



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tomi Salo

Kokoonpanoprosessin kehitystyö

Opinnäytetyö

Syksy 2024

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Tomi Salo

Työn nimi alaotsikoineen: Kokoonpanoprosessin kehitystyö

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 48

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja selvittää toimeksiantajayritykselle Epec Oy:lle, mitä tuotteita voitaisiin kannattavasti siirtää käsikokoonpanosta olemassa olevaan robottisoluun valmistettavaksi. Tuotteiden mahdollisella siirrolla robottisoluun tavoiteltiin myös robottisolun käyttöasteen nostoa. Lisäksi tutkittiin mitä muutoksia robottisoluun täytyisi tehdä, jotta siirto voitaisiin toteuttaa.

Tutkimustyö käynnistettiin nykytilatutkimuksella, jossa analysoitiin ja kelloitettiin tuotantosolun prosesseja. Nykytilatutkimuksen tulokset analysoitiin ja analyysin pohjalta suunniteltiin ratkaisuja havaittuihin ongelmiin. Tulevaisuudentilatutkimuksessa käytettiin olemassa olevasta robottisolusta saatavia tietoja ja 3D-malleja. Niiden avulla luotiin simulointimalli simulointiohjelmaan. Tutkittavien tuotteiden 3D-mallit vietiin simulointiohjelmaan, jonka jälkeen luotiin simulaatio tuotteen valmistuksesta robottisolussa. Simulaation luomisen aikana havaittiin, vaatiiko robottisolu muutoksia tuotteen valmistamiseksi. Simulointimallin avulla selvitettiin lisäksi tuotteiden läpimenoajat, jotta niitä voitaisiin verrata nykytilatutkimuksen tuloksiin. Läpimenoaikaan verrattiin operaattorille jääviä tehtäviä ja arvioitiin niiden toteutumismahdollisuuksia.

Tulevaisuudentilatutkimuksen simuloinneista saadut tulokset analysoitiin ja niitä verrattiin nykytilatutkimuksista saatuihin tuloksiin. Kaikkien tutkittujen tuotteiden läpimenoajat lyhenivät huomattavasti. Niiden valmistuksen siirtäminen robottisoluun ei vaatisi suurempia muutoksia. Työn tutkimustulosten perusteella todettiin, että tutkimus oli ajankohtainen ja tarpeellinen tuotannon prosessien tehostamiseksi. Lisäksi todettiin, että tutkimuksia olisi kannattavaa tehdä muille tuotteille, vaikka niiden nykyinen prosessi tuntuisi tehokkaalta ja toimivalta.

¹ Asiasanat: digitaalinen kaksonen, simulointi, robotiikka, automaatio, tuotanto

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Automation Engineering

Specialization: Machine Automation

Author: Tomi Salo

Title of thesis: Development work of assembly process

Supervisor: Jarkko Pakkanen

Year: 2024

Number of pages: 48

The thesis studied the potential of transferring manual assembly products to an existing robotic cell, aiming to increase its utilization and to shorten the lead times of selected products at Epec Oy. The first step of the study involved analyzing the current production processes. In the second step, a 3D model simulation was used to compare lead times and to determine the necessary changes that needed to be made to the robotic cell.

The results showed significant reductions in lead times, indicating the feasibility of the transfer without need for major modifications. The study proved that the research was crucial for enhancing production processes and it was concluded that further studies concerning other products would be beneficial, even if their current processes seem efficient.

¹ Keywords: digital twin, simulation, robotics, automation, production

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne	9
1.4 Yritysesittely	10
2 PROSESSIN KEHITYSTYÖ.....	11
2.1 Kehitystyö.....	11
2.2 Kehityssuunnitelma ja tavoitteet	11
2.3 Nykytilatutkimus	11
2.4 Tulevaisuudentilatutkimus	14
2.5 Työn analysointi Visual Components -ohjelmistolla.....	15
3 ROBOTTISIMULOINTI	17
3.1 Yleistä	17
3.2 Digitaalinen kaksonen	18
3.3 Visual Components	20
3.3.1 Käyttökohteet ja hyödyt.....	20
3.3.2 Visual Components Academy	21
4 ROBOTTISOLU.....	22
4.1 Teollisuusrobotit	22
4.2 Tarttijat	23
4.3 Konenäkö	24
4.4 Dispensointi.....	25
4.5 Depanelointi	25

4.6	Automaattiruuvain	26
5	TUTKIMUSTYÖ KOKOONPANOPROSESSIN TEHOSTAMISEKSI	28
5.1	Nykytilatutkimus	28
5.1.1	Tuote 1	29
5.1.2	Tuote 2	30
5.1.3	Tuote 3	32
5.2	Tulevaisuudentilatutkimus simuloimalla	34
5.2.1	Tuote 1	34
5.2.2	Tuote 2	37
5.2.3	Tuote 3	40
6	TULOKSET JA POHDINTA	43
7	YHTEENVETO	45
	LÄHTEET	46

Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Esimerkki prosessikaaviosta (Organising Works, i.a.)	12
Kuva 2. Työntutkimus-lomake (LEAN, i.a.)	13
Kuva 3. 2D-simulointi tehtaasta (Pekarcikova, 2020)	15
Kuva 4. Visual Components Statistics (Visual Components, 2018).	16
Kuva 5. Digitaalinen kaksonen (Dialani, 2020).	18
Kuva 6. Visual Components 3D-simulointi (Visual Components, 2016).	21
Kuva 7. Kuusiakselinen käsivarsirobotti (HowToRobot, 2024).....	23
Kuva 8. Sormitarttuja (Universal Robots, i.a.).....	24
Kuva 9. Konenäön komponentit (Yasar, 2024).	24
Kuva 10. Öljypohjan dispensointia (Nordson, i.a.)	25
Kuva 11. Piirilevykortteja paneelissa (Coherent, i.a.).....	26
Kuva 12. Automaattiruuvain sekä syöttöjärjestelmä (Stöger Automation GmbH, i.a.)	27
Kuva 13. Vuokaavio-selitykset.	28
Kuva 14. Tuotteen 1 prosessikaavio.	29
Kuva 15. Tuotteen 2 prosessikaavio.	31
Kuva 16. Tuotteen 3 prosessikaavio.	32
Kuva 17. Tuotteen 1 uusi prosessikaavio.	35
Kuva 18. Tuotteen 1 sadan kappaleen simulaation kuvaaja.	36
Kuva 19. Tuotteen 2 uusi prosessikaavio.	37
Kuva 20. Poistokuljettimen syöttökohta.	38

Kuva 21. Tuotteen 2 sadan kappaleen simulaation kuvaaja.	39
Kuva 22. Tuotteen 3 uusi prosessikaavio.	40
Kuva 23. Tuotteen 3 sadan kappaleen simulaation kuvaaja.	42
Taulukko 1. Tuotteen 1 läpimenoajat ja niiden muutos.	43
Taulukko 2. Tuotteen 2 läpimenoajat ja niiden muutos.	43
Taulukko 3. Tuotteen 3 läpimenoajat ja niiden muutos.	44

