

Janne Rinta-aho

# PARVEKELASITUOTANNON AUTOMATISOINTI

Automaation hyödyntäminen kokoonpanossa

Diplomityö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Hasse Nylund  
Eeva Järvenpää  
Toukokuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Janne Rinta-aho: Parvekelasituotannon automatisointi: Automaation hyödyntäminen  
kokoonpanossa  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikan DI-tutkinto-ohjelma  
Toukokuu 2022

---

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää parvekelasituotannon tehostamisen mahdollisuuksia ja vaatimuksia automaatiota lisäämällä. Automaatiolla tarkoitetaan tässä tapauksessa yksittäistä robottisolua. Automatisoimalla pyritään kasvattamaan tuotannon kapasiteettia, sekä vähentämään fyysisen työn kuormitusta. Tämä aiotaan toteuttaa automatisoimalla yksittäinen tuotantovaihe, lasilistojen kiinnittäminen lasiin.

Työn aluksi määriteltiin tutkimuskysymykset ja käytiin tuotannon nykytila läpi. Tämän jälkeen alettiin selvittämään, että onko tuotetta kehittämällä mahdollista helpottaa automaatiojärjestelmän toteutusta.

Seuraavassa vaiheessa suunniteltiin materiaalivirtaa ja määriteltiin roboteilta vaadittavat ominaisuudet. Materiaalivirran suunnittelussa hyödynnettiin diplomityön tekijän omakohtaisia ja tuotannon esimiesten kokemuksia yrityksen tuotannosta, sekä benchmarkingia ja simulointia. Roboteille asetettavat vaatimukset koostuvat tuotteen ominaisuuksista ja simulointimalleista saadusta infosta.

Työn tuloksena ei löydetty varsinaisia esteitä, miksi tuotannon automatisointi ei onnistuisi nykyiselläkin lasilistalla, joka kiinnitetään liimalla ja vetoniiteillä. Paremmaksi vaihtoehdoksi kuitenkin automatisoinnin kannalta osoittautui työn edetessä pelkästään liimalla kiinnitettävä lasilista. Työn aikana kehitettiin ja testattiin tähän tarkoitukseen sopivaa uutta lasilistaa, jonka kehitystä jatketaan työn jälkeen. Uudella lasilistalla automaatiojärjestelmän toteutus olisi helpompaa ja sen toiminta nopeampaa. Tämän lisäksi saatiin poissuljettua yksi kiinnitystapa kokonaan, joka on ollut yrityksen harkinnassa aiemminkin.

Materiaalivirtaan luotiin ehdotus, jonka tavoitteena on minimoida virheiden määrä tuotannossa. Lisäksi ehdotetulla ratkaisulla pyrittiin poistamaan epäergonomiset työt työntekijöiltä. Materiaalivirta olisi monilta osin hyvin samankaltainen kuin nykyisessäkin tuotannossa. Robottisolun layouteista tehtiin kaksi erilaista ehdotusta ja roboteilta vaadittavat ominaisuudet määritettiin. Tehtaan yleistä layoutia ei tämän työn puitteissa käsitelty.

Avainsanat: automaatio, kokoonpano, DFA, robotiikka

# ABSTRACT

Janne Rinta-aho: Automating the production of balcony glazing: Utilization of automation in assembly

Master's Thesis

Tampere University

Master's Degree Program in Mechanical Engineering

May 2022

---

Purpose of this thesis was to identify the possibilities and requirements for more efficient production in manufacturing balcony glasses by adding automation. In this case, automation means a single robot cell. The aim of automation is to increase the capacity of production and reduce the load of the physical work. This is going to be achieved by automatizing a single phase in production, attaching the glazing lists to the glass

At the beginning of the work the study problems were defined, and the current state of production was reviewed. After this we started to investigate, that is it possible to make the execution of automation system easier by developing the product.

The next step was to design the material flow and define the requirements of the robots. In the designing of the material flow, the personal experiences of the work's author and supervisors of production were utilized, as well as benchmarking and simulation. The demands for the robots consist of the features of the product and information that is given by simulation models.

As the result of the work, no actual obstacles were found why the automation of production would not be possible even with the current glazing list, which is attached with glue and rivets. However, a glazing list that can be attached with glue only, proved to be a better option for automation. During the work, a new glazing list for this purpose was developed and tested. Development will continue after the work. Implementation of the automation system would be easier, and it would operate faster with this new glazing list. In addition, one attachment method that had been considered by the company in the past was completely ruled out.

A proposal was created for the material flow with the aim of minimizing the number of errors in production. In addition, the proposed solution aims to eliminate unergonomic work from employees. The material flow would be very similar in many ways as the current material flow. Two different versions of the robot cell layouts were proposed and the requirements for the robots were defined. The overall layout of the factory was not discussed in this work.

Keywords: automation, assembly, DFA, robotics

# ALKUSANAT

Kiitokset diplomityön toimeksiantajayritykselle tämän työn aiheen tarjoamisesta. Kiitokset myös yrityksen henkilöstölle, jotka neuvoillaan ja avullaan tukivat työn etenemistä. Työ tarjosi monipuolisuudellaan mahdollisuuden päästä tekemään ja oppimaan uutta monella eri saralla. Työhön sisältyi niin teoriapainotteista opiskelua kirjastossa, kuin myös käytännön kautta saatua oppia laboratoriossa ja yritysvierailulla. Näiden lisäksi työhön kuului tietenkin myös lukematon määrä tunteja oman työpöydän äärellä.

Kiitos myös Tampereen yliopistolle ja ohjaajilleni Hasse Nylundille sekä Eeva Järvenpäälle, jotka ohjauksellaan helpottivat työn valmiiksi saattamista.

Lempäälässä, 24.5.2022

Janne Rinta-aho

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Työn tausta .....	1
1.2 Työn tavoitteet ja rajaus .....	1
1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne .....	2
2. KIRJALLISUUSKATSAUS .....	4
2.1 Automaatio .....	4
2.2 Automaatiojärjestelmän suunnittelu .....	5
2.2.1 Projektin vaiheet ja henkilöverkosto .....	6
2.2.2 Automaatiojärjestelmän komponentit .....	8
2.3 Teollisuusrobotit ja teolliset robottijärjestelmät .....	10
2.3.1 Erilaiset teollisuuden robottityypit .....	11
2.3.2 Robotin ohjelmointi .....	15
2.3.3 Robottien työkalut ja lisälaitteet .....	15
2.3.4 Robottisolut .....	17
2.3.5 Turvallisuus .....	17
2.4 Kokoonpantavuuden suunnittelu .....	20
2.4.1 Hyvin suunnitellun kokoonpantavuuden hyödyt .....	21
2.4.2 Manuaalinen ja automatisoitu kokoonpano .....	24
2.5 Simulointi .....	25
2.5.1 Simulointiprojekti prosessina .....	26
2.5.2 Visuaalinen hyöty .....	28
3. LÄHTÖTILANNE JA TYÖN KUVAUS .....	30
3.1 Nykyinen tuote ja tuotanto .....	30
3.2 Automaatiohankkeen lähtökohdat .....	31
3.3 Tuotteen soveltuvuus automatisoituun kokoonpanoon .....	32
3.3.1 Lasilistan kehitys ja testaus .....	33
3.4 Robottisolut ja materiaalivirta .....	34
4. TYÖN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU .....	36
4.1 Lasilistojen kiinnitystapa .....	36
4.2 Materiaalivirrat .....	42
4.3 Vaatimukset roboteille ja robottisolun rakentaminen .....	45
4.4 Tulosten tarkastelu ja pohdinta .....	46
4.5 Hankkeen jatko .....	48
5. YHTEENVETO .....	50
LÄHTEET .....	52

# KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Työn kulku</i> .....	3
<b>Kuva 2.</b>	<i>Automaatiosuunnitteluprojektin tasot (Hirvonen et al. 2007, s. 8)</i> .....	6
<b>Kuva 3.</b>	<i>Esimerkki automaatioprojektin verkostosta (Hirvonen et al. 2007, s. 41)</i> .....	7
<b>Kuva 4.</b>	<i>Tyypillisiä robotin tehtäviä, mukailen lähdettä (Day 2018, s. 443)</i> .....	11
<b>Kuva 5.</b>	<i>Kartesinen robotti (ISO 8373)</i> .....	12
<b>Kuva 6.</b>	<i>Sylinterimäinen robotti (ISO 8373)</i> .....	13
<b>Kuva 7.</b>	<i>Napakoordinaatistorobotti (ISO 8373)</i> .....	13
<b>Kuva 8.</b>	<i>SCARA-robotti (Atwater 2019)</i> .....	14
<b>Kuva 9.</b>	<i>Kiertyvänivelinen robotti (ISO 8373)</i> .....	14
<b>Kuva 10.</b>	<i>Rinnakkaisrakenteinen robotti (Wilson 2015, s. 27)</i> .....	15
<b>Kuva 11.</b>	<i>Turvallisuutta koskevat standardit (SFS-EN ISO 10218-2)</i> .....	19
<b>Kuva 12.</b>	<i>Tuotekehityksen ja suunnittelun merkitys, mukailen lähdettä (Tsai 2018, s. 5)</i> .....	20
<b>Kuva 13.</b>	<i>DFA-menetelmän käytännön esimerkki, mukailen lähdettä (Poli 2001, s.256)</i> .....	22
<b>Kuva 14.</b>	<i>Tarkistuslista kokoonpanosta robotin avulla, mukailen lähdettä (Lempiäinen &amp; Savolainen 2003, s. 154)</i> .....	25
<b>Kuva 15.</b>	<i>Lasilistojen vetotestit</i> .....	33
<b>Kuva 16.</b>	<i>Robottisolun layout, versio 1</i> .....	35
<b>Kuva 17.</b>	<i>Robottisolun layout, versio 2</i> .....	35
<b>Kuva 18.</b>	<i>Kustannusvertailu, 6 mm lasit</i> .....	40
<b>Kuva 19.</b>	<i>Kustannusvertailu, 10 mm lasit</i> .....	40
<b>Kuva 20.</b>	<i>Kapasiteettivertailu</i> .....	42
<b>Kuva 21.</b>	<i>Lasilistojen kulku</i> .....	44
<b>Kuva 22.</b>	<i>Liukukuljetin</i> .....	45
<b>Kuva 23.</b>	<i>Robottisolun simulaatio</i> .....	46

# TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1.</i>	<i>Antureilla mitattavia suureita, mukaillen lähdettä (Nof 2009, s. 547).....</i>	<i>10</i>
<i>Taulukko 2.</i>	<i>Standardeissa esitetyt vaaraa aiheuttavat tilanteet ja tehtävät, mukaillen lähteitä (SFS-EN ISO 10218-1 &amp; SFS-EN ISO 10218-2).....</i>	<i>18</i>
<i>Taulukko 3.</i>	<i>Liitosmenetelmien vertailu DFA:n näkökulmasta (Eteläaho et al. 1999; Lempiäinen &amp; Savolainen 2003).....</i>	<i>23</i>
<i>Taulukko 4.</i>	<i>Simulointiprojektin kulku, mukaillen lähdettä (De La Mota et al. 2017, s. 12–13).....</i>	<i>27</i>
<i>Taulukko 5.</i>	<i>Esimerkkejä simuloinnin ja visualisoinnin hyödyntäjäistä, mukaillen lähdettä (Nof 2009, s. 644).....</i>	<i>29</i>
<i>Taulukko 6.</i>	<i>Liimatoimittajan laskelmat eri lasipaksuuksille.....</i>	<i>38</i>

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

DFA Kokoonpanon tärkeyttä korostava suunnittelumenetelmä

# 1. JOHDANTO

Suomessa on tällä hetkellä paljon uudisrakentamista ja asuinrakennuksia nousee kovaan tahtiin, niin omakoti-, rivi-, kuin kerrostalojakin. Rakennuksissa on yleensä enemmän tai vähemmän parvekkeita, joko lasitettuina tai lasittamattomina, nykyään enemmän lasitettuina. Kerrostalojen suuret parvekejulkisivut ovat rakennuksen ulkonäköön liittyen myös yksi suurimmista yksittäisistä tekijöistä. Tuotantomäärät nousevat kovan rakentamisen myötä myös parvekekaiteiden ja -lasitusten toimittajilla, jolloin voi olla tarpeen lisätä tuotannon kapasiteettia.

Nykyaikaiset markkinat joka sektorilla vaativat yrityksiä kehittämään tuotantoprosessejaan jatkuvasti. Toimitusnopeus on yksi tärkeimmistä tekijöistä asiakkaan valitessa haluamansa tuotteen toimittajaa, laadun ja hinnan ohella. Tästä syystä yritysten on jatkuvasti panostettava tuotannon tehokkuuteen säilyttääkseen ja luodakseen uusia asiakassuhteita (Sobaszek et al. 2016, s.1).

## 1.1 Työn tausta

Kohdeyritys toimii parvekekokonaisuuksien projektitoimittajana ja tärkeimmät asiakkaat ovat rakennusalan yrityksiä Suomessa. Kohteet ovat sekä uudisrakennuksia että saneerauskohteita. Kohdeyritys on nuorehkoista iästään huolimatta kasvanut omalla alallaan jo merkittäväksi toimijaksi Suomessa. Lisäksi toimintaa on Suomen rajojen ulkopuolella.

Työssä tutkitaan parvekelasituotannon kapasiteetin lisäyksen mahdollisuuksia tuotantoa automatisoimalla. Kapasiteettia on tarkoitus lisätä automatisoimalla yksittäinen tuotantoprosessi, lasilistan kiinnittäminen lasiin. Automatisoitavia vaiheita ovat lasien siirtely, liiman levitys lasilistoihin ja lasilistojen asettaminen lasiin. Tällä hetkellä nämä työvaiheet tehdään kohdeyrityksessä manuaalisesti kolmella kokoonpanopöydällä. Kapasiteetin kasvattamisen lisäksi automatisoimalla on mahdollista helpottaa fyysisesti raskaan työn kuormitusta.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Työ ei keskity tuotantoautomaatioon, vaan ennemminkin tuotekehitykseen ja tuotannon kehitykseen. Tavoite on, että tuotteeseen mahdollisesti vaadittavat muutokset automa-

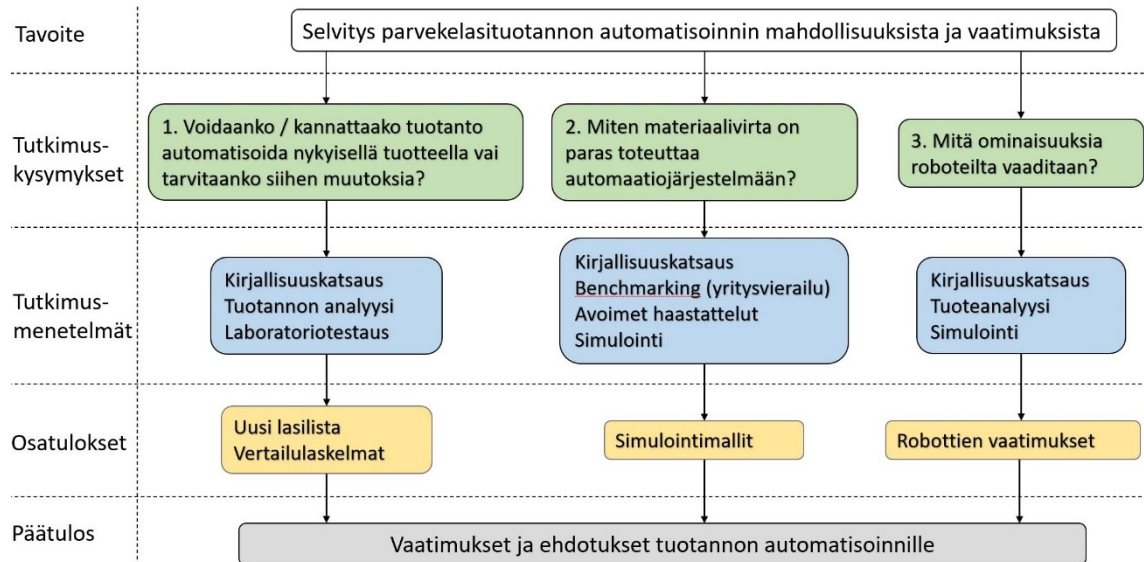
tisointia varten ja vaiheet automatisointihankkeen toteuttamiseksi ovat selvillä. Automaatio-osuuden tässä hankkeessa tulee suurimmaksi osin hoitamaan robottisolun toimittajaksi valikoituva taho yhdessä kohdeyrityksen henkilöstön kanssa. Työtä rajattiin niin, että tehtaan layoutia ei tämän työn puitteissa mietitä, koska robottisolu on kaavailtu sijoitettavaksi tehtaan laajennuksen myötä uusiin tiloihin. Uusissa tulevilla tiloilla tullaan tekemään paljon muitakin töitä, joita ei kaikkia vielä ole lyöty lukkoon. Tästä syystä ei ole mahdollista vielä tässä vaiheessa suunnitella uusien tilojen layoutia. Lisäksi työn rajauksiin kuului kolme erilaista lasilistojen kiinnitystapaa, jotka kohdeyritys oli ennakkoon määritellyt. Lasilistoille ei siis ollut tarkoitus kehittää uusia kiinnitystapoja, vaan työssä tutkitaan ja vertaillaan näitä kolmea.

Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Voidaanko / kannattaako tuotanto automatisoida nykyisellä tuotteella vai tarvitaanko siihen muutoksia?
2. Miten materiaalivirta on paras toteuttaa automaatiojärjestelmään?
3. Mitä ominaisuuksia roboteilta vaaditaan?

### **1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne**

Työn eri vaiheissa käytössä on eri tutkimusmenetelmiä. Työssä sovelletaan kirjallisuustutkimusta, simulaatiota, benchmarkingia, sekä laboratoriossa toteutettavaa kokeellista tutkimusta. Lisäksi analysoidaan tuotetta ja tuotantoa, sekä pidetään yrityksen henkilöstön kanssa avoimen haastattelun kaltaisia keskusteluita. Työn kulku on esitetty kuvassa 1.



**Kuva 1.** Työn kulku

Luvussa 2 alkaa työn kirjallisuustutkimus. Käsiteltäviä aiheita ovat automaatiojärjestelmän suunnittelu ja tähän liittyvät asiat, robotit, materiaalivirrat, DFA sekä simulointi. Huomioon ottaen robotiikan nopean kehityksen, kirjallisuustutkimukseen on pyritty löytämään tämän aiheen osalta mahdollisimman tuoretta aineistoa. Luvussa 3 kuvataan kohdeyrityksen tuotannon nykytila, tuotantoprosessin vaiheet ja ennen työn aloittamista määritellyt asiat. Samassa luvussa kuvataan myös työn etenemistä ja menetelmiä, millä työtä vietiin eteenpäin. Työn tuloksia käsitellään luvussa 4 ja pohditaan jatkovaiheita työn loputtua. Yhteenveto työstä on luvussa 5.

## 2. KIRJALLISUUSKATSAUS

Tässä luvussa käsitellään työnkuvaan sopivaa kirjallisuutta. Kirjallisuutta tutkittiin niin automaation, robottien, DFA:n, sekä simulaation osalta.

### 2.1 Automaatio

Automaatio käsitteenä on syntynyt 1940-luvulla Yhdysvalloissa autoteollisuuden ottaessa automaatiota käyttöön osien käsittelyssä. Myöhemmin tietokoneiden ja tekniikan kehittyessä automaatiolla saavutettavat mahdollisuudet ovat laajentuneet nykypäivänä nähtäviin automaatiojärjestelmiin. Automaation avulla tehdään jokin ennalta määritetty prosessi tai toimenpide erilaisia ohjausjärjestelmiä käyttäen, ilman että ihmisen tarvitsee merkittävästi osallistua työn suorittamiseen. Prosessit voivat liittyä esimerkiksi osien työstämiseen, kokoonpanoon, kappaleiden käsittelyyn, mittaamiseen tai tarkistamiseen. Automaatiojärjestelmät koostuvat fyysisistä osista, kuten ohjaimista, toimilaitteista, antureista ja tiedonsiirtolaitteista. Näillä ohjataan prosessin kulkua ja tehdään tarvittaessa muutoksia prosessin edetessä. (Hirvonen et al. 2007, s. 10; Gupta & Arora 2013, s. 1)

Mehta ja Reddy (2015, s. 1) kertovat, että vaatimukset tuotannon automatisointiin on peräisin asiakkaiden tarpeista. Asiakkaat vaativat parempia ja monipuolisempia tuotteita, edullisia hintoja ja lyhyitä toimitusaikoja. Näistä syistä useimmiten automaation avulla tavoiteltavia asioita ovat tuotannon kapasiteetin kasvu, laadun parantaminen ja alhaisemmat tuotantokustannukset. Näihin tavoitteisiin pääseminen ei kuitenkaan aina ole helppoa. Tavoitellessa maksimaalista tulosta yhdessä näistä neljästä tavoitteesta, voidaan havaita epäsuotuisia vaikutuksia kolmessa muussa. Esimerkiksi mahdollisimman alhaisiin tuotantokustannuksiin pyrkiessä, vaikutuksia voidaan havaita tuottavuudessa ja laadussa. Tärkeintä on löytää tasapaino näiden kaikkien kesken. (Mehta & Reddy 2015, s.1) Muita automaatiolla saavutettavia hyötyjä ovat listanneet Gupta ja Arora (2013, s. 3), joita he mainitsevat olevan mm. inhimillisten virheiden poistuminen, tasalaatuisuus, tehtaan lattia pinta-alan optimaalisempi käyttö, sekä prosessista riippuen lisääntyvä työntekijän turvallisuus ja työolosuhteet.

