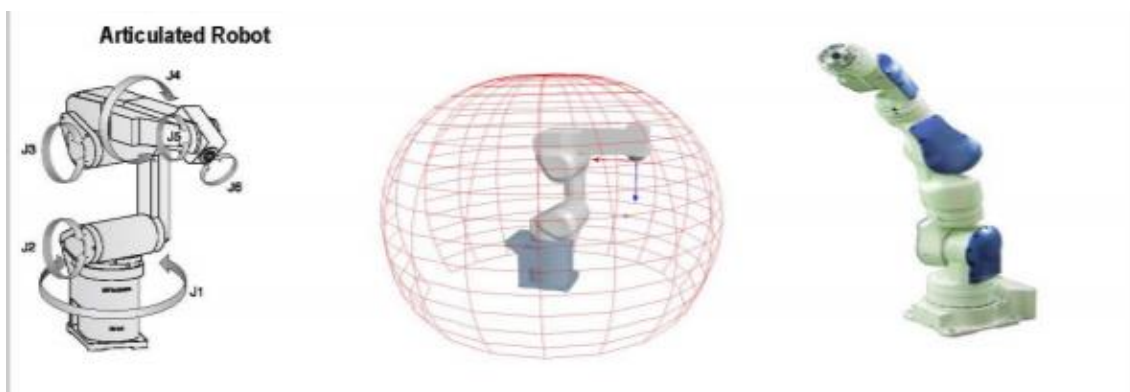
SCARA (kuva 4) on lyhenne, joka tulee englannin kielen sanoista Selective Compliance Articulated Robot Arm. SCARA on nopea robotti ja erinomainen z-suuntaisessa vakaassa liikkeessä sen vertikaalisen jäykkyyden takia. Tämä näkyy vahvuutena esimerkiksi asettaessa lukitetappia tiukasti toleroituun reikään, joka on muille robottimalleille huomattavasti haastavampi toimenpide. SCARA toimii erinomaisesti myös muussa tasomaisessa työssä, kuten pick-and-place toiminnassa. Muissa kuin tasomaisissa työtehtävissä, ei SCARA kuitenkaan ole erityisen toimiva. SCARAt ovat yleensä melko kevyitä ja vievät pienen pinta-alan suhteessa työalaansa. (Minner 2019.) SCARA robotit voidaan tiivistää toimimaan puhdastyötilaa varten (Epson n.d.).



KUVA 4. SCARA (International Federation of Robotics 2019)

Artikuloitu

Artikuloidut käsivarsirobotit (kuva 5) ovat hyvin suuressa käytössä teollisuudessa. Käsivarsirobotit luokitellaan niiden akselien mukaan, joista yleisin on 6-akselinen. Robotteja löytyy kuitenkin myös 4- ja 7-akselisia. Artikuloidut robotit ovat erinomaisia, kun työ ei tapahdu samansuuntaisilla tasoilla, tai kun robotin tarvitsee pystyä kurottamaan esteiden yli tai ympäri. Tämänlaisia töitä ovat esimerkiksi hitsaaminen ja koneenkäsittely. Artikuloidut robotit voidaan myös tiivistää SCARAN tavoin puhdastyötilaa varten, tai erityisen likaista työympäristöä varten. Käsivarsirobotit eivät kuitenkaan pärjää nopeuksissa muille roboteille, sekä ne ovat yleensä kalliimpia suhteessa vastaavien työkuormien omaaviin robotteihin. (Minner 2019.)



KUVA 5. Artikuloitu käsivarsirobotti (International Federation of Robotics 2019)

Yhteistyörobotti

Yhteistyörobotti on yksinkertaisesti robotti, joka on suunniteltu välittömään yhteistyöhön ihmisen kanssa (ISO 8373 2012, 6). Yhteistyörobotteja kutsutaan myös coboteiksi, joka on lyhenne englannin kielen sanoista collaborative robot.

Ongelma perinteisillä roboteilla on niiden aiheuttama vaara ihmiselle. Törmäys robotin rungon tai työpään kanssa voi olla jopa hengenvaarallinen tilanne. Törmäyksien lisäksi robotit voivat aiheuttaa esimerkiksi puristumisvaaran. Yhteistyörobotit pyrkivät korjaamaan tämän ongelman muun muassa tylpistämällä rakenteen muodot, asettamalla voimarajoituksia, vähentämällä törmäysenergiaa rajoittamalla massaa ja nopeuksia, sekä erityisesti lisäämällä anturointia robottiin. Anturoinnin avulla cobotit pystyvät siten välttämään törmäystä ihmisen kanssa, tai pysähtymään mikäli törmäys kuitenkin tapahtuu. (Robotics n.d.)

Perinteisten robottien kanssa ihminen ei käytännössä voi tehdä yhteistyötä ollenkaan. Edes samassa tilassa oleminen ilman suojalaitteistoa ei ole sallittua robotin ollessa päällä, ja näiden robottisolujen hankintakustannuksiin onkin laskettava suojalaitteisto mukaan.

Yhteistyörobotin kanssa suojalaitteistoa ei välttämättä tarvitse ollenkaan. Toisin kuin perinteisten teollisuusrobottien kanssa, ihmiset voivat tehdä cobottien kanssa yhteistyötä samanaikaisesti, eikä työtä tarvitse jaksottaa. Pienet ja keski-suuret yritykset käyttävät cobotteja eniten, johon on muutama selittävä tekijä. Cobottien käyttöönoton kustannukset ovat usein matalammat ja ne ovat pienempiä sekä joustavammin liikuteltavissa. Tämän lisäksi ne tuottavat arvoa nopeammin pientuotannossa, sillä niiden käyttöönotto uuteen työtehtävään on nopeampaa esimerkiksi suojalaitteiston tarpeettomuuden takia. Cobotteja voidaan usein myös ohjelmoida lead-through-metodilla, jolloin robotti liikutellaan käsin haluttuun asentoon ja paikkapiste tallennetaan opetuspendantilla. Tämä ohjelmointitapa on erittäin nopea oppia jopa niille henkilöille, jolla ei ole aikaisempaa käyttökoke-musta robotiikasta. (Robotics n.d.)

Yhteistyörobotit koostivat vain 3 prosenttia kaikista roboteista vuonna 2018, mutta määrän odotetaan nousevan 34 prosenttiin vuoteen 2025 mennessä (Ro-

botics Online 2018). Toistaiseksi yhteistyörobottien valmistus keskittyy vain muutamalle valmistajalle, mutta lähitulevaisuudessa on odotettavissa useita pienempien yritysten cobotteja (Robotics n.d.).

2.2. Hankinta ja käyttö Suomessa

Neljä suurinta teollisuusrobottien valmistajaa (Fanuc, Yaskawa, ABB, Kuka) hallitsevat yli puolta teollisuusrobottimarkkinoista globaalisti. Cobottituotantoa hallitsee selkeästi kuitenkin Universal Robots 40 prosentin markkinaosuudella. (Interact Analysis 2019.)

Yksittäisen teollisuusrobotin voi ostaa uutena noin 20 000 eurosta lähtien, ja etenkin kevyempiä yhteistyörobotteja löytyy edulliseen hintaan. Robotteja voi myös ostaa käytettynä. Robotti ei tosin yksinään kykene mihinkään, kuten lean robotics -metodiikan kehittäjä Samuel Bouchard (2017) toteaa, vaan järjestelmä vaatii toimiakseen mahdollisesti muitakin komponentteja, kuten robotin työpään, antureita, suojavälineitä ja kappalesyöttimiä. Tämän takia on oleellista miettiä robotin hankintaa ja käyttöönottoa lopullisen robottisolun kannalta, eikä pelkän robotin. Tällöin järjestelmän hinta voi nousta yli 200 000 euroon, mikäli solu ostetaan järjestelmäintegraattorilta avaimet-käteen periaatteella. Tämä Bouchardin arvio nojaa tosin suurempaan teollisuusrobottiin, jonka myyntihinta yksinään on liki 70 000 euroa. (Bouchard 2017, 17, 19–20.)

Jos yrityksen sisältä löytyy automaatio- ja robotiikkaosaamista, voi kustannukset laskea huomattavasti, mikäli järjestelmäsuunnittelu ja integrointi tehdään talon sisällä. Tämä kuitenkin vie huomattavasti aikaa, joten vaikka osaamista löytyisi-kin, voi yrityksen näkökannalta olla jopa järkevämpää ulkoistaa työ. Ulkoistaminen mahdollistaa yrityksen työntekijöiden keskittymisen pääasialliseen toimenkuvaansa, joka tuottaa suoraan arvoa yritykselle. (Bouchard 2017, 29, 30.)

Robotin sijoittaminen voi tapahtua kahdella eri tavalla: joko robotin ympärille rakennetaan uusi solu, tai se voi korvata ihmisen jo olemassa olevassa manuaalisolussa. Joitakin työtehtäviä voi kuitenkin olla haastava automatisoida kokonaan. Tällöin on hyvä harkita ratkaisua, jossa esimerkiksi robotti tekee 80 % työstä, ja

ihminen loput 20 %. Tällöin myös kyseisen solun tekeminen voi maksaa vain 40 % verrattuna siihen, jos koko työtehtävä olisi automatisoitu. Prosessista on hyvä tehdä kaavio, jossa esitetään solun askelien lisäksi myös vaatimukset sisään ja ulos tulevasta kappaleesta. Näitä vaatimuksia ovat esimerkiksi materiaali, mitat, toleranssit, asemointi, orientaatio, kappalemäärä, tahti ja muut aspektit, joilla varmistetaan solun sopivuus prosessivirtaan. Mikäli vaatimusten täyttäminen pelkällä robotilla on haastavaa, voi yhteistyörobotti ihmisen seurana olla oikea ratkaisu. (Bouchard 2017, 17, 72–90, 139.)

Manuaalisolua muuttaessa robottisoluksi on oleellista selvittää mahdollisen tarkasti nykyisen työtehtävän tiedot. Näihin lukeutuu esimerkiksi työvaiheet, jaksonaika, työvälit sekä kaikki hiljainen tieto, jonka työntekijä oppii työtehtävää tehdessään. Tietoa voi kerätä haastattelemalla ja tarkkailemalla työntekijää. Myös työkierron videokuvaaminen voi olla hyödyllinen tiedonlähde myöhemmin. Tärkeää on selvittää tarkasti, miksi jokainen prosessin vaihe tehdään ja kiinnittää erityistä huomiota tehtäviin, jotka ovat ihmiselle äärimmäisen helppoja mutta robotille vaikeita. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi visuaaliset tarkastelut öljyn tai pölyn varalta tai esimerkiksi jonkun toimenpiteen teko, joka tehdään vain tarvittaessa esimerkiksi yhdelle tuotteelle sadasta. (Bouchard 2017, 80.)

Mikäli käytössä ei ole yhteistyörobotti, vaaditaan robottisolun turvalaitteita. Nämä suojat pienentävät tapaturmariskin mahdollisuutta. Yksinkertaisimmillaan esimerkiksi pick-and-place-työtehtävää tekevälle robotille suojauksessa on kyse siitä, että estetään ihmisen pääsy työalueelle robotin ollessa käynnissä. Tämä voidaan toteuttaa yksinkertaisimmillaan esimerkiksi tekemällä suojakoppi robotisolun ympärille akryylilevystä ja alumiiniekstruusiosta, ja asentamalla kopin oveen katkaisija. Oven auetessa robotin tulee pysähtyä ennen kuin ihminen ehtii kävellä työalueelle. Tarkemmat määrittelyt löytyvät standardista SFS-EN ISO 13855, joka määrittää mm. etäisyyden ovesta laitteeseen, sekä (akryyli)seinämien korkeuden ja etäisyyden lattiasta. Esteettömämpiä ratkaisuita on myös olemassa, kuten robotin ympärille asetettavat etäisyysanturit, jotka pysäyttävät robotin ihmisen tullessa lähelle. Antureita voi myös käyttää siten, että robotin ympärille on asetettu vyöhykkeet tiettyjen etäisyyksien perusteella, joiden avulla järjestelmä muuttaa robotin nopeutta hyväksytylle tasolle riippuen ihmisen etäisyydestä. Tällaisia järjestelmiä on myös valmiina, kuten ABB:n 2021 julkaisema

Swifti-robotti, joka käyttää yhtiön omaa SafeMove järjestelmää aikaansaadaakseen edellä mainitut nopeusvyöhykkeet (ABB 2021).

Robottia valittaessa tulee ottaa useita asioita huomioon, kuten työkuorma, ulottuvuus, työympäristöön sopiminen, työtehtävän erityisvaatimukset, sopiminen olemassa olevaan robottikantaan, sekä esimerkiksi mahdollisesti rajaus pelkkiin yhteistyörobotteihin. Robotin valintaa käsitelläänkin tarkemmin myöhemmin kappaleessa 10.2.1.

3 ROBOTISTANDARDIT JA HYVÄKSYNNÄT

Useat standardit, direktiivit ja asetukset käsittelevät teollisuusrobotteja, joiden täyttäminen varmistaa esimerkiksi sen, että solun turvallisuus on riittävällä tasolla. Standardit eivät ole velvoittavia, lakiin rinnastettavia säädöksiä, mutta niitä seuraamalla voidaan varmistua direktiivien täyttämistä. Tämä varmistaa myös hyvin pitkälle myös oikeudellisen suojan onnettomuuden tapahtuessa. (Tukes n.d.a)

EU-alueella käytetään CE-merkintää osoittamaan tuotteen valmistajan tai tämän edustajan vakuuttavan, että kyseinen tuote täyttää sille asetetut EU:n direktiivit ja asetukset. EU-alueella myytävillä tuotteilla tulee olla ennalta CE-merkintä, mikäli tuote kuuluu CE-merkittyjen tuotteiden piiriin. Merkintää ei saa liittää tuotteisiin, joissa sitä ei vaadita. CE-merkintää ei myönnä viranomainen tai ulkoinen taho, vaan sen myöntää yleensä tuotteen valmistaja itse. Robottisolujen kohdalla yleinen käytäntö on CE-merkitä itse robottisolu, eikä erikseen laitteita sen sisällä. CE-merkintään liittyy EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen tekeminen, joka esittää mitkä direktiivit, asetukset ja standardit tuote täyttää ja kuka on vastuussa tietojen oikeellisuudesta. Selvitys on pidettävä saatavilla 10 vuotta. (Tukes n.d.b, Tukes n.d.c)

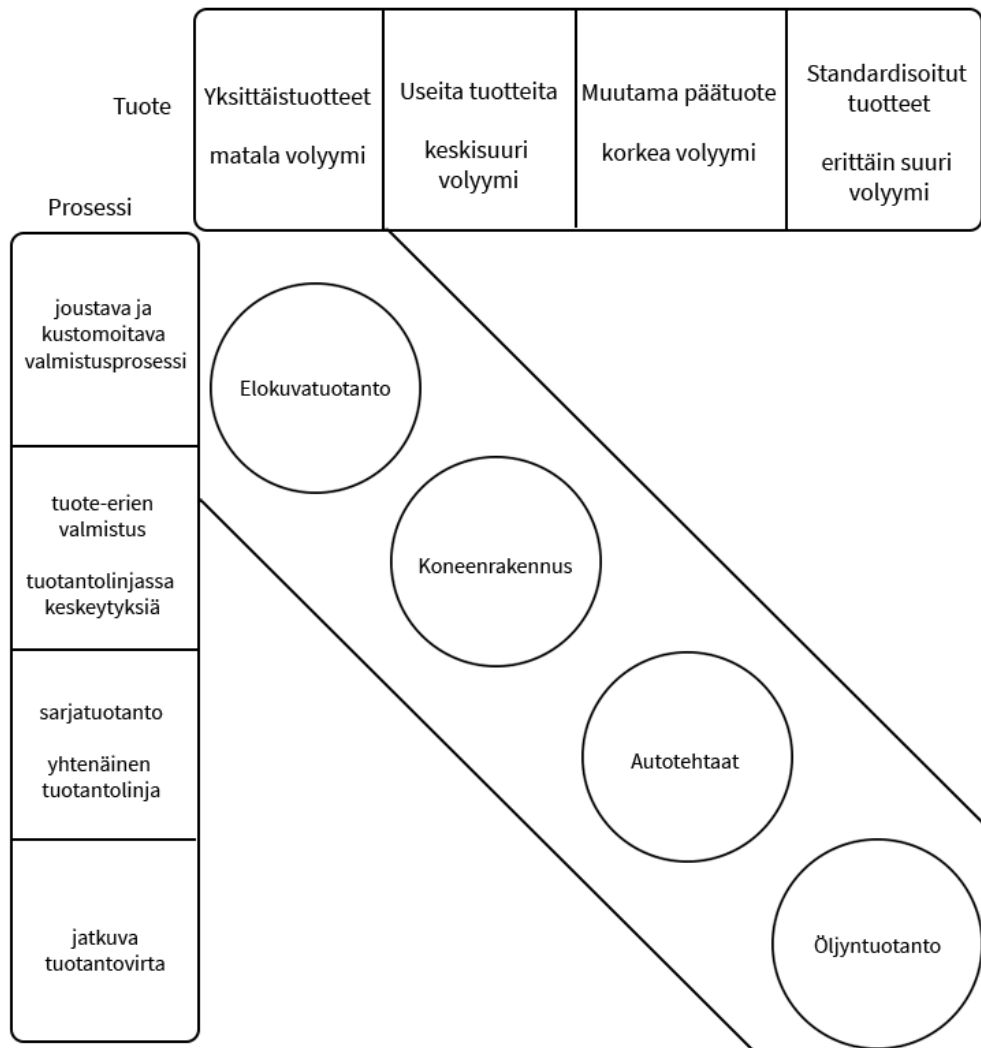
Robotteja ja robottisoluja käsitellään omissa robottikohtaisissa standardeissaan. Nämä standardit määrittävät hyvin pitkälle esimerkiksi robottisolun vaadittua turvalaitteistoa. Tarvittavia suojia määrittelee mm. standardit SFS-EN ISO 10218-1 ja SFS-EN ISO 10218-2. Yleisesti suojausteknisten laitteiden sijoittelua käsittelee myös standardi SFS-EN ISO 13855. Yhteistyöroboteille on oma standardin lisäosa ISO/TS 15066. Tällä hetkellä coboteille ei siis ole olemassa erillistä harmonisoitua standardia. Näiden lisäksi robottisoluja vaatimusten mukaiseksi tehdessä on otettava myös huomioon esimerkiksi konedirektiivi ja sähkölaitteiden asetukset (kuten pienjännitedirektiivi LVD). Solun sisällöstä riippuen myös muita vaatimuksia voi olla, kuten räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuusasetukset (ATEX) käsiteltäessä esimerkiksi syttyviä kemikaaleja, painelaitteiden asetukset, sekä elektromagneettinen yhteensopivuus (EMC) tietyillä sähkölaitteilla. (European Parliament n.d., Tukes n.d.a)

Koneen tulee olla vaatimusten mukainen alkuperäisen myyntiin asettamisen lisäksi myös silloin, kun työnantaja ottaa sen ensimmäistä kertaa valmistajan tarkoittamaan käyttöön tai mikäli työnantaja on muuttanut laitetta niin, että se ei ole enää valmistajan tarkoittamassa käytössä (Työsuojelu 2020). Tämä tarkoittaa myös sitä, että tarkastelu tulee tehdä uudelleen aina laitteisiin muutoksia tehdessä tai mikäli laitteille keksitään uusia käyttötapoja. Tämä tulee muistaa esimerkiksi hyväksytyä robottisolua muuttaessa uuden tuotteen takia.