Käytetyt termit ja lyhenteet

Depanelointi	Kahden tai useamman piirilevykortin irrotus suuremmasta kokonaisuudesta, jota kutsutaan paneeliksi.
Digitaalinen kaksonen	Digitaalinen kaksonen on virtuaalinen tietokonemalli fyysisestä järjestelmästä. Se näyttää, liikkuu ja käyttäytyy kuten fyysinen malli, jota se matkii. Sen avulla voidaan suunnitella ja analysoida fyysistä järjestelmää, ennen sen toteutusta.
Dispensointi	Prosessimateriaalien annostelu manuaalisesti tai automaatiota hyödyntämällä.
ESF1	Epec Smart Factory 1. Epec Oy:n uusi tehdastila, joka sijaitsee Seinäjoella Roveksen tehdasalueella.
IoT	Esineiden internet (Internet of Things) tarkoittaa esineiden liittämistä internetiin, jolloin laitteet voivat jakaa ja vastaanottaa tietoa internetin välityksellä.
Jigi	Teline tai pidike, johon kappale asetetaan sen paikalla pysymiseksi.
KET	Keskeneräinen tuotanto.
Layout	Pohjapiirustus, jossa kuvataan esimerkiksi koneiden, laitteiden ja työpisteiden sijainteja tuotantohallissa.
OLP	Off-line Programming (robotics). Robotin ohjelmointia virtuaalisympäristössä, ilman yhteyttä fyysiseen robottiin.
Operaattori	Elektroniikan valmistuksen työntekijästä käytetty nimitys.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Yrityksessä valmistetaan tuotteita tällä hetkellä erilaisissa käsikokoonpanosuoluissa, joissa muutamassa solussa on jonkinlaista automaatiota apuna. Näiden lisäksi tuotteita valmistetaan myös kahdessa erilaisessa robottisolussa. Noin kolmasosa tuotteista kulkee robottisolujen läpi. Tuote- ja valmistusmäärien kasvamisen myötä on tutkittava uusia tehokkaampia valmistusmenetelmiä, jotta valmistuskustannukset pienenevät, läpivirtaus paranee ja valmistus pysyy tasalaatuisempana. Näin selvitetään mitä tuotteita voitaisiin mahdollisesti siirtää käsikokoonpanosta robottisoluun kokoonpantavaksi.

1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja selvittää toimeksiantajayritykselle Epec Oy:lle, mitä tuotteita voitaisiin kannattavasti siirtää käsikokoonpanosta olemassa olevaan robottisoluun valmistettavaksi. Tuotteiden mahdollisella siirrolla robottisoluun tavoitellaan myös robottisolun käyttöasteen nostoa. Lisäksi tutkitaan mitä muutoksia robottisoluun täytyisi tehdä, jotta siirto voitaisiin toteuttaa.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön rakenne koostuu seuraavista osista:

Ensimmäinen osuus (*luku 1*) pitää sisällään työn taustasta ja tavoitteesta kertovan osuuden sekä yritysesittelyn. Ensimmäinen teoriaosuus (*luku 2*) käsittelee kehitystyötä, jossa käydään läpi prosessin tutkimusta sekä analysointia sen kehittämiseksi, teoreettisella tasolla. Toinen teoriaosuus (*luku 3*) käsittelee simulointia. Mitä simulointi on, mihin sitä käytetään ja mitä sillä voidaan saavuttaa. Kolmas teoriaosuus (*luku 4*) käsittelee teollisuusrobotteja ja sen apulaitteita.

Työosuudessa (*luku 5*) tehdään työntutkimusta ja sen analysointia, sekä simulointia ja analysointia siitä saaduista tiedoista. Näitä tietoja käytetään, kun verrataan kannattavuutta eri näkökulmista vanhan ja uuden prosessin välillä.

Tulokset ja pohdintaosuudessa (*luku 6*) käydään läpi työntutkimuksista saatuja tuloksia. Luvussa 6 pohditaan ovatko tulokset riittävän selkeitä, miten tulokset saavutettiin ja nouseeko tuloksista uusia kysymyksiä tai jatkotutkimuksia. Yhteenvedossa (*luku 7*) käydään läpi työvaiheet, saadut tulokset ja saavutettiinko asetetut tavoitteet.

1.4 Yritysesittely

Epec Oy on vuonna 1999 perustettu yritys. Yrityksen toimialana on elektronisten komponenttien valmistus (Asiakastieto, i.a.). Vuonna 2004 metsäkonevalmistaja Ponsen ostettua 91 % Epec Oy:n osakkeista, tuli Epecistä Ponsen tytäryhtiö (Ponsse, 2004). Tämän jälkeen Epecin liikevaihto alkoi kasvaa. Suurin kasvu tapahtui vuosien 2018–2023 aikana, jolloin yrityksen liikevaihto kaksinkertaistui aiemmasta. Uusien kehittyneiden tuotteiden ansiosta asiakaskunta laajeni ja valmistusmäärät kasvoivat.

Vuoden 2023 lopussa Epec muutti uuteen moderniin tehtaaseen (ESF1) edellisen tehtaan jäätyä pieneksi (Epec, i.a.). Uuden tehtaan rakentamisessa keskityttiin valmistusprosessien optimointiin ja materiaalivirtojen hallinnan parantamiseen. Rakentamisessa huomioitiin vastuulliset ja ympäristöystävälliset ratkaisut.

Epec valmistaa tuotteita useille asiakkaille pääasiassa työkoneisiin ja -laitteisiin (Epec Oy, i.a.). Valmistettavia tuotteita ovat muun muassa sähköiset ohjausjärjestelmät, näyttöyksiköt, langattoman tiedonsiirron telematiikkayksiköt, sähköisen voimansiirron järjestelmät sekä avustavat ja autonomiset järjestelmät. Yrityksen valikoimasta löytyy myös toiminnallisen turvallisuuden vaatimukset täyttäviä tuotteita edellä mainituista kategorioista.

2 PROSESSIN KEHITYSTYÖ

2.1 Kehitystyö

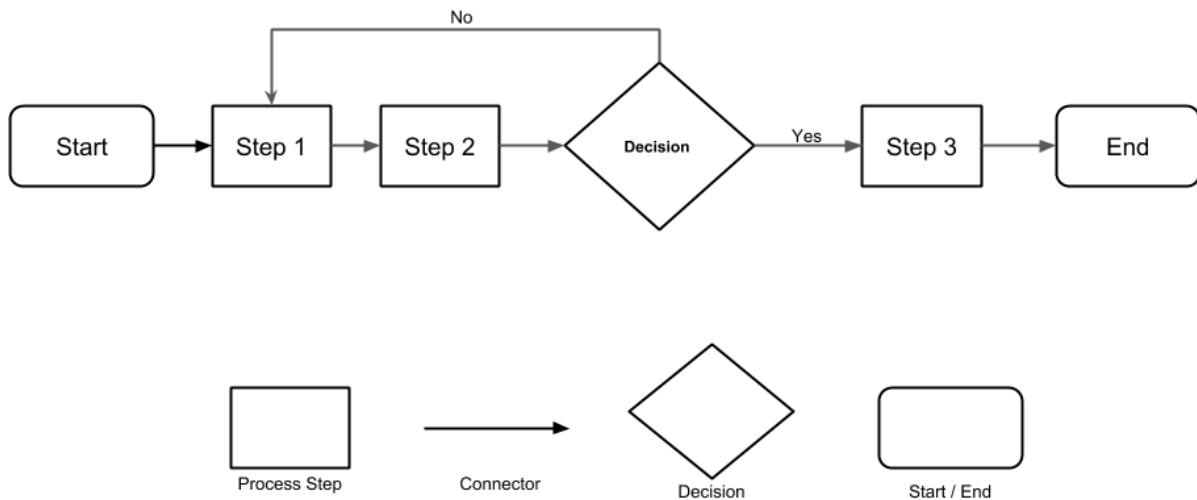
Kehitystyöllä pyritään parantamaan yrityksen tuottavuutta, asiakastyytyväisyyttä sekä kilpailukykyä (Tervala, 2020). Jotta voidaan kehittää ja tehostaa olemassa olevia prosesseja, täytyy kerätä dataa alkutilanteesta. Data voidaan kerätä muun muassa nykyisten läpimenoaikojen sekä olemassa olevan prosessin ongelmien ja pullonkaulojen osalta. Lisäksi täytyy määritellä tavoite, johon halutaan päästä kehitystyön osalta tai mitä ongelmia halutaan ratkaista.