Automaation suhteen on kasvava huoli siitä, että se vähentää työntekijöiden tarvetta ja lisää työttömyyttä. Huoli on suurimmillaan kehitysmaissa. Tätä väittämää Hauge ja

Parschau (2020, s. 129–130) ovat tutkineet artikkelissaan. Heidän tutkimuksensa perustuu kirjallisuuden analysointiin ja tapaustutkimukseen. He kertovat, että historiallisesti automaation myötä syntyneet työpaikat ovat ylittäneet automaation myötä hävinneiden työpaikkojen määrän. Sektoreittain työpaikoissa voidaan havaita vähenemistä, mutta kokonaisuudessaan työllisyys on siis kasvanut. Artikkelissa kerrotaan, että monet tutkimukset ennustavat automaation seuraavan aallon kehittyvän tekoälyn myötä tulevaisuudessa niin, että yhä useammat työt voidaan automatisoida. Tämä voi näkyä työttömyyden lisääntymisenä. Tästä ei kuitenkaan vielä ole ratkaisevia todisteita osoittamaan, että näin tulisi käymään. Lähitulevaisuudessa automaation rooli työllistymisessä näyttäisi Haugen ja Parschaun mukaan olevan pienempi, kuin esimerkiksi geopoliittisilla- ja ympäristövaikutuksilla.

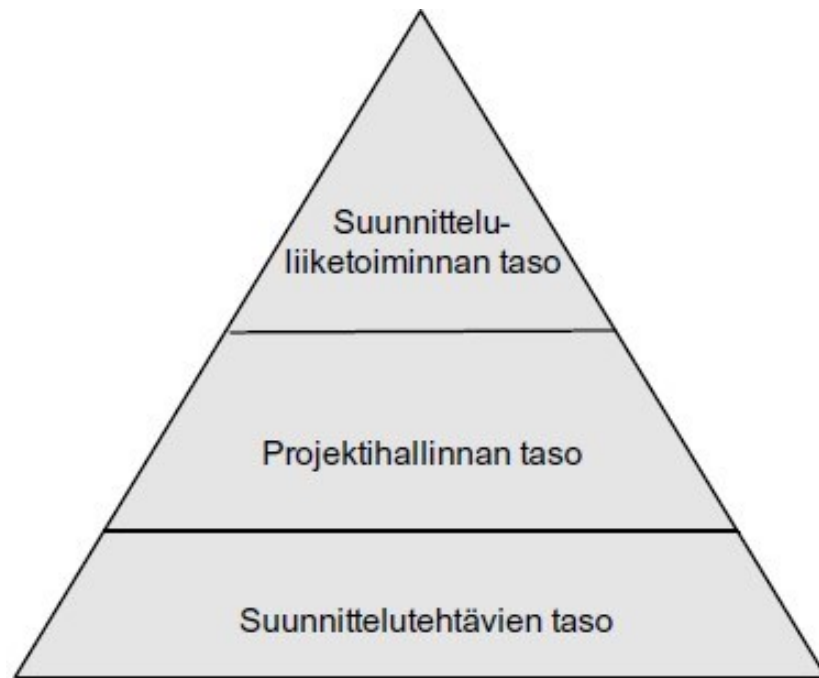
Tuotantoautomaatio jaetaan yleisesti prosessi- ja kappaletavara-automaatioon. Prosessiautomaatio käsittelee aineita, jotka virtaavat jossain vaiheessa eri olomuodossa kuin kiinteänä. Tyypillisiä prosessiautomaation kohteita ovat esimerkiksi elintarvikkeiden ja polttoaineiden valmistus. Kappaletavara-automaatio puolestaan käsittelee erilaisia kappaleita, joita voidaan lajitella, pakata ja liikuttaa kuljettimilla. (Keinänen et al. 2009, s. 8) Tässä työssä keskitytään kappaletavara-automaatioon, vaikkakin samat asiat pätevät useilta osin molempiin.

## **2.2 Automaatiojärjestelmän suunnittelu**

Automaatiojärjestelmän suunnittelussa ja toteutuksessa on usein mukana useita eri tahoja, joilla kaikilla on omat vastualueensa. Tässä luvussa käsitellään automaatiojärjestelmän suunnittelua ja sen ominaisuuksia erityisesti yrityksen näkökulmasta, joka tuotantoa kehittääkseen sellaista on hankkimassa. Lisäksi tarkastellaan, mistä eri laitteista ja komponenteista automaatiojärjestelmä koostuu.

Automaatiojärjestelmän suunnittelu on projekti, jonka tavoitteena on luoda järjestelmän toteuttamisessa, käyttämisessä ja ylläpidossa vaadittavat tiedot. Projekti koostuu suunnittelusta, tiedonkulun hallinnasta, sekä aikataulusta ja taloudesta huolehtimisesta. Usein projekti on laaja ja sen vaiheet ovat päällekkäisiä ja epäselkeitä. Mahdollisimman hyvän kokonaiskuvan saamiseksi, projektia tulee tarkastella kuvan 2 mukaan usealta eri tasolta. Ylimmällä tasolla on suunnitteluliiketoiminnan taso, jossa tarkastellaan liiketoiminnan kannattavuutta, sekä toimitusprosessin ja sitä tukevien asioiden kehittämistä. Keskimmäisenä on projektihallinnan taso, jossa tarkastellaan suunnitteluprojektin etenemistä kokonaisuudessaan. Alimmalla tasolla on suunnittelutehtävien taso, jossa taas tarkastellaan esimerkiksi suunnittelijoiden koulutusta, työkaluja ja suunnittelutehtäviä.

(Hirvonen et al. 2007, s. 8–9) Automaatiojärjestelmän suunnittelulla on paljon samankaltaisia piirteitä ohjelmistosuunnittelun kanssa (Ventä et al. 2008, s. 12).



*Kuva 2. Automaatiosuunnitteluprojektin tasot (Hirvonen et al. 2007, s. 8)*

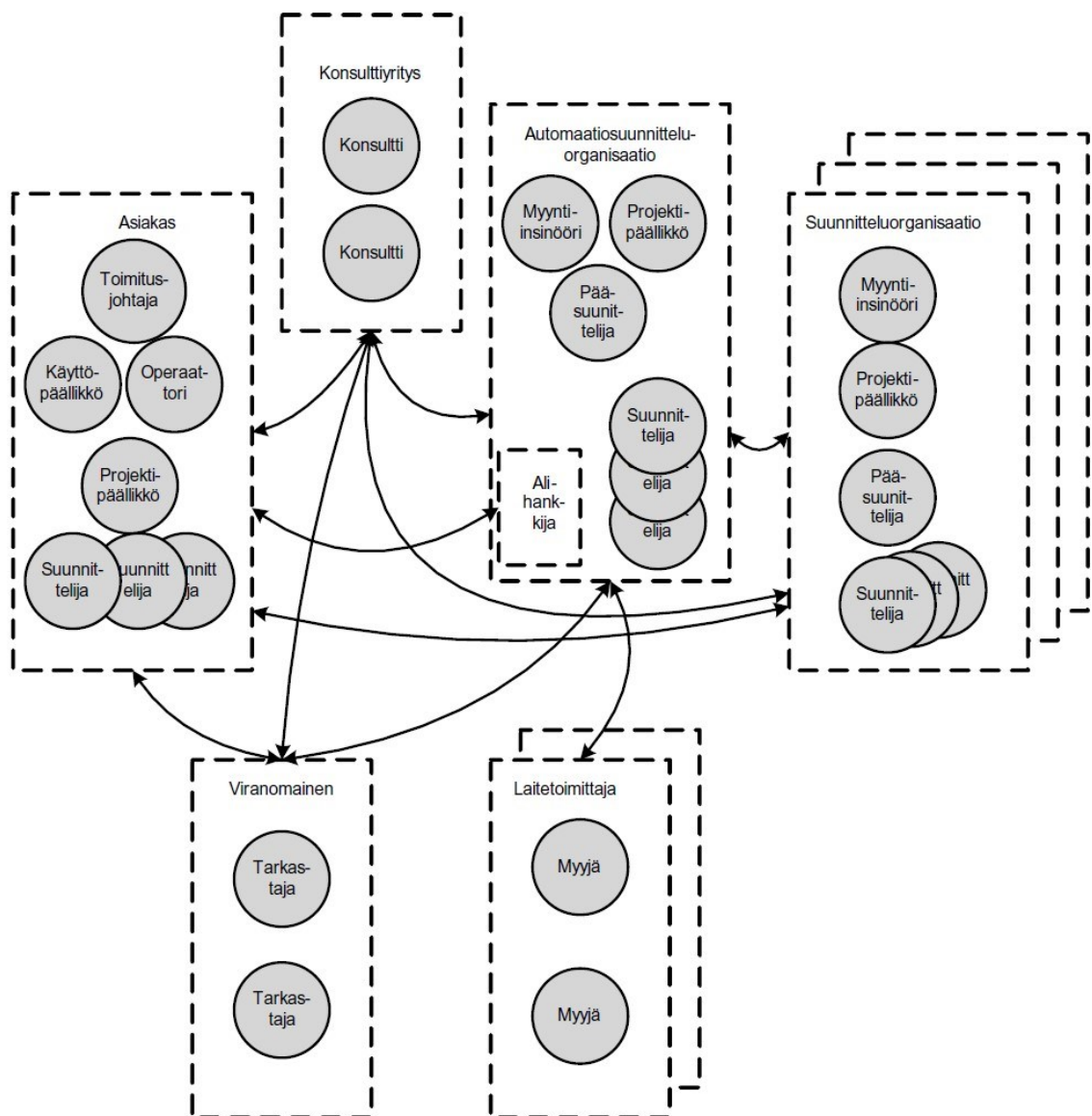
### 2.2.1 Projektin vaiheet ja henkilöverkosto

Glaserin (2009, s. 37–38) kokemukset automaatiosta perustuvat usean vuoden kokemukseen automaatiojärjestelmien myymisestä ja toteutuksista. Hän toteaa teoksessaan, että esimerkiksi seuraavanlainen nelivaiheinen prosessi on yleinen sellaisissa automaatiohankkeissa, joissa aiotaan hyödyntää robotiikkaa.

- Ensimmäisessä vaiheessa yritys on tunnistanut kehityskohteen jossain kohtaa omaa tuotantoaan. Yrityksellä on motivaatiota ja johdon tuki saavuttaa ratkaisu ongelmaan. Investoinnin takaisinmaksuaikaan liittyvät tavoitteet ovat määriteltä.
- Toisessa vaiheessa tunnistetaan tuote tai tuotteet, joiden osalta automatisointia hyödynnetään. Määritellään projektin tavoitteet tarkemmin. Jos tämä on yrityksen ensimmäinen hanke, johon sisältyy robotiikkaa, ei välttämättä kannata tavoitella liian suuria.
- Kolmannessa vaiheessa luodaan karkea arvio investoinnin suuruudesta kaikkine oheislaitteineen ja määritellään alustava suunnitelma hankkeelle. Jaetaan vastualueet yrityksen sisällä ja etsitään yhteistyökumppaneita, alihankkijoita ym. Päätetään automaatiojärjestelmän sijainti ja yritetään tunnistaa kaikki mahdolliset haasteet.

- Neljännessä vaiheessa punnitaan, onko projektin toteutuksessa järkeä taloudellisesti ja teknisesti.

Automaatiojärjestelmän suunnittelua varten monesti kootaan kertaluonteinen työryhmä. Työryhmän jäsenet koostuvat useammasta eri organisaatiosta. Ryhmien koot vaihtelevat projektin laajuuden mukaan. Mikäli yrityksellä on vain vähän kokemusta automaatiojärjestelmistä, hoidetaan suurin osa projektista monesti ulkoisen toimijan avulla ”avaimet käteen”-periaatteella. Projektin verkostoon kuuluu usein työryhmien lisäksi myös mm. laitetoimittajia, alihankkijoita, viranomaisia ja konsultteja. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki yleisestä projektin verkostotyypistä. (Glaser 2009, s.40, Hirvonen et al. 2007, s. 41)



**Kuva 3.** Esimerkki automaatioprojektin verkostosta (Hirvonen et al. 2007, s. 41)

Asiakkaan vastuulla on valita oikeat toimittajat ja esittää heille projektin vaatimukset. Asiakkaan työryhmä pitää toimittajiin yhteyttä läpi koko projektin. Projektin alkuvaiheilla suurin vastuu on automaatio suunnitteluorganisaation myynti-insinöörillä. Hänellä tulee olla selkeä kuva asiakkaan tarpeista ja omien tuotteiden ominaisuuksista. Monesti projektin edetessä tulee ongelmia, jos myynti-insinöörillä ei ole ollut tietoa, että heidän omat tuotteensa eivät täytä asiakkaan vaatimuksia ilman muutostöitä. Muutostyöt taas aiheuttavat lisää kustannuksia. (Hirvonen et al. 2007, s. 42)

Toinen vastuullinen vaihe tulee, kun myynti-insinööri siirtää vastuun ja omat tietonsa oman organisaationsa projektipäällikölle. Projektipäällikkö on tämän jälkeen vastuussa aikataulussa ja budjetissa pysymisestä, sekä myynti-insinöörin tekemän sopimuksen mukaisten tavoitteiden saavuttamisesta. Projektipäällikkö toimii tiiviissä yhteistyössä suunnittelijoiden ja tuotekehittäjien kanssa ja saa heiltä tietoa projektin etenemisestä ja mahdollisista esteistä. (Hirvonen et al. 2007, s. 42–43)

Järjestelmä testataan sen valmistuttua joko asiakkaan tai toimittajan tiloissa testaajien toimesta ja laaditaan asianmukaiset testauspöytäkirjat. Asentajat viimeistelevät asennuksen sopimuksen mukaisesti. (Hirvonen et al. 2007, s. 43) Järjestelmän käyttöönoton jälkeen on vielä huolehdittava asianmukaisesta kunnossapidosta koko laitteiston elinkaaren ajan. Kunnossapito voi näytellä erittäinkin suurta osaa tuotannon sujuvuuden ja sitä myötä liiketoiminnan tuloksen kannalta. Kunnossapidon kustannukset kasvavat yleensä sitä mukaa, mitä raskaammasta teollisuudesta on kyse. (Heinonkoski 2013, s.12–14)

## 2.2.2 Automaatiojärjestelmän komponentit

Automaatiojärjestelmä pitää sisällään useita erilaisia laitteita ja komponentteja. Suunniteltaessa on huomioitava, että kaikki nämä ovat tuotteeseen ja suoritettavaan työtehtävään hyvin soveltuvia. Tässä luvussa tarkastellaan osaa automaatiojärjestelmän tärkeimmistä laitteista ja niiden toiminnoista ja eroavaisuuksista.

Automaatiojärjestelmän tehtävissä vaadittavia liikkeitä varten tarvitaan erilaisia **toimilaitteita**. Toimilaitteet ovat yleisimmillään erilaisia sähkömoottoreita ja hydraulisia -tai pneumaattisia sylintereitä. Kaikista näistä löytyy vielä monia erilaisia yksityiskohtaisia eroja. Se, että minkä tyyppinen toimilaitte valitaan, riippuu siltä vaadittavista ominaisuuksista. Perussääntöinä voidaan pitää seuraavia; Tarkimmat liikkeet toteutetaan sähkömoottoreilla, suurimmat voimat toteutetaan hydraulisilla sylintereillä ja nopeimmat liikkeet pneumaattisilla sylintereillä. (Keinänen et al. 2009, s. 71)

Tuotteiden kuljettamiseen järjestelmän sisällä prosessista toiseen tarvitaan **kuljettimia**. Kuljettimet voivat kuljettaa tuotetta myös järjestelmästä toiseen. Kuljettimet ovat yleensä joko jatkuvasti liikkeessä tai lähtevät liikkeelle, kun tuote pitää siirtää seuraavaan prosessiin. Jatkuvaliikkeisessä kuljettimessa järjestelmän suorittamat tehtävät pitää tehdä liikkuvaan tuotteeseen tai poimia tuote sivuun tehtävien ajaksi. Kuljettimet, jotka eivät ole jatkuvassa liikkeessä, sopivat hyvin käytettäväksi kokoonpanotehtävissä. Tällaisten kuljettimien rajoittavaksi tekijäksi muodostuu hitain työvaihe, jota järjestelmän täytyy odottaa ennen kuin voi lähteä uudestaan liikkeelle. Kuljetintyyppinä on olemassa useita, kuten hihna-, ketju- ja rullakuljettimet. Hihnakuljettimet sopivat kevyille ja tarkasti käsiteltäville tuotteille, ketjukuljettimet puolestaan sopivat raskaammille kuormille ja rullakuljetin sijoittuu näiden välimaastoon. (Wilson 2015, s. 41–42) Näiden yleisimpien kuljetintyyppien lisäksi voidaan käyttää myös yksilöllisempiä kohdekohtaisia ratkaisuja, kuten esimerkiksi liukukuljetin. Liukukuljetin siirtää tuotteita painovoiman vaikutuksesta ylemmältä tasolta alaspäin. (Keinänen et al. 2009, s. 171)

Ennen kun tuote päätyy kuljettimelle, tarvitaan tuotteiden syöttämisessä automaatiojärjestelmään **syöttölaite**. Yksinkertaisimmillaan syöttäminen voi tapahtua manuaalisestikin. Syöttäminen voi tapahtua myös kuljettimella edellisestä työvaiheesta. Varsinaisia syöttölaitteita ovat esimerkiksi hihna-, rulla-, täry- ja ruuvisyöttimet. Syöttötavan valintaan vaikuttaa syötettävän tuotteen rakenne, mutta myöskin se, että pitääkö tuote tulla järjestelmään tietyssä asennossa. Tässä päästään monesti helpommalla, mikäli tuote on symmetrinen. Syötettävät tuotteet voivat olla esimerkiksi kokoonpanossa tarvittavia osia tai kiinnitystarvikkeita. (Keinänen et al. 2009, s. 168; Wilson 2015, s. 43)

**Antureita** tarvitaan automaatiojärjestelmässä tarkkailemaan ympäristöä ja välittämään tietoa eteenpäin muille toimilaitteille. Oikeanlainen anturityyppi valitaan prosessista ja materiaaleista riippuen. Eri anturityyppien toiminta perustuu valoon, kosketukseen, magneettisuuteen tai sähkökentän muutokseen. Anturin antama signaali on joko kaksiarvoinen tai analoginen. Kaksiarvoinen signaali muuttuu vain kahden arvon välillä. Esimerkiksi tunnistettavan kappaleen etäisyyden ollessa yli 10 mm, arvo on "0", ja kun etäisyys laskee alle 10 mm, arvo on "1". Analoginen signaali puolestaan muuttaa arvoaan portaattomasti, jolloin ne sopivat esimerkiksi pyörimisnopeuden mittaamiseen. (Keinänen & Sumujärvi 2019, s. 305) Taulukosta 1 näkee, minkälaisia ominaisuuksia antureilla voi esimerkiksi mitata.

Taulukko 1. Antureilla mitattavia suureita, mukailten lähdeä (Nof 2009, s. 547)

Fyysiset ominaisuudet	Etäisyys, nopeus, kiihtyvyyys, sijainti, värinä, kulma
Termodynaamiset ominaisuudet	Lämpötila, paine, seos, tiheys
Sähkötekniset ominaisuudet	Jännitys, taajuus, vaihe
Magneettiset ominaisuudet	Magneetikenttä
Sähkömagneettiset ominaisuudet	Valon vaihtelut, säteilyn intensiteetti
Muut ominaisuudet	Radioaktiivisuus

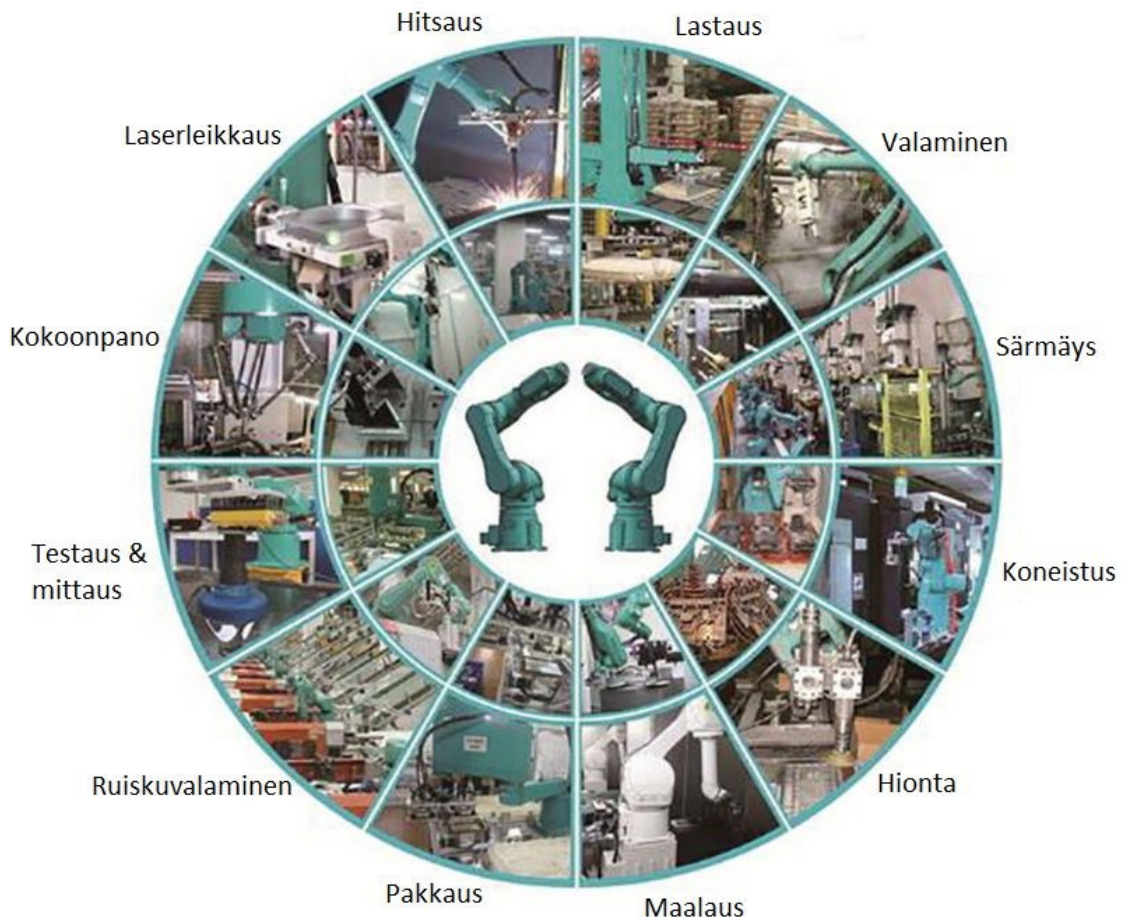
Edellä kuvattujen laitteiden lisäksi automaatiojärjestelmä vaatii toimiakseen paljon muitakin komponentteja, kuten esimerkiksi kytkimiä, laakereita ja venttiileitä. Robotit ovat myös olennainen osa automaatiojärjestelmiä ja niitä käsitellään tarkemmin luvussa 2.3.