Robottisoluihin laitteiston hankintaa EU:n ulkopuolelta ei voida suositella, sillä tuotteet eivät välttämättä täytä EU:n vaatimuksia. Etenkin monimutkaisten sähkölaitteiden hankinta tulisi keskittää EU:n alueelle, sillä niiden hyväksyttäväksi saattaminen saattaa olla mahdotonta tehdä kustannustehokkaasti. Yleensä luotettavilla EU:n ulkopuolisilla valmistajilla onkin valmiiksi jo jälleenmyyjiä EU:n rajojen sisäpuolella.

4 TUOTANNON AUTOMAATIOPROSESSIN VALINTA

Massatuotannon tarjoama etu on seurausta suurtuotannon eduista (engl. economies of scale), eli tuotantomäärää kasvattamalla on mahdollista laskea kappalekohtaisia kustannuksia (Chandler 1977, 236). Tuotantomäärän tulee kuitenkin olla oikeassa suhteessa tuotantoprosessin kompleksisuuteen, jotta yritys optimoi tuotantonsa. Usein käytetty Hayesin ja Wheelwrightin matriisi (kuvio 1) pyrkii erottamaan tuotantomäärän tuotantoprosessista, ja selkeyttämään yrityksen rakenteen tuotteiden perusteella. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yksittäistuotteita valmistettaessa täytyy yrityksellä olla joustava ja kustomoitava valmistusprosessi, jotta valmistaminen on tuottoisaa yritykselle. Tähän usein liittyy myös korkeammat katteet. Samoin kuin yksittäistuotteita ei ole käytännöllistä valmistaa täysin automatisoiduilla ja jäykillä tuotantolinjastoilla, ei myöskään erittäin suuren volyymin standardisoiduilla tuotteilla ole kannattavaa käyttää joustavaa ja kustomoitavaa valmistusprosessia. Erittäin suuren volyymin tuotteilla on myös usein matalampi kate. Ehkäpä tärkein matriisin anti on esittää alueet, joilla yritysten ei ikinä pitäisi toimia. Nämä ovat diagonaalisten viivojen ulkopuolella olevat katvealueet. Yritys ei voi olettaa pystyvänsä toimimaan täydellä tuotantokapasiteetilla yrittäessään pitää sekä tuotantotahdin, että kustomoitavuuden korkealla. Vastaavasti yksittäistuotteita varten on kallista valmistaa jatkuvaan tuotantovirtaan toimivaa tuotantoprosessia. (Hayes, Wheelwright 1979.)



KUVIO 1. Hayes-Wheelwright matriisi (Hayes & Wheelwright 1979, muokattu)

Hayes-Wheelwright-matriisin perusteella voidaan myös huomata, että automaation ja robotiikan käyttö valmistusprosessissa toimii vasta keskisuuresta volyymistä lähtien. Täysin kustomoitavien yksittäiskappaleiden valmistusprosessissa ei siten ole perusteltua automatisoinnille, ja keskisuurta volyymiä lähestyessä täytyy aloittaa tekemään kustannuslaskelmia automatisoinnin ja automaatirobottien käytön kannattavuudesta.

Tuotannon automaatio jaetaan usein jäykkään automaatioon, ohjelmoitavaan automaatioon ja joustavaan automaatioon. Usein myös ohjelmoitava automaatio katsotaan kuuluvan osaksi joustavaa automaatiota. (Norwalt 2020.)

Jäykkä automaatio

Jäykkää automaatiota (engl. fixed automation, hard automation) käytetään erittäin suuren volyymin tai jatkuvan tuotantovirran automatisointiin, kun koko tuotantoketjun automatisointi voidaan suunnitella tietyn tuotteen tai tuotelaadun ympärille. Järjestelmä on jaettu tarkasti osiin, jossa yleensä jokainen osio tekee vain yksittäisen kierto- tai lineaariliikkeen. Järjestelmä on tällöin hyvin tehokas, mutta koko järjestelmä joudutaan rakentamaan alusta uutta tuotetta varten. Jäykän automaatiojärjestelmän aloituskustannukset ovat hyvin korkeat, mutta se mahdollistaa erittäin korkean tuotantotahdin. Jäykkää järjestelmää käytetään esimerkiksi kemikaaliteollisuudessa ja kokoonpanotöissä. (Encyclopedia Britannica n.d., Kehal 2019, Norwalt 2020.)

Ohjelmoitava automaatio

Ohjelmoitava automaatio (engl. programmable automation) on soveltuva menetelmä erien valmistukseen, joiden koko voi vaihdella muutamista kymmenistä useisiin tuhansiin. Tuotanto- ja automaatiolaitteet tulee ohjelmoida erikseen jokaiselle uudelle tuotteelle, jonka takia prosessi kärsii tuotantoseisokin ennen uuden tuotannon aloittamista. Menetelmän tuotantotahti onkin yleensä alhaisempi kuin sekä jäykän automaation, että joustavan automaation. Tähän automaatioon kuuluu oleellisesti esimerkiksi teollisuusrobottien ja NC-työkalteiden käyttö. (Encyclopedia Britannica n.d., Kehal 2019.)

Joustava automaatio

Joustava automaatio (engl. flexible automation, soft automation) on ohjelmoitavan automaation jatke. Joustavassa automaatiossa tuotanto rajoitetaan tiettyyn sopivaan määrään erilaisia tuotteita, joita siten voidaan automaattisesti valmistaa jopa ristiin. Tämä vaatii tuotantokoneiden asetusten muuttamista nopeasti ja automaattisesti. Uusien tuotteiden ohjelmointi järjestelmään myös toteutetaan offline-ohjelmointina, eli tuotannon mukauttamisen asetukset voidaan määrittellä tietokoneella pysäyttämättä edellistä tuotantoa. Joustava automaatio mahdollistaa tuotteiden valmistamisen täysin kysynnän perusteella, sillä aikaa ei kulu tuotetun tuotelaadun muutokseen. (Encyclopedia Britannica n.d., Kehal 2019.)

Joustava automaatio ja yleisesti joustavat järjestelmät ovat monessa tutkimuksessa ja artikkeleissa nostettu tavoitelluksi tuotantoprosessin päämääräksi. Tutkimuksissa on muun muassa havaittu tällaisen järjestelmän tarvitsevan vain viidesosan käyttäjiä perinteiseen valmistukseen verrattuna, nostaten tuotantotehokkuutta suuresti. Tätä vastaan löytyy kuitenkin myös kritiikkiä, ja aikaisempien joustavia järjestelmiä ylistävien tutkimusten puolueettomuutta on kyseenalaistettu. Joustavat järjestelmät kärsivät kuitenkin samoista ongelmista yhä, kuin vielä muutama vuosikymmen sitten: laitteiden yhteen liitettävyys, eroavat protokollat ja korkeaksi nouseva järjestelmän kompleksisuus. (Kuisma 2007, 16–21, 27.)

Tämän työn laajuus ei ole riittävä selvittämään tarkkaa polkua yritykselle kohti jotakin tiettyä lopputulosta koko hallin järjestelmälle. Tämänhetkisten eräkokojen puolesta ohjelmitava automaatio vaikuttaa kuitenkin yrityksen käyttöön parhaalta vaihtoehdolta, mutta jatkoselvitys joustavan automaation mahdollisista hyödyistä yritykselle tulevaisuudessa voi olla järkevää.

5 MUOVITUONTANTOPROSESSIT

Tässä työssä käsiteltävä työkappale valmistetaan pääosin puhallusmuovamallalla, mutta kappaleeseen tulee lisäksi ruiskuvalettuja osia insertteinä. Automaattisoitavan prosessin kulkua avataan myöhemmin lisää prosessikuvauksessa.

Ruiskuvalu

Ruiskuvalussa sulatettu muovimassa suihkutetaan suurella paineella muottiin, jonka jäähtyttyä muotti avataan ja kappale poistetaan. Kuvassa 6 näkyy avatut muottipuoliskot ruuvimeisselin kahvan ruiskuvalun jälkeen. Kuvassa näkyy myös kahvan vasemmalla puolella materiaalin pursotuskanava, joka tullaan poistamaan loppukappaleesta. Ruiskuvalulla tehtävät kappaleet sopivat erinomaisesti massatuotantoon, sillä prosessi on nopea ja kestää tyyppillisesti alle minuutin. Usein muotit saattavat sisältää useita onkaloita eri kappaleille, jolloin yhdellä työkierrolla voidaan valmistaa useita kappaleita kerralla. (Muoviteollisuus ry n.d., Polyplastics n.d., Rex Plastics 2019.)



KUVA 6. Ruuvimeisselin kahvan valmistaminen ruiskuvalulla (Technologies n.d.)

Ruiskuvalun tarkkuudet ovat kytköksissä siinä käytetyn muotin koneistuksen tarkkuuksiin. Yleisesti kuitenkin ruiskuvalun mittatoleransseista puhuttaessa on kyseessä millin kymmenesosat tai jopa sadasosat alle 100 mm etäisyyksillä (Peak Plastics n.d., Star Rapid n.d.). Tämä mahdollistaa tarkasti toleroitujen kappaleiden valmistamisen, kuten kierteiden tai suulakkeiden.

Puhallusmuovaus

Puhallusmuovausta käytetään onttojen kappaleiden tekemiseen, kuten esimerkiksi valmistettaessa kanistereita ja pulloja. Menetelmässä muotti suljetaan lämmitetyn muovisukan ympärille, jonka jälkeen sukan sisälle päästetään ilmaa paineella. Paineilma painaa sukan myötäilemään ympärillä olevan muotin muotoa. Kappaleen jäähtyttyä muotti avataan ja kappale voidaan poistaa. Kappaleen jäähtymistä nopeutetaan muotin sisällä kulkevilla jäähdytysputkilla, jotka näkyvät

kuvassa 7. Menetelmä tuottaa kevyitä kappaleita, ja materiaalia kuluu melko vähän jopa suurien kappaleiden valmistukseen. (Ego Plastic n.d., Engineers Edge n.d.)



KUVA 7. Puhallusmuovauksessa käytetty muotti (Ego Plastic n.d.)

Toisin kuin ruiskuvalussa, puhallusmuovauksessa ei jää pursotuskohtaan erillistä onkaloa, jota tulisi poistaa myöhemmässä vaiheessa. Puhallusmuovauksessa kappaleen ympärille jää kuitenkin usein lieve, joka tulee poistaa myöhemmässä työvaiheessa. Yrityksen edustajat sanoivat ainakin osittaisen liepeen leikkaamisen olevan mahdollista myös leikkaavalla muotilla, mutta varmuutta tämän toimimisesta ei ollut. Leikkaavalla muotilla tarkoitetaan sellaista muottia, joka irrottaa liepeet työkappaleesta muotin puristuessa kiinni.

Puhallusmuovaus on ruiskuvalun tavoin kytköksissä muotin koneistuksen toleransseihin, mutta yleensä rajoittavaksi tekijäksi tulee kuitenkin itse menetelmän tarkkuudet. Puhallusmuovauksen mittatoleransseissa puhutaan millin kymmenesosien tai pahimmillaan jopa yli millin mittavirheestä 100 mm matkalla. Ero ruiskuvalun tarkkuuksiin on siis suuri. (Formacay n.d.)

6 TYÖKALUT JA MENETELMÄT

Opinnäytetyössä ehdotetaan käytettäväksi erilaisia työkaluja ja menetelmiä, joiden toimintaa tässä kappaleessa avataan.

Ultraäänihitsaaminen

Termoplastista muovia voidaan hitsata monin eri menetelmin, jotka kaikki perustuvat muovipinnan tai pintojen sulattamiseen, ja tätä kautta yhdistämiseen. Pintojen sulattaminen voidaan toteuttaa monella eri tapaa, liuottimet mukaan lukien. Yksi yleisimmistä metodeista hitsata muovia on ultraäänihitsaaminen, jossa hitsaaminen tapahtuu värisyttämällä muovikappaletta korkealla taajuudella (20–40kHz) toista hitsattavaa pintaa vasten. Väriä on hyvin pientä amplitudiltaan, vain noin 1–25 µm, mutta aiheuttaa tarpeeksi kitkaa hitsatakseen pinnat kiinni toisiinsa. Ultraäänihitsaaminen on erittäin nopeaa ja kestää yleensä vain joitakin sekunnin kymmenyksiä soveltuen erinomaisesti teollisuusautomaatiokäyttöön. (Troughton 2008, 15–20.)

Ultraääniveitsi

Ultraääniveitsi toimii samalla peruseriaatteella, kuin ultraäänihitsaaminen. Työkalua värisytetään erittäin korkealla taajuudella, mutta pienellä amplitudilla. Tätä värähtelyä ei kuitenkaan johdeta työkappaleeseen suoraan, vaan veitsen kärkeen, joka värähtelee leikattavaa pintaa vasten. Menetelmä mahdollistaa sekä kovien, että pehmeiden materiaalien hyvän leikattavuuden. Ultraäänivärähtelystä aiheutuvan leikkuuenergian avulla itse veitsen käyttöön tarvittava voima on huomattavasti perinteistä leikkuumenetelmää pienempi. Menetelmä välittää myös vähemmän lämpöenergiaa leikattavaan kappaleeseen, verrattuna useisiin muihin leikkuumenetelmiin, joka voi vähentää leikkuureunan muodonmuutosta lämmön vaikutuksesta. Ultraääniveitsen terät voivat olla eri muotoisia riippuen leikkuutarkoituksesta. (Automate 2017, Telsonic n.d.)

Myötäilevä veitsi

Myötäilevät työkalut (engl. compliant tool) eivät ole täysin jäykkiä, vaan niiden työpäät pystyvät kääntymään työkalun sisällä olevan pisteen ympäri ulkoisten

voimien vaikutuksesta. Liepeenpoistoon käytetään radiaalisesti myötäileviä työkaluja, eli työpää pystyy myötäilemään leikkausuraa säteittäisesti. Liikkeen mahdollistava mekanismi toteutetaan esimerkiksi paineilmalla, jonka painetta säätämällä vaikutetaan työkalun jäykkyyteen. Myötäily auttaa esimerkiksi leikattavan kappaleen ollessa virheasennossa leikkausrataan nähden. (ATI n.d.a, ATI n.d.b)

Simulointi ja offline-ohjelmointi

Simulointiohjelman käyttö on korvaamaton osa automaatiota, mikäli tarkoituksena on tehokas ja laajamittainen robottien käyttö. Vielä yksittäisten robottien ja työpisteiden kanssa voidaan ohjelmat tuottaa ohjelmoimalla robotit pendantin avulla, mutta automaatiokaalan laajentuessa ja ohjelmien monimutkaistuessa ei ilman tietokoneella tehtävää ohjelmointia päästä ikinä tehokkaaseen robottiautomaation hyötykäyttöön. Tässä simulaatio-ohjelmalla tarkoitetaan ohjelmaa, jolla pystytään myös offline-ohjelmointiin, johon ei kuitenkaan kaikki simulaatio-ohjelmat pysty. Pääosin kuitenkin kaikki automaatoroboteille tarkoitetut simulaatio-ohjelmat pystyvät myös offline-ohjelmointiin. Ohjelma ladataan tietokoneelta robotille, ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön.

Simulointiohjelman käyttö mahdollistaa jo ennen automatisointiprosessin aloittamista työprosessien tarkan suunnittelun etukäteen, joka voi helpottaa osien ja työkalujen ostoa sekä yhteensopivuutta muuhun järjestelmään. Metodi mahdollistaa myös työpisteiden automatisoinnin tarkemman kustannusarvioinnin. Simulointiohjelman käyttö sallii myös uusien työkappaleiden kohdalla prosessin suunnittelun ja jopa ohjelmoinnin ilman, että edellisen työkappaleen tuotantoa tarvitse pysäyttää, kuin vasta ohjelman ollessa liki valmis. Tämä vähentää tarpeettomat prosessiin liittyvät tuotantoseisokit minimiin. Simulointiohjelma mahdollistaa myös pendanttiin verrattuna huomattavasti nopeamman ohjelmointiajan, joka nousee esille etenkin monimutkaisissa prosesseissa, kuten liepeiden leikkaamisessa. (Krishnappa 2020, 24–27.)

Simulaatio-ohjelmien tuottamat simulaatiot eivät ole vain 3D-animaatioita visualisointitarkoitukseen, vaan niiden sisällä roboteilla on suurilta osin samat rajoitteet, kuin todellisuudessa. Mikäli ympäröivä työpiste on mallinnettu oikein, saadaan simulaation avulla varmuus siitä, että kyseinen robotti pystyy todella tekemään kaikki tarvittavat työtehtävät ja pystyy ylettämään kaikkialle työalueella. Tämän

pohjalta voidaankin suunnitella simulaatio-ohjelman sisällä koko työpisteen ase-
mointi robotin liikerata mielessä pitäen. Joitakin aspektoja tulee kuitenkin huomi-
oida erikseen simulaation ulkopuolelta, kuten asennusorientaatio, kuorman suu-
ruus, tarkkuus, yhdistäminen muihin työlaitteisiin (etenkin synkroniliikkeet) ja työ-
ympäristö (lämpötila, likaisuus, kosteus). Mikäli ohjelma nojaa vahvasti anturei-
den käyttöön, voi niiden lukemat ja käyttäytyminen myös erota simulaatiossa to-
dellisuudesta, kun niihin ei tule simuloinnissa oikeaa dataa. Antureiden käyttöä
usein simuloinnissa yksinkertaistetaan tai jätetään jopa täysin simulaation ulko-
puolelle.

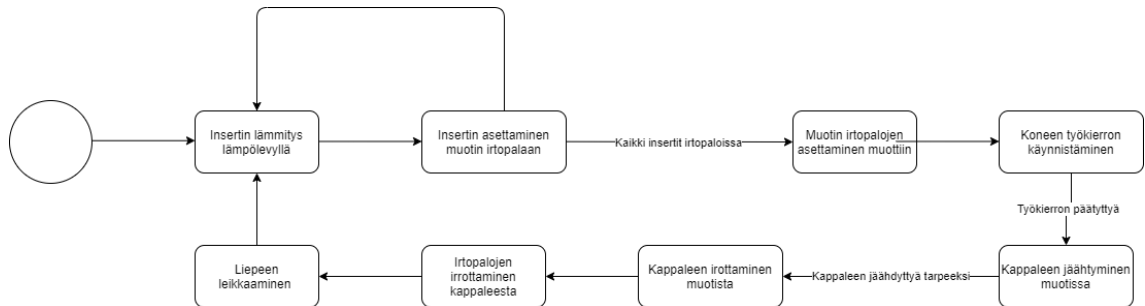
7 LÄHTÖKOHDAT ENNEN TYÖN ALOITTAMISTA

7.1 Prosessikuvaus

Työn tarkoituksena on tarkastella tuotantoprosessin automaatiovalmiutta sekä selvittää automaatoratkaisuja laajemmin. Opinnäytetyön pohjana käytetään yksittäisen manuaalisolun automatisointia, jonka tuloksia ja havaintoja yleistetään koko tuotantoprosessiin. Tämä solu keskittyy hydraulinesesäiliön tuottamiseen puhallusmuovauskoneella (kuva 8). Kuviossa 2 esitetään manuaalisolun työkierto. Työntekijä tekee kaikki prosessin työvaiheet manuaalisesti koneen työkiertoa lukuun ottamatta.