2.2 Kehityssuunnitelma ja tavoitteet

Kehitystyön alussa määritellään tavoite tai tavoitteet, joihin halutaan päästä (Väisänen, 2013). Niitä voivat olla pullonkaulojen poistaminen, keskeneräisen tuotannon (KET) vähentäminen tai hukkan vähentäminen. Nämä kaikki ovat asioita, jotka vaikuttavat läpimenoaikaan, käytettyihin resursseihin, kustannuksiin ja valmistettujen kappaleiden määrään. Tavoitteiden ollessa selvät siirrytään kehityssuunnitelmaan. Kehityssuunnitelma tarvitsee pohjaksi tiedon prosessin nykytilasta. Nykytilan kuvaamiseksi ja/tai analysoimiseksi on lukuisia vaihtoehtoja. Seuraavassa luvussa (2.3) esitellään yhtenä esimerkkinä standardisoidun työn työntutkimus. Nykytilan työntutkimuksen jälkeen voidaan tutkia tulevaisuudentilaa esimerkiksi simuloinnin avulla ja selvittää, kuinka prosessia voitaisiin tehostaa nykytilanteesta ja millä keinoin. Tulevaisuudentilatutkimuksen pohjalta arvioidaan päästäänkö tavoitteisiin ja toteutetaanko suunnitelmat.

2.3 Nykytilatutkimus

Kuten Harrison ja Petty (2002, s. 86) toteavat, tärkeintä on ensimmäisenä ymmärtää nykyisen prosessin toiminta. Tämän ymmärtämiseen voidaan käyttää prosessikaaviota, joka yksinkertaisesti kuvaa prosessin toiminnan ja sen vaiheiden etenemisen kuten kuvassa 1 esitetään. Tämän jälkeen voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen eli itse tutkimukseen.



Kuva 1. Esimerkki prosessikaaviosta (Organising Works, i.a).

Prosessin nykytilatutkimus voidaan suorittaa LEAN-pohjaisella työntutkimuksella (Lapinleimu ym., 1997, s. 52–53). Työntutkimuksessa kellotetaan useampaan otteeseen aika, joka kuluu yhden kappaleen valmistukseen alusta loppuun saakka. Tällä tavalla mitataan yhden kappaleen läpimenoaika prosessissa tai työvaiheessa. Työntutkimuksessa käsitellään tämän lisäksi erikseen työvaiheet ja kunkin vaiheen kesto, vaatiiko vaihe kuinka paljon manuaalista työtä tai valvontaa, sisältääkö vaihe automaattisia toimintoja ja kuinka kauan. Voidaan myös tutkia, onko vaiheessa jokaisen kappaleen kohdalla jokin asetus aika tai työkalun vaihto, vai toistuuko se vain kerran tuotantoerässä (Ahokas ym., 2011, s. 22). Esimerkkinä on työntutkimuslomake kuvassa 2, josta löytyy edellä mainittuja asioita.

Työntutkimuksessa voidaan selvittää myös häiriöiden määrää, laatua sekä niiden kestoa ja vaikutusta (Mann, 2010, s. 270). Työntutkimuksen avulla voidaan selvittää myös erityispiirteitä, kuten pullonkaulat, odotusajat, häiriöt ja keskeytykset. Työntutkimuksen aikana kirjattu data analysoidaan lopuksi.

Standardized Work 1: Process Capacity Sheet

Process Capacity Sheet		Approved by:		Part #		Application		Entered by:	Date
				Part name		Number of parts		Line	
Step	Step name	Machine #	BASIC TIME			TOOL CHANGE		PROCESSING CAPACITY/SHIFT	Remarks
			MANUAL	AUTO	COMPLETION	CHANGE	TIME		
		Total							

Kaizen Express

Lean Enterprise Institute
lean.org

Kuva 2. Työntutkimuslomake (LEAN, i.a.).

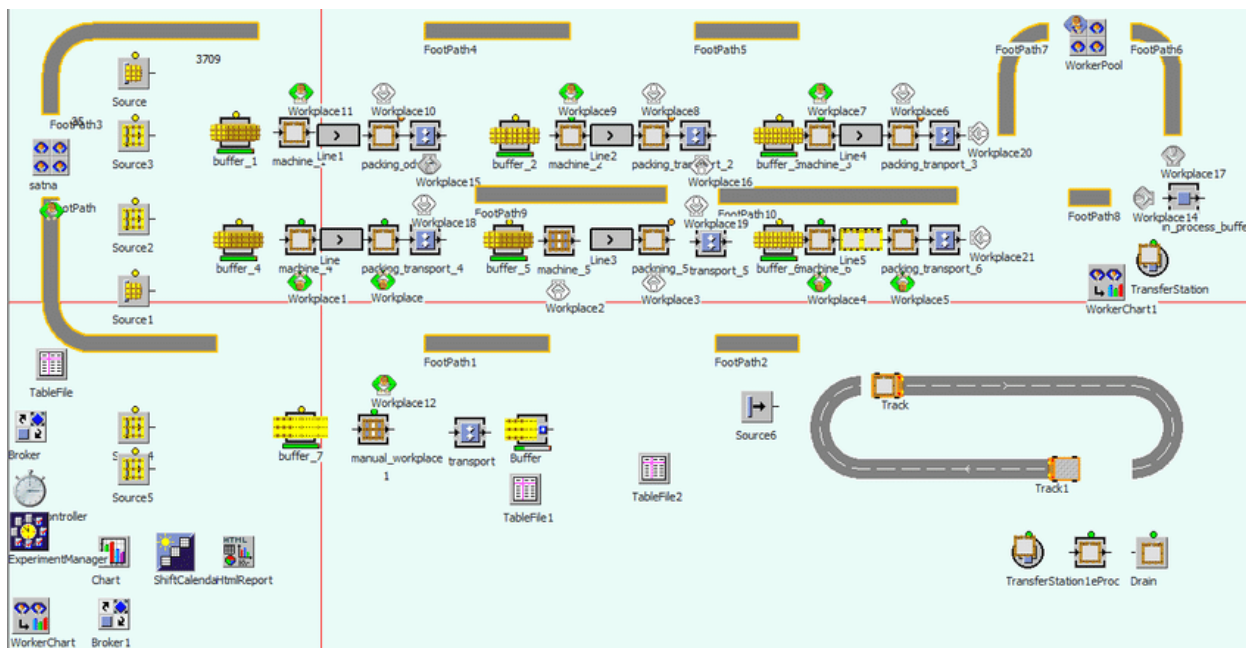
Nykytilan työntutkimus ja sen analysointi kertoo muun muassa alkutilanteen tuottavuudesta, kannattavuudesta, valmistettavuudesta, työn vakiintumisesta, kustannustehokkuudesta ja koneiden käyttöasteesta (Ahokas ym., 2011, s. 7.). Tuottavuus lasketaan tuotoksen määrä jaettuna panoksen määrällä eli montako kappaletta on valmistunut esimerkiksi työvuoroa kohden (Tilastokeskus, i.a.). Tuottavuutta saadaan nostettua usein automaation avulla, mutta silloin täytyy huomioida laitteiston hankintakustannukset ja automatisoinnin kannattavuus takaisinmaksuajan suhteen (Ahokas ym., 2011, s. 8–9.). Työntutkimuksessa voidaan analysoida myös valmistettavuutta. Sen avulla voidaan selvittää, onko tuote suunniteltu valmistettavaksi nykyiseen prosessiin, onko sitä mahdollista valmistaa jollain muulla tavalla laadukkaammin, mutta pienemmillä valmistuskustannuksilla (Mectalent, 2024).