### 2.3 Teollisuusrobotit ja teolliset robottijärjestelmät

Kun termillä automaatio viitataan yleensä laajempaan teknologiajoukkoon, niin roboteista puhuessa tarkoitetaan tavanomaisesti yksittäistä älykästä laitetta (Ventä et al. 2018, s. 12). Autoteollisuus oli robottien suhteen edelläkävijä ottaessaan niitä ensimmäisten joukossa käyttöön. Myöhemmin robotteja on otettu käyttöön teollisuuden eri osa-alueilla. (Gupta & Arora 2013, s. 3) Suomen standardisoimisliitto (SFS ISO 10218-1 2011) määrittelee teollisuusrobotin uudelleen ohjelmoitavaksi olevaksi monikäyttöiseksi käsittelylaitteeksi, jota käytetään teollisuuden automaatioosovelluksissa. Teollisuusrobotti on automaattisesti ohjattu ja joko kiinteästi asennettu tai liikkuva. Vähintään kolme teollisuusrobotin akseleista tulee olla ohjelmoitavissa. Määritelmän mukaan teollisuusrobottiin kuuluvat myös toimilaitteet ja ohjauslaite.

Vuodesta 2012 vuoteen 2018 on vuosi vuodelta otettu käyttöön enemmän teollisuusrobotteja. Vuosi 2019 poikkesi tästä nousujohteisesta trendistä ja teollisuusrobotteja otettiin käyttöön 12 % vähemmän kuin 2018. IFR:n (The International Federation of Robotics) tilastojen mukaan teollisuusrobotteja otettiin käyttöön vuonna 2019 maailmanlaajuisesti 373 240 kappaletta. Maantieteellisesti tilastoja tarkastellen Kiinassa otettiin käyttöön suurin määrä robotteja (38 % kaikista asennetuista). Kiina on pitänyt kärki-paikkaa käyttöön otettujen teollisuusrobottien määrässä jo vuodesta 2013 lähtien. Muita suuria lukemia teollisuusrobottien käyttöön otossa oli mm. Japanissa, Yhdysvalloissa

ja Saksassa. Suomessa otettiin vuonna 2019 käyttöön 526 teollisuusrobottia. Teollisuuden aloista tärkeimpänä teollisuusrobottien asiakkaana on autoteollisuus. Tästä kertoo käyttöön otettujen teollisuusrobottien määrä, joka oli autoteollisuudessa kaikkein suurin (28 % kaikista asennetuista). Toisena tulee elektroniikkateollisuus (24 %) ja kolmantena metalliteollisuus (12 %). (IFR 2020, s. 13–15) Teollisuusrobotit ovat käytössä kuvan 4 mukaisesti useissa eri tehtävissä.

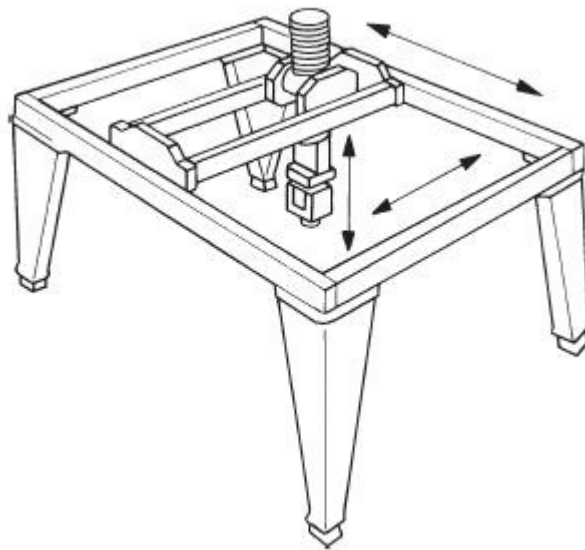


**Kuva 4.** Tyypillisiä robotin tehtäviä, mukailen lähdettä (Day 2018, s. 443)

### 2.3.1 Erilaiset teollisuuden robottityypit

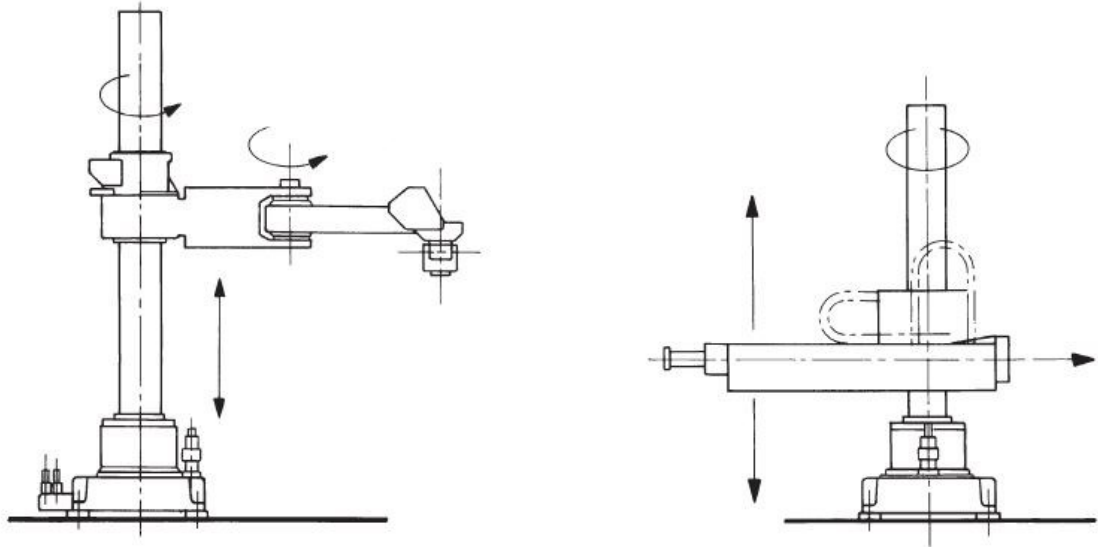
Kaikissa teollisuusroboteissa on joitain samoja elementtejä, kuten robottikäsivarsi, antureita ja ohjainlaite. Teollisuusrobotit liikkuvat joko hydraulikan, paineilman tai sähkön avulla. Liikeradat ovat toteutettu joko kiskoja pitkin lineaarisina tai nivelillä, jotka sallivat moniulotteisemman liikkeen. Teollisuusrobottien luokittelu eri tyyppihin perustuu kinemaattisten ja mekaanisten ominaisuuksiin. Luokitteluun vaikuttavat esimerkiksi työskentelyalueen koko ja muoto, tarkkuus ja vapausasteiden määrä. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović 2020, s. 27) Seuraavissa kappaleissa käydään läpi yleiset robottityypit.

**Karteesinen** robotti on tavanomaisesti nosturimainen robotti, jota käytetään useimpien kappaleiden nostamiseen ja siirtämiseen. Karteesisella robotilla on yleensä kolme lineaarista vapausastetta, jotka voi nähdä kuvasta 5. Robotin työskentelyalue on siis suorakulmaisessa alueessa X, Y ja Z suuntiin. Robotilla voi olla ulottuvuutta alle metristä kymmeneen metriin. Suuren ulottuvuuden lisäksi robotin kuormankantokyky voi olla hyvinkin suuri, riippuen sen tukirakenteista. (Wilson 2015, s. 26) Koordinaattimittauslaitteet ovat usein karteesisia robotteja, koska kyseisellä rakenteella saadaan erittäin hyvä tarkkuus (Karabegović & Banjanović-Mehmedović 2020, s. 39–40).



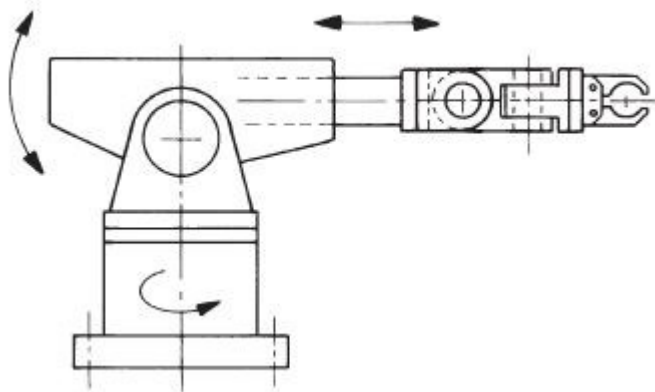
**Kuva 5.** Karteesinen robotti (ISO 8373)

**Sylinterimäisessä** robotissa on kolmen lineaarisen vapausasteen lisäksi pyörivä nivel, joka pyörittää koko rakennetta kuvan 6 mukaisesti. Robotin työskentelyalue on sylinterin muotoinen. Sylinterimäiset robotit ovat hyvin vakaita ja ne ovat kykeneviä käsittelemään isoja kuormia. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović 2020, s. 40) Wilsonin (2015, s.28) mukaan sylinterimäiset robotit ovat helppoja ohjelmoida, mutta ne eivät ole kovinkaan yleisiä. Enimmäkseen niitä käytetään elektroniikkateollisuudessa Aasiassa.



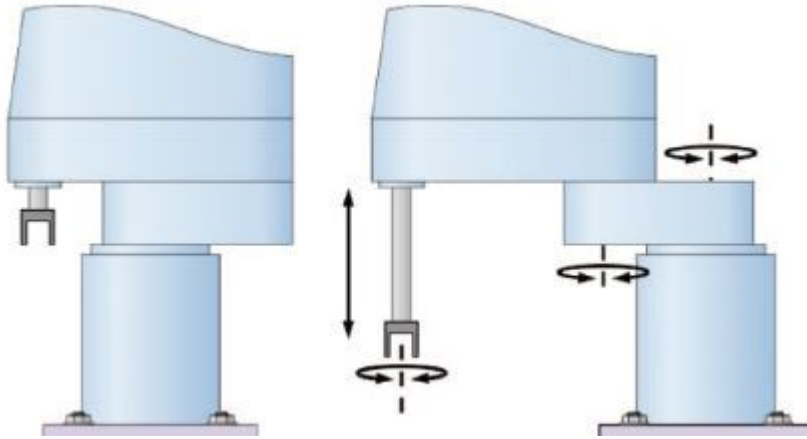
**Kuva 6.** Sylinterimäinen robotti (ISO 8373)

**Napakoordinaatistorobotin** rakenne ja vapausasteet on esitetty kuvassa 7. Napakoordinaatistorobotissa on pyörivän alustan lisäksi nostamisen salliva nivel, sekä teleskooppinen käsi. Käyttökohteet napakoordinaatistoroboteilla ovat usein samankaltaisia kuin sylinterimäisillä roboteilla. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović 2020, s. 40–41)



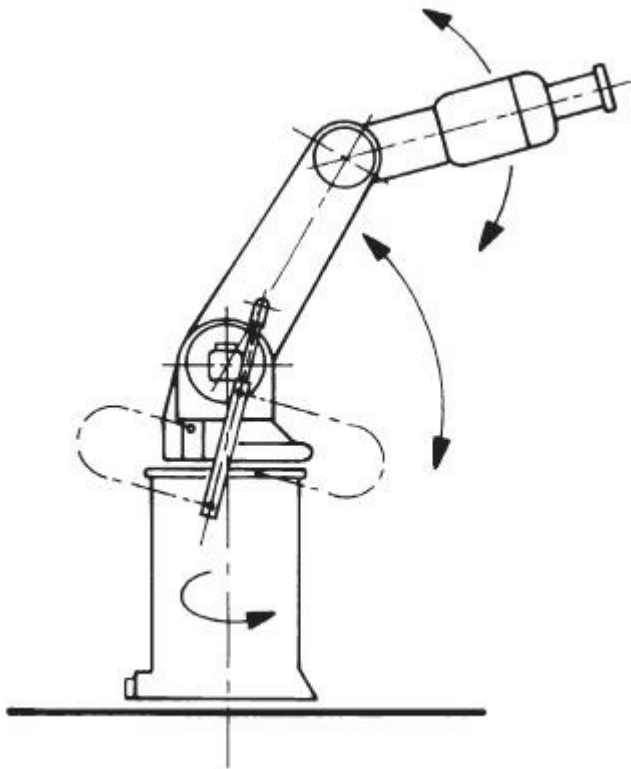
**Kuva 7.** Napakoordinaatistorobotti (ISO 8373)

**SCARA-robotti (Selective Compliance Assembly Robot Arm)** on robotti, jossa on yleensä kolme kiertyvää akselia ja yksi lineaarinen. Vapausasteet ovat nähtävillä kuvassa 8. Kooltaan SCARA-robotit ovat yleensä pieniä ja ne kykenevät nopeisiin liikkeisiin. Rakenteensa ansiosta ne ovat pystysuuntaan hyvin vakaita. SCARA-robotit on alun perin suunniteltu kokoonpanotehtäviin, joskin niitä on nykyään käytössä muissakin tehtävissä. (Wilson 2015, s. 24–25)



**Kuva 8.** SCARA-robotti (Atwater 2019)

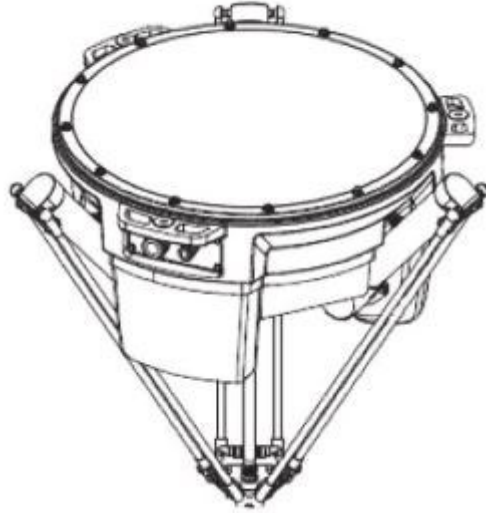
**Kiertyvänivelisellä** robotilla on yleensä kuusi vapausastetta. Kuvassa 9 on esitetty tavanomaisen kiertyvänivelisen robotin rakenne. Työskentelyalue on vapausasteiden myötä hyvin vapaa, eikä se ole rajoittunut mihinkään tiettyyn muotoon. Kiertyväniveliset robotit ovat nykypäivän teollisuudessa yleisin robottityyppi. Niitä voidaan käyttää mm. maalauksessa, hitsauksessa ja kokoonpanossa. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović 2020, s. 42)



**Kuva 9.** Kiertyvänivelinen robotti (ISO 8373)

**Rinnakkaisrakenteiset** robotit kehitettiin 1980-luvulla, joten ne ovat yksi tuoreimmista robottityypeistä. Rinnakkaisrakenteiset robotit voivat olla erittäin nopeita, mutta niiden työskentelyalue ei yleensä ole kovinkaan suuri. Niitä on käytössä enimmäkseen kuljet-

timilla poimimassa ja asettamassa kevyitä kappaleita. Robotti asennetaan työskentelyalueensa yläpuolelle, mistä se poimii kappaleita. (Taghirad 2013, s.17–18) Kuvassa 10 on esitetty rinnakkaisrakenteinen robotti.



*Kuva 10. Rinnakkaisrakenteinen robotti (Wilson 2015, s. 27)*

### **2.3.2 Robotin ohjelmointi**

Robotin liikeratoja ja toimintoja ohjataan joko tietokoneella tai robottia taluttamalla tehdyn ohjelman avulla. Taluttamalla kannattaa usein tehdä yksinkertaiset, esimerkiksi maalaussovelluksiin tarkoitetut ohjelmat. Monimutkaisemmat ohjelmat, kuten kokoonpanotehtävät, puolestaan kannattaa tehdä tietokoneohjelman avulla. Tietokoneella ohjelmoidessa on etuna se, että sitä voidaan tehdä robotin ollessa tuotantokäytössä. Useissa tietokoneohjelmissa on myös mahdollisuus simuloida ohjelmia testausta varten. (Keinänen & Sumujärvi 2019, s. 305)

Ohjelmoinnilla on samat tehtävät, tehtiin se sitten millä tavalla tahansa. Tehtäviin kuuluu laatia robotin liikeradat ja niiden järjestys, sekä tahdistaa robotin liikkeitä muut automaatiojärjestelmän kanssa. Ohjelmoinnissa tulee myös määrittää robotin toiminta virhetilanteen sattuessa. Kokonaisuudessaan ohjelma koostuu robotin ohjelmointikielellä kirjoitetuista käskyistä ja ohjelman käyttämästä datasta. Valmis ohjelma syötetään robotin ohjaimen. (Keinänen & Sumujärvi 2019, s. 305–307)

### **2.3.3 Robottien työkalut ja lisälaitteet**

Robottiin on saatavilla käsivarteen kiinnitettäviä työkaluja moneen erilaiseen käyttöön, joista yleisin on tarttuja. Tarttumat toimivat tavanomaisesti joko mekaanisesti, alipaineel-

la tai magneetilla. Mekaanisessa tarttujassa on joko kaksi tai useampia sormia, joilla kappaleeseen tartutaan. Useimmiten sormia on kaksi tai kolme. Yksinkertaisimmillaan tarttujassa on vain kaksi toimintoa, kiinni ja auki. Saatavilla on myös tarttuvia, joissa voidaan säätää sormien etäisyyttä ja tartuntavoimaa. Sormien liikkeitä voidaan kontrolloida joko sähköllä, paineilmalla tai hydraulilla. (Bajd et al. 2010, s. 97)

Alipaineella toimivat imukuppitarttijat ovat sormitarttujen jälkeen yleisimpiä. Näitä voidaan käyttää esimerkiksi metallilevyjen tai lasien käsittelyssä. Imukuppitarttujen etuina ovat luotettavuus, edullinen hinta ja kevyt rakenne. Lisäksi ne eivät aiheuta jälkiä kappaleeseen helposti. Imukuppitarttuihin on markkinoilla saatavissa useita erilaisia imukuppeja erilaisille pinnoille. (Bajd et al. 2010, s. 100)

Toinen esimerkki sormettomasta tarttujasta on magneettinen tarttuja. Magneettisten tarttujen etuja ovat mm. nopea tartunta ja reikäisten kappaleiden käsittely. Ongelmia voi puolestaan tulla, kun pitäisi nostaa yksi metallilevy kerrallaan levykuormasta. (Deb & Deb 2009, s. 178) Näiden lisäksi robotteihin on saatavilla erikoistarttuvia, kuten kappaleen lävistäviä ja erilaisia tarrainteknologiaa hyödyntäviä tarttuvia (Bajd et al. 2010, s. 101).

Tarttujaa valitessa tulee miettiä myös kappaleen käsittelyyn liittyvää turvallisuutta. Vaaratilanteita voi muodostua äkillisen energiakatkoksen tai hätäpysäytyksen seurauksena. Esimerkkinä mainittakoon alipaineella toimivan tarttujan toiminta alipaineen äkillisesti kadotessa. Tällainen tilanne voi johtaa kappaleen putoamiseen. (Keinänen & Sumujärvi 2019, s. 309)

Tarttujen lisäksi robotteihin on saatavilla eri tuotantoprosesseihin osallistuvia työkaluja. Tällaisia prosesseja ovat mm. maalaus, hitsaus, polttoleikkaus, liimaus ja niittaus. Robotti voi itse vaihtaa näitä pikakiinnityksellä toimivia työkaluja, jolloin robotti kykenee tekemään eri tehtäviä saman työkierron aikana. (Keinänen & Sumujärvi 2019, s. 309; Glaser 2009, s. 46–47)

Roboteissa käytetään nykyään usein myös ulkoisia aistijärjestelmiä, kuten kameratekniikalla ja tietokoneohjelmistoilla toimivaa konenäköä. Konenäköjärjestelmää hyödynnetään, kun kappaleesta täytyy saada selville joko sen muoto, sijainti, asento, tai jokin kappaleessa oleva tunniste. Kappale voidaan myös konenäköjärjestelmän avulla mitata. Mittaustuloksen perusteella robotin liikeohjelmaa tarvittaessa muutetaan. Konenäkö toimii työkaluna myös laadunvalvonnassa. (Keinänen & Sumujärvi 2019, s. 310)

### 2.3.4 Robottisolut

Kuten aiemmissa kappaleissa todettiin, teollisuusrobotteja voidaan käyttää useaan eri tarkoitukseen. Useinkaan pelkällä robotilla ei kuitenkaan saada tuotettua yritykselle suurta hyötyä, vaan se tarvitsee ympärilleen erilaisia oheislaitteita. Oheislaitteineen robotista muodostuu robottisolu. Robottia itsessään voidaan pitää solun sydämenä, joka valikoidaan työnkuvan perusteella. Robotin valintakriteereihin kuuluu mm. robotilta vaadittava nostokyky, joustavuus, tarkkuus, liikkuvuus ja ulottuvuus. (Glaser 2009, s. 44–45) Robottisolu sisältää joko yhden tai useamman robotin. Täydellisen robottisolun hankintakustannukset tulevat olemaan tyypillisesti moninkertaiset pelkästään robotteihin verrattuna. (Khatib & Siciliano 2016, s. 1386)

Robottisolussa voi olla erilaisia työstökoneita laajalla skaalalla. Solussa tapahtuva kappaleen työstäminen voi olla esim. jyrsimistä, särmäämistä tai poraamista. Tällaisessa solussa robotti on usein palvelemissa työstökonetta siirtämällä, kääntelemällä tai kiinnittämällä kappaleita. Solussa käsiteltävä kappale syötetään soluun esimerkiksi hihnakäyttöisellä kuljettimella. Kappaleiden kuljettaminen tapahtuu joko ihmisen avustuksella tai ilman. Monesti solussa tarvitaan myös erilaisia kääntö- tai jigipöytiä, mikäli solussa tehtävään työhön kuuluu esim. hitsausta tai osien kiinnittämistä toisiin. (Glaser 2009, s. 45–50)

Robottijärjestelmiin kuuluu lisäksi paljon turvallisuuteen liittyviä komponentteja, joita käsitellään laajemmin omassa luvussaan seuraavaksi.