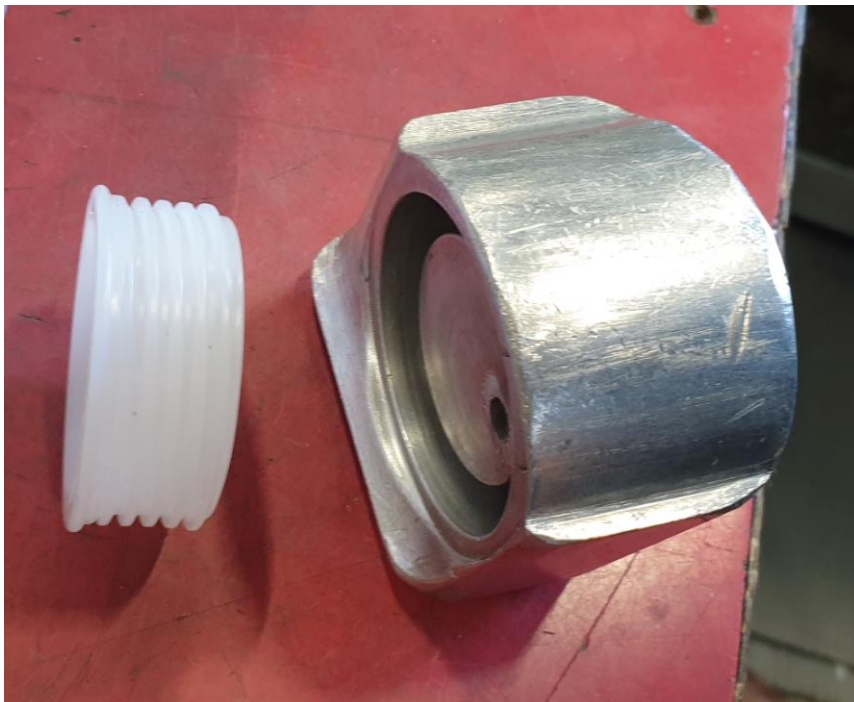


KUVA 8. Puhallusmuovauskone ja työympäristö

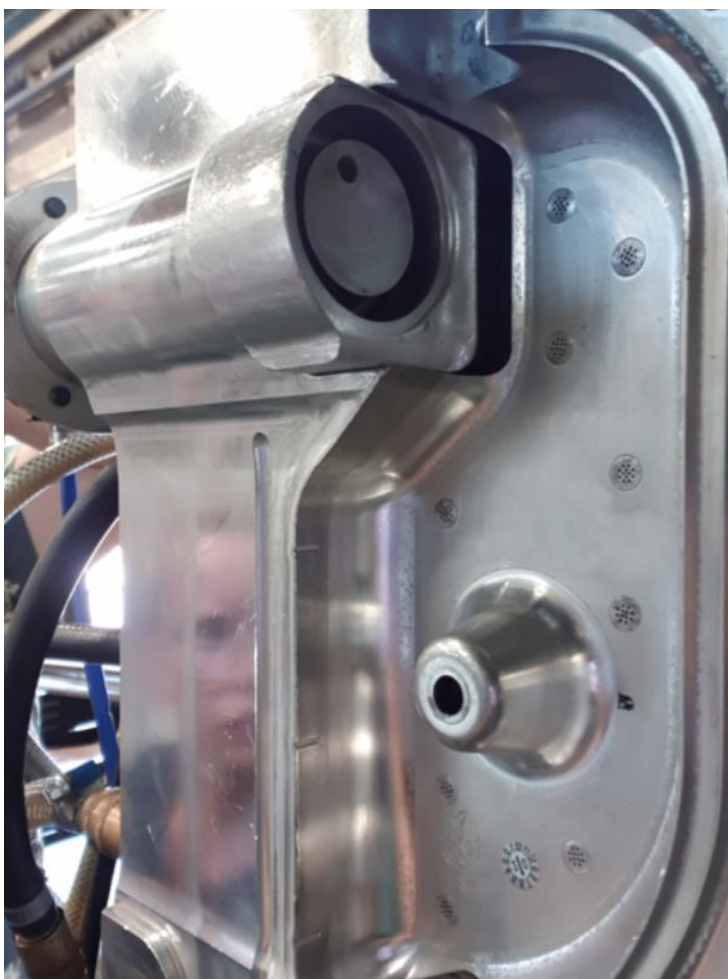


KUVIO 2. Prosessikaavio manuaalisulun toiminnasta

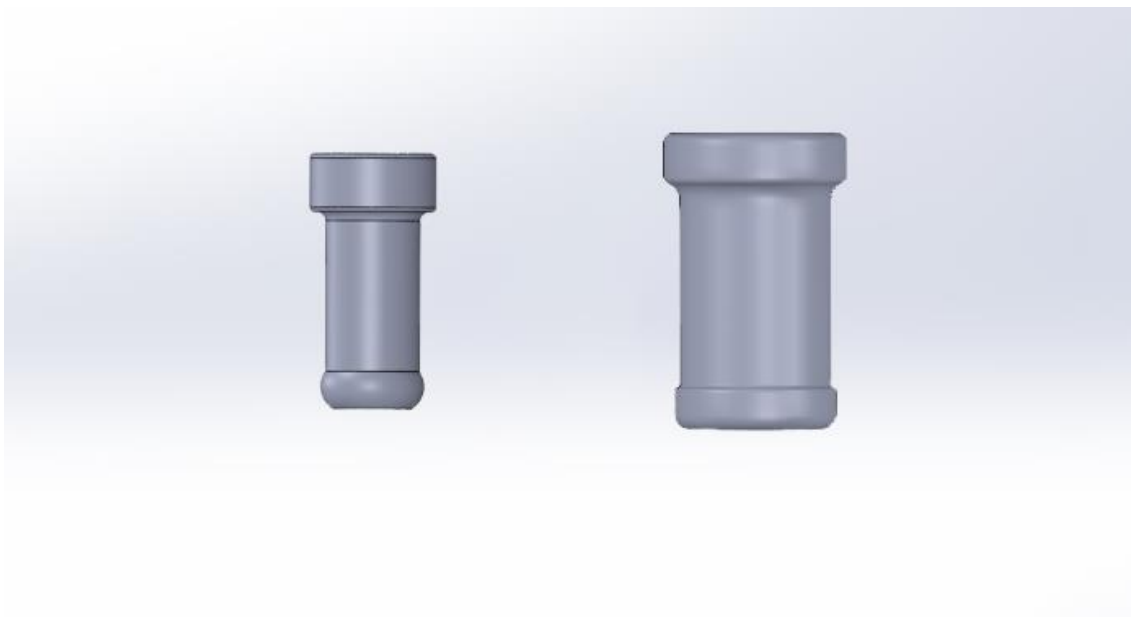
Hydraulinestesäiliö tehdään pääosin puhallusmuovaamalla, mutta lopputuotteessa olevat tarkasti toleroidut liitoskohdat (kierrepala, holkit) tehdään erikseen ruiskuvalulla. Liitoskohdat tuodaan muottiin ennen puhallusmuovauskoneen työkierron aloittamista erillisinä insertteinä. Inserttien pintaa lämmitetään aluksi lämmityslevyllä (kuva 8, punaisen pöydän kulmassa oleva metallilevy) adheesio- parantamiseksi, jonka jälkeen ne asetetaan irtopaloihin (kuva 9), jotka sitten asetetaan puhallusmuovauskoneessa kiinni olevan muotin sisälle kuvan 11 mukaisesti. Kuviossa 3 on esitetty pikku- ja isoholkki työn viittausten visualisointia varten. Luvussa 8.4. käydään läpi tarkemmin muotin ja inserttien piirteitä.



KUVA 9. Muotin irtopala ja siihen kuuluva ruiskuvalettu kierreinsertti



KUVA 10. Irtopala asetettuna muottiin. Irtopalaa ei ole asetettu pohjalle asti.



KUVIO 3. Pikku- ja isoholkki insertit

Kuvassa 11 nähdään lopullinen tuote muottipuoliskon sisällä. Huomaa, että kuvan kappaleesta on jo poistettu liepeet ja irrotettu muotin irtopalat.



KUVA 11. Valmis kappale muotissa

Manuaalisolun työntekijän tulee leikata kappaleesta liepeet pois kappaleen jäädyttyä muotissa muutamia sekunteja tai minuutteja. Kappale on kuitenkin melko pehmeä ja leikkauskelpoinen noin puolen tunnin ajan puhallusmuovauskoneen työkierron jälkeen. Leikkaaminen toteutetaan pääosin manuaalisesti mattopuu-kolla, vaikkakin liepeet saa irti välillä myös repimällä. Tämän solun kappale on melko pieni ja leikkuutyö on siten melko helppo, mutta suurempikokoisissa kappaleissa liepeen leikkaamiseen saattaa joutua käyttämään huomattavasti enemmän voimaa.

7.2 Manuaalisolun ongelmat

Manuaalisolun suurin ongelma tuottavuuden kannalta on se, että ihminen määrittää solun jaksonajan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että suurimman arvon tuottava puhallusmuovauskone toimii matalalla käyttöasteella. Puhallusmuovauskone onkin käyttämättä kappaleiden välissä, kunnes työntekijä on saanut edellisen kappaleen viimeistelyä. Toinen tuotannollinen ongelma on vaihtuvuus jaksonajassa ja sen eri osissa, sillä tämä voi vähentää tasalaatuisuutta kappaleissa. Esimerkiksi inserttien pintojen lämmitystä ei ole optimoitu, ja se tehdäänkin työntekijän oman arvion perusteella. Perättäisten kappaleiden välissä inserttejä on saatettu lämmittää eri ajat, jolloin niiden adheesio-ominaisuudet voivat olla erilaiset. Valmistetut kappaleet myös jäähtyvät vaihtelevan pituisen ajan muotissa, joka saattaa vaikuttaa niiden muodonmuutoksen määrään jäähtyessään. Tarkkaa jaksonaikaa ei yritykseltä saatu, joten sen kehitystä ei vertailla tässä työssä kovin tarkalla tasolla. Karkeasti arvioituna jaksonaika on joitakin minuutteja.

Manuaalisolun työ on myös erittäin yksitoikkoista, toistuvaa ja ajoittain raskasta. Etenkin suuremmissa kappaleissa kappaleen käsittely ja liepeenpoisto voi olla erittäin raskasta. Solun työ on optimitalanteessa täysin samankaltainen ja toistuva joka työkierrolla, joten tämä on erinomainen kohde automaatiolle.

7.3 Olemassa olevat automaatioratkaisut

Yleisesti automaatiosta on paljon kirjallisuutta, mutta hyvin vähän spesifeistä automaatioratkaisuista puhallusmuovaukseen. Internetistä on sen sijaan löydettävissä suuri määrä videoita erilaisista puhallusmuovauskoneen ympärille rakennetuista robottisoluista. Videoita käytettiin hyödyksi suunnitelman laatimisessa, mutta yhtäkään ratkaisua ei voitu sellaisenaan hyödyntää. Ongelmaksi muodostui esimerkiksi se, että ratkaisut on tehty osaksi jäykkää tuotantoprosessia ja tarkoitettu suurelle volyymille (Technorobotic Machines Pvt. Ltd. 2019, 0:00:51), (jetengine102921 2011, 0:00:14), joka voidaan osoittaa huonoksi menetelmäksi kappaleessa 4 esitellyn Hayes-Wheelwright-matriisin perusteella, sillä yrityksen

tuotantomäärät ovat vaihtelevia eräkokoja. Toinen ongelma on se, että automaatio oli kehitetty uudehkon ja soveltuvan puhallusmuovauskoneen ympärille (Kuka 2013, 0:00:14), (Widfaster 2018, 0:00:01), jossa robotille on suunniteltu tilaa esimerkiksi muottipuoliskojen suuremman avauman ja robotin kiinnitysten puolesta. Muottikäsittelyyn videoista saa kuitenkin hyviä esimerkkejä, kuten kappaleen työntämisestä ulos muotista sylintereiden avulla (DeWys Engineering 2015, 0:01:01), (FAYGO UNION GROUP 2016, 0:04:56).

Videoista löytyi kuitenkin hyvää informaatiota myös esimerkiksi liepeiden leikkamisesta ultraääniveitsellä (Yaskawa America 2014, 0:01:40), (Sonic Italia 2015, 0:00:24). Näiden videoiden pohjalta työpään hankintaa lähdetäänkin yrityksen pyynnöstä selvittämään toimittajilta. Tämän lisäksi esille nousee erilaisia kiinnityksiä leikkuupöytään, kuten automaattiset puristimet (FAYGO UNION GROUP 2016, 0:05:10), sekä kappaleesta kiinnipito alipaineella (Admin br-machinery 2019, 0:00:48). Robotin työpäiden käyttöön löytyy myös eri ratkaisuita, kuten viimeksi mainitussa videossa työpään vaihtaminen prosessin eri vaiheissa, tai esimerkiksi moniosaisen työpään käyttö (Fusion 2019, 0:00:23).

Liepeiden leikkuuseen on myös olemassa valmiita laitteita, sekä niiden lisäksi liepeenpoisto voidaan integroida suoraa tuotantolinjaan (ProcoMachinery 2015, 0:04:02). Tällaiset jäykät leikkurikokonaisuudet sopivat suuremman tuotantomäärän järjestelmiin, mutta eivät pysty mukautumaan helposti vaihtuviin tuotteisiin. Erillisen puristinleikkurin mahdollisuutta kuitenkin käytiin yrityksen kanssa läpi, mutta sitä ei nähty kannattavaksi yrityksen nykyisten eräkokojen vaatimaan prosessiketjuun.

Automaatoratkaisujen selvittäminen videoista on ongelmallista, sillä useissa videoissa robotin tarkka toimintaa ei käy ilmi, vaan videosta selviää vain karkea kuvaus prosessista. Esimerkki piiloon jäävästä tiedosta on esimerkiksi robotin tapa ottaa muotissa oleva kappale irti, sillä useimmissa videoissa kuvakulma ei mahdollista muotin väliin näkemistä. Suuri ongelma on kuitenkin käytetyn, vanhan koneen rajoitteet, jonka ympärille tämän työn robottisolu suunnitellaan. Kyseinen puhallusmuovauskone tuskin oli suunniteltu robottikäsittelykykyisyyden ensimmäisenä. Muottipuoliskot eivät esimerkiksi avaudu paljoa erilleen, joka tekee robotin liikuttamisesta muottipuoliskojen välissä melko haastavaa. Tämän lisäksi

muottiin pääsee käsiksi vain koneen edestä, joten vaihtoehdot liikeradoille ja robotin kiinnitykseen ovat melko rajalliset.

Tässä työssä ei paneuduta erityisesti kappaleiden ja inserttien kuljetukseen soluun tai solulta pois. Tämä ei ollut yrityksen mielestä ongelma. Lopullisessa ehdotuksessa kuitenkin esitetään yksinkertaistettu versio kappalehallinnasta kokonaisuuden luomiseksi. Puhallusmuovauskoneen materiaalisyöttö on myös jo automatisoitu, eikä tätä tarvinnut työssä käsitellä.

8 KONSEPTITODISTUS

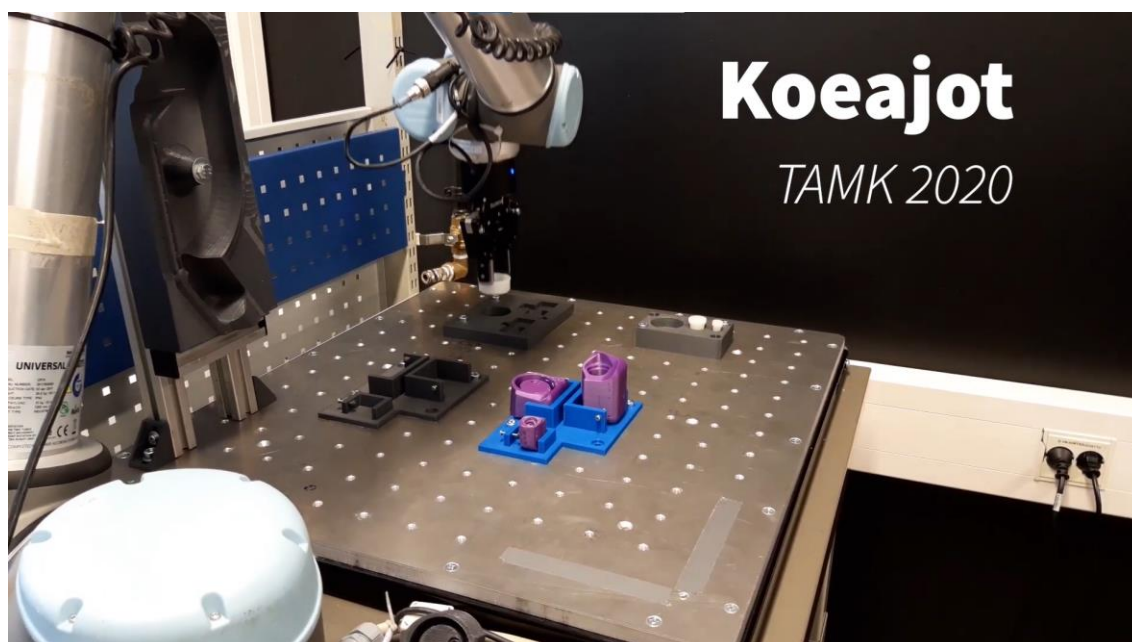
8.1 Testien tavoite ja kulku

Automaatiovalmiuden luotettava arviointi vaatii kappaleiden käsiteltävyyden, sekä ympäristön sopivuuden selvitystä robotille. Oleellista on ensi sijassa varmistaa solun robotisoitavuus käytännön testeillä ennen automatisointiratkaisun tarkempaa konseptointia. Yritys ei hyödy simulaatioista tai jatkoselvityksestä, mikäli lopputulos on kuitenkin se, ettei prosessi edes mahdollista robotin käyttöä. Konseptin testauksiin oli tarkoituksena rakentaa vastaavat ympäristörajoitteet robotille, kuin todellisessa solussa, mutta tätä ei pystytty tekemään. Suurin rajoite on muottipuoliskojen välissä oleva tila, mutta muottien maksimaalista avautumaa ei saatu yritykseltä tietoon. Ympäristön tarkastelu päätettiin jättää simulaatioon.