Työn vakiintuminen kertoo siitä, ovatko usean valmistustapahtuman aikana samat työvaiheet samanlaisia keskenään ja kestääkö niissä yhtä kauan (Ahokas ym., 2011, s. 6.). Erot samassa työvaiheessa kertovat siitä, että työvaiheen aikana tapahtuu asioita eri tavalla. Tällöin työvaihe ei ole standardoitu.

2.4 Tulevaisuudentilatutkimus

Nykytilatutkimuksen analyysin jälkeen on tiedossa prosessin ongelmakohdat, joten seuraavaksi täytyy miettiä ratkaisuja ongelmiin prosessin tehostamiseksi ja asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Prosessikaavioita voidaan käyttää alkuun auttamaan analyysistä saatujen ongelmien ja niiden mahdollisten ratkaisujen havainnollistamiseksi (Ahokas ym., 2011, s. 21). Ahokkaan ym. (2011, s. 21) mukaan tulevaisuudentilatutkimuksen tavoitteena tulisi olla prosessin virtauttaminen, työmenetelmien ja prosessien vakioiminen sekä tasoittaminen. Prosessia tulisi virtauttaa ja tasoittaa asetus- ja odotusaikojen lyhentämisellä, sekä pullonkaulojen poistamisella. Prosessin tasoittamisen tarkoituksena on eri työvaiheiden tasapainotus, jolloin työvaiheiden kesto ei eroa toisistaan suuresti. Tällöin pullonkauloja ei pääse syntymään. Pullonkauloja voidaan poistaa lisäksi layout-optimoinnin avulla, jolloin koneiden ja laitteiden paikkoja siirretään mahdollisimman tehokkaan ja joutuisan työn saavuttamiseksi (Chase & Jacobs, 2010, s. 281–282).

Suunnitteluvaiheen jälkeen simuloinnin avulla voidaan kokeilla erilaisia ratkaisuja ja nähdä niiden vaikutuksia, ennen varsinaisten laitteiden hankintaa tai prosessiin tehtäviä muutoksia (Luomanmäki & Pakkanen, 2018, s. 94). Ennen simuloinnin aloitusta täytyy kuitenkin analysoida prosessia ja ongelmakohtien ratkaisemista, siltä kannalta, vaativatko ne 2D- vai 3D-simulointia. Simulointimallin ulottuvuus, 2D tai 3D, vaikuttaa usein suoraan myös ohjelmiston valintaan (Luomanmäki & Pakkanen, 2018, s. 94). Erona näissä on se, että 2D-simulointi on suurpiirteisempää ja keskittyy suurempiin kokonaisuuksiin visualisoinnin osalta, se ei vaadi siis yksityiskohtaisia 3D-malleja, ja siksi se on nopeampi tehdä. Tämän ansiosta päästään nopeammin kokeilemaan asioita. 2D-simulointimalli tehtaasta (kuva 3), näyttää esimerkin prosessin simuloinnista, josta saadaan tarvittava data ulos ilman suurempaa visualisointia.



Kuva 3. 2D-simulointi tehtaasta (Pekarcikova, 2020)

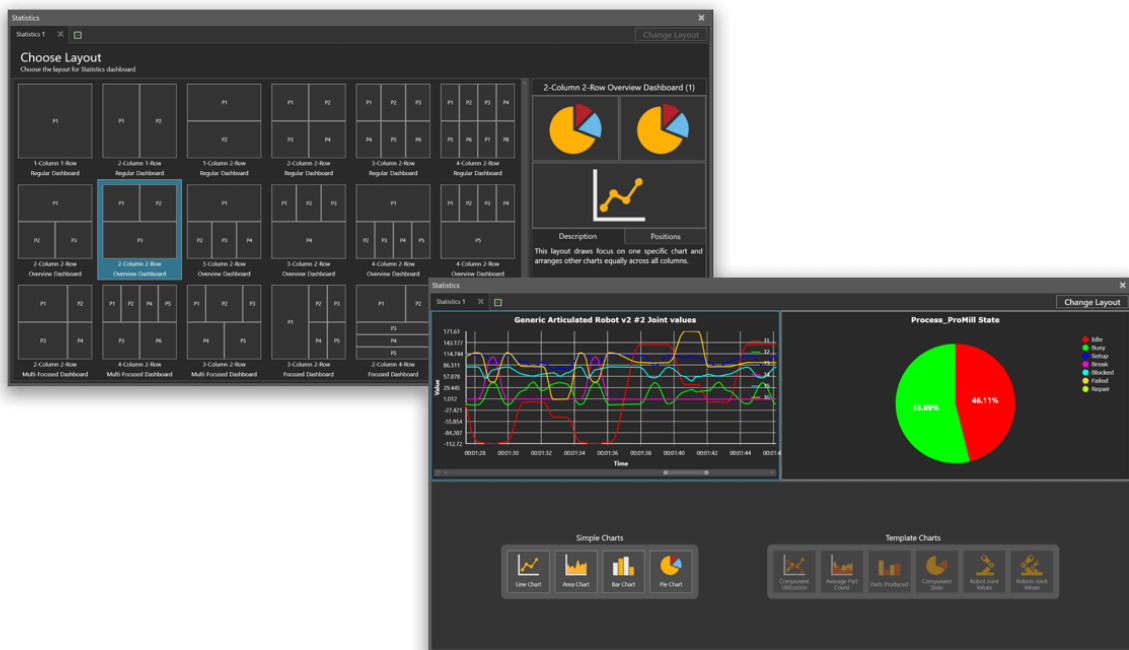
Tässä opinnäytetyössä tarvitaan 3D-simulointia, jotta simulointimallista voidaan tarkastella muun muassa robotin liikeratoja törmäyksien välttämiseksi. Lisäksi kyseisestä simulointimallista voidaan tarkastella robotin ulottuvuuksia ja nivelien asentoja. Tästä syystä ohjelmistoksi valittiin Visual Components.

2.5 Työn analysointi Visual Components -ohjelmistolla

Tässä opinnäytetyössä käytettävä Visual Components tarjoaa työkalut simulointimallien analysointiin. Statistics-toiminnon (kuva 4) avulla voidaan seurata ja analysoida prosesseja sekä niiden vaiheita, vertailla simulointimalleissa tehtyjä muutoksia ja niiden vaikutuksia (Visual Components, i.a.-a). Lisäksi raportit graafeineen voidaan tulostaa tai viedä Excel-tiedostoon. Seuraavaksi esitellään muutamia esimerkkejä valmiista pohjista (Statistics Templates), joita voidaan käyttää vertailukelpoisten arvojen saamiseksi. Näitä arvoja voidaan verrata nykytilatutkimukseen tai käyttää tulevaisuudentilamallin kehittämiseksi. State kertoo määrän prosentuaalisesti, kuinka paljon resurssi on ollut käytössä tietyssä toiminnossa tai kuinka kauan resurssilla on ollut odotusaikaa viimeisessä simulointijaksossa Visual Components. (i.a.-a). Production Rate ilmaisee valmistettujen tai kuljetettujen komponenttien määrän viimeisessä simulointijaksossa. Travel Distance ilmaisee, kuinka paljon

on matkaa kertynyt valitulle resurssille tai komponentille viimeisessä simulointijaksossa. Average Part Count ilmaisee keskimääräisesti, kuinka monta komponenttia on ollut esimerkiksi välivarastossa viimeisessä simulointijaksossa. Average Part Time ilmaisee keskimääräisen ajanjakson, jonka komponentti on viettänyt prosessissa tai kuljetuksessa.