### 2.3.5 Turvallisuus

Teollisuusrobottien ja robottijärjestelmien turvallisuusvaatimuksia käsitellään standardissa SFS-EN ISO 10218. Standardissa on kaksi osaa, joista ensimmäisessä osassa (SFS-EN ISO 10218-1) käsitellään yksittäistä teollisuusrobotia ja toisessa osassa (SFS-EN ISO 10218-2) käsitellään teollisuusrobottijärjestelmien ja -solujen turvallisuutta. Standardeissa ei käsitellä erilaisiin prosesseihin kuuluvia vaaroja, kuten maalaukshuuruja ja lenteleviä metallilastuja. Näihin vaaroihin soveltuvia säännöksiä löytyy muista standardeista.

Vaaraa aiheuttavat työtehtävät ja robotin toimintaan liittyvät vaaratilanteet on tunnistettava. Taulukkoon 2 on koottu erikseen standardin SFS-EN ISO 10218 molemmissa osissa kuvaillut tilanteet, joissa voi syntyä vaarallisia tilanteita. Taulukossa esitetyt tilanteet ovat vähintäänkin tunnistettava. Vaaroja on poistettava tai vähennettävä suunnitelmia päivittämällä tai korvaamalla vaaraa aiheuttavat tekijät vaarattomilla. Vaaroja voidaan vähentää myös turvallisuusteknisillä asioilla, kuten suojuksilla ja turvalaitteilla.

Mikäli näiden toimenpiteiden jälkeen vaaratekijöitä vielä jää, riskejä on pienennettävä esim. turvamerkinnoilla, henkilöstön suojarusteilla ja koulutuksella. (SFS-EN ISO 10218-1; SFS-EN ISO 10218-2).

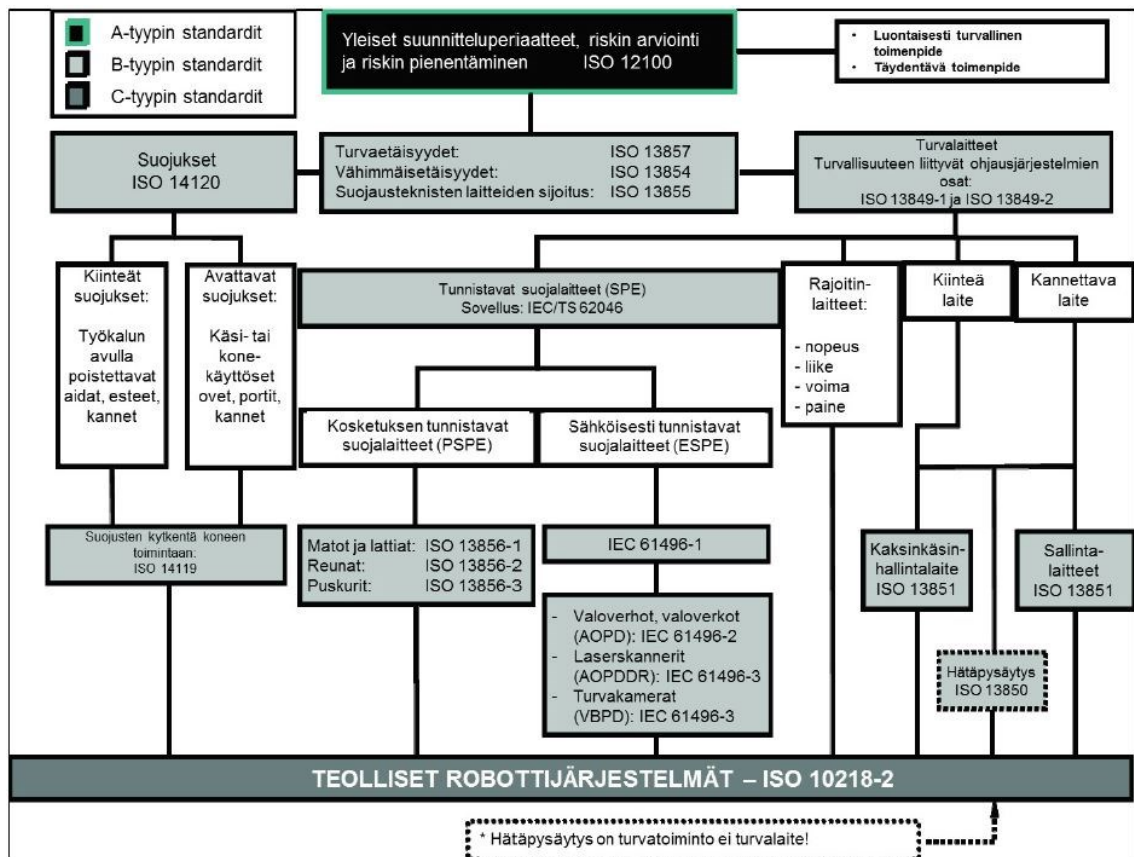
*Taulukko 2. Standardeissa esitetyt vaaraa aiheuttavat tilanteet ja tehtävät, mukaillen lähteitä (SFS-EN ISO 10218-1 & SFS-EN ISO 10218-2)*

SFS-EN ISO 10218-1	SFS-EN ISO 10218-2
Odottamaton käynnistyminen	Prosessin ohjaus ja valvonta
Henkilöiden lähestyminen kaikista suunnista	Työkappaleen lastaus
Ennakoitavissa oleva robotin väärinkäyttö	Asetustyö (esim. työkalun vaihtaminen)
Ohjausjärjestelmän vikaantumisen vaikutukset	Lyhyet koneen käyttäjän käsityövaiheet, joissa ei tarvita laitteiden purkamista
Tarvittaessa tarkasteltavaan robottisovellukseen liittyvät vaarat	Vaarallisen energian valvonta (kiinnityslaitteet, pyöröpöydät ja muut laitteet)
Robotin ohjelmointi, todentaminen, kunnossapito, vianetsintä, korjaus, puhdistus ja asetusten tekeminen	

Robottisolua ympäröivät turvallisuustekniset toimenpiteet ovat tärkeitä. Pääsy vaaralliselle alueelle on estettävä joko kiinteillä tai avattavilla suojuksilla, tai erilaisilla ihmisen tunnistavilla turvalaitteilla. Kiinteiden suojusten tulee olla sellaiset, että ne voidaan irrottaa vain työkalujen avulla. Suojuksen täytyy olla vähintään 1400 mm korkea kulkuväylien tasolta mitattuna. Avattavilla suojuksilla tarkoitetaan esimerkiksi ovea tai porttia ja niitä on olemassa useampaa eri tyyppiä, mutta turvallisuusvaatimusten suhteen kaikissa näissä on samankaltaisia piirteitä. Yhtenä oleellisimmista vaatimuksista voidaan mainita esimerkiksi se, että avattavien suojuksien on oltava sellaiset, että niiden kiinnitöissä käytäjällä ei ole mahdollisuutta ulottua vaara-alueelle. Lisäksi avattavien suojuksien on oltava sellaiset, että käyttäjän ei ole mahdollista joutua suljetuksi vaaraa aiheuttavalle alueelle. (SFS-EN ISO 10218-2)

Ihmisen tunnistavista turvalaitteista käytetään lyhennettä SPE, joka tulee englannin kielen sanoista sensitive protective equipment. Tunnistavat turvalaitteet jaetaan vielä kahteen alaluokkaan, jotka ovat kosketuksen tunnistavat suojalaitteet (PSPE, pressure sensitive protection equipment) ja sähköisesti tunnistavat suojalaitteet (ESPE, electro sensitive protection equipment). Tunnistavia turvalaitteita käytetään yleensä silloin, kun

robottisoluun on tarve säännöllisesti päästä sisälle, tarvitaan hyvää näkyvyyttä prosessiin, tai kun on muita haasteita käyttää kiinteä suojausta. Tunnistavia turvalaitteita ei kuitenkaan aina voi käyttää ainoana suojaustoimenpiteenä. Esimerkiksi sinkoutuvat lastut tai melutasot voivat estää käyttämästä pelkästään tunnistavia turvalaitteita. Tunnistavat turvalaitteet toimivat niin, että ihmisen havaitessaan ne joko käynnistävät turvapysäytyksen tai estävät käynnistymisen. Tunnistavan turvalaitteen havaitsemisvyöhyke on oltava sellainen, että käyttäjä ei voi sitä ohittaa. (SFS-EN ISO 10218-2) Teollisuusrobottien ja teollisten robottijärjestelmien turvalaitteisiin liittyviä vaatimuksia käsitellään useissa eri standardeissa, joiden väliset suhteet löytyvät kuvasta 11.

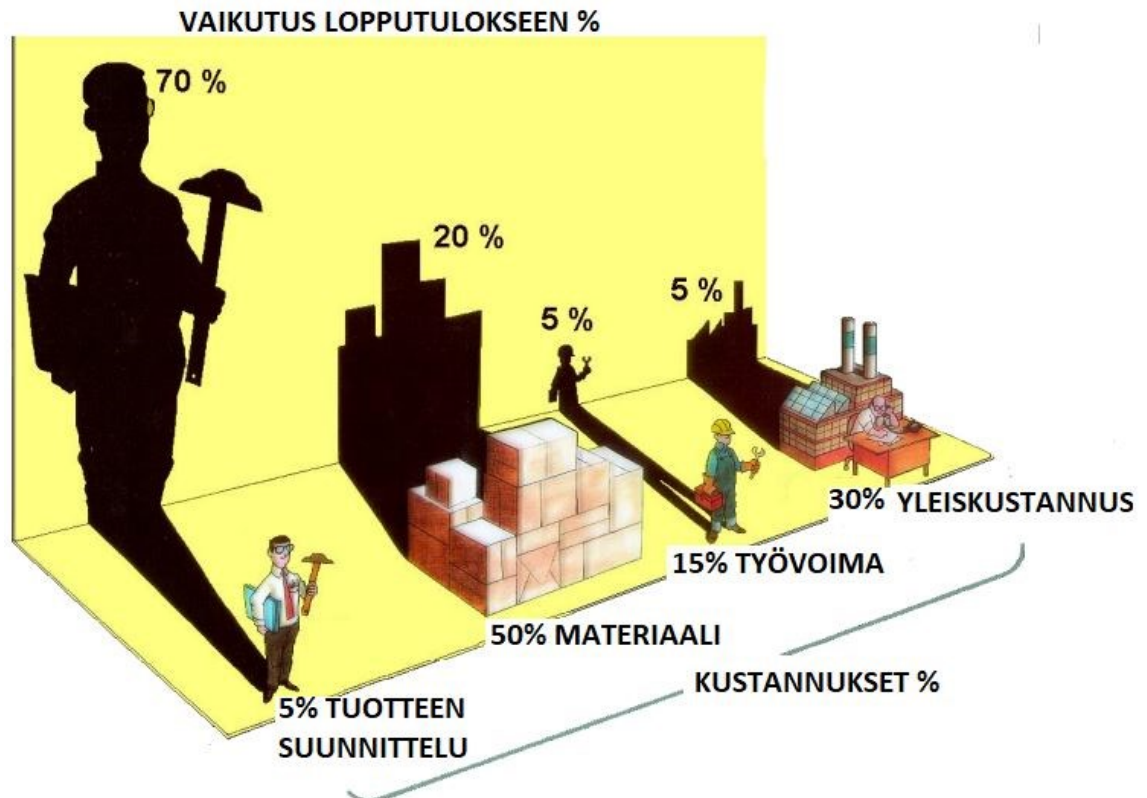


**Kuva 11.** Turvalaitteita koskevat standardit (SFS-EN ISO 10218-2)

Robottisoluun on monesti yhdistettynä erilaisia materiaalin siirtojärjestelmiä siirtämään materiaalia sisään ja ulos solusta. Niiden monimuotoisuuden takia siirtojärjestelmien turvallisuusvaatimuksia ei ole pystytty määrittelemään tarkasti, mutta niidenkin suhteen on riskejä tarkasteltava. Tarkastelun kohteena ovat riskit kuljettimen viereen pääsystä ja kurkottamisesta sen yli, helpon kulun varmistaminen käsityökohteisiin ja avoimet alueet, jotka mahdollistavat pääsyn vaarakohtiin. (SFS-EN ISO 10218-2)

## 2.4 Kokoonpantavuuden suunnittelu

Tuotteet koostuvat mitä useimmin monesta eri osasta, joista jokainen suunnitellaan ja valmistetaan erikseen. Lopullisen tuotteen suunnitteluvaiheessa ei voi liiaksi korostaa kokoonpantavuuden tärkeyttä. Kun kokoonpantavuutta mietitään jo tuotekehityksessä ja suunnitteluvaiheessa, johtaa se lopulta resurssien säästämiseen. (Mital et al. 2008, s. 135) Tällaista ajattelutapaa varten on olemassa ohjenuora nimeltään DFA, jonka vaikutusta havainnollistaa kuva 12.



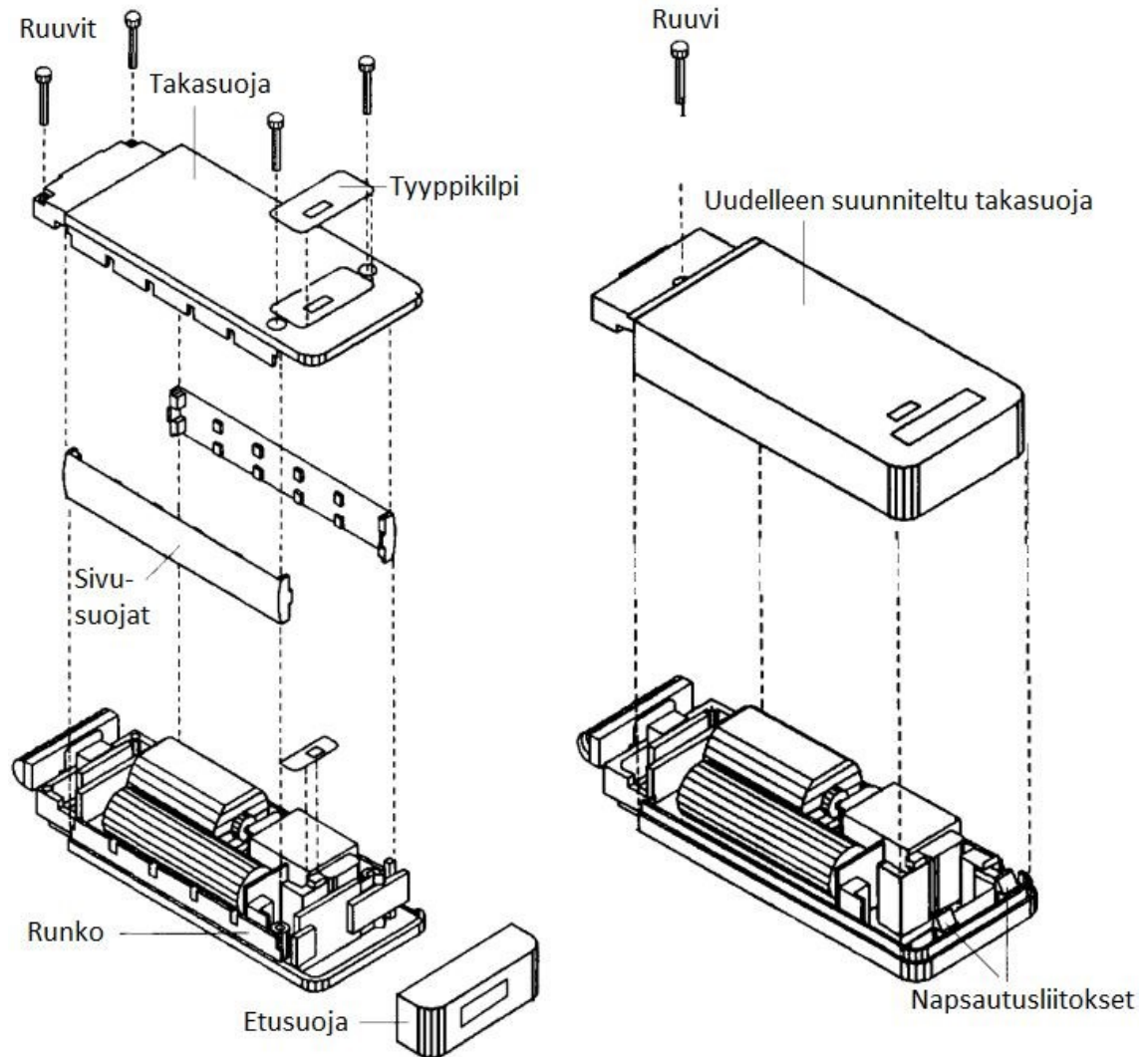
**Kuva 12.** Tuotekehityksen ja suunnittelun merkitys, mukailen lähdettä (Tsai 2018, s. 5)

Lyhenne DFA tulee englannin kielen sanoista Design for Assembly. Eteläaho et al. (1999, s. 2) tiivistävät teoksessaan DFA:n suunnittelumenetelmäksi, jonka ajatuksena on saada tuotteesta mahdollisimman kokoonpanoystävällinen. Kokoonpanoystävällisyys saa aikaan pienentyneet kustannukset ja tehokkaamman tuotantoprosessin. Kyseisestä DFA-menetelmästä ovat hyötynneet erityisesti suuret massatuotantoyritykset. Lempiäinen & Savolainen (2003, s. 69) listaavat DFA:n avulla saataviksi hyödyiksi lisäksi parannukset tuotteen huollettavuudessa, luotettavuudessa, ulkonäössä ja ympäristökuormituksessa.

### 2.4.1 Hyvin suunnitellun kokoonpantavuuden hyödyt

DFA:n merkittävimpiä tavoitteita ovat kustannusten laskeminen ja tuotannon nopeutuminen. Näihin tavoitteisiin pyritään pääsemään poistamalla tai integroimalla tuotteen osia sekä suunnittelemalla liitokset ja kokoonpano mahdollisimman yksinkertaiseksi. Osien vähentäminen tarkoittaa vähemmän varastoitamista, kuljettamista ja asennusta. Työtaakka vähenee siis monelta kantilta katsottuna. Osien poistaminen johtaa usein jäljelle jäävien osien geometrian monimutkaistumiseen. Tästä syystä DFA-menetelmä sopii hyvin etenkin muovisille osille, koska ruiskuvalamalla on kohtalaisen helppoa tehdä monimuotoisia osia. (Eteläaho et al. 1999, s. 6–8)

Pelkästään osien vähentäminen ei ole takuu kokoonpanoystävällisestä tuotteesta, vaan myös kokoonpanon on sujuuttava helposti. Optimaalisessa tilanteessa kokoonpano tapahtuu pääasiassa yhdestä suunnasta vertikaalisesti ns. sandwich-tekniikalla. Tällä tekniikalla osat asetetaan päällekkäin järjestyksessä, jolloin tuotteen purkamisen ja uudelleen kokoonpanemisenkin onnistuu helposti. Tällä tekniikalla tehtävän manuaalisen kokoonpanon automatisoiminenkin käy sujuvasti, sillä roboteilta vaadittavat liikeradat ovat yksinkertaisia (Eteläaho et al. 1999, s. 9, 13). Toisessa suositeltavassa kokoonpanomenetelmässä tuotteella on selkeä runko-osa, joka voidaan asettaa kokoonpanotyöhön soveltuvaan vakaaseen asentoon. Tällä tavalla säästytään kokoonpanokiinnittimien käytöltä. Piirilevy on yksi esimerkki, minkä kokoonpanossa tätä menetelmää käytetään. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 72; Eteläaho et al. 1999, s. 14) Kuvassa 13 on havainnollistettu käytännön esimerkin avulla, miten DFA-menetelmästä voidaan hyötyä.



**Kuva 13.** DFA-menetelmän käytännön esimerkki, mukailen lähdettä (Poli 2001, s.256)

Koska kaikkia osia ei tuotteista voi kuitenkaan integroida yhteen, on osien suunnittelussa tärkeää ottaa huomioon niiden kokoonpantavuus. Osat täytyy olla suunniteltu siten, että ne olisivat mahdollisimman vaivattomia käsitellä ja kokoonpanna. Esimerkiksi joustavat tai erityisen pienet osat voivat olla hankalia käsitellä ja kokoonpanna. Osien kokoonpanoa voidaan helpottaa käyttämällä erilaisia ohjaavia muotoja, kuten viisteitä ja uria. Toinen tärkeä huomioitava asia on osien väärin asentamisen mahdollisuuden minimointi. Tähän voidaan vaikuttaa suunnittelemalla osat symmetrisiksi. Jos symmetrisen osan käyttö ei ole mahdollista, voidaan osasta tehdä korostetun epäsymmetrinen, jolla minimoidaan tai estetään väärin asentamisen mahdollisuus. Osan muodosta riippumatta, kokoonpanossa on aina tärkeää hyvä näkyvyys ja esteetön pääsy kokoonpanoalueelle. (Eteläaho et al. 1999, s. 10) Lisäksi kokoonpanosuunnat on suunniteltava siten, että osaa ei ole tarve käännellä tai pyöritellä kokoonpanon aikana (Mital et al. 2008, s. 138).

Kokoonpanon toteutukseen vaikuttaa tietenkin myös tuotteen koko. Istumatyönä voidaan työpöydän ääressä tehdä pienempiä tuotteita ja suuremmat tuotteet vaativat seisomatyöpisteet. Istumatyönä tehtävissä kokoonpanoissa käytetään suositusta, että aktiivinen työskentelyalue olisi 200x300 mm tai pienempi ja kokoonpanovoima ylhäältä alaspäin olisi suurimmillaan 20 N. Kokoonpantavat osat tulisi olla otettavissa työskentelyalueelle noin 400x600 mm etäisyydeltä. Suurempien tuotteiden kokoonpano on syytä toteuttaa seisomatyöpisteellä. Seisomatyöpisteellä suositukset ovat, että käsin käsiteltävissä tuotteissa tarvittava suurin nostovoima olisi 100 N ja ylhäältä alaspäin voiman tuotto olisi suurimmillaan 50 N. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 72)

Osien liitosmenetelmiä suunnitellessa pitää huomioida liitoksen pitävyys, mutta myös osalukumäärän pienenä pitäminen kannattaa pitää mielessä DFA suunnittelumenetelmän mukaisesti. Napsautusliitokset ovat esimerkiksi sellainen tapa, jolloin erillisiä liitostarvikkeita ei tarvita lainkaan. Mikäli liitoksessa käytetään kuitenkin erillisiä tarvikkeita, kuten ruuveja, tulisi kaikkialla käyttää mahdollisuuksien mukaan samaa tarviketta. Liitosta suunnitellessa tärkeää on myös tieto, että pitääkö tuotetta tulevaisuudessa purkaa esimerkiksi huoltoa varten. (Eteläaho et al. 1999, s. 12–13) Tarvetta erikoistyökaluille olisi myös syytä välttää (Mital et al. 2008, s. 138). Taulukkoon 3 on kerätty erilaisien liitosmenetelmien heikkouksia ja vahvuuksia.