Eräs konseptitodistuksen tarkoituksista on myös kokeilla yhteistyörobotin käyttöä työssä. Yritys on etenkin kiinnostunut Universal Robotsin coboteista. Testisolu toteutettiin Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa. Aluksi testeihin ei ollut mahdollisuutta saada muottia tai irtopalvoja, sillä työkappale oli edelleen tuotannossa. Yritykseltä saatiin kuitenkin muotin ja irtopalojen 3D-mallit, joten ne voitiin tulostaa ensimmäiseen testivaiheeseen. Ruiskuvaletut insertit saatiin myös mukaan jo ensimmäisiin testeihin. Toisessa testivaiheessa myös muotti ja irtopalat saatiin yritykseltä käyttöön, jolloin alustavat tulokset 3D-tulostetuilla kappaleilla voitiin todentaa tuotannossa käytetyillä todellisilla osilla.

8.2 Ensimmäinen testivaihe

Ensimmäisen testin tavoite on luoda ohjelma, jossa robotti vie insertit irtopaloihin ja irtopalat muottiin. Tarkoitus on selvittää alustavasti, millaisia ongelmia inserttien ja irtokappaleiden käsittelyssä voi ilmaantua robotilla. Erityisen huomion saa työssä käytetty Universal Robotsin UR-10 käsivarsimallinen cobotti, ja sen soveltuvuus työhön. Video testistä on nähtävissä Tampereen ammattikorkeakoulun YouTube-kanavalla (Haapakoski 2021). Kuvassa 12 on esitetty kuvankaappaus ensimmäisen testin videosta.



KUVA 12. Kuvankaappaus ensimmäisen testin videosta (Haapakoski 2021)

Ensimmäinen testi aloitettiin muokkaamalla saatuja CAD-malleja 3D-tulostamiseksi soveltuvaksi. Kontaktipintojen mitat jätettiin ennalleen, mutta esimerkiksi muotin ylimääräistä pinta-alaa pienennettiin sekä ylimääräisiä kiinnitysreikiä ja jäähdytysputkistoja täytettiin tulostuksen helpottamiseksi. Tämän jälkeen suunniteltiin erilaisia pidikkeitä inserteille ja irtopaloille, jotka voitiin kiinnittää reikälevyyn robotin viereen. Muotista päädyttiin tulostamaan vain toinen puolisko, johon irtokappaleet asetettiin. Muotissa ei ollut sopivia kiinnikkeitä, joten sille suunniteltiin myös kiinnitysmenetelmä reikälevyyn.

Inserttien pidikkeistä 3D-tulostettiin läpi muutama iteraatio, jotta löydettiin paras mahdollinen ratkaisu, jossa on juuri oikea määrä tukea inserteille. Inserttien sijainti ja orientaatio tulee olla aina likimain sama, kuitenkin pidikkeen puristamatta niitä liikaa, jotta insertit voidaan poimia robotilla kohdistamatta niihin suuria puristusvoimia tarttujalla.

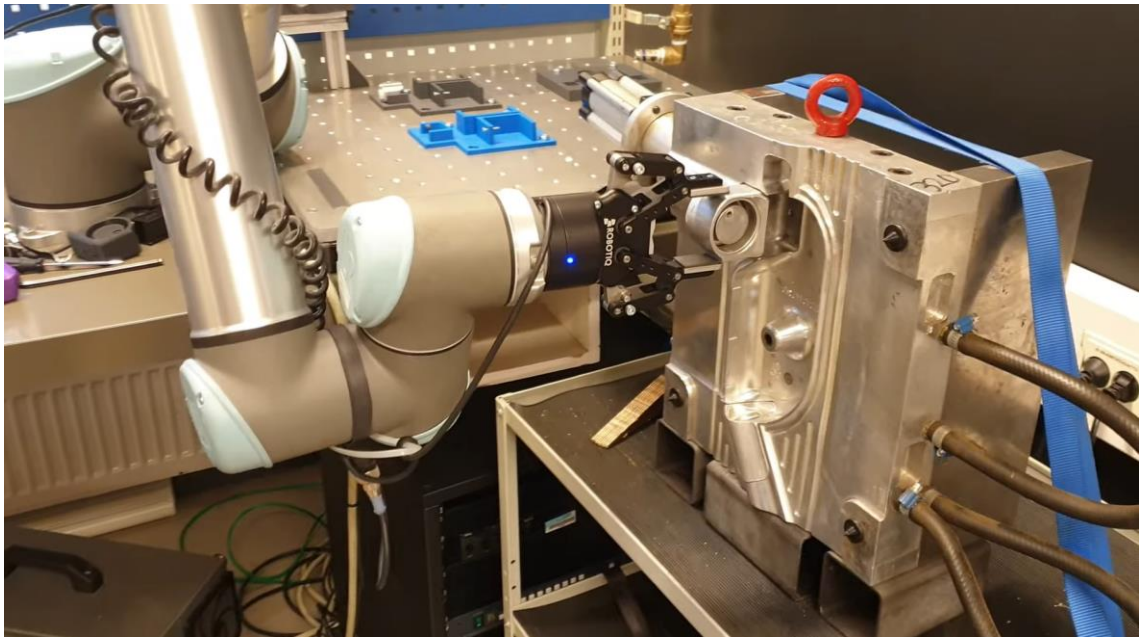
Inserttien sekä irtopalojen asettaminen täytyi tehdä kahdessa osassa: kuljetettavan kappaleen laittaminen asetettavan aukon sisälle puoliksi, ja tämän jälkeen kappaleen työntö loppuun asti. Robotin täytyi välissä irrottaa ote kappaleesta, jotta tarttuja pystyi työntämään kappaleen päädyistä. Tämä täytyi tehdä sekä inserteille (Haapakoski 2021, 0:00:04), että myös irtopaloille (Haapakoski 2021,

0:00:42). Kappaleet täytyi myös kääntää eri päin inserttien asetuksen jälkeen ennen, kuin ne voitiin viedä muottiin, jotta tarttuja ei osunut pöytään. Tätä kääntöpistettä ei tehty testeihin, vaan kääntö tapahtui käsin, vaikka se videosta onkin leikattu pois. Kääntö on näkyvissä toisen testivaiheen videossa. Todellisessa työtehtävässä tätä tilarajoitetta ei ole, eikä erillistä kääntöä tarvinnut simuloinnissa tehdä.

Testissä kävi ilmi useita ongelmia käytetyn UR10 robotin kanssa, joita oli mm. asetettujen paikkapisteiden siirtyminen. Tämä oli parin millin siirtymä uniformaalista kaikissa paikkapisteissä, vaikka työalusta tai robotti ei liikkunut. Tämä saattoi tapahtua kahden peräkkäisen ajon välissä. Tämän lisäksi myös käytetty Robotiqin tarttuja ei aina suostunut aukeamaan haluttuun asentoon. Epäselväksi jäi, johtuiko ongelma tarttujasta itsestään vaiko robotin ohjauksesta. Robotin ja tarttujan ohjelmistoversiot olivat päivitetty uusimpiin. Testit pystyttiin ongelmista huolimatta toteuttamaan onnistuneesti.

8.3 Toinen testivaihe

Toinen testivaihe alkoi, kun varsinainen teräsmuotti ja irtokappaleet saapuivat. Ohjelmaa muutettiin melko paljon, sillä massiivista teräsmuottia ei pystynyt kiinnittämään samalla tapaa kuin 3D-tulostettua muottia, joten sen sijainti ohjelmassa muuttui oleellisesti. Video testistä on nähtävissä Tampereen ammattikorkeakoulun YouTube-kanavalla (Sahamies 2021). Kuvassa 13 on esitetty kuvankaappaus toisen testivaiheen videosta.



KUVA 13. Kuvankaappaus toisten testin videosta (Sahamies 2021)

Kappaleiden käsittely saatiin toimimaan likimain samoin kuin aiemmassa testissä, mutta pienintä irtopalaa ei pystytty viemään muottiin. Tämä ongelma avataan muiden huomioiden mukana kappaleessa 8.4.

Ongelmat Ultimate Robotsin cobotin kanssa jatkuivat. Paikkapisteet siirtyivät kesken ohjelmien tekemisen kuten aiemmin, mutta lisäksi robotti suoritti osan lineaariliikkeistä nivelliikkeinä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että suoraviivaisen liikkeen sijaan työpää liikkui kaarimaisesti. Robotti teki saman liikkeen välillä lineaariliikkeenä ja välillä ei. Tämä aiheutti usean läheltä piti -tilanteen, jossa törmäys muotin kanssa estettiin vain ohjelman nopealla hätäpysäytyksellä. Tämä ongelma kierrettiin tekemällä liikkeelle ylimääräisiä paikkapisteitä, joiden kautta käsisivarsirobotti haki asennon, josta se pystyi toistamaan lineaariliikkeen luotettavasti.

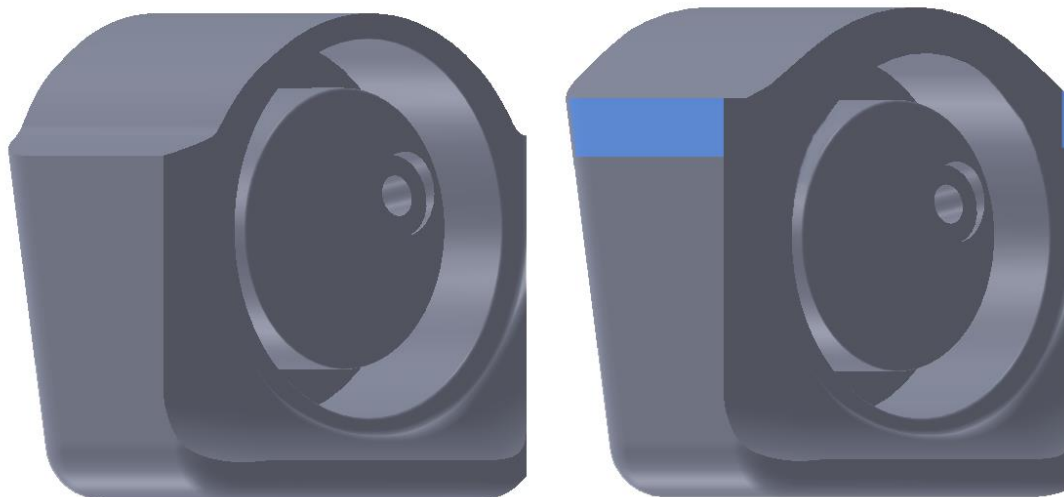
8.4 Konseptitodistuksen tulokset

Konseptitodistuksen perusteella voidaan sanoa, että solun automatisointiin vaadittava inserttien ja irtopalojen käsittelykyky saavutetaan, mutta vain tietyin muutoksin. Näiden lisäksi automaatiovalmiutta voidaan parantaa entisestään teke-

mällä lisämuutoksia muottiin ja irtopaloihin. Muutokset myös nopeuttavat ja yksinkertaistavat robotin ohjelmointia työtehtävään. Mitä suurempi osa seuraavista ehdotuksista on mahdollista muotin suunnittelussa ottaa huomioon, sitä parempi automaatiovalmius muotilla ja irtopaloilla on. Selvitystyö ehdotuksille on laaja, eivätkä yrityksen edustajat voineet sanoa suoraan, ovatko kaikki ehdotukset mahdollisia vai eivät ennen tarkempaa perehtymistä opinnäytetyössä esitettyihin vaihtoehtoihin.

Irtopalan lisäpinta

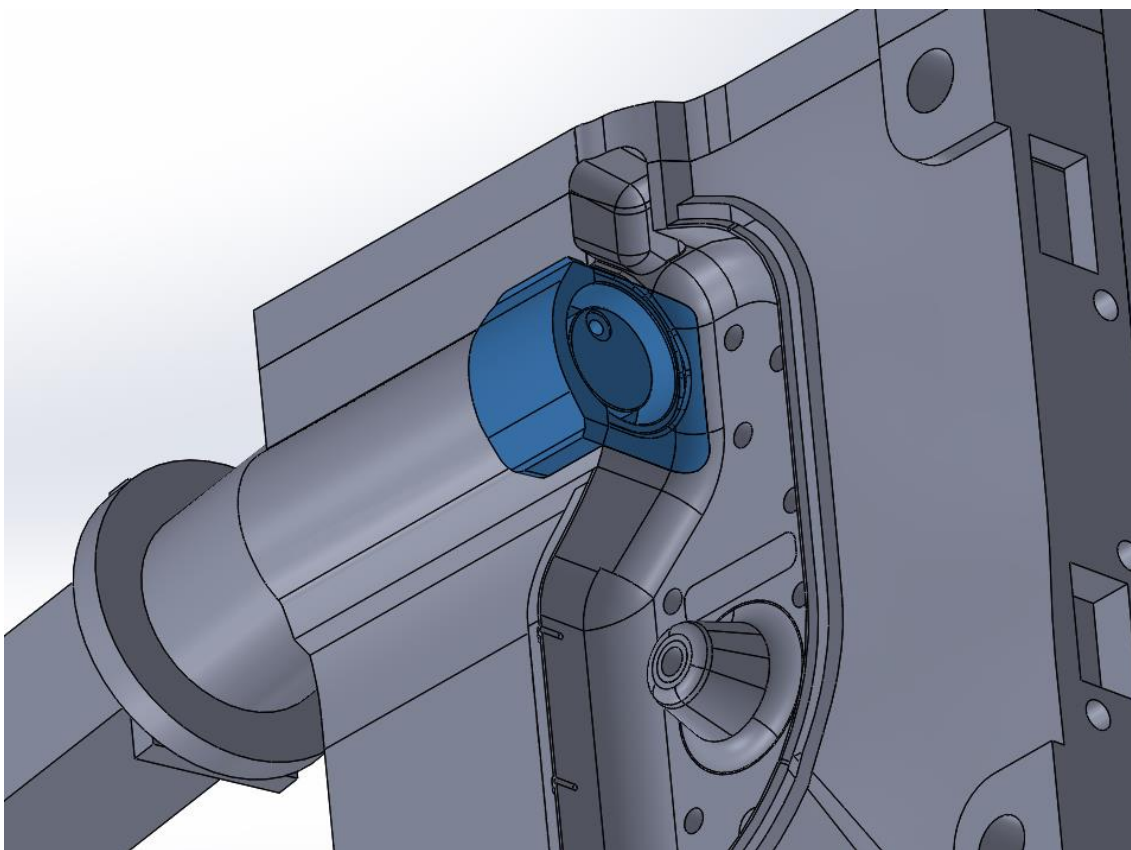
Irtopalassa on hyvä olla lisäpintaa, josta robotti voi pitää kiinni koko muottiin vie-misen ajan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että irtopala tulee olla suurempi, kuin kyseinen muotin aukko, johon irtopala laitetaan. Tällöin irtopalan ulkopinta ei mene samaan tasoon muotin pinnan kanssa sen ollessa muotissa, vaan tämä lisäpinta jää ulos muotista. Lisäpinta tulee mitoittaa robotin työpään ja käsiteltävän kappaleen mukaan siten, että robotti voi käsitellä kappaletta täysin pitäen kiinni vain tästä pinnasta. Ilman tätä lisäpintaa täytyy irtopalat laittaa muottiin videoissa (Sahamies 2021, 0:01:33) näkyvällä tavalla, jossa irtopala laitetaan aluksi muottiin osittain sisään, jonka jälkeen tarttuja irrottaa kappaleesta ja lopulta työntää kappaleen päädystä sen täysin sisälle muottiin. Tämä ei kuitenkaan välttämättä toimi kaikkien irtopalojen kanssa, mikäli irtopalaa ei pysty aluksi saamaan tarpeeksi syvälle aukkoon, että se kiilautuisi paikalleen tarttujan irrottaessa otteen. Kuviossa 4 on esitetty vierekkäin alkuperäinen ja muokattu irtopala, jonka tartuntapintaa on kasvatettu 5 mm. Kuviossa 5 tämä muokattu irtopala on asetettuna muottiin. Tartuntapintaa jää siis esimerkiksi 5 mm muotin ulkopuolelle, joten työnnön voi tehdä pohjalle asti yhdellä kertaa, eikä tarttujan otetta tarvitse irrottaa välissä.



Alkuperäinen

Muokattu,
lisäpinta korostettu sinisellä

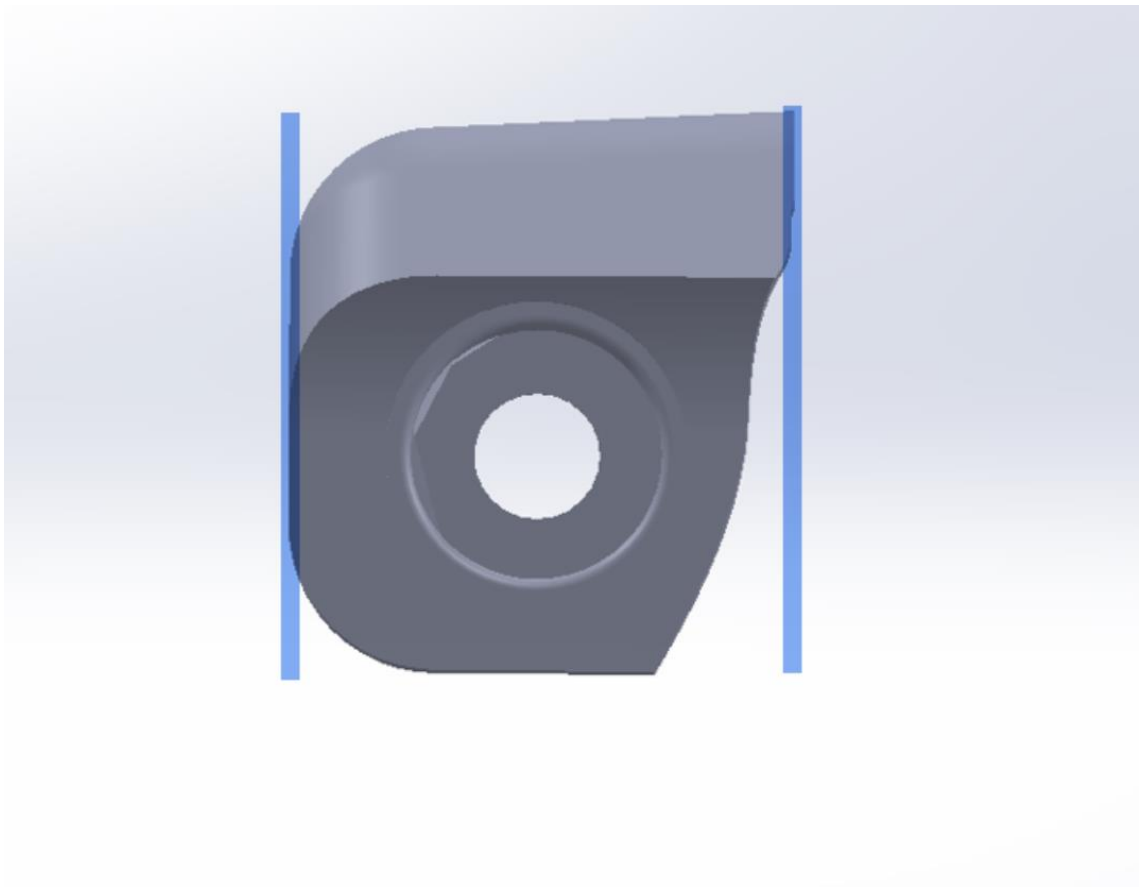
KUVIO 4 Muokatun irtokappaleen muutokset



KUVIO 5. Muunneltu irtopala (korostettu sinisellä) muotissa. Tartuntapintaa on lisätty 5 mm, jonka takia irtopalan reunat nousevat muotin pinnasta lisätyn määrän verran ulos.