Näiden lisäksi prosessiin tai prosessin eri vaiheisiin voidaan lisätä ylimääräisiä mittareita, jotka antavat tarkkaa dataa. Näiden mittareiden avulla voidaan mitata lähes kaikkea, mitä tapahtuu prosessin aikana. Esimerkiksi prosessiin menevien tai sieltä ulostulevien kappaleten määrä simulointijakson aikana kertoo tuottavuudesta. Käyttöaste kertoo, kuinka kauan henkilö tai kone on tehnyt tuottavaa työtä simulointijakson aikana. Asetusaikatietaas kertoo kuinka kauan tai kuinka useasti asetusaikaa on tarvittu simulointijakson aikana. Lisäksi voidaan seurata kuinka koneen rikkoutumiset ja huollot vaikuttavat prosessiin. Lähes kaikkia arvoja voidaan seurata minimi- ja maksimitasolla sekä keskimääräisesti.



Kuva 4. Visual Components Statistics (Visual Components, 2018).

3 ROBOTTISIMULOINTI

3.1 Yleistä

Simulointi on digitaalinen työkalu, jolla voidaan kuvata, jäljitellä tai mallintaa reaali maailman tapahtumia ja toimintoja virtuaalisessa ympäristössä (Kytöharju & Pöysäri, 2023, s. 252). Robottien ja robottisolujen toimintoja simuloidaan keinotekoisessa ympäristössä hyödyntämällä niiden kolmiulotteisia digitaalisia simulointimalleja ja virtuaalisia ohjaimia. Simulointiohjelmistoja käytetään suunnittelussa, varmentamisessa sekä ohjelmoimisessa. Ne toimivat parhaimmillaan myös valmistuksen ja tuotekehityksen yhteisinä työkaluina, joilla varmistetaan valmistettavuus jo suunnitteluvaiheessa. Simuloinnin avulla vähennetään myös fyysisen järjestelmän asetus-, seisonta- ja käyttöönottoaikoja.

Geneeriset simulointiohjelmit tukevat yleensä useiden merkkien robottijärjestelmien ohjelmointia ja simulointia (Kytöharju & Pöysäri, 2023, s. 262). Parhaimmillaan yhdellä ohjelmistolla, kuten Visual Componentsilla, voidaan simuloida ja ohjelmoida kaikki tehtaan erimerkkiset robottijärjestelmät. Käytävissä olevien simulointimallien yksityiskohtaisuus riippuu robotti- ja ohjelmistovalmistajan välisestä yhteistyöstä. Normaalisti geneerisessä simulointiohjelmistossa robotin ohjain ei vastaa kaikilta osin robotin merkkikohtaista ohjainta (Kytöharju & Pöysäri, 2023, s. 262). Tämä voi johtaa siihen, että geneerisessä simulointiohjelmistossa toimiva robotti ei toimi määritetyllä tavalla merkkikohtaiselle robotin ohjelmointikielelle käännettynä, nämä ovat tosin yksittäistapauksia (Kytöharju & Pöysäri, 2023, s. 262). Geneeristen simulointiohjelmistojen vahvuus on erityisesti laajoissa komponenttikirjastoissa, joiden avulla voidaan rakentaa laajojakin layoutsuunnitelmia ja mallinnuksia. Näiden avulla voidaan simuloida yksittäisten koneiden toimintaa ja niiden sijoittelua, tai kokonaisten tuotantojärjestelmien ja ihmisten toimintaa.

Valmistajakohtaiset simulointiohjelmit ovat robottivalmistajien omia ohjelmistoja, joilla simuloidaan ja ohjelmoidaan heidän omia robottejaan (Kytöharju & Pöysäri, 2023, s. 262). Esimerkiksi ABB:n RobotStudiolla voidaan simuloida ja ohjelmoida vain ABB:n omia robotteja ja robottijärjestelmiä. Tämän avulla voidaan hyödyntää olemassa olevien todellisten robottien ja ohjainten vastineita simuloinnissa. Lisäksi käytössä on kaikki robottimerkille ominaiset ohjelmointityökalut ja komponenttikirjastot. Valmistajakohtaisissa

simulointiohjelmistoissa on kuitenkin puutteita. Layoutsuunnittelussa on esimerkiksi mahdollisesti rajallisesti käytettävissä turvallisuuteen liittyviä komponentteja, kuten turva-aitoja tai valoverhoja.

3.2 Digitaalinen kaksonen

Digitaalinen kaksonen on virtuaalisessa maailmassa oleva tarkka jäljennös todellisesta olemassa olevasta mallista kuten kuvassa 5 esitetään. Se on rakennettu keräämällä ja yhdistämällä dataa fyysisestä mallista (Korhan, 2023, s. 3). Digitaalisen kaksosen konsepti syntyi Nasan tarpeeseen simuloida avaruusmatkoja, jotta se voisi kerätä, integroida ja analysoida dataa reaaliajassa. Jatkuvan teknologisen muutoksen myötä digitaalisen kaksosen avulla pystyttiin muun muassa teollisuudessa tukemaan valmistusprosessien muutosten jäljitettävyyttä ja ajanhallinta kehittyi. Digitaalisen kaksosen avulla pystyttiin myös madaltamaan kustannuksia ja se paransi riskinhallintaa.



Kuva 5. Digitaalinen kaksonen (Dialani, 2020).

Digitaalinen kaksonen tarjoaa potentiaaliset mahdollisuudet fyysisen mallin toimintojen seuraamiseen, niiden tutkimiseen ja toistamiseen (Korhan, 2023, s. 3). Geometrinen ominaisuuksien lisäksi se sisältää myös mallin toiminnalliset ja käyttäytymiseen liittyvät piirteet. Fyysisestä mallista saatu data syötetään virtuaaliseen malliin, ja syötetyn datan tarkkuudesta riippuu, kuinka tarkasti jäljennös simuloi oikeaa järjestelmää tai yksittäistä laitetta. Digitaalisen kaksosen ja simuloinnin ero tuleeekin siitä, että digitaalisen kaksosen avulla voidaan arvioida ja vertailla, mitä oikeasti tapahtuu ja mitä voi tapahtua. Simulointi

taas kertoo sen mitä saattaa tapahtua oikeassa maailmassa (TWI, i.a.). Digitaalista kaksosta voidaan käyttää koko elinkaaren arvioimiseen sen dataan perustuen, kun taas simulointi toimii tuomalla ja testaamalla erilaisia muuttujia digitaalisessa ympäristössä tai tulosten arvioimiseksi.

Digitaalinen kaksonen koostuu Korhanin (2023, s. 4) mukaan seuraavista asioista:

- fyysinen kokonaisuus
- virtuaalinen malli
- anturit ja datan lähteet
- datan integraatio ja analytiikka
- visualisoinnin ja simuloinnin työkalut
- liitettävyys ja IoT