*Taulukko 3. Liitosmenetelmien vertailu DFA:n näkökulmasta (Eteläaho et al. 1999; Lempiäinen & Savolainen 2003)*

<b>Liitosmenetelmä</b>	<b>Heikkoudet</b>	<b>Vahvuudet</b>
Ruuviliitos	- Osalukumäärä kasvaa - Reiät heikentävät osan rakennetta	- Helposti purettavissa - Vaimennusominaisuudet - Luja
Niittiliitos	- Osalukumäärä kasvaa - Vaikea purkaa	- Ohutlevyjen liitos
Liimaliitos	- Vaikea purkaa	- Ei vaadi erillisiä liitostarvikkeita - Tasainen rasitusjakauma - Kestää taivutusta ja tärinää - Toimii samalla tiivisteinä
Hitsausliitos	- Liitettävillä materiaaleilla paljon rajoituksia - Lämmön tuottamia muotovirheitä - Pintakäsittely vaaditaan	- Luja
Napsautusliitos	- Toimiva liitos vaativa suunnitella	- Ei vaadi erillisiä liitostarvikkeita - Helppo kokoonpano - Helposti purettavissa

## 2.4.2 Manuaalinen ja automatisoitu kokoonpano

Tuotteiden kokoonpanoa voidaan tehdä joko manuaalisesti tai automaattisesti, joko erilaisilla syöttö- ja asettelulaitteilla tai roboteilla. Manuaalisesti suoritettu kokoonpano on kaikkein joustavin tapa, jolloin se soveltuu haastaviin kokoonpanoihin. Rajoittavaksi tekijäksi manuaalisen kokoonpanon käytölle muodostuu yleensä suuren volyymin tuotteet. Lisäksi työvoiman palkkakustannukset ja mahdolliset työtapaturmat sekä sairauspoissaolot vaikuttavat negatiivisesti manuaaliseen kokoonpanomenetelmään. (Mital et al. 2008, s. 136)

Automatisoitua kokoonpanoa käytetään yleensä silloin, kun kokoonpanomenetelmä on tarpeeksi yksinkertainen ja volyymi on suuri. Automatisoidun kokoonpanon kustannukset laskevat useimmiten sitä mukaan mitä korkeampi volyymi on. Robotit astuvat kuvioon yleensä silloin, kun tuotteen kokoonpanossa tarvitaan jonkin verran joustavuutta. Lisäksi robotteja voidaan uudelleen ohjelmoimalla käyttää muissakin tehtävissä. Robottien monikäyttöisyys monesti kompensoi niistä aiheutuvia kuluja. (Mital et al. 2008, s. 136–137)

Monissa automatisointihankkeissa on havaittu, että tuote on joko mahdoton kokoonpanna automaattisesti tai se ei onnistu kannattavasti. Siksi manuaalisesti kokoonpantavaa tuotetta suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon automaattisen kokoonpanonkin ehdot, vaikka ei siihen olisi tarkoitus vielä siirtyäkään. Usein on muutenkin eduksi noudattaa automatisoidun kokoonpanon periaatteita, sillä ne yksinkertaistavat myös manuaalista kokoonpanoa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 81)

Tuotteen kokoonpantavuuden arviointiin löytyy useita erilaisia työkaluja kirjallisuudesta. Työkalut, kuten Hitachi AEM ja Boothroyd-Dewhurst DFMA, analysoivat eri tavoin kokoonpanoa. Esimerkiksi Hitachi AEM analysoi liikkeitä sekä toimintoja ja Boothroyd-Dewhurst DFMA kokoonpanoaikoja sekä -kustannuksia. Yksinkertaisimmillaan työkalut ovat tarkistuslistoja, joiden avulla kokoonpantavuutta voidaan tarkastella. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 154–160; Mital et al. 2008, s. 140) Kuvassa 14 on esitetty yksi versio tarkistuslistasta, kun kokoonpano tehdään robotin avulla.



**Kuva 14. Tarkistuslista kokoonpanosta robotin avulla, mukailen lähdeä (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 154)**

## 2.5 Simulointi

Montaa tosielämän monimutkaista järjestelmää ei voida kuvata matemaattisilla malleilla. Tällaisissa tilanteissa monesti turvaudutaan simulointiin. Simulointia voidaan pitää eräänlaisena opetus- ja tutkimusmenetelmänä. Tietokoneella pystytään rakentamaan monenlaisia erilaisia simulaatioita, kuten kaksiuolotteisia tuotantolaitoksia tai kolmiulotteisia robottisoluja. Teollisuudessa simulointimallit ovat käytössä, kun halutaan testata ja analysoida jo olemassa olevan tai vasta suunnitteilla olevan järjestelmän käyttäytymistä. Simuloinnissa yhdistyy matematiikka, ohjelmointi, grafiikat ja animointi. (De La Mota et al. 2017, s. 1–2)

Yrityksillä on monta tapaa hyötyä simuloinnista. Yrityksen nykyisiä järjestelmiä voidaan testata esimerkiksi erilaisilla asetuksilla ilman, että testejä jouduttaisiin tekemään tuotannossa oikeilla laitteilla. Näin säästytään mahdollisilta virheiltä ja vahingoilta, joita voisi testauksessa syntyä. Simulointeja voi lisäksi ajaa häiritsemättä ja keskeyttämättä tuotantoa. Uusia suunnitteilla olevia järjestelmiä voidaan simulointimallilla tarkastella pidemmällä aikavälillä ja näin analysoida järjestelmän kannattavuutta. (De La Mota et al. 2017, s. 11–12)

Simulointi ei kuitenkaan itsessään ole ratkaisu ongelmiin, vaan se on yksi väline muiden joukossa. Lisäksi simulointiin liittyen on olemassa epävarmuuksia, eikä saatuihin tuloksiin pidä sokeasti luottaa, vaikka simulointimalli päällisin puolin näyttääkin hyvältä. Simulointimallin on oltava hyvin rakennettu ja lähtötietojen oltava kunnossa, että tulokset ovat mahdollisimman todenmukaisia. Simulointimallien rakentamisessa kannattaa varautua siihen, että se vie monesti suunniteltua enemmän aikaa. Liian tiukalla aikatau-

lulla eteneminen voi johtaa tulosten liian vähäiseen analysointiin ja vääriin johtopäätöksiin. (De La Mota et al. 2017, s. 12–13)

### **2.5.1 Simulointiprojekti prosessina**

Simulointimallit ja -ohjelmistot ovat usein laajoja ja monimutkaisia, joka aiheuttaa omat haasteensa. Simulointimallin rakentajalla täytyy olla osaamista käyttää useita eri ohjelmistoja, sekä tietämystä todennäköisyys- ja tilastolaskennasta. Monimutkaiset mallit ei ainoastaan vaadi tietokoneilta enempää tehoa, vaan myös vaikeuttaa mallin päivitystä, ylläpitoa ja tulosten analysointia. Mikäli mallin rakentamisessa on tapahtunut virhe jossain kohtaa, monimutkaisesta mallista se voi olla vaikea paikallistaa. Yleinen mielipide on, että simulointimallit kannattaa pitää mahdollisimman yksinkertaisina. (De La Mota et al. 2017, s. 12–13)

Simulointiohjelmistojen kirjastoista löytyy monia erilaisia kolmiulotteisia komponentteja, joita voidaan simulointimalleissa käyttää. Joskus kuitenkin on tarve luoda omia 3D-mallinnettuja komponentteja. Nykypäivän monet 3D-mallinnusohjelmat sisältävät samoja piirteitä keskenään ja eri ohjelmistoilla tehtyjä 3D-malleja voidaan yleensä muuntaa sellaiseen tiedostomuotoon, jotka ovat käytettävissä simulointiohjelmistoilla. Yleisiä simulointiohjelmistoilla käytettäviä tiedostomuotoja ovat esimerkiksi 3ds ja STEP. (Hietikko 2020, s. 25; Nof 2009, s. 639; Visual Components)

De La Mota et al. (2017, s. 14–16) jakavat teoksessaan simulointiprojektin kahdeksaan vaiheeseen taulukon 4 mukaisesti. Taulukon alla on heidän tarkempaa näkemystensä eri vaiheista ja siitä, mihin eri vaiheiden aikana kannattaa erityisesti kiinnittää huomiota.

Taulukko 4. Simulointiprojektin kulku, mukailen lähdettä (De La Mota et al. 2017, s. 12–13)

Vaihe	Kuvaus
1. Projektin luominen	Ongelman määrittely ja tavoitteiden asetus.
2. Mallin suunnittelu	Simulointimallin rakenteen ja käyttäytymisen tarkentaminen niin, että se kohtaa tavoitteet.
3. Datan keräys	Tarpeellisen datan keräys ja analysointi projektia varten.
4. Mallin rakentaminen	Kerätyn datan perusteella rakennetaan simulointimalli.
5. Mallin tarkistaminen	Varmistetaan, että simulointi käyttäytyy kerätyn datan mukaisesti ja mukailee oikeaa järjestelmää.
6. Testaus ja analysointi	Simuloinnin tulosten analysointi ongelmien ja kehityskohteiden havaitsemiseksi.
7. Dokumentointi	Dokumentoidaan projektin tulokset.
8. Toimeenpano	Päätösten teon jälkeen hyödynnetään tuloksia käytännössä.

- Vaiheessa 1 (projektin luominen) määritellään projektin tavoitteet, joka on yksi koko projektin tärkeimmistä tehtävistä. Koko projektin aikana suoritettava mallintaminen ja analysointi tähtää näiden tavoitteiden täyttymiseen. Tavoitteiden on oltava selkeät, järkevät ja mitattavissa olevat.
- Vaiheessa 2 (mallin suunnittelu) on vältettävä houkutusta lähteä rakentamaan simulointimallia, vaikka tavoitteet ovatkin selvillä. Liian hätäinen aloitus yleensä tuottaa sekavan ja vaikeasti ylläpidettävän simulointimallin. Tässä vaiheessa on tärkeämpää keskittyä rakentamaan ajatus sellaisesta mallista, jolla voidaan saavuttaa asetetut tavoitteet.
- Vaihe 3 (datan keräys) keskittyy lähtötietojen keräykseen. Dataa kerätessä on syytä samalla arvioida sen luotettavuutta. Arvioitavat kohteet ovat esimerkiksi datan lähde, milloin se on kerätty, miten se on kerätty ja onko tarpeettoman paljon tai liian vähän. Mikäli data on tavalla tai toisella vajavaista, on syytä suhtautua projektista saataviin tuloksiinkin harkiten.
- Vaiheessa 4 (mallin rakentaminen) päästään rakentamaan varsinaista simulointimallia. Simulointimallin rakentamisessa käy usein niin, että keskitytään saa-

maan aikaan hieno ja sujuva simulointi. Pääpaino tulisi kuitenkin olla alkupe-  
räisten ongelmien ja niiden ratkaisujen etsimisessä ja ymmärtämisessä. Suosi-  
teltavaa on rakentaa yksi tai useampi yksinkertaistettu malli ensin, että lopulli-  
sen simulointimallin rakentaminen sujuisi kivuttomasti.

- Vaiheessa 5 (mallin tarkistaminen) simulointimallin antamaan dataan ei saa so-  
keasti luottaa, vaan sen toimintaan kannattaa suhtautua kriittisesti, ennen kuin  
sen toiminta saadaan tarkastettua ja varmistettua. Tarkastelussa simulaatiomal-  
lia ajetaan prosessinsa läpi ja varmistetaan ulos tulevaa dataa. Toiminnan var-  
mistaminen on haastavaa, sillä siihen ei ole mitään standardisoitua keinoa. Mi-  
käli simulointimalli on tehty sellaisesta järjestelmästä ja prosessista mitä ei vielä  
todellisuudessa ole olemassa, on tässä kohtaa paikallaan konsultoida tuotan-  
toa, laitteiden toimittajaa ja muita järjestelmän rakentamiseen ja käyttöön kuulu-  
vaa henkilöstöä.
- Vaihe 6 (testaus ja analysointi) antaa mahdollisuuden kokeilla järjestelmän toi-  
mivuutta erilaisilla asetuksilla. Tämä antaa varmuutta, kun aletaan tehdä pää-  
töksiä todellisen järjestelmän rakentamisesta. Yleisesti, simulointiprojektin tär-  
keimmät tulokset eivät ole simuloinnin lopputulos. Arvokkain tieto muodostuu,  
kun saadaan muodostettua näkemys erilaisten asetusten hyvistä ja huonoista  
puolista.
- Vaihe 7 (dokumentointi) on käytännössä käynnissä koko simulointiprosessin  
ajan. On tärkeää pitää ajantasaista dokumentaatiota läpi koko projektin. Tästä  
on se hyöty, että kesken projektin voidaan tarvittaessa esittää dokumentaatiota  
ja saattaa ihmisiä ajan tasalle helpommin, mikäli esimerkiksi projektitiimiin liittyy  
uusia henkilöitä kesken projektin. Lopullisesta dokumentista voi olla hyötyä tu-  
levaisuuden samankaltaisissa projekteissa. Dokumentin pitäisi sisältää johdan-  
to, tavoitteet, olettamukset, järjestelmän ja simulointimallin kuvaukset, sekä  
analyysi kokemuksista ja johtopäätöksistä.
- Vaihe 8 (toimeenpano) päättää projektin. Simulointimallin tekijän tai tekijöiden  
on syytä pitää koko projektin ajan johtohenkilöstö ja päätöksen tekijät ajan ta-  
salla. Kun he ymmärtävät simuloinnista saatuja tuloksia, on heidän lopullinen  
päätöksensä järjestelmän toteutuksesta helpompi.

## 2.5.2 Visuaalinen hyöty

Simulointimallista saatavat hyödyt ovat testauksen, valvonnan, ohjauksen ja päätöksen  
teon helpottamisen lisäksi visuaalisia. Visuallinen malli helpottaa esimerkiksi asiakkaita

saamaan kohteesta nopeasti selkeän kokonaiskuvan. Visuaalisuutta voidaan simuloinnin lisäksi esittää mm. teksteillä, grafiikoilla ja kaavioilla. (Nof 2009, s. 644)

Kolmiulotteiset mallit toimivat huomattavasti paremmin havainnollistavana työkaluna kuin kaksiulotteiset. Kolmiulotteisen mallin avulla voidaan tutkia osien liikettä ja havaita mahdollisia virheitä kokoonpanoissa tai liikeradoissa, jotka estäisivät todellisen järjestelmän toimivuutta. (Hietikko 2020, s. 23) Simulointia ja 3D-mallien visualisointia ei kuitenkaan hyödynnetä pelkästään teollisuudessa, vaan niitä hyödynnetään taulukon 5 mukaisesti useilla eri tieteen aloilla.

*Taulukko 5. Esimerkkejä simuloinnin ja visualisoinnin hyödyntäjistä, mukailen lähdettä (Nof 2009, s. 644)*

<b>Tieteen ala</b>	<b>Esimerkki</b>
Tekniikka	Lujuuslaskenta Harjoittelu ja testaus Prototyyppien kehitys
Arkkitehtuuri	Rakennusten suunnittelu Siltöjen suunnittelu Sisustuksen suunnittelu
Liiketalous	Markkinointi Mainonta Tilastojen esittäminen
Lääke ja terveys	Toimenpiteiden suunnittelu Toimenpiteiden harjoittelu Fysioterapian havainnollistaminen
Yhteiskunta	Simulaattorit Pelit Tutkimukset

## 3. LÄHTÖTILANNE JA TYÖN KUVAUS

Tämän luvun aliluvuissa 3.1 ja 3.2 kuvataan kohdeyrityksen nykyistä tuotetta ja tuotantoa, sekä kerrotaan, mitkä asiat olivat määritelty ennen työn alkua. Nykytilanteen analysointia varten kelloitettiin eri työvaiheisiin kuluvia aikoja, sekä kerättiin tietoa avoimen haastattelun kaltaisilla keskusteluilla kohdeyrityksen henkilöstön kanssa. Lisäksi luvussa kuvataan työn eteneminen kronologisessa järjestyksessä aliluvusta 3.3 lähtien.

### 3.1 Nykyinen tuote ja tuotanto

Kohdeyrityksessä valmistetaan parvekelaseja vahvuudeltaan 6 mm, 8 mm, 10 mm ja 12 mm. Lasin vahvuus määräytyy lasin korkeuden, sekä lasiin kohdistuvan tuulenpaineen mukaan. Joissain tapauksissa myös parvekkeen ääneneristysvaatimukset voivat vaikuttaa lasipaksuuden valintaan. Parvekelaseja voidaan asentaa joko yrityksen valmistaman parvekekaiteen päälle tai työmaalla jo valmiina olevan elementin päälle. Tällaisia elementtejä ovat yleensä esimerkiksi betonimuurit. Parvekelasit voidaan asentaa myös lattiatasoon, kunhan lattiarakenne on sellainen, että se sallii kiinnityksen. Lasituksia on kahta eri tyyppiä, ala- ja yläkantoisia. Se, kumman tyyppistä lasitusta käytetään, riippuu yleensä ympäröivistä rakenteista. Mikäli lasituksen yläpäälle ei ole tarpeeksi jyvettä kiinnityspintaa, on parempi käyttää alakantoista lasitusta. Jos yläpäässä taas on esimerkiksi betonia tai terästä, käytetään yleensä yläkantoista lasitusta. Kohdeyrityksen valmistamista parvekelaseista valtaosa on tyypiltään yläkantoista lasitusta. Myös tässä työssä keskitytään ensisijaisesti yläkantoisen lasituksen valmistukseen.

Parvekelasien valmistus on tällä hetkellä suurin pullonkaula kohdeyrityksen tuotannossa. Parvekelasien valmistuksessa työvaiheita on neljä; lasilistojen koneistus, lasilistojen varustelu, kokoonpano, eli lasilistojen kiinnittäminen lasiin, sekä valmiiden parvekelasien pakkaus.

Parvekelasituotanto alkaa lasien ja lasilistaprofiilien vastaanottamisella. Lasit saapuvat lasipukeissa toimittajalta täysin valmiina lasilistojen kiinnitystä varten. Alumiiniset lasilistaprofiilit sen sijaan saapuvat varastomittaisina maalattuina salkoina tehtaalle. Tehtaalla ne sahataan oikean mittaisiksi ja niihin tehdään tarvittavat koneistukset, joihin kuuluu niittien ja laakerien kiinnitystä varten tehtävien reikien poraus. Koneistuksen jälkeen lasilistat siirtyvät välivarastoon ennen varustelua. Varustelussa lasilistoihin kiinni-

tetään laakerit, saranat ja päätytulpat, jonka jälkeen ne ovat valmiina lasiin kiinnittämistä varten. Valmiit lasilistat välivarastoidaan hyllyköihin odottamaan kiinnitystä.

Parvekelasien kokoonpanoa, eli lasilistojen kiinnitystä lasiin, tehdään kolmella kokoonpanopöydällä. Yhdellä pöydällä työskentelee yleensä kaksi työntekijää. Toinen työntekijöistä kiinnittää lasilistat lasin alapäähän ja toinen yläpäähän. Mikäli pöydällä on syystä tai toisesta vain yksi työntekijä, työaika yli kaksinkertaistuu. Kiinnityksen valmistelu aloitetaan siirtämällä lasipukit ja valmiit lasilistat linjaston läheisyyteen. Työntekijät nostavat pöydälle niin monta lasia kuin siihen mahtuu ja jakavat näille laseille oikeat lasilistat. Työntekijät levittävät liiman yksitellen jokaiseen lasilistaan ja asettavat ne lasiin. Tämän jälkeen he kiertävät vielä kaikki lasit läpi ja kiinnittävät vetoniitit ja näiden päälle tulevat niitinpeitetulpat. Alalasilistaan vedetään lopuksi silikonisauma, joka estää veden pääsyyn lasilistaan. Lasilistojen kiinnityksen jälkeen parvekelasit nostetaan lavalle ja ne ovat valmiina pakkausta varten. Valmiiden parvekelasien pakkaus tehdään manuaalisesti, jonka jälkeen valmiit parvekelasilavat varastoidaan odottamaan kuljetusta työmaalle.

Yksittäisistä työvaiheista suurin pullonkaulan aiheuttaja on lasilistojen kiinnitys lasiin. Tämä johtuu enimmäkseen siitä, että kyseisen työvaiheen valmisteluun, kuten lasien nosteluun kokoonpanopöydälle, kuluu paljon enemmän aikaa kuin varsinaiseen teholliseen työhön, eli lasilistan kiinnittämiseen. Suuren ajankäytön lisäksi valmistelevat työt ovat fyysisesti kuormittavia, erityisesti lasien nostaminen kokoonpanopöydälle ja -pöydältä pois. Suurimpien lasien siirtelyyn on käytössä imukuppinostimet, joilla pystytään nostamaan laseja aina 80 kg:n asti.

### **3.2 Automaatiohankkeen lähtökohdat**

Tarkoituksena tässä työssä oli siis selvittää edellytykset parvekelasituotannon suurimman pullonkaulan, eli lasilistan kiinnittämiseksi lasiin, automatisoimiseksi. Tällä hetkellä yhdeltä kokoonpanopöydältä saadaan valmista parvekelasia noin 10 mittayksikköä työpäivän aikana. Yhden lasin kokoonpanoaika on noin 30 aikayksikköä. Tavoite robotisolun kapasiteetin nostoon on nykyisillä lasien varusteilla 100 %, eli yhden lasin kokoonpanoaika olisi 15 aikayksikköä.