Irtopalan reunat samalle tasolle

Irtopalan vastakkaiset reunat tulisivat olla samalla tasolla. Mikäli tarttumapintana olevat vastakkaiset sivut eivät ole tasomaisia koko matkalta, määrätty tarttumissyvyys lyhyemmän reunan mukaan. Esimerkiksi yrittäessä tarttua pienen holkin irtokappaleeseen sivusuunnassa, eivät kappaleen sivujen reunat ole samassa tasossa. Kuvio 6 on kyseisestä irtokappaleesta, josta huomaa ulko-reunojen olevan eri tasoissa. Tarttumissyvyys tarttuessa näistä pinnoista tarttujalla on liian syvä, eikä kappaletta saa tällä tapaa muottiin.

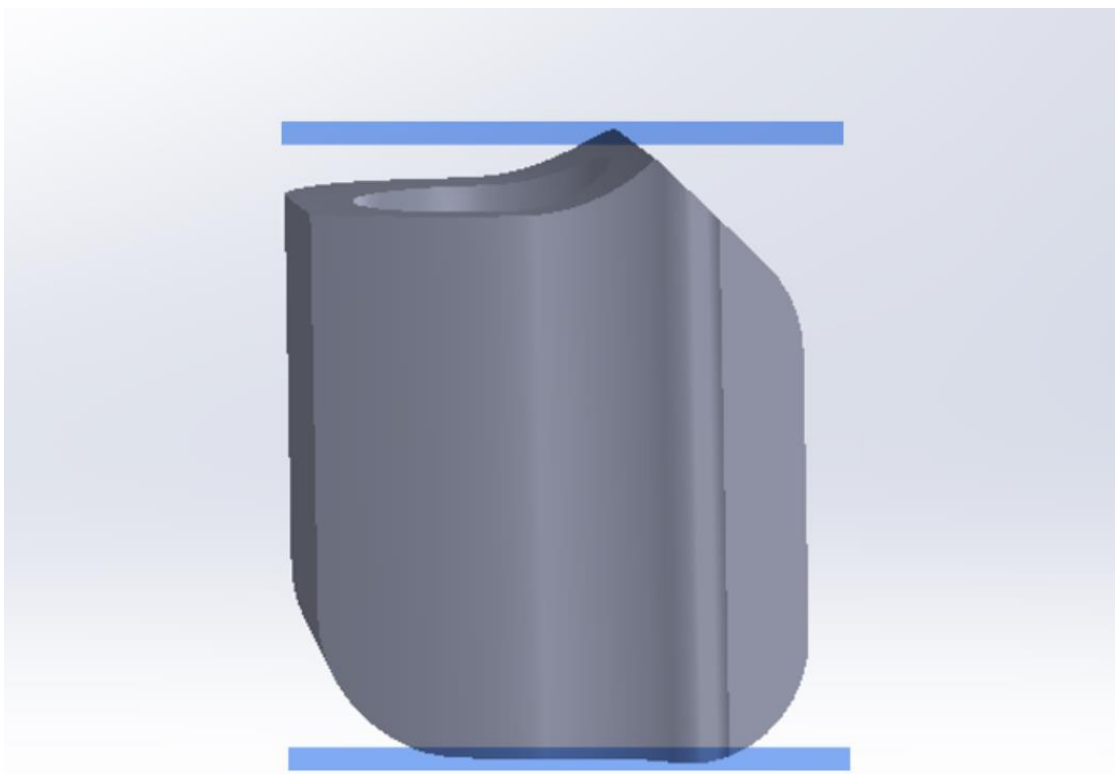


KUVIO 6. Pikkuholkin irtopala pystysuunnasta, tartuntapintojen reunat eri tasoissa. Tarttumapinnat korostettu sinisellä.

Irtopalan tasomaiset reunat

Irtopalan reunat olisivat hyvä olla tasomaisia ja etenkin teräviä nyppyjä tulee välttää. Esimerkiksi pienen holkin irtopalan ulkomuoto on sellainen, ettei sitä pystytty tarttujalla laittamaan muottiin ylä- ja alapinnasta kiinni pitäen, sillä irtopala pyörähtää helposti ulkosivun muodon ympäri. Kuviossa 7 on esitetty mallinnus pienen holkin irtopalasta sivusuunnasta, josta näkee, ettei yläpinta ole ta-

somainen. Työpää voidaan suunnitella ongelmatilanteissa kyllä näiden muotojen ympärille muotoilemalla tarttujaa, mutta tämä aiheuttaa lisäkustannuksia, sekä hidastaa ohjelmointia. Paras mahdollinen ratkaisu on aina pyrkiä käyttämään tasomaisia reunoja koko matkalta niihin pintoihin, josta robotti tulee pitämään kappaletta kiinni. Tällöin voidaan käyttää universaalialia tarttujaa kaikille irtopaloille ilman irtopalakohtaista tarttujan muotoilua.



KUVIO 7. Pikkuholkin irtokappale sivusuunnasta, tarttumapinnat korostettu sinisellä. Yläpuolen tarttumapinta ei ole tasomainen.

Insertin lukitseminen irtopalaan

Inserttien täytyy lukittautua irtopaloihin siten, etteivät ne voi irrota edes irtopalaa liikutellessa ylösalaisin. Tällä hetkellä inserttien ja irtopalojen sovite on toleroitu niin väljäksi, että insertit saattavat tippua. Robotin liikeratoja ajatellen on hyvä mahdollistaa myös irtopalojen pito ylösalaisin. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi toleroimalla irtopalojen ja inserttien väli tiukemmin reiän pohjalta tai käyttämällä jotakin lukitsemismenetelmää. Erillisenä lukitusmenetelmänä toimisi mahdollisesti esimerkiksi jousi-kuula lukitus irtopalan sisällä, joka painaisi inserttiä sivusuunnasta.

Inserttien ohjaus irtopalaan

Inserttien laitto irtopaloihin on nykyisilläänkin väljillä toleransseilla melko hankalaa robotille, sillä insertit eivät ole täysin pyörähdysymmetrisiä, vaan niissä on erilaisia pieniä nyppyjä johtuen valmistusprosessista. Lisäksi insertit ovat materiaalinsa ja muotonsa puolesta hieman elastisia, eivätkä ne pidä välttämättä täysin muotoansa tarttujan otteessa. Tämän takia irtopalojen inserttireikien alku tulisi olla huomattavasti väljemmin toleroitu. Todennäköisesti toimivin ratkaisu olisi kasvattaa inserttireikien alun halkaisijaa huomattavasti inserttiä suuremmaksi, sekä luoda reiän alkuun selkeät ohjaukskulmat. Muutokset helpottaisivat huomattavasti inserttien asettamista nopeuttaen ohjelmointia sekä lisäten ohjelman toimivarmuutta. Inserttien materiaali ja muoto aiheuttavat sen, että ne pääsevät hieman liikkumaan tarttujassa, joka edesauttaa insertin asettamista irtopalaan, mikäli insertin alkupää vain saadaan reiän sisälle.

Irtopalojen pohjalle asettaminen

Irtopaloja asetettaessa muottiin halutaan varmistua, että irtopala on varmasti aina pohjassa asti. Irtopalan asettaminen oikeaan syvyyteen robotilla on vaikeampaa kuin käsin. Ihminen voi työntää irtopalan muottiin, kunnes hän tuntee irtopalan osuvan muottikolon pohjaan. Robotti sen sijaan tekee liikkeen mieluusti ennalta määrätyn matkan verran, eikä liikettä ohjelmoida yleensä voimaperustein. Tämäkin on kuitenkin joillakin roboteilla mahdollista, kuten käytetyllä Universal Robots 10 robotilla (Universal Robots 2021). Voimaperusteisessa ohjelmoinnissa robotti siis jatkaa tietynsuuntaista liikettä, kunnes ennalta määritetyn suuruinen voima koetaan vastustavan tätä liikettä.

Irtopalojen asettamista muottiin voi kuitenkin mahdollisesti helpottaa asettamalla irtopalan pohjaan ja / tai muotin reiän pohjalle magneetin siten, että magneetti vetää irtopalan reiän pohjalle asti. Tällä ehkäistään sekä se, ettei robottia vahingossa ohjelmoida jättämään irtopalan työntö hieman vajaaksi, mutta myös toisaalta se, ettei robotti yritä työntää irtopalaa liian syvälle ja vastaanota iskua joka kerta irtopalaa laittaessa. Vastaava varmistus voidaan kuitenkin myös tarvittaessa hoitaa ilman magneetteja, mikäli irtopalat työnnetään muotin pohjalle niiden päädyistä kuten konseptitodistuksen testeissä. Tällöin työntö voidaan to-

teuttaa esimerkiksi tarttujan kulmalla, johon on voitu asettaa pieni pala pehmeää materiaalia, joka antaa hieman periksi ja täten kompensoi, mikäli irtopala yritetään työntää liian syvälle.

Mikäli irtopalojen tarkka syvyys muotin reiässä ei ole kriittistä, ei tätä välttämättä tarvitse erikseen huomioida. Tämä voi tapahtua esimerkiksi tilanteessa, jossa muottipuoliskot painavat irtopalat pohjaan sulkeutuessaan. Tällöin irtopalan asettaminen voidaan jättää hieman vajaaksi.

Muut huomiot

Tässä konseptitodistuksen lähtökohtana oli manuaalisolun muuttaminen robotiksi suoraviivaisesti. Yrityksen selkeä toive alusta lähtien oli keskittyä inserttien ja irtopalojen muottiin asettamiseen, sekä liepeiden poisleikkaamiseen. Mikäli automaatiotarkastelua laajennetaan yleisesti automatisoimaan kyseinen solu mahdollisimman tehokkaasti, nousee esille mahdollisuus prosessin virtaviivaistamisesta ultraäänihitsaamisen avulla.

Mikäli insertit voitaisiin kiinnittää ultraäänihitsaamalla työkappaleeseen vasta työkierron jälkeen, yksinkertaistuisi kappaleen valmistaminen ja muottisuunnittelu suuresti. Tämä oletettavasti lyhentäisi jaksonaikaa huomattavasti, sillä useampi työvaihe lähtisi pois, eikä itse ultraäänihitsaukseen kulu sekuntia pidempään kuten kappaleessa 6 todettiin. Ultraäänihitsaamiseen tarvitsee jokaiselle kappaleelle oman työpään, eikä siten laitetta ole käytännöllistä tehdä osaksi robotin omaa työpäätä (Troughton 2008, 16). Mikään ei kuitenkaan estä robottia pitämästä kiinni työkappaleesta liepeiden poiston jälkeen, ja käyttämästä sitä eri hitsauspäissä.

Yritys oli aikaisemmin tiedustellut vastaavien kappaleiden ultraäänihitsausmahdollisuuksista ja tällöin vastaus oli se, ettei ultraäänihitsaus todennäköisesti toimisi. Mitään selitystä tälle epäilykselle ei annettu, mutta ultraäänihitsauksen soveltuvuutta ei tämän takia ollut ikinä selvitetty pidemmälle. Tiedustelin ultraäänihitsauksen mahdollisuutta suomalaiselta ultraäänihitsauksen laitteistoon keskittyneeltä yritykseltä Ritmaconilta, ja vastaus oli melko päinvastainen. He eivät nähneet ongelmaa kappaleiden hitsaamiseen, mutta sanoivat kuitenkin testauksen olevan paikallaan ennen lopullista arviota.

9 MANUAALISOLUN KORVAAMINEN ROBOTTISOLULLA

9.1 Simulointi

Konseptitodistuksen onnistumisen ja komponenttitason muutostarpeiden selvityksen jälkeen voidaan jatkaa solun suunnittelua eteenpäin. Seuraavaksi tutkitaan solua laajemmin ja aletaan selvittämään kuinka automaatiokokonaisuus voisi toimia solun ympärillä.

Työssä käytettiin RoboDK-ohjelmistoa, jolla myös työssä viitattu simulaatio on tehty. Kyseinen ohjelma on robottiagnostinen, eli se ei ole sidottu vain yhteen merkkiin tai malliin. Vastakohta tästä on esimerkiksi ABB RobotStudio, joka toimii vain ABB:n roboteille (Segertstrom 2013). Tämä mahdollistaa yhdellä ohjelmalla kaikkien hallin robottien ohjelmoinnin valmistajasta huolimatta. Toki on varmasti yksinkertaisempaa pitkässä juoksussa, mikäli tehtaan robotit olisivat pitkälti kaikki samaa merkkiä. RoboDK:lla ohjelmoinnin voi tehdä joko ohjelmointikielellä (Python, C#, ...) tai graafisen näkymän kautta, jolloin aikaisempaa ohjelmointikokemusta ei tarvita. Näiden käyttäminen yhdessä on myös mahdollista. (RoboDK n.d.)

Muitakin teollisille automaatoroboteille tarkoitettuja simulaatio-ohjelmia on. Eräs suuri alan ohjelmistoyritys on suomalainen Delfoi, jolla on ohjelmia esimerkiksi yleiseen robotin simulointiin ja offline-ohjelmointiin (Delfoi Robotics). Delfoin ohjelmat ovat luotettuja ja yrityksen asiakaskunta onkin erittäin laaja ja sisältää monia suuria yrityksiä (mm. John Deere, Airbus, Valmet, Sandvik). Delfoin ohjelmistot ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia, kuin esimerkiksi työssä käytetty RoboDK. (Delfoi n.d.)

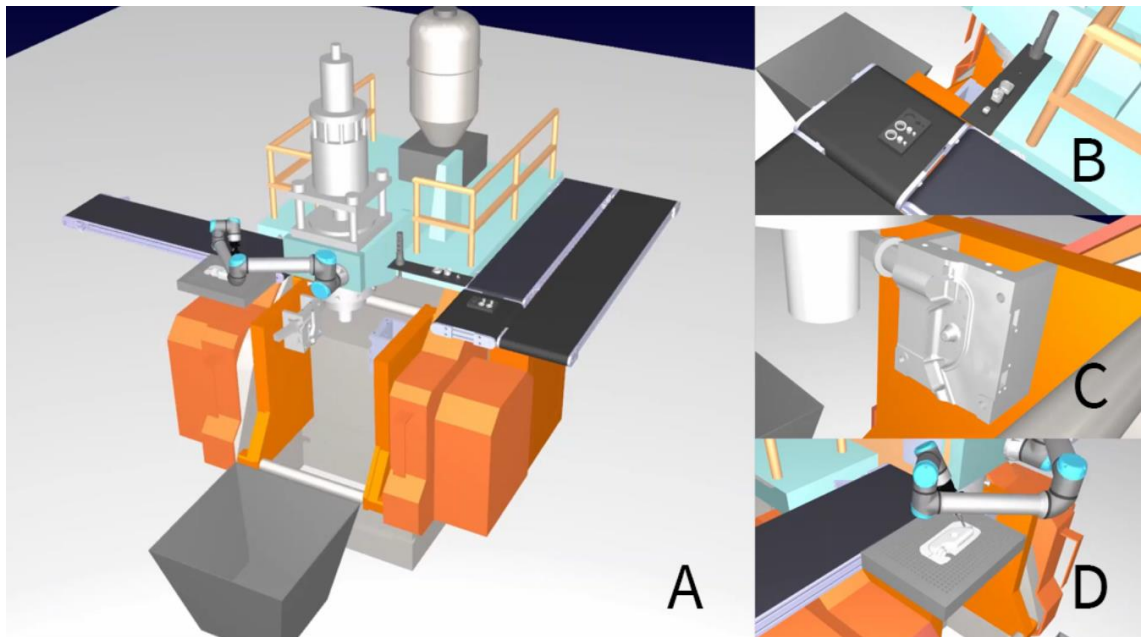
Tarkempi vertailu yritykselle parhaiten sopivasta simulaatio-ohjelmasta on tehtävä erikseen, kun koko tuotannon automaatiosuunnitelma tarkentuu.

Simuloitu puhallusmuovaussolun automaatoratkaisu

Tehdystä simulaatiosta luotiin koostevideo, jossa näkyy prosessi eri kuvakulmista. Video on nähtävissä Tampereen ammattikorkeakoulun YouTube-kanavalla (Jalokinos 2021). Kuviossa 8 on esitetty kuvankaappaus simulaation videokoosteesta. Taulukossa 1 on selitetty kuvankaappauksen eri näkymät ja niissä näkyvät työvaiheet. Simulaatiossa esitetty automaatoratkaisu ei ole tarkoitus olla sellaisenaan lopullinen toteutettava ratkaisu, vaan sitä käytetään kuvaamaan prosessia ja visualisoimaan solun eri automatisoitavat työvaiheet.

TAULUKKO 1. Simulaation videokoosteen eri näkymät

Osio	Näkymä	Työvaiheet
A	Yleisnäkymä	Kaikki työvaiheet
B	Tuloliukuhihna, irtopalat, työkalut	Inserttipaletin tulo liukuhihnaa pitkin, inserttien asetus irtopaloihin, inserttien lämmitys, työkalujen vaihto
C	Muotti	Irtopalojen asettaminen muottiin, puhallusmuovauskoneen työkierto, työkappaleen poisto muotista
D	Leikkuupöytä, poistoliukuhihna	Liepeen leikkuu, valmiin kappaleen poisto liukuhihnaa pitkin



KUVIO 8. Kuvankaappaus simulaation videokoosteesta (Jalokinos 2021, muokattu). Kirjaimet lisätty kuvaan jälkikäteen.

Simulaatiota voidaankin käyttää yrityksessä jatkossa eräänlaisena automaatio-ratkaisuiden lähtökohtana, johon ehdotettuja muutoksia voidaan verrata. Simulaatioesityksen yksi tarkoituksista onkin helpottaa kommunikaatiota yrityksessä automaatiotaustan omaavien ja tämän alan ulkopuolella olevien välillä.