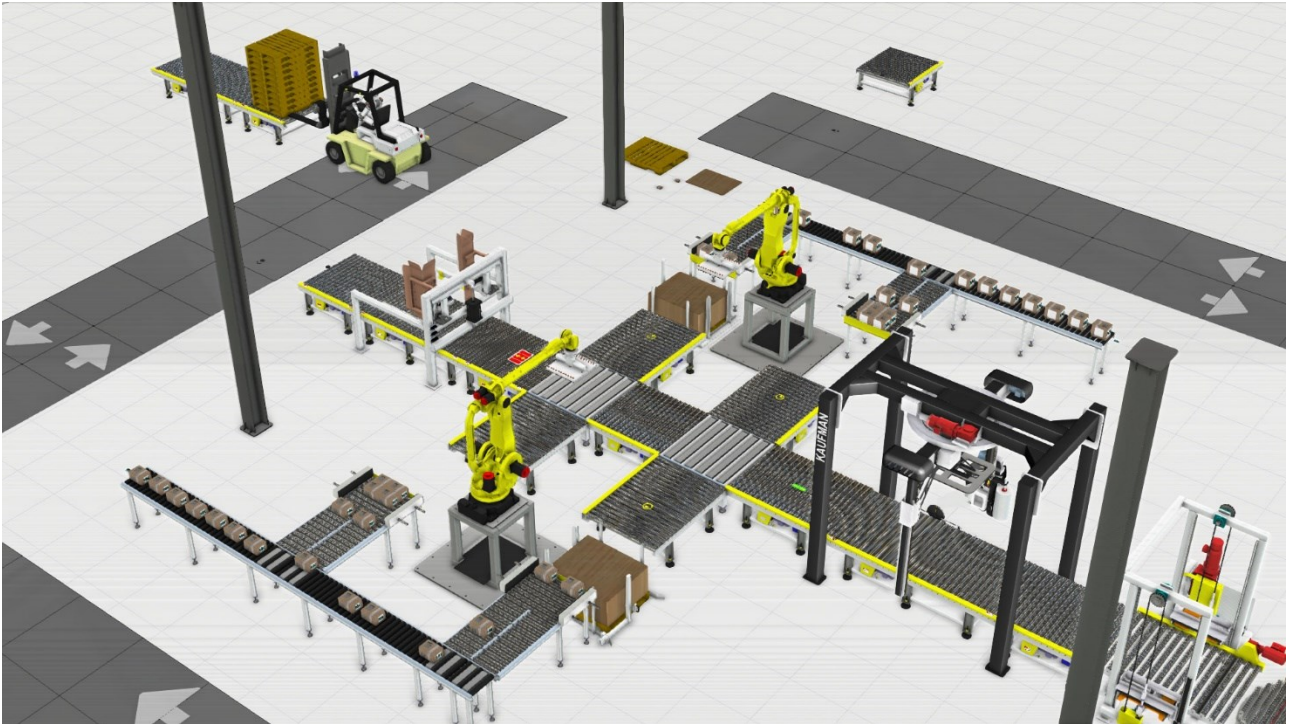
Fyysinen kokonaisuus tarkoittaa fyysistä olemassa olevaa, joko pientä tai suurta järjestelmää tai sen osaa (Korhan, 2023, s. 4). Virtuaalinen malli on fyysisestä kokonaisuudesta tehty tarkka jäljennös virtuaaliseen maailmaan. Anturit ja datan lähteet on integroitu fyysiseen laitteeseen, ja ne tarjoavat reaaliaikaista dataa suorituksesta, liikkeistä ja ympäristöstä virtuaaliseen malliin. Datan integraatio ja analytiikka, esimerkiksi koneoppimisen tai tekoälyn avulla kerätty data, yhdistetään ja prosessoidaan mallissa. Visualisoinnin ja simuloinnin työkalujen avulla voidaan nähdä, kokeilla ja tutkia muun muassa fyysisen mallin liikkeitä ja toimintoja virtuaalisessa mallissa. Liitettävyys ja IoT ovat tärkeä osa kokonaisuutta, koska digitaalinen kaksonen on riippuvainen datasta. Tästä syystä dataa täytyy saada tarvittaessa vastaanotettua, lähetettyä ja analysoitua reaaliajassa.

3.3 Visual Components

Visual Components perustettiin vuonna 1999 tukemaan ja nopeuttamaan valmistusprosessien suunnittelua simuloinnin avulla kaiken kokoisille yrityksille (Visual Components, i.a.-b). Vuosien saatossa ohjelmisto sai erilaisia ominaisuuksia. Vuonna 2024 Visual Components pitää sisällään pohjapiirroksen (layout) suunnittelun, komponenttien ja prosessien mallinnuksen sekä robottien offline-ohjelmoinnin (OLP).

3.3.1 Käyttökohteet ja hyödyt

Ohjelmistoa käytetään nykyään tehtaiden pohjapiirrosten suunnittelussa kuten kuvassa 6 esitetään (Visual Components, i.a.-c). Tällöin koneet ja laitteet voidaan sijoitella optimaalisesti, parantaen läpimenoaikaa ja tuottavuutta. Lisäksi sen avulla voidaan pienentää riskejä sekä kokeilla erilaisia ideoita ilman lisäkustannuksia. Ohjelmistolla tehdään myös virtuaalista käyttöönottoa, esimerkiksi kokonaisen tuotantolinjan toiminta voidaan testata virtuaalisesti ennen sen varsinaista käyttöönottoa. Näin saadaan mahdolliset vikatilanteet esiin ja korjattua ne. Tällöin varsinainen käyttöönotto menisi nopeasti ja sujuvasti, jolloin säästytään suuremmilta kustannuksilta. Jos kyseessä on digitaalinen kaksonen, voidaan Visual Componentsin robottien ohjelmistot viedä suoraan fyysisille roboteille jälkiprosessoren kautta. Ohjelmistoa käytetään myös myynnin välineenä. Sillä voidaan esitellä asiakkaalle kustomoituja ratkaisuja ja kokonaisuuksia sekä esitellä visuaalisesti miksi jokin asia kannattaisi tehdä tietyllä tavalla. Visual Componentsin avulla muun muassa robottien myyjät voivat osoittaa kuinka lyhentää robotin takaisinmaksuaikaa optimoimalla robotin liikkeitä tai tekemällä muutoksia robotin ohjelmistoon offline-ohjelmoinnilla robotin ollessa töissä.



Kuva 6. Visual Components 3D-simulointi (Visual Components, 2016).

3.3.2 Visual Components Academy

Yritys tarjoaa kotisivuillaan monipuolista tukea ohjelmiston käyttäjille, niin uusille kuin vanhoille. Visual Components Academysta löytyy opintopolkuja myynnin tehostamiseen, virtuaaliseen käyttöönottoon sekä valmistuksen suunnitteluun (Visual Components, i.a.-d). Sivuilta löytyy myös kursseja, koulutuksia sekä webinaareja eri aiheisiin. Näiden lisäksi voidaan hakea tietoa tietystä aihealueesta tai hakea tiettyä asiasanaa. Sivuilta löytyy keskustelupalsta, jossa voi keskustella ohjelmiston kanssakäyttäjien kanssa. Asiantuntijoiden apua on saatavilla konsultoinnin, henkilökohtaisen harjoittelun sekä online-tuen kautta. Tässä työssä käytettiin apuna Visual Components Academyn tarjontaa, jotta simulointimalleista saatiin toimivat realististen tulosten saamiseksi.

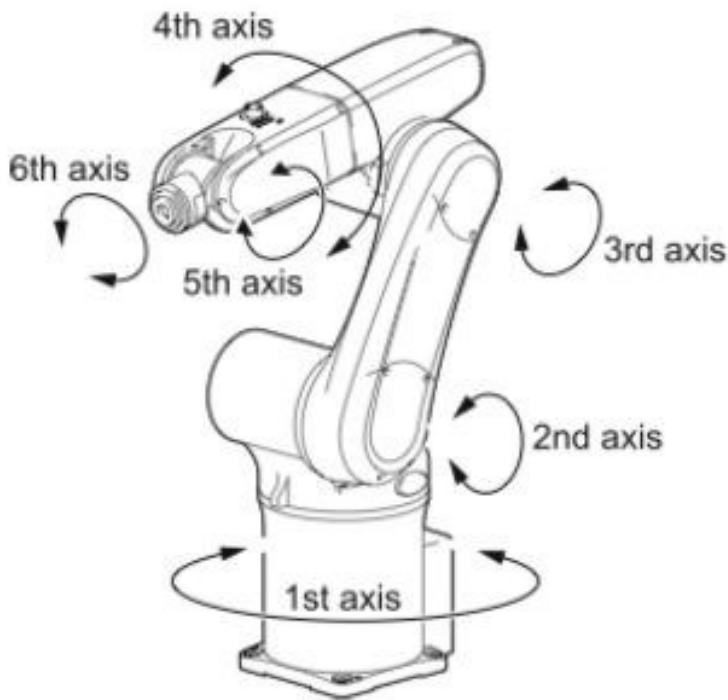
4 ROBOTTISOLU

4.1 Teollisuusrobotit

Teollisuudessa käytettäviä robottityyppejä ovat muun muassa SCARA-robotti, Delta eli rinnakkaisrakenteinen robotti, käsivarsirobotti ja karteellinen eli suorakulmainen robotti (Lempiäinen, 2023, s. 18). Yleisin näistä on käsivarsirobotti (kuva 7), jota on tässäkin työssä käytetty.