Ennen työn alkua määrittelimme kohdeyrityksen kehityspäällikön kanssa lähtötiedot, joiden avulla työtä lähdettiin viemään eteenpäin. Tärkeimpänä näistä oli lasilistan kiinnitystapojen valinta, joita työssä tulnaisiin tutkimaan ja vertailemaan. Kiinnitystapoja valikoitui kolme erilaista, joiden ominaisuuksia ja eroavaisuuksia työssä tutkittiin laboratoriotesteillä, kustannuslaskelmilla ja vertailuilla tuotantonopeudessa. Lasilistan kiinnitys-

tavan valinta on koko työn keskeisin asia, koska se vaikuttaa olennaisesti myös lasityyppiin ja koko tuotantoprosessiin. Kiinnitystapojen tutkimisessa hyödynnettiin myös kohdeyrityksessä aiemmin kerättyä kokemusta erilaisista menetelmistä, sekä kirjallisuudesta saatua informaatiota. Vertailtaviksi valikoidut kolme lasilistan kiinnitystapaa olivat seuraavat:

1. Säilytetään nykyinen kiinnitystapa, eli liima ja vetoniitti.
2. Kiinnitetään lasilistat pelkästään liimalla.
3. Käytetään liiman lisäksi mekaanista pidikettä, joka tarkoittaa käytännössä uralasin käyttöä. Tällöin liiman määrä saataisiin pienemmäksi, kun lasissa oleva ura toimisi mekaanisena pidikkeenä.

Automatisoitavat työvaiheet olivat pääpiirteittäin selvillä jo työtä aloittaessa. Näihin kuuluisivat lasien nostaminen kokoonpanopöydälle, liiman levittäminen lasilistaan, lasilistan kiinnittäminen, sekä valmiin lasin nostaminen lavalle odottamaan pakkausta. Pakkaaminen suoritettaisiin manuaalisesti, kuten nykyäänkin.

### **3.3 Tuotteen soveltuvuus automatisoituun kokoonpanoon**

Nykyistä liimalla ja vetoniiteillä kokoonpantavaa tuotetta ja sen manuaalista kokoonpanoa arvioitiin tuote- ja tuotantoanalyysin avulla. Kokoonpanosta kerättiin dataa kelloittamalla eri työvaiheisiin kuluvia aikoja. Näitä aikoja hyödynnettiin kustannus- ja kapasiteettivertailuissa. Lisäksi pelkästään liimalla kiinnitettävän alakantoisen lasituksen kokoonpanoaikoja selvitettiin, että saatiin käsitys myös tämän kiinnitystavan nopeudesta manuaalisesti. Kustannus- ja kapasiteettivertailujen lisäksi nykyisen tuotteen toimivuutta pohdittiin sen automaattisen kokoonpantavuuden osalta. Kustannusvertailuja varten selvitettiin eri lasityyppien, lasilistaprofiilien ja tarvikkeiden hintoja. Materiaalien lisäksi kustannusvertailuissa on huomioitu manuaalisen työn hinta.

Automaattisen kokoonpanon kapasiteettia analysoidessa hyödynnettiin jo olemassa olevaa dataa. Kohdeyritys on jo aiemmin kartoittanut robottisolujen ominaisuuksia ja niiden työnopeutta. Kapasiteettivertailussa käsiteltiin ainoastaan yhtä työvaihetta, eli lasilistan kiinnitystä lasiin. Sekä manuaalisessa että automatisoidussa työssä lähtötilanne on se, kun lasilistat ja lasit ovat valmiina kokoonpanopöydän vieressä odottamassa. Työvaihe on valmis, kun valmiit parvekelasit ovat lavalla odottamassa pakkausta.

### 3.3.1 Lasilistan kehitys ja testaus

Testataksemme vaihtoehdon numero kaksi mukaista kiinnitystä, kehitimme liimantoinnituksen laskelmiin perustuen yhteistyössä kohdeyrityksen kehityspäällikön ja alumiinintoinnituksen kanssa uuden lasilistan. Tärkeimpänä elementtinä oli tarpeeksi ison liimatilan muodostuminen, yrittäen kuitenkin pitää lasilistan ulkoisen koon järkevänä.

Tilasimme uusista lasilistoista koekappaleet testataksemme liimauksen pitävyyttä vetotesteillä. Testejä suoritimme kahdella eri lasipaksuudella, 6 mm ja 10 mm. Vetotestit toteutettiin siten, että tilasimme 300x200x6 mm ja 300x200x10 mm kokoisia testilaseja. Laseihin liimattiin listat ja annettiin niiden kuivua. Esikäsitteilyn eroja vertailleksemme osa listoista esikäsiteltiin ja osa liimattiin ilman esikäsitteilyitä. Testilaboratoriossa käytössämme oli myös sääkaappi, jossa saimme altistettua tuotteita erilaisille lämpötiloille ja kosteudelle ennen testin suorittamista. Vetotesti suoritettiin kuvan 15 mukaisella laitteistolla.



*Kuva 15. Lasilistojen vetotestit*

Teimme myös liiman tarttuvuutta alumiiniin tarkastelevia testejä yhdessä liimantoinnituksen edustajan kanssa. Nämä testit suoritimme halkaisemalla listat kahtia, jolloin pääsimme käsittelemään listan varsinaista liimatilaa esteettä. Näissä testeissä ei käytetty laseja ollenkaan, vaan liima levitettiin listan liimatilaan ja tutkimme sen tarttuvuutta pel-

kästään alumiiniseen listaan. Vertaillaksemme esikäsittelyn eroja, osa listoista esikäsiteltiin ja osa ei.

### 3.4 Robottisolut ja materiaalivirta

Roboteilta vaadittavat ominaisuudet määräytyvät tuotteen perusteella. Kantokyky ja ulottuvuus määräytyvät suurimpien mahdollisten lasien mukaan. Lisäksi robottien täytyy pystyä tunnistamaan käsiteltävän lasin ja lasilistan positio, sekä mittaamaan valmiin tuotteen ristimita.

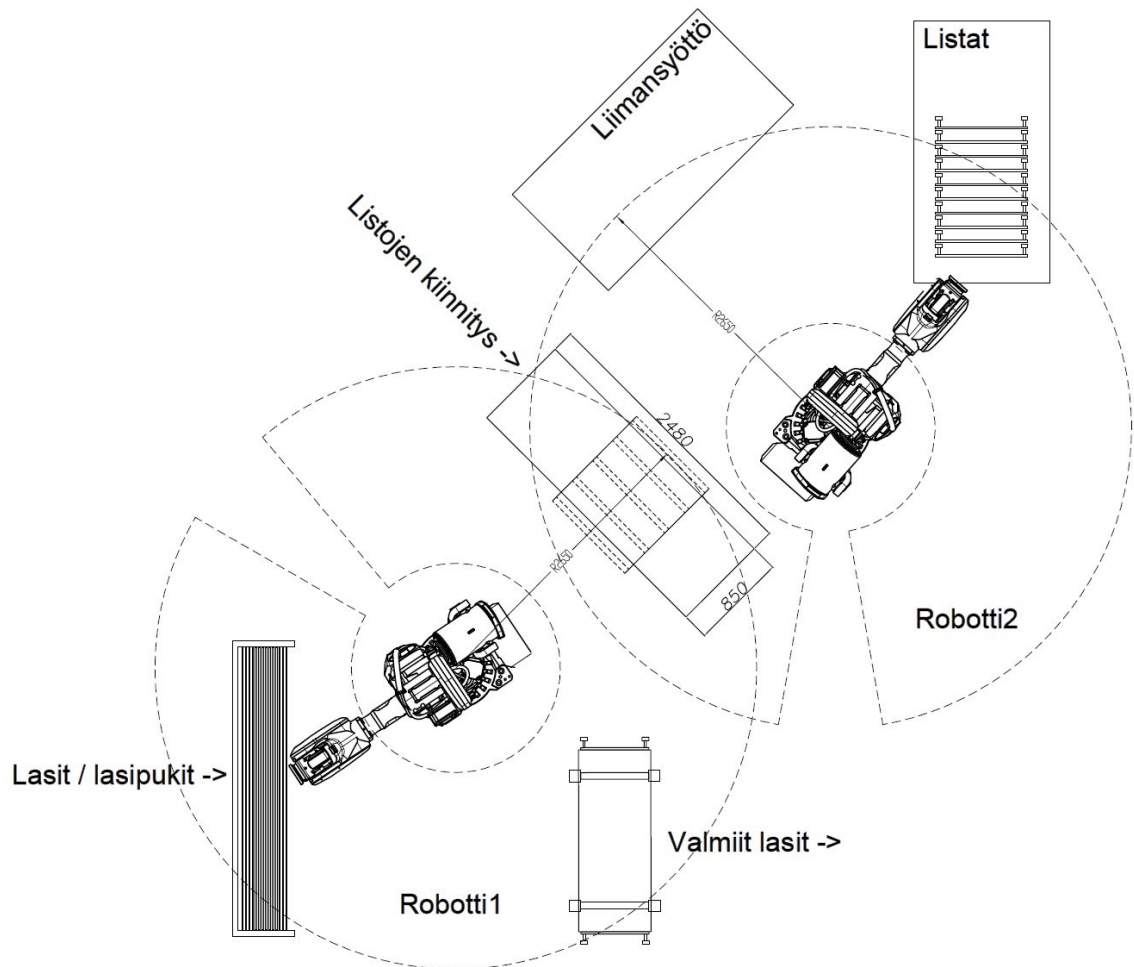
Näkemyksiä materiaalivirtoihin kerätessä käytössä oli yhtenä tutkimusmenetelmänä benchmarking, joka käytännössä tarkoitti yritysvierailua. Yritysvierailun kohteena oli yritys, joka valmistaa levymäistä tuotetta, jonka sivuille liitetään listoja liimaamalla. Työvaiheet olivat siis hyvin samankaltaiset kuin tämänkin työn tapauksessa. Kohdeyrityksen tuotantoon verrattuna erona heidän tuotannossaan automatisoituja työvaiheita oli ennen varsinaista listojen kiinnitystä useampiakin. Meidän suurin kiinnostuksen kohteemme oli heidän käytössään olevan levyjä ja listoja käsittelevän robottisolun toiminta.

Toisena tutkimusmenetelmänä käytettiin strukturoimattoman eli avoimen haastattelun kaltaisia keskusteluita kohdeyrityksen henkilöstön kanssa. Keskusteluissa käytiin läpi tuotannon sujuvuuteen liittyviä asioita. Keskusteluiden perusteella kerättyä dataa analysoitiin ja pyrittiin löytämään yhteisiä tekijöitä, jotka sujuvuutta parantavat. Näistä rakennettiin kokonaiskuva, jonka avulla materiaalivirtojen kulkua lähdettiin suunnittelemaan.

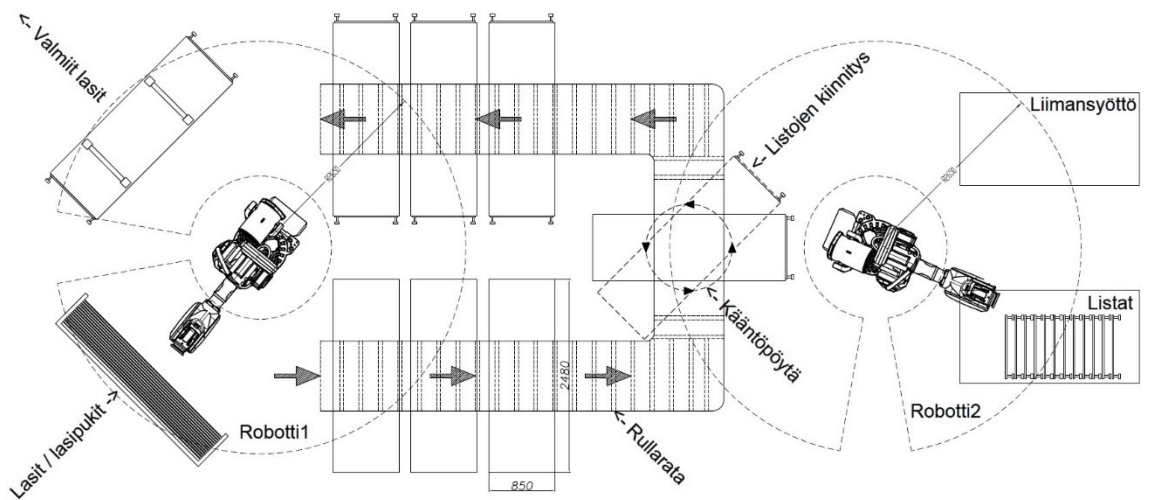
Kolmantena tutkimusmenetelmänä materiaalivirtaa ja robottisolun erilaisia kokoonpanoja suunniteltaessa käytettiin simulointia. Simulointiohjelmistona käytössä oli Visual Components, sekä erilaisista layouteista 2D-luonnoksia tehdessä CADMATIC. Visual Components -ohjelmistolla saadaan tarkkoja ja visuaalisesti totuudenmukaisia simulointimalleja, joista on suuri hyöty havainnollistaessa suunnitelmia. Lisäksi ohjelmiston avulla saadaan hyvä käsitys robottien ulottuvuuksista.

Simulointimallit robottisoluista toteutettiin siten, että solun layoutista luotiin ensin 2D-piirros. Soluja mallinnettiin kaksi erilaista, jotka ovat nähtävillä kuvista 16 ja 17. Molemmissa layouteissa on kaksi robottia, joista toinen käsittelee laseja ja toinen lasilistojaa. Laseja käsittelevä robotti myös asettaa välituet valmiiden lasien päälle. Välituet tarvitaan siksi, että listat pysyvät halutussa asennossa ja liimaus ei siten kärsi. Lisäksi välituet estävät alumiinisten listojen koskettamasta ja naarmuttamasta toisiaan. Suurimpia eroavaisuuksia layouteissa on materiaalivirran kiertosuunta, sillä versiossa 1 lasit syötetään soluun vasemmalta ja valmiit parvekelasit tulevat ulos solusta oikealta. Versios-

sa 2 lasit syötetään myöskin vasemmalta, mutta valmiit parvekelasit tulevat ulos samaan suuntaan. Versiossa 2 vaaditaan myös hieman enemmän lattiapinta-alaa solun toteutukseen.



**Kuva 16. Robottisolun layout, versio 1**



**Kuva 17. Robottisolun layout, versio 2**

## 4. TYÖN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

Tässä luvussa käsitellään työssä syntyneitä tuloksia ja vastataan luvussa 1 esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Työn empiirinen osa alkoi selvittämällä lasilistojen kiinnityksen eri tapoja ja niiden eroja. Tämän jälkeen tehtiin avoimia haastatteluita ja yritysvierailu, jonka jälkeen ryhdyttiin tekemään simulointimalleja ja määrittämään roboteilta vaadittavia ominaisuuksia.

Tuotekehitys kohdistui tässä työssä lasilistojen ja kiinnitystavan kehittämiseen automatisoidun kokoonpanon edellytyksiä silmällä pitäen. Tuotekehityksen osalta merkittävimpänä selvitettävänä asiana oli se, että luovutaanko lasilistojen kiinnittämisessä kokonaan niiteistä ja siirrytään pelkällä liimalla kiinnittämiseen. Joillain kilpailevilla yrityksillä tiedetään olevan jo tällainen kiinnitysmenetelmä käytössä. Vertailussa oli kaikkiaan kolme erilaista kiinnitystapaa, jotka olivat määriteltä ennen työn aloittamista.

### 4.1 Lasilistojen kiinnitystapa

Ensimmäinen tutkimuskysymys kuului, että **voidaanko / kannattaako tuotanto automatisoida nykyisellä tuotteella vai tarvitaanko siihen muutoksia**. Työn alussa lasilistojen kiinnitykseen oli kolme erilaista vaihtoehtoa. Lasilistat kiinnitettäisiin lasihin joko liimalla ja niiteillä, pelkästään liimalla, tai liimalla ja mekaanisella pidikkeellä. Mekaaninen pidike tarkoittaa käytännössä uralasin käyttöä. Näistä ensimmäinen, eli liimalla ja niiteillä kiinnittäminen, on yrityksen tämänhetkinen menetelmä.

Kohdeyrityksen tuotteisiin kuuluu myös alakantoinen lasitus, jossa käytetään pelkästään liimakiinnitystä. Tästäkin kiinnitystavasta löytyy siis jo kokemusta. Yläkantoisessa lasituksessa, jota suurimmaksi osin tuotannon läpi kulkee, on puolestaan käytetty liimaa ja niittejä lasilistojen kiinnitykseen koko yrityksen olemassaolon ajan. Siirtymistä myös yläkantoinen lasin osalta pelkällä liimalla kiinnittämiseen on kohdeyrityksessä harkittu aiemminkin, mutta tätä ei ole vielä tähän mennessä toteutettu erinäisten haasteiden takia. Samoihin haasteisiin törmättiin tämänkin työn puitteissa. Haasteiksi ovat muodostuneet liiman suuri määrä ja/tai erilaisten lasityyppien toimittajien vähyys. Lisäksi pelkästään liimalla kiinnitettävien lasilistojen asennus on manuaalisesti hidasta. Tämä ei ole alakantoinen lasien osalta merkittävästi haitannut, koska niitä on tuotannossa vain satunnaisesti. Alakantoisessa lasituksessa on säästyty myös suurelta lii-

määrältä, koska kiinnitykselle ei kohdistu niin suuria voimia kuin yläkantoisessa lasituksessa. Tällöin liimaa riittää pienempi määrä eikä ole tarvetta mekaanisille kiinnikkeille.

Lasilistan kiinnitykseen liittyen tutkittiin myös kirjallisuutta, jonka perusteella paras tapalistan kiinnittämiseen olisi pelkkä liimaus. Tämä perustuu siihen, että kaikenlaiset epäjatkuvuudet lasissa heikentävät sen kestävyyttä. (Sutela 2003, s. 9) Niittikiinnityksessä tällaisina epäjatkuvuuskohtina toimivat reiät ja uralasisissa viivamainen ura. Uralasin kohdalla ongelmaksi muodostui selkeän epäjatkuvuuskohdan lisäksi lasitoimittajien vähäinen määrä. Nämä syyt olivat niin painavia, että tämä vaihtoehto hylättiin jo aikaisessa vaiheessa, eikä sitä huomioitu muissa vertailuissa.

Jäljelle jäävistä vaihtoehdoista ensimmäisenä lasilistojen kiinnittämiseen oli säilyttää nykyisellään käytössä oleva tapa, eli liima ja vetoniitti. Tässä etuna olisi se, että tämä tapa on todettu toimivaksi, eikä sen osalta millekään testeille olisi tarvetta. Kehitystyölle ei myöskään olisi tarvetta, sillä lasilistat ja lasit, sekä niiden toimittajat olisivat valmiiksi jo olemassa. Automaattisen kokoonpanon osalta tämä vaihtoehto on puolestaan heikompi, johtuen suuremmasta kiinnitystarvikkeiden ja työvaiheiden määrästä. Markkinoilta löytyy kyllä välineet vetoniittienkin automaattiseen kiinnitykseen, mutta tämä lisää robotin työkalujen vaihtomäärää ja heikentää siltä osin tuotantonopeutta. Lisäksi vetoniittien päälle olisi asetettava peitetulpatkin, joko manuaalisesti tai automaattisesti. Ongelmaksi muodostuu lisäksi alalasilistan ja lasin saumaan vedettävä silikonitiivistys. Tämä olisi myös tehtävä automaattisesti robotin toimesta, tai manuaalisesti. Mikäli nämä vaiheet tehtäisiin manuaalisesti, täytyisi se tehdä lasien ollessa lavalla päällekkäin odottamassa pakkausta. Tämä ei ole haastatteluiden perusteella toivottavaa. Automaattisesti kaikki vaiheet tehtäessä robottisolun toteutus on haastavampaa ja työkierto pitkäkestoisempi.

Toisena jäljelle jäävistä vaihtoehdoista oli luopua niiteistä lasilistojen kiinnityksessä ja hoitaa kiinnitys ainoastaan liimalla. Niiteistä luopumista puolsi se, että niiden pois jääminen myötä työvaiheita jäisi pois niin työstö- kuin kiinnitysvaiheestakin. Työstövaiheesta jäisi pois lasilistaan tehtävät niittien kiinnitysreiät. Kiinnitysvaiheesta pois jäisi niittaaminen itsessään, sekä niittien päälle asennettavien peitetulppien asennus. Työvaiheiden pienempi määrä helpottaisi robottisolun toteutusta. Ongelmaksi liimalla yksistään kiinnittäessä puolestaan muodostuu liiman määrä. Liimaa tarvitaan huomattavasti enemmän ja kustannukset kasvavat siltä osin. Taulukossa 6 on esitetty liimantoimittajan laskelmat liimamäärästä eri lasipaksuuksille. Liimakustannusten kasvua kompensoi puolestaan säästöt lasin hinnassa, kun siihen ei olisi tarvetta tehdä reikiä vetoniittien kiinnitystä varten. Laseissa ei olisi myöskään enää yhtään epäjatkuvuuskohtaa, mikä paran-

taisi lasin kestävyyttä. Kustannussäästöjä ja tehokkuutta tuotantoon osaltaan toisi myös niittien ja peitetulppien pois jääminen, sekä työvaiheiden väheneminen. Reikien pois jääminen niin laseista kuin lasilistoistakin poistaisi mahdollisten toleranssiheittojen tuomat ongelmat. Ulkonäöllisesti lasilista näyttäisi yhtenäisemmältä, kun vetoniittien peitetulppia ei tarvittaisi. Automatisoinnin kannalta pelkällä liimalla kiinnittäminen on yksinkertaisin vaihtoehto.