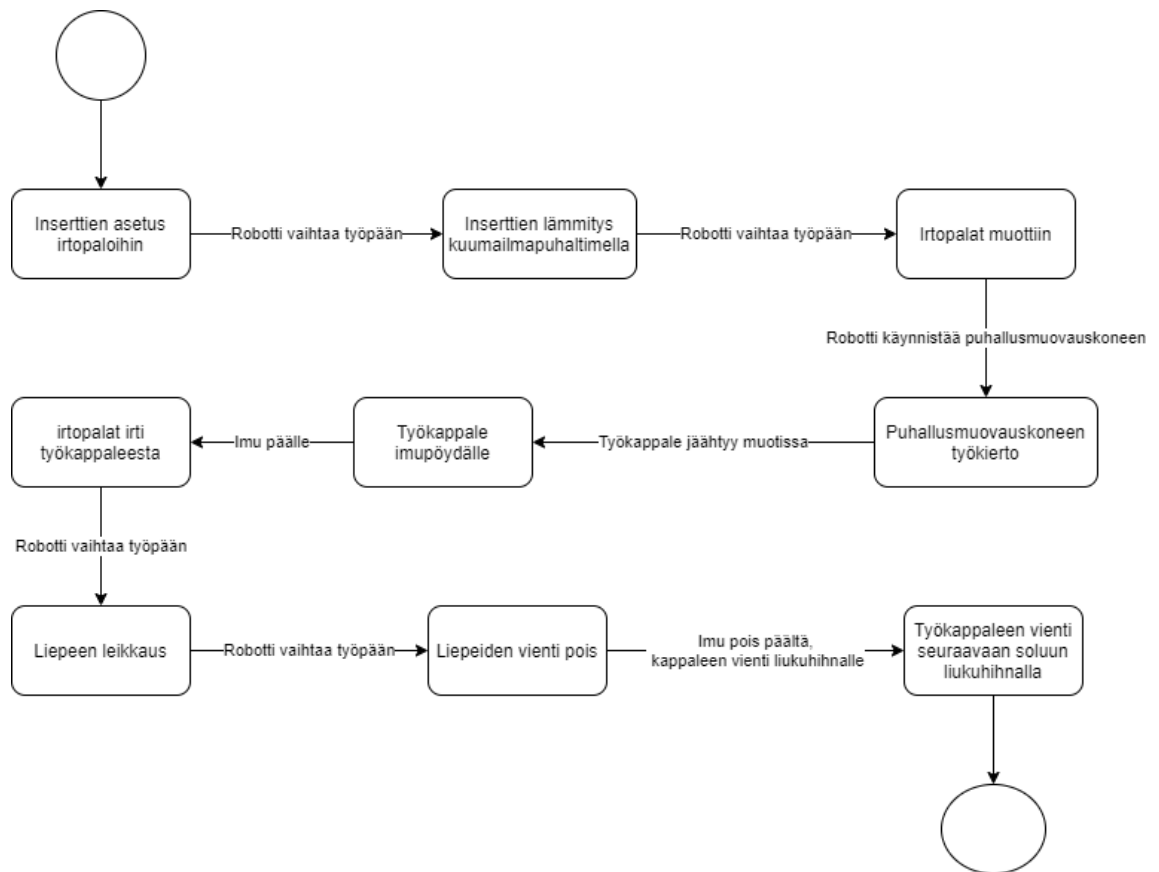
Taulukossa 2 on esitetty simulaatiossa näkyvä automaatiotarkaisu askelina yleisellä tasolla. Taulukon prosessikuvauksessa ei oteta ovanko työkalut osana monipäistä työpäätä, vai tuleeko robotin käydä vaihtamassa työpäätä vaiheiden välillä.

TAULUKKO 2. Prosessin kulku

Vaihe	Prosessi
1.	Inserttipaletti tulee liukuhihnaa pitkin robotin työalueelle
2.	Robotti laittaa insertit yksitellen irtopaloihin, jotka ovat viereisessä pidikkeessä
3.	Robotti lämmittää inserttejä kuumailmapuhaltimella
4.	Robotti vie irtopalat yksitellen muottiin
5.	Puhallusmuovauskone tekee työkiertonsa
6.	Robotti ottaa työkappaleen muotista ja vie sen imupöydälle
7.	Robotti irrottaa irtopalat muotista ja vie ne takaisin niiden pidikkeeseen yksitellen
8.	Robotti leikkaa työkappaleen liepeen pois ultraääniveitsellä
9.	Robotti vie liepeen pois erilliseen koriin
10.	Robotti asettaa valmiin työkappaleen liukuhihnalle, josta se siirtyy seuraavaan työvaiheeseen
11.	Inserttipaletti ohjautuu toiselle liukuhihnalle, jota pitkin se poistuu työalueelta uudelleen täytettäväksi

Vaiheet 2–10 toistuvat niin monta kertaa, kuin inserttipaletissa on jokaista inserttiä. Tämän jälkeen seuraa vaihe 11 ja prosessi alkaa alusta.

Todellisuudessa puhallusmuovauskoneen kierron aikana ja työkappaleen jäähtyessä muotissa robotti valmistelisi jo seuraavaa kiertoa, eli prosessissa päästäisiin hyvin lähelle puhallusmuovauskoneen maksimaalista käyttöastetta. Simulaatiossa tätä ei huomioitu, sillä puhallusmuovauskoneen työkierron kestoa tai työkappaleen jäähtymisaikaa ei ollut saatavilla. Kuvio 9 on kaaviomainen esitys prosessista. Prosessikaavio seuraa simulaation esitystä tarkasti, eli käsittelee prosessia vaihdettavan työpään kannalta.



KUVIO 9. Prosessikaavio simuloidusta kokonaisuudesta

9.2 Simulaation vienti toimivaksi automaattioratkaisuksi

Mikäli simulaatiossa näkyvän automaattioratkaisun haluaisi toteuttaa sellaise-
naan, täytyy tietyt asioita ottaa huomioon simulaation realisoinnissa. Simulaati-
ossa tehdään yksinkertaistuksia, tai jätetään käsittelemättä tietyt kokonaisuuk-
sia.

Työympäristö

Käytetty puhallusmuovauskone on vanha, eikä siitä löytynyt mittakuvia tai mal-
linuksia internetistä. Kone mallinnettiin valokuvien perusteella. Simulointia teh-
dessä ei ollut tarkkoja mittoja selvillä muottipuoliskojen etäisyydestä toisiinsa
nähdessä, kun muotti on täysin auki. Tämä arvioitiin kuvien ja mittasuhteiden pe-
rusteella tunnetuista mitoista, mutta virhemarginaali on melko suuri. Tarkka etäi-
syyden muottipuoliskojen etäisyydestä niiden auki ollessa tulee mitata, jonka poh-
jalta voidaan varmistaa robotin ja työvään mahtuvuus työskentelemään.

Simulaatiossa robotti on myös kiinnitetty työkoneen etuosassa olevaan levyyn, jota todellisuudessa ei ole. Levy on kuitenkin mitoitettu sillä tavoin, että sen voi kiinnittää työkoneen runkoon yksinkertaisella pulttikiinnityksellä.

Imupöytä

Simulaatiossa esitetään imupöytä, jonka tarkoitus on pitää työkappale paikallaan, kun siitä irrotetaan irtokappaleet ja leikataan lieve pois. Tämä ei kuitenkaan todellisuudessa pitäisi sellaisenaan kappaletta paikallaan, vaan imupöydässä tulisi olla muotoiltu aukko, johon kappale laitettaisiin. Kappaleen asettaminen muotoiltuun aukkoon parantaisi sinettiä ja tukisi kappaletta sivuilta, joka parantaisi sen käsittelykykyä. Suuremmille levymäisille kappaleille myös simulaation ratkaisu todennäköisesti toimisi. Vaihtoehtoinen tapa toteuttaa kappaleen kiinnitys liepeiden leikkaamista varten on tehdä puristin, jossa kappale pidetään paikallaan mekaanisesti. Tästä on esimerkki luvussa 7.3.

Työpäiden vaihto

Simulaatiossa on esitetty tapa, jossa robotti käyttää työpäänä vain tarttujaa, joilla robotti manipuloi muita työkaluja. Tämä on mahdollista toteuttaa myös sellaisenaan, mutta esitys on ensi sijassa tarkoitus implikoida vaihdettavan työpään mahdollisuutta.

Inserttien tuonti työalueelle

Inserttipaletin tulee pysähtyä juuri oikealla kohtaa, jotta robotti voisi poimia insertit ennalta asetetuista sijainneista. Tämä ei onnistu pelkällä liukuhihnan pysäyttämällä simulaation tavoin, vaan vaatii anturointia ja / tai ohjuriin käyttöä. Paletin sijainnin voi vaihtoehtoisesti tulkita konenäöllä, jonka avulla päivitetään robotin ohjelmaan paletin koordinaatiston sijainti, johon inserttien sijainnit pohjautuvat. Tällöin poimintapisteet itsessään muuttuvat paletin sijainnin perusteella.

9.3 Yleisiä huomioita puhallusmuovauskoneen automatisointiin

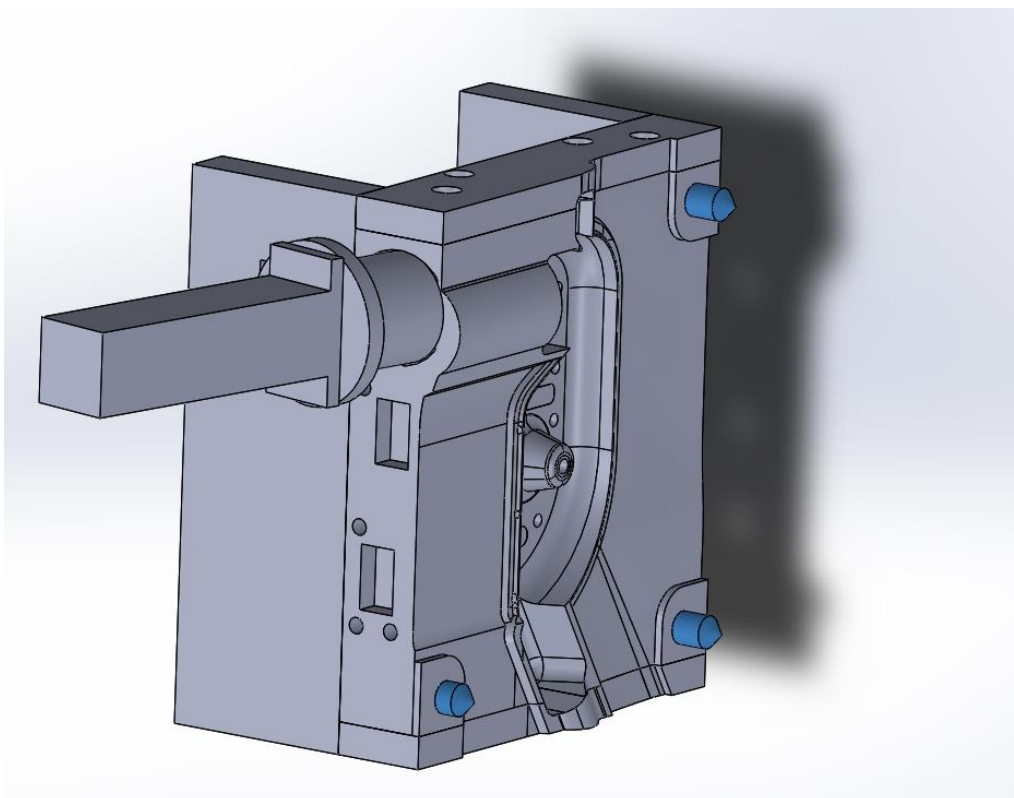
Vastaavaa automatisointiratkaisua toteuttaessa tulee ottaa huomioon muitakin aspekteja, jotka eivät ole pelkästään kyseiselle automatisointiratkaisulle yksilöllisiä, vaan koskevat yleisellä tasolla puhallusmuovauskoneen ympärillä toimivan

manuaalisolun automatisointia. Nämä asiat eivät näy simulaatiossa, mutta ne täytyy suunnitella ennen simulaatoratkaisun jatkojalostamista.

Muotin siirtymä uudelleen kiinnitettäessä

Kun muotti irrotetaan ja kiinnitetään uudelleen, voi sen paikka ja orientaatio muuttua. Tämän takia vaihdon yhteydessä pitää ohjelmaan päivittää muotin koordinaatiston sijainti. Tämä koskee myös kaikkia muita työalueen osia, mikäli niitä täytyy vaihtaa eri kappaleiden välillä (esimerkiksi työkalujen pidikkeet). Tämä on kuitenkin hyvin nopea muutaman minuutin prosessi, jolloin robotin työpää liikutetaan kolmeen pisteeseen ("koordinaatiston hakupisteet"). Nämä hakupisteet tulee olla sellaisissa kohdissa muotin pintaa, että ne on helppo hakea eivätkä ne muutu (pinta ei saa kulua eikä kolhiintua). Kaksi pisteistä tulee olla yhden akselin suuntaisia, ja kolmannen tulee olla kohtisuorassa tähän akseliin nähden. Näiden hakupisteiden tulee olla sellaisissa kohdissa, jossa ne ovat hyvin tarkkaa määritettävissä.

Nämä pisteet voidaan toteuttaa joko piikkimaisilla ulokkeilla (nypyillä), jotka ovat muotin pinnassa, tai ne voidaan toteuttaa esimerkiksi asettamalla muotin kohdistustappien reikiin erityiset pisteidenhakutapit (kuvio 10), joiden päädyt ovat pisteeseen kohdistuvat kartiot. Näillä erikseen asetettavilla tapeilla on se hyöty, että ne voidaan säilöä suojassa vailla kolhuja, tai tarvittaessa voidaan koneistaa uudelleen. Muotin pinnassa olevien kohdistusnyppyjen käyttö on yksinkertaisempaa, mutta ne ovat alttiita kolhuille ja niitä ei voi helposti korjata vahingon sattuessa. Pisteet voidaan myös hakea muottipuoliskon ulkoreunan kulmista, mutta tämä ei ole välttämättä yhtä tarkka kohdistusmenetelmä kuin edellä mainitut, sekä nämä kulmat ovat etenkin alttiita kolhiintumiselle ja saattavat vaurioitua myös muottipuoliskoja irrotettaessa toisistaan.



KUVIO 10. Pisteenhakutapit asetettuina kohdistustappien reikiin. Pisteenhakutapit korostettu sinisellä.

Työkappaleen irrottaminen muotista

Mikäli työkappale jää aina samaan muottipuoliskoon täydellisesti kiinni, voidaan se simulaation tavoin irrottaa esimerkiksi ottamalla tarttujalla kiinni työkappaleen reunasta ja keskiosasta. Jos työkappale ei jää aina tasaisesti muottiin kiinni, vaan jää esimerkiksi osittain roikkumaan tai jää muotin avautuessa vaihtelevasti kumpaankin puolelta kiinni, on työkappaleen irrotus vaikeampaa. Tällöin irrotus voidaan kuitenkin toteuttaa esimerkiksi konenäöllä, joka tunnistaa kummalla puolella työkappale on kiinni. Vastaavasti, jos työkappale jää vain osittain kiinni ja on puoliksi muotista ulkona, voidaan konenäköä käyttää avuksi tunnistamaan työkappaleen orientaatio, jolloin tarttuja voi tarttua sitä sivusuunnasta. Tämän toteutus voi olla kuitenkin joillekin kappaleille hankalaa, eikä kaikki työkappaleet ole välttämättä sellaisia, joista tarttujalla saa kiinni edes optimaalisessa tapauksessa.

Kuten luvussa 7.3 tutkittiin, puhallusmuovaussolun automatisoinnissa robotti hakee usein työkappaleen aina samalta puolelta muottia. Tämä viittaisi siihen, että muottisuunnittelu on mahdollista toteuttaa robotti mielessä siten, että kappaleen

kiinnittyminen rajataan vain yhteen puoliskoon. Tätä muottimuutoksen mahdollisuutta käsiteltäessä yrityksen mielipide oli se, että tämä luulisi onnistuvan myös heidän prosessissaan.

Vaihtoehtoisesti voidaan tutkia mahdollisuutta, jossa robotti ei hae työkappaletta suoraan muotista, vaan se tiputetaan irti muotissa olevan sylinterin toimesta. Työntävät sylinterit voitaisiin laittaa molempiin muottipuoliskoihin, jolloin ei olisi väliä kummalle puolelle työkappale jää kiinni. Tällöin muotin alla olisi alusta, johon työkappale tippuisi ja josta robotti sen noutaisi. Tämä alusta voi myös esimerkiksi olla hieman vinossa, jota pitkin työkappale liukuu ohjureihin ja orientoituisi valmiiksi robotille. Tällöin voidaan päästä tilanteeseen, jossa mihinkään osaan työkoneen automatisointia ei välttämättä tarvitsisi erikseen tuoda konenäköä, vaan yksinkertainen ja edullinen mekaaninen paikotus riittäisi. Toinen vaihtoehto on se, että kappale työnnetään irti muottipuoliskosta ilman, että muotti on puristanut muovisukan katki. Kappale jää tällöin roikkumaan pursotettuun muovisukkaan keskelle muottia. Kappaleen poiminta olisi melko yksinkertaista käyttäen perinteistä tarttujatyöpäätä ilman tarvetta työpään kääntymiselle muotin sisällä. Tämä vaihtoehto esiintyi käsitellyissä videoissa luvussa 7.3. Tarttumisen helpottamiseksi voidaan tutkia mahdollisuutta kiinnittää työpää kulmaan, jolloin robotin ei tarvitse mahtua kääntymään muotin sisällä. Monessa luvussa 7.3 esitettyssä automaattioratkaisussa muotin välissä käytettävä robotin työpää onkin 90 asteen kulmassa valmiiksi.

Robotin ja työkoneen kommunikaatio

Robotin ja työkoneen kommunikaatio on hyvin suoraviivainen, ja sen voi toteuttaa yksinkertaisella IO-viestinnällä. Käytännössä robotin täytyy vain kyetä lähettämään signaali työkoneelle, että työkierron voi toteuttaa. Työkierron jälkeen työkone ilmoittaa robotille, että se voi jatkaa ohjelmaansa. Oletettavasti kuitenkin puhallusmuovauskoneen työkierto on aina yhtä pitkä ja toiminta luotettavaa, joten myös yhdensuuntainen IO viestintä on täysin toimiva ratkaisu. Tällöin robotti ilmoittaa työkoneelle viestin samoin kuin kaksisuuntaisessa kommunikaatiossa, mutta ei odota takaisin minkäänlaista signaalia, vaan odottaa vain ennalta määrätyn ajan ennen ohjelman jatkamista. Mikäli työkoneen käyttö on yksinkertaista, voi robotti myös ylettyessään käyttää suoraa työkoneen painikkeita.