Robotiksi kutsutaan uudelleen ohjelmoitavaa, minimissään kolmenivelistä ja monipuolista laitetta (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 298). Robotti liikkuu sen ohjausyksikköön tehdyn ohjelman perusteella. Se voi käyttää hyväkseen erilaisia antureita ja kameroita, joilla se saa tietoa ympäristöstä liikkuaan. Robotteja on hyvin erikokoisia. Pienimmät voivat käsitellä maksimissaan alle kilogramman painoisia kappaleita, kun suurimmat robotit voivat käsitellä useiden tuhansien kilogrammojen painoisia kappaleita. Tyypillinen robotti seisoo kiertyvällä jalustallaan, mutta robottien asennusmahdollisuudet ovat hyvin joustavia. Robotti voidaan asentaa roikkumaan katosta tai kiinnittää kuljettimeen, joka liikuttaa robottia. Teollisuusrobotti koostuu tyypillisesti kolmesta osasta. Mekaanisella yksiköllä viitataan robottiin. Ohjauskaappi sen sijaan pitää sisällään logiikan. Käsiohjainta taas käytetään robotin liikutteluun ja ohjelmointiin (Billing, 2023, s. 118). Robottien liikkeet ovat hyvinkin tarkkoja ja niillä voidaan päästä +/- 1 mm:n tarkkuudesta jopa +/- 0,05 mm:n tarkkuuteen. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 298).

Teollisuusrobotteja käytetään eniten Lempiäisen (2023, s. 20) mukaan elektroniikkateollisuudessa, ja sen jälkeen perässä seuraavat autoteollisuus ja konepajateollisuus. Robotin avulla saavutetaan useita hyötyjä erilaisissa kohteissa. Robotti voi nostaa ja liikuttaa painavia esineitä sekä tehdä useita samanlaisia toistoja väsymättä, jolloin työntekijän ergonomia parantuu. Robotin avulla laatu paranee tasalaatuisuuden myötä, ja viallisten tuotteiden määrä pienenee (mts. 22). Tuotantomäärät ovat robotin avulla vakioituja, mutta tuotantomäärää voidaan tarvittaessa kasvattaa lisäämättä henkilöstön määrää.



Kuva 7. Kuusiakselinen käsivarsirobotti (HowToRobot, 2024).

4.2 Tarttijat

Tarttujaksi kutsutaan robotin työkalua, jolla otetaan siirrettävään kappaleeseen kiinni (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 309). Tarttijat ovat robotin tavallisimpia työkaluja. Yleisimpiä tarttujatyyppejä ovat alipainetarttijat, magneettitarttijat sekä mekaaniset tarttijat. Alipainetarttujassa voi olla yksi tai useampi imukuppi. Imukuppi painetaan liikutettavan kappaleen pintaa vasten, jonka jälkeen luodaan alipainepumpun avulla niiden välille alipaine. Alipainetarttuja irtoaa kappaleesta ulospuhalluksella. Alipainetarttujan hyödyt tulevat sen yksinkertaisesta rakenteesta sekä sen luotettavuudesta. Magneettitarttujaa voidaan käyttää ainoastaan tietyissä tapauksissa. Siirrettävän kappaleen materiaalin tulee olla magneettinen, mikä rajoittaa sen käyttöä. Magneettitarttujan tartuntaa ja irrotusta voidaan hallita sähkömagnetismilla vaihtamalla napojen polariteettia, tai sitten kappale voidaan irrottaa magneettitarttujasta paineilman avulla. Mekaaninen tarttuja on esimerkiksi kuvassa 8 oleva sormitarttuja. Ne toimivat joko paineilmalla tai servomootorilla. Niiden tartunta perustuu kappaleen muotoon tai tartuntaan kitkan avulla.

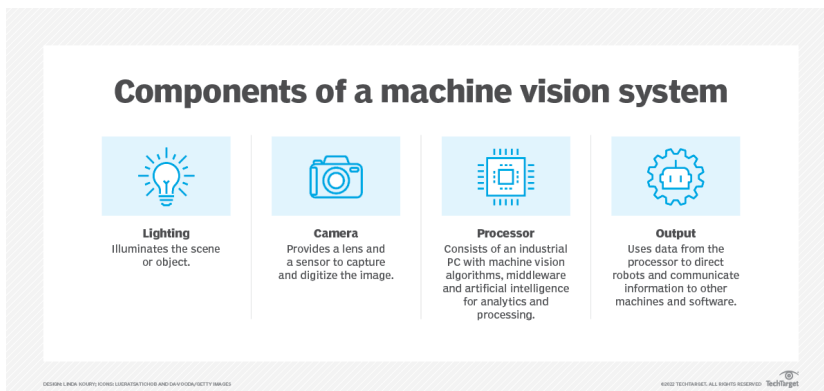
Keinänen ja Sumujärvi (2019, s. 309) huomauttavat, että tarttujaa valitessa täytyy huomioida myös turvallisuus, esimerkiksi hätäpysäytystilanteessa tai sähkökatkon aikana.



Kuva 8. Sormitarttuja (Universal Robots, i.a.).

4.3 Konenäkö

Konenäöllä tarkoitetaan tietokoneen kykyä nähdä ja tunnistaa tuote tai kappale, ja erottaa se, tai jokin sen osa muusta ympäristöstä (Yasar, 2024). Konenäköä käytetään hyväksi muun muassa kappaleen poimintaan robotilla, sekä laadunvalvontaan. Konenäön avulla voidaan tarkastella esimerkiksi kappaleen sijaintia, muotoa, väriä, mitata sen osia tai kokoa ja laskea kappaleiden määriä. Konenäköjärjestelmä vaatii toimiakseen valoa, kameran, prosessorin sekä väylän datansiirtoa varten, kuten kuvassa 9 esitetään.



Kuva 9. Konenäön komponentit (Yasar, 2024).

4.4 Dispensointi

Dispensoinnilla (kuva 10) tarkoitetaan prosessimateriaalien kuten liimojen, silikonien ja lämmönjohtotahnan annostelua jollekin pinnalle (Räsänen, 2018). Dispensointi voi olla käsin tehtävää, puoliautomaattista tai automaattista. Dispensointi jakautuu erilaisiin prosesseihin kuten täyttö, tiivistys, lämmönsiirto, eristys, liimaus ja päällystys. Prosessista riippuen täytyy prosessimateriaalin olla oikeanlaista viskositeetiltaan ja käyttötarkoitukseltaan. Dispensoinnissa oleellista on dispensoitavan aineen määrä ja dispensoinnin tasalaatuisuus.