*Taulukko 6. Liimatoimittajan laskelmat eri lasipaksuuksille*

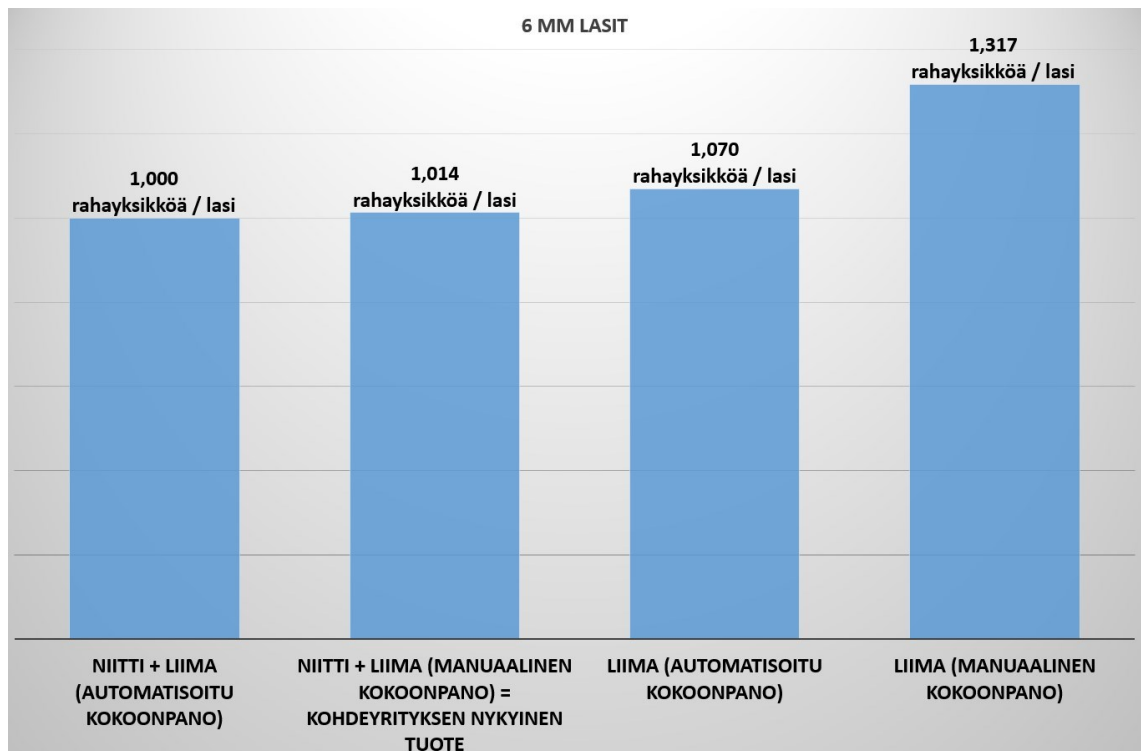
<b>Lasin mitat</b>	<b>Max. tuuli-kuorma</b>	<b>Min. liimaliitos lasin molemmin puolin</b>
750 mm x 1730 mm x 6 mm	2,4 kPa	22 mm x 3 mm
750 mm x 1930 mm x 8 mm	2,4 kPa	29 mm x 3 mm
750 mm x 2530 mm x 10 mm	2,4 kPa	43 mm x 3 mm
750 mm x 2880 mm x 12 mm	2,4 kPa	56 mm x 3 mm

Tutkiaksemme lisää lasilistan kiinnittämistä pelkällä liimalla suunnittelimme uuden lasilistaprofiilin, koska nykyisissä lasilistoissa ei ole tarpeeksi tilaa vaadittavalle liimamäärälle. Uusille lasilistoille ja kiinnitystavalle suoritettiin vetotestejä, joista saadut tulokset eivät olleet toivotunlaiset. Tuloksissa oli paljon hajontaa ja suurin osa listoista alkoi luisutamaan laseista jo hyvinkin pienillä voimilla. Liima oli tarttunut heikosti alumiiniseen lasilistaan, mutta lasiin liiman tartunta oli hyvä. Testeissä ei ilmennyt selkeitä eroja esikäsiteltyjen ja esikäsittelemättömien listojen välille, joten epäilimme esikäsitelyssä menneen jonkin vikaan.

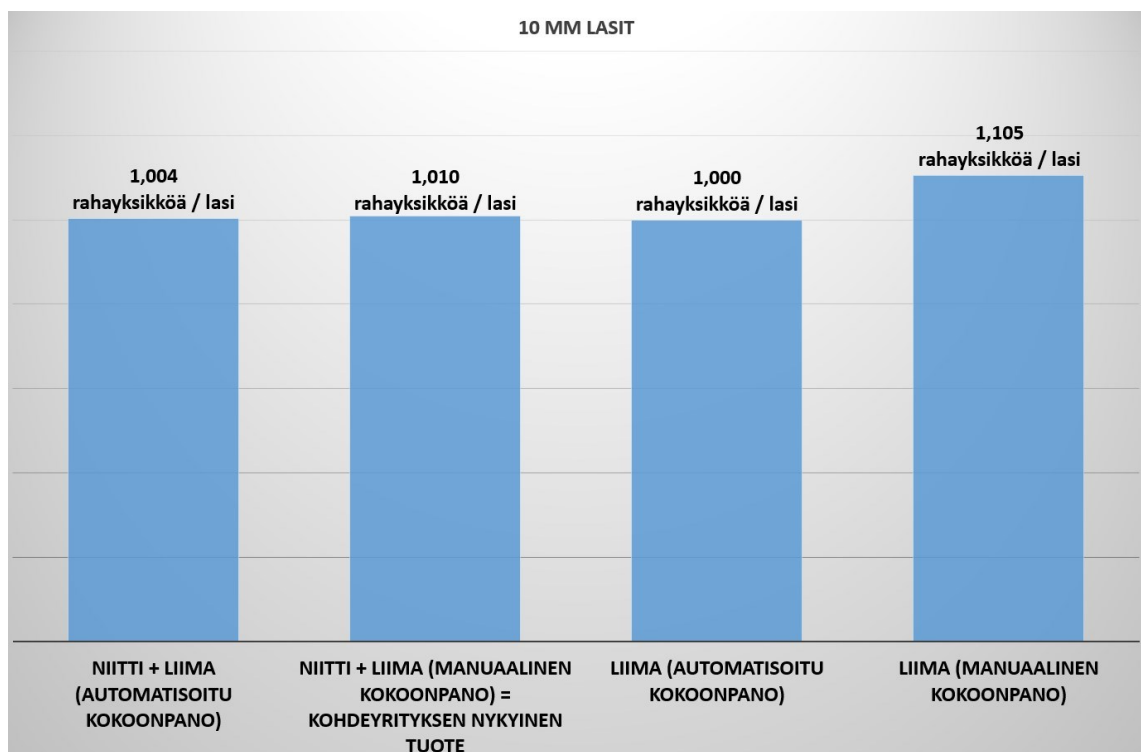
Toisen testin tulokset tukivat epäilyä, että esikäsitely oli ensimmäisissä testeissä epäonnistunut. Tässä testissä testasimme liiman tarttuvuutta pelkästään alumiiniin. Testeissä oli mukana myös liimatoimittajan edustaja. Näistä testeistä saimme selville, että liima tarttuu esikäsiteltyyn listaan erinomaisesti. Esikäsittelemättömään listaan liiman tartunta oli puolestaan erittäin heikkoa. Johtopäätöksenä näistä testeistä, joudumme kehittämään esikäsitelymenetelmää, joka soveltuu paremmin uusiin listoihin. Uudet vetotestit, joissa listat liimataan laseihin, ovat vielä tämän jälkeen paikallaan.

Lasilistojen kiinnitystapojen vertailuun liittyen työssä tehtiin lisäksi kustannuslaskelmia, joissa vertailtiin nykyisen manuaalisesti suoritettavan kokoonpanon ja tulevan automaatiojärjestelmällä suoritettavan kokoonpanon kustannuseroja. Kustannusvertailuja tehtiin kahdelle jäljellä olevalle kiinnitystavalle. Laskelmissa on huomioitu hinnat laseista, tarvikkeista, liimasta, lasilistaprofiileista, sekä työstä. Työlle on saatu hinta laskettua

kellottamalla tuotannon eri työvaiheita. Pakkaukseen ja automaatiojärjestelmän ylläpitoon liittyviä kustannuksia ei ole huomioitu. Suurimmat tekijät kustannuksissa ovat lasit, liima ja lasilistaprofiilit. Laskelmissa on vertailtu 6 mm ja 10 mm lasia eri kiinnitysmenetelmillä, sekä manuaalisesti että automaattisesti toteutettuna. Kustannuslaskelmien tulokset ovat nähtävillä 6 mm lasien osalta kuvassa 18 ja 10 mm lasien osalta kuvassa 19.



**Kuva 18.** Kustannusvertailu, 6 mm lasit



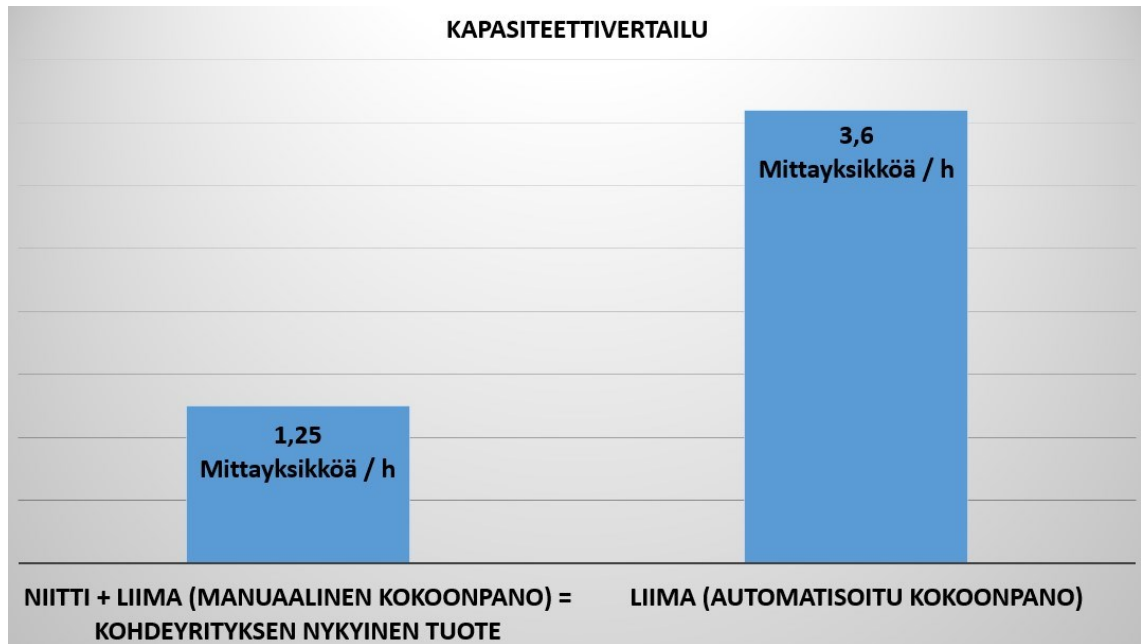
**Kuva 19.** Kustannusvertailu, 10 mm lasit

Laskelmissa on huomioitava, että pelkästään liimalla kiinnitettävien vaihtoehtojen kustannukset on laskettu liimalaskelmien mukaisella liimamäärällä. Liimamääriä voidaan vielä optimoida ainakin alalasilistan osalta, koska sen kiinnitykselle ei kohdistu niin suuria kuormia kuin ylälasilistaan. 10 mm laseissa automatisoitu kokoonpano pelkällä lii-

malla on jo ennen liimamäärän optimointia kustannustehokkain. Automatisoitujen kokoonpanojen osalta 6 mm lasissa päästään arviolta noin 1–3 %:n päähän vetoniiteillä ja liimalla kiinnitettävästä kokoonpanosta. Koko tuotteen kustannusten kannalta tämä ero on käytännössä merkityksetön. Lisäksi on huomioitava, että automatisoitu kokoonpano vetoniiteillä ja liimalla tulisi olemaan hitaampaa työvaiheiden suuremman määrän johdosta, kuin kokoonpano pelkällä liimalla. Kustannuslaskelmien silmiinpistävin huomio on se, että pelkästään liimalla kiinnitettävä lista ei ole kannattavaa manuaalisesti kokoonpantuna. Suuri ero muihin johtuu manuaalisen työn hitaudesta. Lisäksi työn tasalaatuisuus on ehdottoman tärkeää, kun lasilistoja kiinnitetään pelkällä liimalla. Robottien avulla tällainen tasalaatuisuus on helpommin saavutettavissa, joten myös tästä syystä manuaalinen kokoonpano ei ole toivottavaa tällä kiinnitystavalla.

Parhaaksi vaihtoehdoksi lasilistan kiinnitykseen päädytään valitsemaan tässä työssä liimaus. Painavin syy tähän on työvaiheiden väheneminen ja sen ansiosta automaatiojärjestelmän helpompi toteuttaminen ja tuotannon tehostuminen. Lisäksi asiat, kuten lasin epäjatkuvuuskohtien poistuminen ja lasilistan yhtenäisempi ulkonäkö tukevat tätä valintaa. Ainoa asia, mikä on tämän valinnan vastainen, on kiinnityskustannukset 6 mm lasin osalta. Tämäkin asia saadaan kuitenkin liimamäärän optimoinnilla sellaiselle tasolle, että sillä ei juurikaan ole käytännön merkitystä.

Työssä tehtiin lisäksi kapasiteettivertailuja, joissa vertailtiin nykyistä vetoniiteillä ja liimalla toteutettavaa manuaalista kokoonpanoa ja pelkästään liimalla kiinnityksen toteutettavaa automatisoitua kokoonpanoa. Vertailut tehtiin selvittämään, että onko automatisoidulla järjestelmällä mahdollista saavuttaa haluttu 100 %:n kapasiteetin kasvatus. Manuaalista kokoonpanoa varten kerättiin dataa kellottamalla työvaiheita. Automatisoidun kokoonpanon kapasiteettia määriteltäessä käytettiin hyödyksi yrityksen aiemmin kartoittamaa dataa automatisoidun järjestelmän ominaisuuksista. Kapasiteettivertailun tulokset ovat nähtävillä kuvassa 20.



*Kuva 20. Kapasiteettivertailu*

Kapasiteettivertailusta saatiin selville, että tavoitteeksi asetettu 100 %:n kapasiteetin nosto yhteen kokoonpanopöytään verrattuna onnistuu helposti. Kun robottisolu on saatu valmiiksi ja toimimaan täydellä teholla, on sen teoreettinen kapasiteetti vertailun mukaan 2,88-kertainen yhteen manuaaliseen kokoonpanopöytään verrattuna. Yhdellä robottisolulla päästäisiin siis lähes samoihin lukemiin, kuin nykyisellä kolmella manuaalisella kokoonpanopöydällä yhteensä.

## 4.2 Materiaalivirrat

Toinen tutkimuskysymys kuului, että **miten materiaalivirta on paras toteuttaa automaatiojärjestelmään**. Tämä kysymys on tärkeä siksi, että sujuva materiaalivirta auttaa tuotantoa pysymään nopeana ja selkeänä. Robottisoluun tulevaa ja lähtevää materiaalivirtaa miettiessämme esiin nousi erilaisia tapoja, etenkin lasilistojen osalta. Materiaalivirtoja suunniteltaessa työmenetelminä käytettiin benchmarkingia (yritysvierailu), kohdeyrityksen henkilöstön kanssa pidettyjä avoimia haastatteluita, sekä simulointia.

Erityisen haastavaksi tässä tapauksessa materiaalivirran suunnittelun teki se, että tuote ei ole vakiokokoinen. Lasien ja lasilistojen koot vaihtelevat useimmiten parvekkeittain. Lasien korkeus vaihtelee 10 mm välein ja lasien leveys milleittäin, yleensä 500–850 mm välillä. Materiaalin täytyy kulkea siis myös oikeassa järjestyksessä, eikä vain parasta mahdollista reittiä. Tästä syystä roboteissa täytyy olla myös jonkinlaiset konenäöllä toimivat tunnistimet varmistamaan, että käsittelyssä ovat oikeat toisiinsa sopivat lasit

ja lasilistat. Laseihin voitaisiin mahdollisesti lisätä lasitoimittajan puolesta QR-koodi, jonka robotti voisi lukea. Lasilistoihin taas voitaisiin lisätä vastaava tunniste tehtaalla.

Lasit saapuvat tehtaalle lasipukeissa valmiina lasilistan kiinnitystä varten, joten niiden kulkureitti robottisoluun on selkeä. Kun projektin lasit saapuvat tehtaalle, ne varastoidaan siksi aikaa, kunnes kyseisen projektin lasilistat ovat valmiina ja parvekelasien valmistus voidaan aloittaa. Mikäli lasilistat ovat jo valmiina ennen lasien saapumista, voidaan lasit ottaa heti työn alle ilman lasien välivarastoimista. Lasien reitti robottisoluun on siis suora ja ne sijoitetaan laseja käsittelevän robotin ulottuville. Kun lasipukin kaikki lasit on saatu kulkemaan robottisolun läpi ja parvekelasit ovat valmiita, siirretään tyhjä lasipukki syrjään ja otetaan uusi täysi lasipukki tilalle. Lasipukin siirtämiset hoidetaan manuaalisesti.

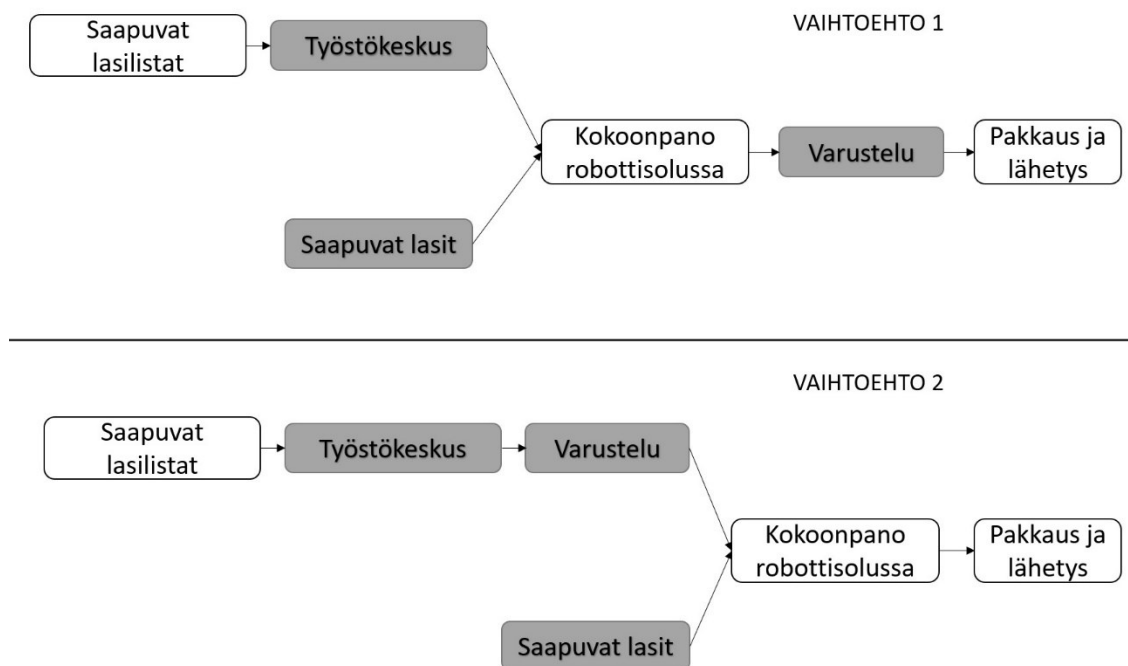
Lasilistojen osalta reitti robottisoluun voidaan toteuttaa ainakin kahdella eri tavalla. Lasilistojen täytyy kulkea molemmissa tapauksissa ensin sahan tai työstökeskuksen kautta, että ne saadaan oikeaan mittaan. Tästä eteenpäin reitti voi joko kulkea suoraan kuljetinta pitkin robottisoluun tai välivaraston kautta lasilistojen varusteluun.

**Ensimmäinen** tarkasteltava vaihtoehto on kulkea suoraan työstökeskukselta robottisoluun. Tällä tavalla lasilistat tulisivat varmasti positioittain siinä järjestyksessä, missä ne on suunniteltu kulkevan. Työstökeskuksen tulisi olla robottisolun läheisyydessä, että kuljettimen pituus saataisiin pidettyä järkevänä. Suurimmaksi ongelmaksi tässä tavassa muodostuu lasilistojen varustelu. Varustelu täytyisi tehdä valmiiseen parvekelavaan päin, lasilistojen jo ollessa laseissa kiinni. Tästä toimintatavasta on jo kokemusta alakantoisten lasien varustelussa ja näiden kokemusten mukaan tämä tapa on hitaampaa kuin lasilistojen varustelu irrallisena. Myös haastatteluissa tämä asia tuli esille. Lisäksi lasien ollessa lasien päällekkäin pakattuna lavalla, listojen varustelu on työntekijälle epäergonomista. Näin ollen tämä toimintatapa ei ole toivottu.

**Toinen** vaihtoehto lasilistojen reitiksi on kulkea työstökeskukselta varusteluun ja siitä robottisolun syöttölaitteelle. Hyvä puoli tässä on se, että tällä tavalla toimiessa lasit ovat pakkausta vaille täysin valmiita, kun ne saadaan robottisolusta ulos. Toisena hyvänä puolena listojen tässä reitissä on se, että irrallisille lasilistoille tulee varustelussa tarkempi silmämääräinen tarkistus kuin suoraan työstökeskukselta kulkeutuessa. Lasilistoissa voi olla maalausvirheitä tai naarmuja, joita ei ole vielä välttämättä huomattu työstövaiheessa. Kun nämä kosmeettiset virheet huomataan tehtaalla varusteluvaiheessa, on listan uudestaan tekeminen vielä melko vaivatonta. Jos lasilista ehditään liimaamaan jo lasiin, virheitä lasilistassa ei huomata välttämättä ennen kuin vasta työmaalla. Lasilistojen vaihtaminen tässä vaiheessa koituu huomattavasti kalliimmaksi ja hanka-

lemmaksi. Lasilistoissa voi myös olla painaumiä lasitilassa, jolloin lasilista ei sovi lasiin. Myös nämä virheet huomattaisiin suurella todennäköisyydellä varustelun aikana. Lasilistojen eteneminen työstökeskukselta voisi olla samankaltainen kuin nykytuotannossa, eli oikeaan mittaan työstetyt lasilistat laitetaan hyllyköihin odottamaan varustelua. Varustelun jälkeen lasilistat kuljetetaan lasilistoja käsittelevän robotin syöttölaitteelle. Pieneksi haittatekijäksi voi muodostua lasilistojen käsittely robotin toimesta, kun niissä on saranat ja laakerit kiinni. Liimauspöydän puristimien täytyy myös toimia siten, että lasilistojen varusteet eivät häiritse puristamista.

Edellä kerrottuihin perusteluihin nojaten, päädytään tässä työssä valitsemaan vaihtoehto numero kaksi. Kuvassa 21 on esitetty molemmat vaihtoehdot lasilistojen reiteistä.