10 YLEISEN AUTOMATISOINTIRATKAISUN KEHITTÄMINEN

10.1 Automaatioratkaisun yleistäminen koko tuotantoon

Ennen tarkempaa työtehtäväkohtaista automatisointisuunnittelua, on hyvä tutkia kuinka paljon yhteistä eri työpisteillä ja työkoneilla on. Mikäli suuressa osassa puhallusmuovauskoneiden ympärillä tapahtuvasta työstä vaatimukset ovat samankaltaiset, voidaan harkita "automaatiosapluunan" tekoa. Sen sijaan, että jokaisen manuaalisolun automatisointi suunniteltaisiin erikseen, voisi näiden suunnittelussa harkita koko tuotannon automatisointia kerralla. Tällöin suunniteltaisiin inserttien paletointi, työpää, kiinnittimet ym. mahdollisimman laajasti toimivaksi ratkaisuksi. Tämän lisäksi erillisten työvälineiden (veitsi, lämmitin) vertailu ja hankinta tulisi tehdä pitäen mielessä kaikki työkoneet ja erilaiset työkappaleet, jotta vertailua ei tarvitsisi tehdä enää uudelleen konekohtaisesti. Tämä myös yksinkertaistaisi ohjelmointia ja automatisoinnin suunnittelua, sillä esimerkiksi mikäli jollaisella robotilla on käytössä erilainen veitsi (osa kompensoituja, osa ultraääni), käyttäytyvät ne todennäköisesti leikatessa hieman eri tavoin ja niinpä niiden leikkausohjelmat täytyy suunnitella aina hieman eri tavoin.

Automaatiosapluunan teon jälkeen voidaan suunnitella työkohtaisesti vain esimerkiksi viimeiset 10 % kokonaisuudesta, jolloin säästetään aikaa ja resursseja. Tästä syystä tätä selvitystä ei tulisi ottaa vain tämän yksittäisen työkappaleen ja työtehtävän osalta huomioon, vaan miettiä koko hallin kokonaisuutta. Lisäksi automatisointiasteen noustessa on huomioitava lisääntynyt tarve automaation ja robotiikan osaamiselle. Tämä tarkoittaa mahdollisesti tarvetta henkilöstön lisäkoulutukselle ja / tai lisähenkilöstön palkkaamista. Osa työtehtävistä hallin lattialla mahdollisesti katoaa kokonaan robotisoinnin edetessä, mutta vastaavasti uusia työtehtäviä tulee lisää, kuten huolto, ohjelmointi ja suunnittelu.

10.2 Automaattioratkaisun kehittäminen

10.2.1 Robotin valinta

Robotin valinta on hyvin tärkeä osa automaattioratkaisua, ja sen valintaan tulee käyttää aikaa. Hyvin moni robotti kuitenkin pystyy tekemään samat työt, eikä välttämättä täydellistä vaihtoehtoa ole edes olemassa. Tietyt kriteerit robotin valinnassa kuitenkin tulee tätä manuaalisolua automatisoidessa ottaa huomioon.

Sopivuus työalueelle

Robottia hankittaessa on mietittävä sen funktionaalisuus kyseiseen työtehtävään, eli pystyykö robotti ylettymään kaikkialle ja tekemään halutut liikkeet. Tämän suunnittelu lähtee mahdollisten kiinnitysasemien selvittämisellä. Singulariteetteja tulee välttää, ja robotin liikealuetta tulee käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi. Tekniikan tohtori Ilian Bonev tiivistää singulariteettien haasteet erinomaisesti kuusiakselista käsivarsirobottia käsittelevässä artikkelissaan seuraavasti: singulariteettien ongelma ei ole pelkästään se, että niiden läpi kulkeminen on mahdotonta, mutta myös korkeat nivelnopeudet kulkiessa niiden lähellä.² Käytännön kannalta singulariteetit ovat pisteitä, joiden lähellä ei haluta ohjata robottia lineaariliikkeillä. Robottia lisätessä soluun on siis syytä selvittää valitun robotin singulariteetit, ja suunnitella aktiivinen työalue pois niiden ympäristöstä. Helpoiten tämä huomioidaan käsivarsirobotin kiinnityksessä niin, ettei työtehtäviä robotilla olisi sen ulottuvuuden rajoilla, eikä myöskään suoraa robotin kiinnityskohdan ylä- tai alapuolella. (Bonev 2019.)

Osa roboteista, etenkin suuri osa käsivarsiroboteista, voidaan usein kiinnittää normaalin pystysuuntaisen kiinnityksen lisäksi sivuttain (seinäkiinnitys) tai ylösalaisin (kattokiinnitys). Tämän lisäksi osan roboteista voi kiinnittää myös likimain mihin asentoon tahansa tällä välillä. On kuitenkin huomioitava, että kiinnitysorientaatio vaikuttaa robotin toimintaan. Osa roboteista ei pysty käyttämään koko työaluettaan, mikäli ne ovat asennettu standardista poikkeavalla tavalla, esi-

² "The problem with singularities is not only the impossibility of crossing them, but also the high joint velocities resulting from passing close to them" (Bonev 2019)

merkiksi seinäkiinnityksellä. Tämän rajoitteen lisäksi painovoimavektori suuntautuu nyt robottiin nähden eri kulmasta, joten se rajoittaa robotin voimia eri tavoin, kuin pystyyn asennettu robotti. Tämä ei kuitenkaan ole todennäköisesti tämän robottisolun tapauksessa rajoittava tekijä, sillä käsiteltävät kappaleet ovat melko kevyitä ja tämä voi nousta ongelmaksi lähinnä maksimikuormaa käsiteltäessä maksimikiihtyvyyksillä. (Universal Robots 2016.)

Kiinnitys voi kuitenkin olla käytännöllisin tehdä siten, ettei robotti vie hallin lattiatilaa. Mikäli robotti kiinnitetään simulaation tavoin seinäkiinnityksellä työkoneeseen, mahdollistaa se myös muun työpisteen laitteiston siirtämisen hallin lattialta yläilmoihin (työkalut, liukuhihnat, kiinnittimet). Tämä tuo tilaa hallilattialle ja mahdollisesti nopeuttaa huoltoa ja muotin vaihtoa, kun työkoneen edestä ei tarvitse siirtää robottia tai muuta kalustoa sivuun. Robotti voidaan myös tarvittaessa asentaa ulkoiselle liikeakselille, jolloin robotti voi liikkua työkoneen eteen, mutta myös siirtyä sivuun tekemään työtä erilliselle työalueelle tarvittaessa. Tämä olisi oleellisempaa tavoiteltaessa joustavaa valmistusjärjestelmää, sillä kuten luvussa 4 esitettiin, tavoitellaan joustavassa valmistusjärjestelmässä laitteiston automaattista mukautuvuutta vaihtuviin työkappaleisiin.

Robotin kantokyky

Robotin kantokyvyn riittävyys on varmistettava jokaiseen työtehtävään. Todennäköisesti tämä ei kuitenkaan nouse suureksi ongelmaksi vastaavia manuaalisoluja automatisoitaessa, sillä liian pienillä roboteilla ei työalue olisi riittävän suuri toimiakseen solussa. Suuria kappaleita käsiteltäessä tai painavia työkaluja käytäessä voi kuitenkin pienten robottien käsittelykyky ylittyä.

Synkroniliikkeet ja ulkoiset akselit

Robotin valinnassa tulee ottaa huomioon sen liittämismahdollisuudet ulkoisiin akselihin, mikäli robotin tulee pystyä niitä ohjaamaan. Tämä voi olla tarpeen esimerkiksi, mikäli robotti liikkuu ulkoisen akselin päällä laajentaen työaluetta tai jos robotin liike tulee yhdistää pyöröpöytään (leikatessa, maalatessa, hitsatessa). Nämä synkronoidut liikkeet (synkroniliikkeet) eivät ole kaikilla roboteilla mahdollista, jolloin monimutkaisemmat liikeradat ja täysi hyötykäyttö jää vajaaksi. Tämän selvityksen keskiössä olevaa manuaalisolua vastaavissa soluissa ei ole tarvetta robotin ja ulkoisten akseleiden synkroniliikkeeseen nykyisellä suunnitelmalla.

Yhteistyörobotin käyttö

Robotin valinnassa keskeinen kysymys on se, onko yhteistyörobotti tehtävään parempi, kuin perinteinen teollisuusrobotti. Yhteistyörobotteja koskee omat säädökset ja standardit, joiden takia ne ovat turvallisempia käyttää.

Perinteisiä robotteja on enemmän tarjolla, joista voi olla helpompi löytää työhön sopiva robotti mahdollisimman edullisesti esimerkiksi käytettynä. Tällöin kuitenkin tulee ottaa huomioon, että kustannuksia ja monimutkaisuutta nostaa turvalaitteisto, jota robotti tarvitsee ympärilleen. Yrityksen tapauksessa turvalaitteisto ei kuitenkaan todennäköisesti tarvitse olla erityinen, vaan akryylilevykoppi tai häkki riittää robotin työtilan ympärille. Tämä kuitenkin täyttää hallia entisestään ja monimutkaistuttaa työpisteiden muuttamista jatkossa, kuten luvussa 2.2 esitettiin.

Yhteistyörobotin edut ovat selkeät. Suojalaitteita ei tarvita silloinkaan, kun robotti tekee yksin työtä, mutta suurempi ero tulee robotin tehdessä yhteistyötä ihmisen kanssa. Esimerkiksi mikäli tietyn työkappaleen valmistus robotilla on hankalaa ja kappalemäärät ovat alhaisia, voi yksinkertaisin ratkaisu olla tuoda ihminen työskentelemään robotin kanssa. Cobottia käyttämällä tämä onnistuu mahdollisesti jopa olemalla tekemättä minkäänlaisia muutoksia robotin ympäristöön, missä taas perinteisen robotin kanssa yhteistyön suunnittelu turvallisesti on huomattavasti vaikeampi prosessi. Tämä saattaisi mahdollistaa yritykselle alemman hinnoittelun pienille erille, ja siten luoda uusia asiakassuhteita.

Tähän selvitykseen käytetty robotti oli Universal Robotsin yhteistyörobotti. Työ onnistui robotilla, mutta kuten luvussa 8.4 huomattiin, ongelmia oli myös suuri määrä. Testeissä käytettiin vain yksittäistä robottia, joten voi olla, että viat olivat vain kyseisestä yksilöstä johtuvat. Robotin toimivuuteen liittyvien ongelmien lisäksi täytyy huomioida, että ohjelmointi pendantilla ei myöskään ollut yhtä nopeaa, kuin esimerkiksi ABB:n robottien, ja tuntui erittäin työläältä. Testien perusteella ei UR robottia voi tehtävään ensimmäisenä suositella.

10.2.2 Liepeiden leikkaus

Liepeiden leikkaamisen suurin ongelma tulee todennäköisesti olemaan kappaleiden mahdollinen epälineaarinen muodonmuutos niiden jäähtyessä ja kutistuksessa. Työssä tarkasteltu hydraulinesäiliö on polyproyleeniä (PP), jonka kutistuma on jopa 2 % jäähtyessään (Upmold 2017). Automatisoinnin tuoma täsmällinen jaksonaika voisi kuitenkin pitää kappaleiden eroavat muodonmuutokset niin pieninä leikkaushetkeen asti, ettei ne vaikuttaisi leikkausratoihin. Tarvittaessa leikkausratoja voitaisiin mahdollisesti päivittää esimerkiksi käyttäen konenäköä. Mikäli tuote ei tule loppuasiakkaan näkyville, eikä lievettä tarvitse poistaa täydellisesti, voidaan leikkausratoihin myös jättää pieni varoetäisyys kappaleeseen.

Liepeiden poistoon on useita eri vaihtoehtoja, mutta robottia käytettäessä riittää työpääksi esimerkiksi ultraääniveitsi tai myötäilevä työkalu. Muitakin vaihtoehtoja on olemassa, kuten leikkaavat puristimet tai leikkaava muotti. Leikkaavasta muotista yrityksellä ei kuitenkaan ollut hyviä kokemuksia, joten se suljettiin pois vaihtoehtoista. Muut mainitut vaihtoehdot ovat esitetty alla.

Puristinleikkuri

Puristinleikkuria varten on tehtävä erillinen laite, jossa vastakkaiset pinnat painautuvat kiinni. Näihin pintoihin on asetettavissa vaihdettavat muottileikkuriosat. Nämä leikkuriosat koneistettaisiin samoin kuin muotin puolikkaat, mutta oleellista olisi vain työkappaleen ulkomuoto, joka toimii leikkuriteränä. Tämä ei kuitenkaan olisi todennäköisesti kustannustehokkain ratkaisu, ellei samaa kappaletta tuotettaisi suuria määriä nopeaan tahtiin. Vastaavia leikkureita on myös ostettavissa valmiina, kuten kappaleessa 7.3 esiteltiin, mutta tätä ei nähty kustannustehokkaaksi ratkaisuksi vaihtuviin kappaleisiin yrityksen puolesta.

Erillisen työkalun käyttö

Robotilla liepeiden leikkaamista tehdään teollisuudessa muutamalla erilaisella vaihtoehdolla. Osa robottien käyttämistä työkaluista eivät ole veitsiä, vaan ne muistuttavat enemmän pientä poraa tai piikkiä. Yleisesti käytössä ovat myös esimerkiksi myötäilevät työkalut ja ultraääniveitset, joita esiteltiin luvussa 6. Tällaiset työkalut voidaan tehdä osaksi robotin moniosaista työpäätä, jolloin veistä ei tarvitse erikseen hakea ja viedä pois.

Ultraääniveitsiä käytetään myös liepeen poistossa, ja usein se jättääkin siistimmän pinnan kuin perinteinen veitsi. Ultraääniveitsi myös kohdistaa vähemmän painetta leikattavaan kappaleeseen ja on mahdollisesti parempi ratkaisu, mikäli pelkona on työkappaleen liikkuminen leikkauksen vaikutuksesta. Ultraääniveitsi aiheuttaa yleensä vähemmän lämpöä kappaleeseen verrattuina moneen muuhun metodiin, jolloin on pienempi riski pienten muovipalojen sulamisesta ja kiinnittymisestä työkaluun tai työkappaleeseen.

Suomessa ultraääniveitsiä ei ole saatavilla testeihin erityisen helposti. Motoman / Yaskawa olisi voinut toimittaa veitsen, mutta yritys olisi halunnut tällöin toimittaa myös robotin tai mahdollisesti koko järjestelmän. Asiaa tiedusteltiin myös Fanucilta ja Kukulta, mutta kummankaan yrityksen ultraääniveitsen toimittajaa ei selvinnyt. Työn aikana löydettiin kuitenkin kaksi suomalaista ultraäänihitsauslaitteistoon keskittyvään yritystä, jotka olivat valmiita toimittamaan myös ultraääniveitsiä: aikaisemmin mainittu Ritmacon Oy, sekä SonicTools Oy. Kummallakaan yrityksellä ei kuitenkaan ollut välittömästi tarjota valmista robottiin asetettavaa laitteistoa testeihin. Molempien yritysten kanssa on keskusteltu mahdollisuudesta toteuttaa ultraääniveitsien testaus käsikäyttöisellä kalustolla. Muualla Euroopassa ultraääniveitsien toimittajia on enemmän, ja moni heistä oli valmiita tekemään testileikkuita heille lähetetyistä kappaleista ja videoimaan testit. Kappaleet eivät tällöin olisi lämpimiä, kuten todellisessa leikkuutilanteessa, mutta toimittajien vertailun tulisi silti tätä kautta onnistua. Suositeltu etenemistapa on toteuttaa testileikkuit käsikäyttöisellä kalustolla todellisilla työkappaleilla, mutta työkalun toimittajavertailu tulisi laajentaa Suomen toimittajien lisäksi koko Eurooppaan.

On mahdollista, että myös normaali veitsi toimisi kappaleiden liepeenpoistoon. Tämä vaatii kuitenkin sen, että robotille luodaan ohjelma tietokoneella, joka mukaillee täydellisesti leikattavaa muotoa ja pitää optimaalisen terän orientaation koko leikkauksen ajan. Tätä ei ole mahdollista ohjelmoida robotin pendantilla. Tämä vaihtoehto on testattava käytännössä, ennen kuin vaihtoehtoa voidaan harkita vakavammin. Toimiessaan metodi tuottaisi kuitenkin huomattavia säästöjä hankitavaiheessa, sekä minimoisi jatkossa työkalun huoltokulut.

10.2.3 Lämmitysmetodi

Tällä hetkellä inserttien lämmitys toteutetaan manuaalisesti painamalla inserttiä lämmitinlevyä vasten. Vastaava menetelmä toimisi myös robotilla, mutta se aiheuttaa robotin toiminnalle pullonkaulan, mikäli robotin halutaan valmistelemaan seuraavaa kappaletta ennalta. Robotin tulee tällöin asettaa insertit valmiiksi irtopaloihin odottamaan puhallusmuovauskoneen edellisen työkierron päättymistä. Ongelmaksi muodostuu se, ettei inserttejä voi lämmittää levyllä niiden ollessa irtopaloissa. Robotin on siis pakko lämmittää insertit ennen irtopaloihin laittoa, jolloin ne saattavat jäähtyä liikaa ennen muottiin asettamista. Tämän pullonkaulan takia lämmitys olisi hyvä tehdä ensi sijassa inserteille vasta niiden ollessa irtopaloissa juuri ennen muottiin laittoa.

Simulaatiossa parhaaksi ratkaisuksi nousi kuumailmapistoolin käyttö lämmityksessä. Toimiva ja robotin tarttujaan sopiva kuumailmapistooli voisi olla elektrooniikka-asennuksissa käytettävä sylinterimäinen lämmitin. Nämä ovat usein myös hyvin säädettävissä, ja tarvittaessa lämmitimen puhaltimen päähän voidaan laittaa erilaisia suuttimia, joilla virtaus saadaan kohdennettu hyvin. Kuumailmapistoolilla lämmitys voidaan tehdä irtopaloissa oleville inserteille vasta juuri ennen niiden laittoa muottiin.

Eräs vaihtoehto lämmitykseen on tehdä lämmitys vasta muotin sisällä irtopalojen laitton jälkeen. Tämä kuitenkin saattaa käydä hankalaksi, sillä lämmityksen tulisi mieluusti tapahtua kohtisuoraa insertin liitospintaa kohti varmistaakseen tasaisen lämmityksen, eikä lämmitimen kääntelylle muottipuoliskojen välissä ole välttämättä tarpeeksi tilaa. Kyseinen lämmitysmenetelmä on myös hitaampi ja vaikeampi ohjelmoida, joten tällaisenaan inserttien lämmitystä muotissa ei voida suositella.

10.2.4 Inserttien paletointi

Simulaatio ei ottanut kantaa siihen, kuinka insertit päätyvät paletille. Alkuvaiheessa tämä voidaan kuitenkin hoitaa ihmisvoimin. Inserttien päivittäinen tarve

tulee selvittää laskemalla työkoneen tarkempi jaksonaika. Jos määrä ei ole kohtuuton, voidaan tyytyä ihmisen paletointiin insertteihin. Paletit voitaisiin tällöin täyttää vuoron alussa, jonka jälkeen liukuhihnat ohjaisivat paletteja yksi kerrallaan robotille. Mikäli inserttejä mahtuu paljon paletille ja jaksonaika on suuri, voi inserttpaletit viedä myös suoraan käsin robotin työalueelle.