**Kuva 21.** Lasilistojen kulku

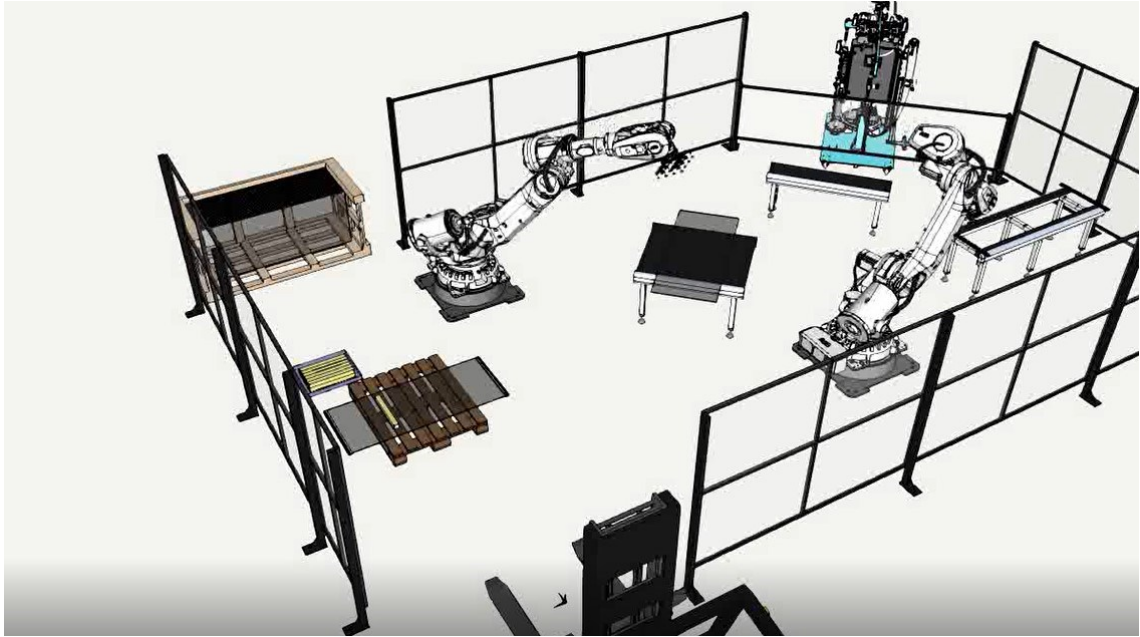
Lasilistojen syöttöön robotille on olemassa erilaisia tarkoitukseen sopivia kuljettimia, kuten keveille tuotteille soveltuvat hihnakuljettimet. Yksinkertaisin tapa lasilistojen syöttöön olisi toteutettavissa painovoimaan toimintansa perustavalla liukukuljettimella. Kun robotti poimii alimman lasilistan käsittelyyn, liukuu seuraavana vuorossa oleva poimittavaksi. Listojen lastaus liukukuljettimelle tapahtuu manuaalisesti. Kuvassa 22 on 3D-mallinnettu havainnekuva liukukuljettimestä.



*Kuva 22. Liukukuljetin*

### **4.3 Vaatimukset roboteille ja robottisolun rakentaminen**

Kolmas tutkimuskysymys kuului, että **mitä ominaisuuksia roboteilta vaaditaan**. Tärkeimmät roboteille kohdistuvat vaatimukset ovat niiden kantokyky ja ulottuvuus. Laseja käsittelevän robotin vähimmäiskantokyky määräytyy suurimman mahdollisimman lasin painon mukaan, joka on noin 75 kg. Listoja käsittelevän robotin tapauksessa kantokyky ei tule ongelmaksi, sillä listat painavat suurimmillaan noin yhden kilon. Ulottuvuutta roboteilla tulisi olla simulaatiomallien perusteella noin 2,7 m. Kuvassa 23 on nähtävillä kuvakaappaus simulointiohjelmistolla tehdystä layout versio 1:stä. Robottisolun layoutin lopulliseen rakenteeseen päädyttäneen, kun automatisointihanke aloitetaan ja mukaan tulee robottisolun toimittaja.



*Kuva 23. Robottisolun simulaatio*

Riittävien fyysisten ominaisuuksien lisäksi roboteilla on oltava jonkinasteinen konenäköjärjestelmä. Konenäön avulla tunnistetaan käsiteltävän lasin ja lasilistan positio. Kun listat on saatu paikalleen, robotin on vielä pystyttävä tarkistamaan valmiin lasin ristimitta. Laseja käsittelevän robotin käsivarressa on oltava alipaineella toimivat imukupitarttujat, joilla täytyisi pystyä käsittelemään myös valmiiden lasien päälle asetettavia tukipaloja. Imukupitarttujassa on otettava myös huomioon sen toiminta sellaisessa tilanteessa, jossa alipaine äkillisesti katoaa. Tällainen tilanne voi aiheuttaa lasirikkojen lisäksi erilaisia vaaratilanteita. Listoja käsittelevän robotin käsivarressa on myös joko imukuppi- tai sormitarttuja.

Suurien hankkeiden toteuttamisessa on tärkeää valita oikea ajankohta. Kohdeyrityksen kiireisin aika osuu yleensä loppukeväästä ja syksyyn, joten tähän peilaten oivallinen aika solun rakentamiseen olisi hiljaisempaa ajankohtana, joko loppusyksyllä tai alkutalvella. Mutta kuten työssä aikaisemminkin on ilmennyt, robottisolun suunniteltu sijoitettavaksi tehtaan laajennuksen yhteydessä uuteen halliin. Tällöin ajankohdalla ei ole niin suurta merkitystä, sillä parvekelasituotantoa pystytään robottisolun rakentamisesta huolimatta jatkamaan manuaalisilla linjoilla häiriöttä. Solun rakentaminen ja testaaminen voi kuitenkin vaatia tuotannon käytössä olevia resursseja, joten suositeltava ajankohta hankkeen aloittamiseen olisi kuitenkin syksy/talvi.

#### **4.4 Tulosten tarkastelu ja pohdinta**

Lasilistojen kiinnitystavan valinnassa suurin vaikuttava tekijä oli automaatiojärjestelmän rakenne ja toteutus, joka haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena. Tämä on par-

haiten saavutettavissa liimattavalla lasilistalla työvaiheiden pienemmän määrän johdosta. Nykyisellä kiinnitystavalla, jossa käytetään liiman lisäksi vetoniittejä, robottisolun rakentaminen ja käyttöönotto voisi tapahtua nopeammin, koska kiinnitystavan testaukselle ja optimoinnille ei olisi tarvetta. Pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna nykyinen kiinnitystapa jäisi kuitenkin ainoastaan liimalla kiinnitettävälle lasilistoille tehokkuudessa jälkeen, robottisolun pidemmän työkierron vuoksi. Kiinnitystapaa valitessa päätökseen vaikuttivat myös kirjallisuuden ja vertailulaskelmien perusteella saadut tiedot, jotka monilta osin tukevat ainoastaan liimalla lasilistan kiinnittävää menetelmää.

Kustannusvertailuja varten dataa saatiin kerättyä hyvin, jonka ansiosta kustannusvertailujen reliabiliteetti on hyvällä tasolla. Ainoastaan alakantoisten lasien, joihin listat kiinnitetään tällä hetkellä manuaalisesti pelkällä liimalla, työaikojen kellotus jäi vaja- vaiseksi. Tämä johtui siitä, että alakantoisia laseja on tuotannossa melko satunnaisesti. Vaikka tiedot työajoista jäivät tämän tuotteen ja kiinnitystavan osalta vajaiksi, olivat ne silti riittävät osoittamaan manuaalisesti suoritettavan liimauksen olevan tehokkuudeltaan heikkoa. Materiaalien ja tarvikkeiden hinnat tarkistettiin ja päivitettiin juuri ennen laskelmien tekoa, joten ne olivat varmasti ajan tasalla. Kustannuksissa muuttuvana tekijänä on työ, jonka määrä vaihtelee projektikohtaisesti. Lasien leveydet myös vaikuttavat suuresti työn sujuvuuteen ja nopeuteen. Mitä kapeampia laseja on, sitä hitaampaa työn eteneminen yleensä on. Kapeita laseja valmistaessa lasien kappalemäärä on suurempi projektin metrimäärää kohden ja lasien sekä lasilistojen siirtelyä on siis enemmän.

Kapasiteettivertailuihin saatiin myös hyvin kerätyksi konkreettista dataa, varsinkin manuaalisen työn osalta. Dataa kerättiin kellottamalla eri työvaiheisiin kuluvia aikoja. Automatisoidun työn osalta käytössä oli jo aiemmin hankittua dataa, josta työhön saatiin varsin hyvin suuntaa. Hankkeen edetessä ja tietojen tarkentuessa on helppo tarkistaa ja päivittää laskelmia tarvittaessa.

Materiaalivirran osalta työssä päädyttiin samankaltaiseen ratkaisuun, kuin nykyisessä manuaalisessakin kokoonpanossa. Tähän päädyttiin enimmäkseen avoimen haastattelun kaltaisten keskusteluiden tuoman aineiston perusteella. Haastatteluiden tuoman aineiston avulla rakennettiin kokonaiskuva sujuvan tuotannon ja materiaalivirtauksen elementeistä. Tämän mukaan ei ole suotavaa, että lasilistoja jouduttaisiin varustelemaan lavalle päin, kun lasilistat on jo kiinnitetty lasiin. Robottisolun layout versio 2:sta ei valitettavasti ehditty luomaan simulointimallia ohjelmiston käyttöoikeuden loppumisen vuoksi.

Roboteilta vaadittavat fyysiset ominaisuudet saatiin pääosin määritettyä. Yksityiskoh-  
taisemmat työkalut ja automaatiojärjestelmässä tarvittavat lisälaitteet riippuvat järjes-  
telmän toimittajan laitevalikoimasta.

## 4.5 Hankkeen jatko

Työn puitteissa ei ehditty jatkokehittämään ja sitä myöden testaamaan liimattavien lasi-  
listojen esikäsitteilymenetelmää. Liimattavien lasilistojen osalta liimamääriä voidaan vie-  
lä optimoida ja tutkia erikseen ala- ja yläpään listat. Alapään lasilistojen kiinnitykselle ei  
kohdistu niin suuria kuormia, joten liimamäärää on ainakin alalasilistan osalta mahdol-  
lista pienentää. Työssä ei tehty kokoonpanoaikojen vertailuja lukuun ottamatta muita  
DFA-vertailuja tuotteelle, joten kokoonpantavuuden osalta tuotetta voidaan analysoida  
lisää. Lasilistojen osalta täytyy myös vielä tutkia, että saadaanko uusi liimattava lasilista  
varmasti toimimaan niin, että se ei tarvitse alalasilistan ja lasin välistä silikonisaumaa.

Robottisolun rakentamiseen ja yksityiskohtiin liittyen otetaan yhteyttä robottisoluja toi-  
mittaviin yrityksiin. Näin päästään huomioimaan automaatiojärjestelmään liittyviä asioi-  
ta, joita ei vielä tämän työn puitteissa ole välttämättä otettu huomioon. Tuoteeseen ja  
ratkaisuihin on vielä tässä kohtaa mahdollista vaikuttaa, mikäli siitä on hyötyä automaa-  
tiorjestelmän toteutuksessa. Tarjouspyyntöjen tukena voi käyttää tämän työn aikana  
luotuja simulointimalleja. Tarjouksien perusteella voidaan arvioida lisää järjestelmän  
kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa.

Materiaalivirtojen ja robottisolun lopullisen sijainnin osalta aletaan tekemään koko teh-  
taan kattavia layout-suunnitelmia. Yhdessä robottisolun toimittajan kanssa laaditaan ai-  
kataulu sekä toteutussuunnitelma projektin toteuttamiseksi. Tässä kohtaa on varmistet-  
tava, että robottisolun toimittajalla on riittävä ymmärrys kohdeyrityksen tarpeista. Sa-  
moin on huolehdittava, että kohdeyritys osaa esittää oikeat vaatimukset robottisolun  
toimittajalle. Toteutussuunnitelmasta tulee käydä ilmi ainakin seuraavat asiat:

- Projektin vastuualueiden jako
- Vaadittavat turvalaitteet
- Toimintaohje mahdollisten projektin muutostöiden varalle
- Automaatiojärjestelmän testaus
- Automaatiojärjestelmän huolto ja kunnossapito
- Työntekijöiden koulutus järjestelmän turvalliseen käyttöön

Täysin automatisoituun kokoonpanoon ja liimattaviin lasilistoihin siirtyminen olisi tapahduttava vaiheittain. Kun robottisolun on saatu valmiiksi ja toimimaan täydellä teholla, on sen teoreettinen kokoonpanokapasiteetti 2,88-kertainen verrattuna yhteen manuaaliseen kokoonpanopöytään. Yhden robottisolun rinnalla olisi siis oltava vähintään yksi manuaalinen kokoonpanopöytä, että tuotannon kapasiteetti pysyy samana, kuin nykyisellä kolmella manuaalisella kokoonpanopöydällä. Ja koska pelkästään liimalla kiinnitettäviä lasilistoja ei ole säännöllisesti tehtynä kannattavaa tehdä manuaalisesti, voisi kokonaan automatisoituun kokoonpanoon siirryttäessä olla käytössä myös nykyinen vetoniiteillä ja liimalla kiinnitettävä lasilista. Tällä nykyisellä menetelmällä voitaisiin siirtymävaiheessa tehdä esimerkiksi 10 mm ja 12 mm lasit, tai jotkin muut ennalta sovitut projektit.

Kahdella täydellä teholla toimivalla robottisolulla olisi jo mahdollista luopua kokonaan manuaalisesta kokoonpanosta ja siirtyä käyttämään ainoastaan liimalla kiinnitettäviä lasilistoja. Yksittäisiä korjauslaseja tai pieniä projekteja voitaisiin tarvittaessa tehdä myös manuaalisesti. Kapasiteettivertailun mukaan kahdella robottisolulla, jotka kiinnittävät lasilistat pelkästään liimalla, saataisiin teoreettisesti 1,92 kertainen tuotantokapasiteetti verrattuna nykyiseen kolmella linjastolla toimivaan manuaaliseen kokoonpanoon. Tässä kohtaa rajoittavaksi tekijäksi voi tulla lasilistojen sahaus tai niiden varustelu.

## 5. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä oli tavoitteena selvittää parvekelasituotannon automatisointiin liittyviä vaatimuksia ja automatisoimisen suomia mahdollisuuksia. Tarve työlle on syntynyt, kun kohdeyrityksessä on mietitty pullonkaulaksi muodostuneen työvaiheen kehittämistä. Pullonkaulan aiheuttava työvaihe on lasilistojen kiinnittäminen lasiin.

Työ aloitettiin tutustumalla kirjallisuuteen, sekä analysoimalla nykyistä tuotetta ja tuotantomenetelmiä. Nykyhetkellä lasilistan kiinnittäminen tapahtuu käyttämällä vetoniittäjä ja liimaa. Tälle menetelmälle määriteltiin ennen työtä kaksi vaihtoehtoista ratkaisua, joita työssä tutkittiin.

Työssä ratkottiin alussa määritellyjä tutkimuskysymyksiä eri tutkimusmenetelmillä. Kysymys *”voidaanko / kannattaako tuotanto automatisoida nykyisellä tuotteella vai tarvitaanko siihen muutoksia”*, oli työn tärkein selvitettävä asia. Työn aikana ei ilmennyt selkeitä esteitä, miksi nykyinenkään tuote ja kiinnitystapa ei toimisi. Työn edetessä paremmaksi ratkaisuksi kuitenkin osoittautui yksi ennen työtä määritellyistä vaihtoehdoista, joka oli pelkästään liimalla kiinnitettävä lasilista. Tällä vaihtoehdolla tuotantokustannukset saatiin 10 mm lasin osalta alemmaksi kuin nykyisellä kiinnitystavalla. Liimamäärän optimoinnilla 6 mm lasinkin osalta päästään arviolta samalle tasolle, kuin nykyisellä kiinnitystavalla. Suurin etu pelkästään liimalla kiinnitettävässä lasilistassa ei kuitenkaan ole kustannukset, vaan työvaiheiden jääminen pois tuotannosta ja koko prosessin sekä automaatiojärjestelmän nopeutuminen ja yksinkertaistuminen. Lisäksi laseista saadaan reikien poistumisen myötä poistettua kaikki epäjatkuvuuskohdat.

Toiselle kysymykselle *”miten materiaalivirta on paras toteuttaa automaatiojärjestelmään”*, saatiin kaksi erilaista ehdotusta, joista toinen valittiin paremmaksi. Ehdotusta voidaan kohdeyrityksessä hyödyntää ja tehdä siihen muutoksia, mikäli tarve vaatii. Kysymys oli kaiken kaikkiaan erittäin laaja ja yksikäsitteistä ratkaisua ei siihen ole helposti löydettävissä.

Kolmatta kysymystä *”mitä ominaisuuksia roboteilta vaaditaan”*, käsiteltiin simulaatiomallin ja tuotteen ominaisuuksien avulla. Robottisolun layoutista luotiin kaksi ehdotusta, joita käytettiin apuna robottien ulottuvuuksien määrittelyssä. Robottien kantavuudet ja roboteissa tarvittavien työkalujen tarve saatiin myös määriteltyä. Robottien työkalut ja

muut ominaisuudet varmasti tarkentuvat siinä kohtaa, kun robottien toimittaja tulee projektiin mukaan.

## LÄHTEET

Atwater, A.M. (2019). *Materials and Manufacturing: An Introduction to How They Work and Why It Matters*. McGraw-Hill Education.

Bajd, Mihelj, M., Lenarčič, J., Stanovnik, A. & Munih, M. (2010). *Robotics*. Springer Science+Business.

Day C-P. (2018). *Robotics in Industry-Their Role in Intelligent Manufacturing*. Elsevier Ltd. s. 443. Viitattu 20.2.2021. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917303260>

De La Mota, I. F., Guasch, A., Mota, M.M. & Piera, M. A. (2017). *Robust Modeling and Simulation Integration of SIMIO with Coloured Petri Nets*. 1st ed. 2017. [Online]. Cham: Springer International Publishing.

Deb, S.R & Deb, S. (2009). *Robotics Technology and Flexible Automation*. New York: Tata McGraw-Hill

Derby, S. J. (2005). *Design of Automatic Machinery*. New York: Marcel Dekker.

Eteläaho, P., Ihalainen, P. & Järvelä, P. (1999). *DFA Suunnitteluapuvälineenä*. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Tampere.

Glaser, A. (2009). *Industrial robotics: how to implement the right system for your plant*. New York (NY): Industrial Press.

Gupta, A.K. & Arora, S.K. (2013). *Industrial automation and robotics*. University Science Press.

Hauge, J. & Parschau, C. (2020). *Is automation stealing manufacturing jobs? Evidence from South Africa's apparel industry*. Elsevier Ltd. Viitattu 19.12.2020. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0016718520301871>

Heinonkoski, R. (2013). *Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito*. Helsinki: Opetushallitus.

Hietikko, E. (2020). *SolidWorks 2020*. 8. uudistettu painos. Helsinki, Suomi: BoD - Books on Demand.

Hirvonen, J., Hukki, K., Tommila, T., & Strömman, M. (2007). *Automaatiosuunnittelun prosessimalli: Yhteiset käsitteet verkottuneen suunnittelun perustana*. Suomen automaatioseura. s. Viitattu 3.12.2021. Saatavissa: [https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/automaatiosuunnittelun\\_pr osessimalli.pdf](https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/automaatiosuunnittelun_pr osessimalli.pdf)

IFR. (2020). *Executive Summary World Robotics 2020 Industrial Robots*. Viitattu 20.2.2021. Saatavissa:

[https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive\\_Summary\\_WR\\_2020\\_Industrial\\_Robots\\_1.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_2020_Industrial_Robots_1.pdf)

ISO 8373:2012. (2012). Robots and robotic devices. Sveitsi.

Karabegović, I. & Banjanović-Mehmedović, L. (2020). Industrial Robots: Design, Applications and Technology. Nova Science Publishers.

Khatib, O & Siciliano, B. (2016). Springer Handbook of Robotics. 2nd Edition. Springer-Verlag. Saatavissa: <https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-32552-1.pdf>

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. (2009). Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. WSOYpro Oy. Helsinki.

Keinänen, T. & Sumujärvi, M. (2019). Automaatiotekniikka. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Lempiäinen, J. & Savolainen, J. (2003). Suomen Robotiikkayhdistys Ry. Hyvin Suunniteltu – Puoliksi Valmistettu.

Mehta, B.R. & Reddy, Y.J. (2015). Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation. Elsevier Inc.

Mital, A., Subramanian, A., Desai, A. & Mital, A. (2008). Product development: a structured approach to consumer product development, design and manufacture. Butterworth-Heinemann.

Nof, S. Y. (2009). Springer Handbook of Automation. Berlin: Springer.

Poli, C. (2001). Design for Manufacturing: A Structured Approach. Butterworth-Heinemann.

SFS-EN ISO 10218-1. (2011). Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 10218-2. (2011). Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Sobaszek, Ł., Gola, A. & Varga, J. (2016) Virtual Designing of Robotic Workstations. Zurich: Trans Tech Publications Ltd.

Sutela, T. (2003). Rakenteiden Mekaniikka Vol. 36: Lasi Rakennusmateriaalina.

Taghirad, H.D. (2013). Parallel Robots: Mechanics and Control. CRC Press.

Tsai, C. (2018). The "Do More Engineering" Process - Integrating DFMA into the Product Development Process. Viitattu 17.4.2021. Saatavissa: <https://www.dfma.com/forum/2018pdf/TsaiPresentation.pdf>

Ventä, O., Honkatukia, J., Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Airaksinen, M., Vainio, T. (2018). Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta. Viitattu 3.12.2021. Saatavissa:

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161102/47-2018-ROBOFINN\\_raportti\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161102/47-2018-ROBOFINN_raportti_.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Visual Components. Supported CAD Files. Viitattu 2.12.2021. Saatavissa: Supported CAD files in Visual Components 4.0 Product Family - Visual Components.

Wilson, M. (2015). Implementation of Robot Systems: An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing. Elsevier Inc.