Myöhemmin kuitenkin tulee vastaan piste, jossa tämä ei enää ole kannattavaa. Automaation kasvaessa tarvitsee erilaisia inserttejä paletoida yhä suuremmissa määrin. Tällöin ratkaisuksi on paletoinnin muuttaminen robottisoluksi, jossa paletoinnin toteuttaa siihen soveltuva robotti kuten SCARA tai delta. Paletointirobotille insertit saadaan oikeaan orientaatioon ja sijaintiin esimerkiksi käyttämällä tärymaljaa. Insertit voidaan tärymaljan jälkeen pysäyttää aina samaan kohtaan robottia varten, tai ne voidaan poimia liikkuvaltakin liukuhihnalta konenäön tai anturoinnin avulla.

Muitakin vaihtoehtoja inserttien saamiseen voi tutkia, kuten niiden vieminen hihnaa tai kourua pitkin robotin työalueelle, josta robotti poimii ne konenäköä käyttäen. On kuitenkin yksinkertaisempaa tehdä konenäköön pohjautuva poiminta yhteisesti kaikille hallin roboteille paletoinnin yhteydessä, kuin tehdä tästä työvaihe erikseen jokaiseen työpisteeseen.

10.3 Kustannusvertailu

Kustannusvertailun voi tehdä kahdessa osassa: alustava ennen hankintoja, ja tarkempi vertailu simulaatio-ohjelman hankinnan jälkeen.

Kustannusarvioita automatisoinnille voidaan tehdä jo ennen simulointia. Tämä vaatii manuaalisolun kokonaisjaksonajan selvittämisen, sekä puhallusmuovauskoneen ja ihmisen osuuksien erottelun kyseisestä jaksonajasta. Oleellista on myös selvittää, kauanko inserttejä tulee lämmittää, kuinka kauan muotin tulee olla kiinni ja kauanko kappaleen tulee jäähtyä muotissa ennen irrottamista. Arvioinnissa tulee ottaa myös huomioon se, ettei ihminen pysty tekemään koko vuoroa täydellä tehokkuudella, sekä se, että robotin käyttö mahdollistaa täydellisesti ajoitetun kahden kappaleen valmistuksen ristiin. Tämän lisäksi robotti ei pidä taukoja,

ja voi tehdä töitä jopa läpi vuorokauden. Aikaisemmin työpisteeseen sitoutunut työntekijä voidaan nyt myös sijoittaa toiseen työtehtävään. Arvioinnin pohjalta voidaan tehdä ennuste solun tuotantotahdin kasvusta, jota voidaan laajentaa koskemaan koko tuotantoa.

Simulaatio-ohjelman avulla voidaan tehdä hyvin tarkka kuvaus prosessista ja mitata sen jaksonaika. Työpiste tulee kuitenkin olla pääpiirtein mallinnettu, jotta voidaan varmistua etäisyyksistä ja yleisesti simuloitun automaatoratkaisun käytännön toimivuudesta. Simuloinnilla voidaan siis hyvin tarkkaan saada kustannusarviointi manuaalisolun muuttamisesta robottisoluksi. Tämän lisäksi simuloinnin avulla voidaan jatkossa tehdä tarkka kustannusarvio jokaisesta uudesta työkalupaleesta, joka mahdollistaa rohkeamman hinnoittelun. Suurin etu simuloinnista tulee kuitenkin vuosien mukana käytössä, sillä se mahdollistaa seuraavan työkalupaleen offline-ohjelmoinnin sillä välin, kun robottisolu tuottaa vielä edellistä työkalupaletta. Ohjelma voidaan luoda offline-ohjelmointina liki valmiiksi asti, ennen kuin tuotanto täytyy pysäyttää muotin vaihdon ja uuden ohjelman lataamisen ajaksi. Pieniä muutoksia ohjelmaan täytyy vielä mahdollisesti tehdä ennen tuotannon käynnistämistä, ja joitakin yksittäisiä paikkapisteitä voi joutua vielä hakemaan robotilla. Tästäkin huolimatta tietokoneella ohjelmien teko on huomattavasti käsin ohjelmointia nopeampi ja varmempi tapa tuottaa siistiä ja toimivaa ohjelmaa, vaikkei otettaisi edes offline-ohjelmoinnin etuja huomioon. (CFE Media LLC 2020.)

11 POHDINTA

Projektin tavoitteena oli luoda karkea esitys puhallusmuovauskoneen ympäröivän manuaalisolun muuttamisesta robottisoluksi. Tarkoitus työssä oli myös avata eri huomioon otettavia aspekteja muutosprosessissa ja yleistää ratkaisumallia myös muihin soluihin. Työssä täytyi perehtyä syvemmin sekä muoviteollisuuteen, kuin myös alan automaatiohaasteisiin. Lähtökohtaisesti yrityksellä ei ollut mahdollisuuksia hajauttaa omia resurssejaan vastaavaan automaatioSELVITYKSEEN, joten yrityksen valinta palkata ulkopuolinen tekijä oli onnistunut ratkaisu. Työ onnistui toimimaan lähtölaukauksena kehitysprosessille, jonka tavoitteena on pitkällä aikavälillä nostaa yrityksen puhallusmuovauskapasiteetti sille tasolle, että he voivat lähteä kilpailemaan korkean volyymin tuotteissa.

Tarkempaa kvantitatiivista analyysia ja vertailua esitettyjen ratkaisujen tuomista hyödyistä ei vielä tässä kohtaa voitu tehdä, sillä suunnittelu oli konspetitasoista, eikä työn laajuus mahdollistanut jokaisen vaihtoehdon testaamista ja numeerista arvottamista. Karkeaa arviointia esimerkiksi solun tehokkuuden tai työkoneen käyttöasteen kasvusta ei myöskään voitu tehdä, sillä yritykseltä ei saatu vertailuun tarvittavia tietoja nykytilanteesta. Tehtyjen selvitysten ja testien perusteella jäi vahva oletus siitä, että prosessi on automatisoitavissa, joka oletetusti tulee nostamaan solun tehokkuutta. Opinnäytetyön yleisenä tuloksena voidaan todeta, että puhallusmuovauskoneen ympärillä toimivan manuaalisolun robotisointi on realistinen tavoite ja täysin toteutettavissa pk-yrityksille.

Työssä käytetyt kirjat ja akateemiset artikkelit ovat alalla laajasti referoituja, sekä julkaistu luotettavissa lähteissä. Työssä käytettiin myös paljon internet-lähteitä, mutta niiden valinnassa priorisoitiin sellaiset, joiden kirjoittajalla tai tarkistajalla on alan syvälinen ymmärrys esimerkiksi koulutuksen kautta. Lähteiksi pyrittiin myös saamaan mahdollisimman vahvasti toiminnassa mukana olevia tahoja, kuten erilaiset alan järjestöt ja yhdistykset. Esitetyt teoriatiedot ovat kuitenkin pääosin alan yleistietoa, joten samat tiedot löytyvät hyvin monesta eri ensisijaisesta lähteestä. Opinnäytetyön käytännön testit ja simulointi keskittyivät vain yhteen soluun, eikä täten niiden tuloksia voida sellaisenaan pitää yleispätevinä tuloksina alalle. Tämä on kuitenkin työssä esitetty selkeästi, ja työ pyrkiikin esittämään lukuisia vaihtoehtoja esitettyyn automaatoratkaisuun. Työssä ei käsitelty henkilötietoja tai muita tietoja, joiden käsittelyssä tulee käyttää erityistä varovaisuutta.

Jatkoselvitystarpeet ovat työssä selkeästi avattu. Näiden selvitysten lisäksi ehdotetaan vastaavaan automaatioprosessiin ryhtyvää yritystä tutustumaan Samuel Bouchardin teokseen *Lean Robotics: A Guide to Making Robots Work in Your Factory*, jossa hän avaa lean-metodiikan käyttämistä etenkin pk-yritysten robotisaatiossa.

Opinnäytetyöprosessi oli erinomainen tilaisuus vahvistaa teoriaosaamista käytännön selvitystyön kautta sisältäen kuitenkin kontaktin työelämään. Työssä saavutettiin asetetut tavoitteet, ja yritys onkin halunnut jatkaa yhteistyötä myös opinnäytetyöprosessin päätyttyä.

LÄHTEET

- ISO 8373. 2012. Robots and robotic devices — Vocabulary. Geneva: International Organization for Standardization. Luettu 21.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>.
- ABB 2021. *ABB's new SWIFTI™ cobot enables collaborative working at industrial speeds*. 2021. Luettu 11.4.2021. <https://new.abb.com/news/detail/74322/prsr-abbs-new-swifti-cobot-enables-collaborative-working-at-industrial-speeds>.
- Admin br-machinery 2019. *Injection & Blow Molding Robot*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/zF2HFpd7KVU>.
- ATI n.d.a *Compliant Deburring Blade*. Luettu 20.4.2021 https://www.atia.com/products/deburr/deburring_cdb_main.aspx.
- ATI n.d.b *Radially-Compliant Tools*. Luettu 20.4.2021. https://www.atia.com/products/deburr/deburring_rc_main.aspx.
- Automate 2017. *Understanding Robotic Ultrasonic Cutting in Industrial Applications*. 2017. Luettu 20.4.2021. <https://www.automate.org/blogs/understanding-robotic-ultrasonic-cutting-in-industrial-applications>.
- Bonev, I. 2019. *What are singularities in a six-axis robot arm?* 2019. Luettu 22.4.2021. <https://www.mecademic.com/en/what-are-singularities-in-a-six-axis-robot-arm>.
- Bouchard, S. 2017. *Lean Robotics: A Guide to Making Robots Work in Your Factory*. Alunperin julkaistu internetissä <https://leanrobotics.org/>.
- Bruder, U. 2016. *Ruiskuvalumuotin rakenne*. 2016. Luettu 19.4.2021. <https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/22/osa-18-ruiskuvalumuotin-rakenne/>.
- CFE Media LLC 2020. Offline robotic programming benefits. *Control Engineering*. 67 (1), 19.
- Chandler, A.D. 1977. *The Visible hand: the managerial revolution in American business*. 15. painos. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press.
- Collins, D. 2018. *What is a Cartesian robot?* 2018. Luettu 9.4.2021. <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/>.
- Delfoi n.d. *Tuottavuuden kehittämisen kumppani*. Luettu 22.4.2021. <https://www.delfoi.com/fi/>.
- Devine, W. 1983. From Shafts to Wires: Historical Perspective on Electrification. *The Journal of Economic History*. 43 (2), 347-372.
- DeWys Engineering 2015. *Plastic Injection Mold Press Automated With Robot (Real Time Speed)*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/7FRs95di11l>.

- Ego Plastic n.d. *Blow Molding Design*. Luettu 19.4.2021. <http://www.egoplastic.com/blow-molding-design.html>.
- Encyclopedia Britannica n.d. *Automation - Manufacturing applications of automation and robotics*. Luettu 14.4.2021. <https://www.britannica.com/technology/automation>.
- Engineers Edge n.d. *Blow Molding Manufacturing and Design*. Luettu 19.4.2021.
- Epson n.d. *Epson SCARA LS10-B802C*. Luettu 22.4.2021. <https://www.epson.eu/products/robot/epson-scara-ls10-b802c-cleanroom>.
- European Parliament n.d. *Safety issues*. Luettu 26.4.2021. <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/robotics/public/concern/safety-issues.html>.
- FAYGO UNION GROUP 2016. *blow molding machine robot*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/MbmZQTE9cfc>.
- Formacay n.d. *10-Plastics Mouldings-Tolerances – Moldes*. Luettu 19.4.2021. http://formacao.training.pt/?page_id=4171.
- Fusion, O. 2019. *Cobot Application 4 – UR10e, Easy Robotics' ProFeeder, Airvise, Martin Trunnion, and Haas VF2SS*. Katsottu 23.4.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=ugxDtmykE4>.
- Groover, M. 2020. *automation | Technology, Types, Rise, History, & Examples*. 2020. Luettu 8.4.2021. <https://www.britannica.com/technology/automation>.
- Haapakoski, T. 2021. *Koeajot1*. Katsottu 23.4.2021. https://youtu.be/HTsAMYgTH2o?list=PLuSg_gVCSfK-tYrfdkbUjtxg-lvG_-lIKM.
- Hayes, R.H. & Wheelwright, S.C. 1979. *Link Manufacturing Process and Product Life Cycles*. 1979. Luettu 9.4.2021. <https://hbr.org/1979/01/link-manufacturing-process-and-product-life-cycles>.
- Hirata n.d. *Gantry robot GR-1750 series*. Luettu 10.4.2021. <https://www.hirata.co.jp/en/products/items/archives/170>.
- Interact Analysis 2019. *The Industrial Robot Market*. 2019. Luettu 10.4.2021. <https://www.interactanalysis.com/the-industrial-robot-market-2019-infographic/>.
- International Federation of Robotics n.d. *Industrial Robots*. Luettu 10.4.2021. <https://ifr.org/industrial-robots>.
- International Federation of Robotics 2019. *Industrial Robots 2019*. 2019. Luettu 10.4.2021. https://ifr.org/downloads/press2018/WR%20Industrial%20Robots%202019_Chapter_1.pdf.

- Jalokinos, D. 2021. *Simulaatio*. Katsottu 23.4.2021. https://youtu.be/CAIvNbyFqHc?list=PLuSg_gVCSfKtYrfdkbUjtxg-lvG_-IIKM.
- jetengine102921 2011. *IML ROBOT for blow molded bottle (2 Cavity)*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/cRWEE2v3KGg>.
- Kehal, B. 2019. *A Look into Automation & its Different Types*. 2019. Luettu 21.4.2021. <https://medium.com/aiautomation/a-look-into-automation-its-different-types-f4266049f54d>.
- Krishnappa, V. 2020. *A Case Study on Optimizing an Industrial Robot cell using Simulation as a tool*. Mälardalen University Sweden. Pro gradu -tutkielma.
- Kuisma, V.M. 2007. *Joustavan konepaja-automaation käyttöönoton onnistumisen edellytykset*. Helsinki: VTT. Väitöskirja.
- Kuka 2013. *KUKA Robots for Plastics Industry Oct 2013*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/9r5Mt16tCa0>.
- Minner, M. 2019. *4 Types of Robots Every Manufacturer Should Know*. 2019. Luettu 9.4.2021. <https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/4-types-robots-every-manufacturer-should-know>.
- Muoviteollisuus ry n.d. *Muovien tuotantomenetelmät*. Luettu 19.4.2021. <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/tuotantomenetelmat/>.
- Norwalt 2020. *Three Types of Automation*. 2020. Luettu 21.4.2021. <https://www.norwalt.com/three-types-of-automation/>.
- Nye, D.E. 2013. *America's Assembly Line*. 1. painos. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Peak Plastics n.d. *Injection Moulding Tolerance Guide*. Luettu 19.4.2021. https://static1.squarespace.com/static/5898adf62994ca37c635cb41/t/591db08617bffc24f1179276/1495117960528/Tol_Table.pdf.
- Polyplastics n.d. *The outline of injection molding*. Luettu 19.4.2021. <https://www.polyplastics.com/en/support/mold/outline/>.
- ProcoMachinery 2015. *Proco Take out system - blow molding automation*. Katsottu 23.4.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=chfqhMvY4I>.
- Rex Plastics 2019. *A Rookie's Guide to Plastic Injection Molding*. 2019. Luettu 19.4.2021. <https://rexplastics.com/plastic-injection-molding/plastic-injection-molding-guide>.

- RoboDK n.d. *Simulate Robot Applications*. Luettu 21.4.2021. <https://robodk.com/>.
- Robotics n.d. *What Are Collaborative Robots, Cobots*. Luettu 10.4.2021. <https://www.robotics.org/collaborative-robots/what-are-collaborative-robots>.
- Robotics Online 2018. *Collaborative Robots Market Update 2018*. 2018. Luettu 8.4.2021. <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Collaborative-Robots-Market-Update-2018/84>.
- Sahamies, J. 2021. *Koeajot2*. Katsottu 23.4.2021. https://youtu.be/BiFBy_ZBVdI?list=PLuSg_gVCSfKtYrfdkbUjtxg-lvG_-IIKM.
- Segertstrom, M. 2013. *What is RobotStudio? I bet you're guessing it has something to do with robots*. 2013. Luettu 22.4.2021. <https://www.abb-conversations.com/2013/04/what-is-robotstudio-something-to-do-with-robots/>.
- Sonic Italia 2015. *Ultrasonic Cutter installed on a robot - Sonic Italia*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/4ethDf316wM>.
- Star Rapid n.d. *Plastic Injection Molding*. Luettu 19.4.2021. <https://www.starrapid.com/wp-content/uploads/2016/11/Star-Rapid-Plastic-Injection-Molding-Tolerance-Guide.pdf>.
- Systems, J. 2018. *Engineering Guidelines to Designing Plastic Parts for Injection Molding*. 2018. Luettu 19.4.2021. <https://medium.com/jaycon-systems/engineering-guidelines-to-designing-plastic-parts-for-injection-molding-1c554a4545be>.
- Technologies, L.N.S. n.d. *Affordable Plastic Injection Molding Machines and Supplies*. Luettu 19.4.2021. <http://www.techkits.com/>.
- Technorobotic Machines Pvt. Ltd. 2019. *In mould labeling robot EBM MEPER IML*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/yhhznGilOpg>.
- Telsonic n.d. *Cutting Details*. Luettu Apr 20,2021. <https://www.telsonic.com/en/cutting-with-ultrasonics/ultrasonic-cutting/>.
- Troughton, M.J. 2008. *Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide*. 2. painos. Norwich: William Andrew Inc.
- Tukes n.d.a *CE-merkintä*. Luettu 26.4.2021. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>.
- Tukes n.d.b *EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus*. Luettu 26.4.2021. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatimustenmukaisuus/eu-vaatimustenmukaisuusvakuutus>.
- Tukes n.d.c *Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa*. Luettu 26.4.2021. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatimustenmukaisuus/standardien-asema-vaatimustenmukaisuuden-osoittamisessa>.

Työsuojelu 2020. *Koneet ja laitteet*. 2020. Luettu 10.4.2021. [Universal Robots 2021. *Seek using force - 16117 | Universal Robots Support*. 2021. Luettu 23.4.2021. <https://www.universal-robots.com/articles/ur-programming/seek-using-force/>.](http://www.tyosuojelu.fi/markkina-<u>valvonta/koneet-ja-laitteet</u>.</p></div><div data-bbox=)

Universal Robots 2016. *User Manual*. 2016. Luettu 21.4.2021. https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/22108/UR10_User_Manual_en_Global.pdf.

Upmold 2017. *Plastic Shrinkage Rate Chart*. 2017. Luettu 23.4.2021. <https://upmold.com/plastic-shrinkage-rate-chart/>.

Widfaster 2018. *IMI of nuts, Insert molding system, In mold inserting*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/N82GIG3h2jQ>.

Yaskawa America, I. 2014. *Ultrasonic Trimming*. Katsottu 23.4.2021. <https://youtu.be/QvPZhCkR3SU>.