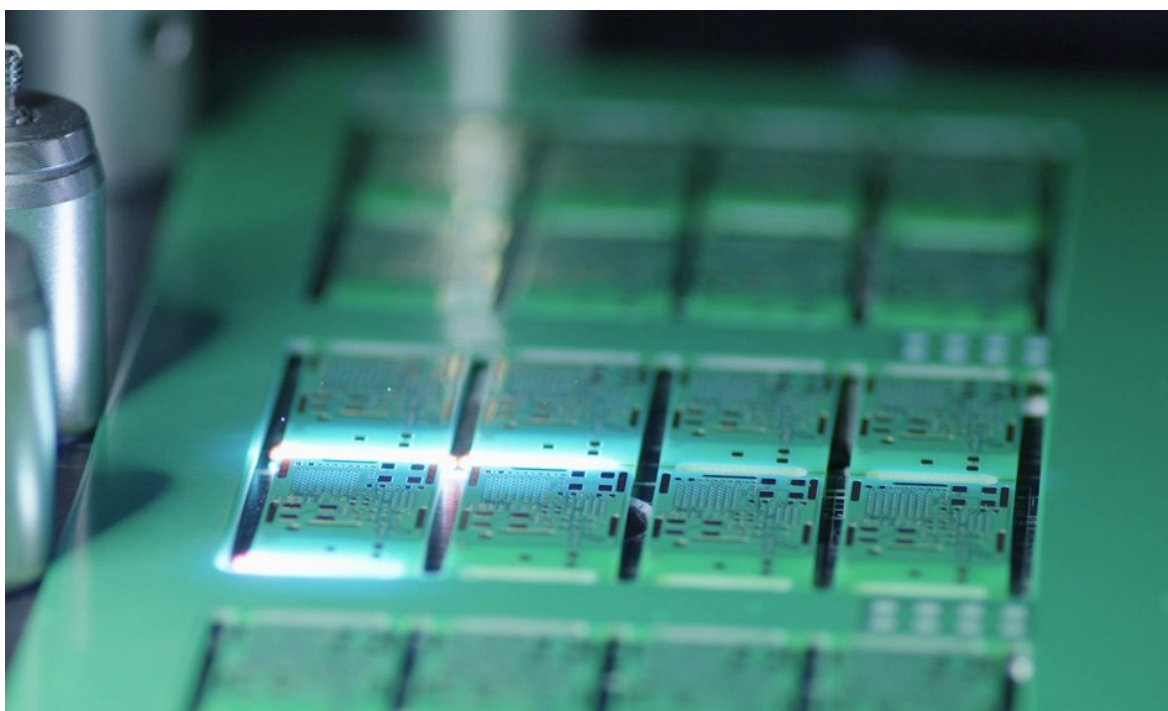


Kuva 10. Öljypohjan dispensointia (Nordson, i.a.).

4.5 Depanelointi

Erityisesti piirilevykorttien valmistuksessa on yleisesti järkevämpää valmistaa useampi pieni piirilevykortti yhdessä isommassa paneelissa (kuva 11), jotta niiden käsittely olisi helpompaa ja tehokkaampaa (Coherent, i.a.). Kun piirilevykortit ovat edenneet prosessissa siihen vaiheeseen, että niissä on tarvittavat komponentit ja ne ovat menossa esimerkiksi lopulliseen kokoonpanoon, täytyy yksittäiset piirilevykortit irrottaa paneelista. Tätä vaihetta kutsutaan depanelisoinniksi.

Erilaisia depanelointimenetelmiä ovat esimerkiksi laserleikkaus, manuaalinen katkaisu käsin taittamalla ja useat mekaaniset menetelmät, kuten jyrsintä, lävistys ja sahaus (Raypcb, i.a.). Jokaisessa menetelmässä on hyvät ja huonot puolensa, ja depanelointimenetelmän valitsemisessa täytyykin ottaa huomioon kustannukset, mekaaniset rasitukset piirilevyllä, pölyn tuomat haitat sekä toleranssit. Tarkin ja pölyttömin vaihtoehto depaneloinnille on laserleikkaus. Siinä hankintahinta on selkeästi korkein, mutta se tuo myös automaatiota ja tehokkuutta mukaan (Coherent, i.a.). Huonoin, mutta edullisin depanelointimenetelmä toleranssien osalta on käsin taittaminen. Tämä tosin täytyy huomioida jo paneelin suunnittelussa, että sopivat heikennykset löytyvät oikeista kohdista käsin irrotusta varten (Raypcb, i.a.). Näiden erona on myös se, että laserleikkaus ei katkaistessaan luo jännitystä piirilevyyn ja sen komponentteihin. Käsin taittaminen puolestaan tuottaa suuren määrän jännitystä ja taittoa piirilevyyn.

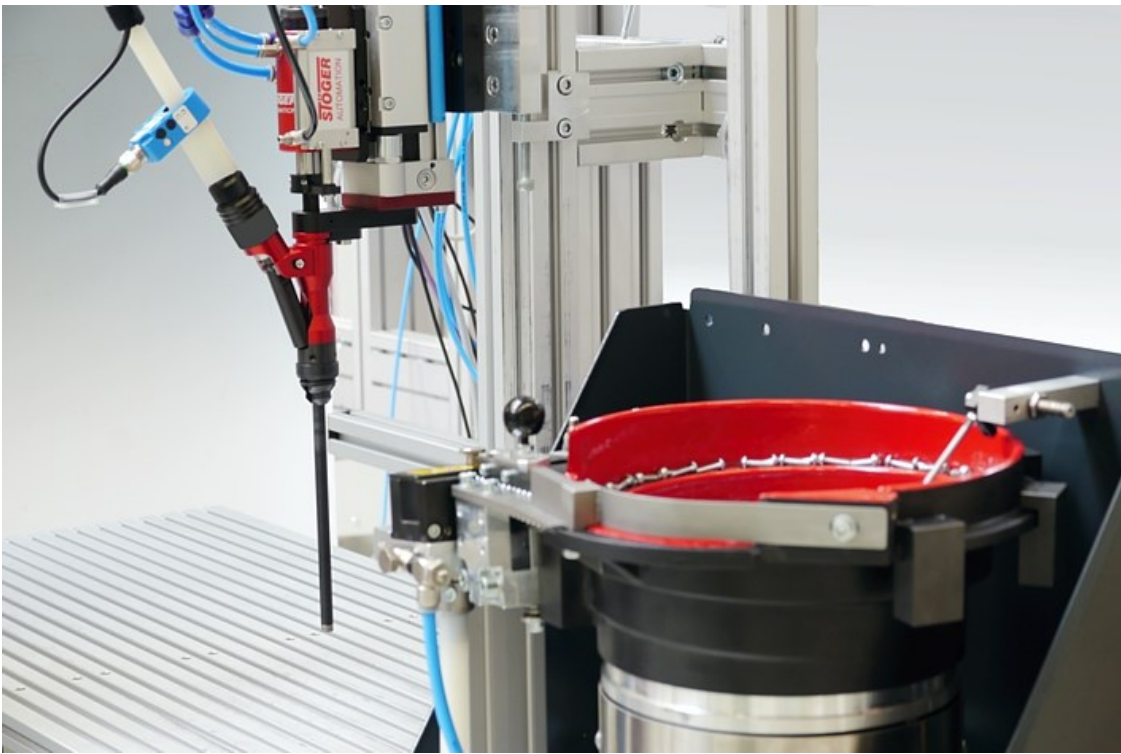


Kuva 11. Piirilevykortteja paneelissa (Coherent, i.a.).

4.6 Automaattiruuvain

Automaattinen ruuvain on osa järjestelmää, joka asentaa ruuvit paikoilleen kokoonpanossa (IQS Directory, i.a.). Kokoonpanoprosesseja on erilaisia. Tästä syystä täytyy myös automaattiruuvaimia olla erilaisia, jotta ne palvelet tarkoitusta. Oikeanlainen ruuvain

tarjoaa prosessiin nopeutta, tarkkuutta ja laatua. Automaattiruuvain toimii yleensä vain pystysuunnassa, jolloin ruuvi voidaan syöttää suoraan ruuvaimelle. Ruuvain on mahdollista asentaa muuallekin, kuten käsivarsiin. Ruuvainjärjestelmä toimii pääasiassa joko pneumatiikan avulla tai sähkötoimisesti servomootorilla. Kuvassa 12 nähtävässä kiinteäasenteisessa ruuvainjärjestelmässä automatisoitu ruuvinsyöttöjärjestelmä huolehtii jatkuvasta ruuvien syötöstä ruuvaimelle. Ruuvinsyöttöjärjestelmän valinta vaikuttaa suuresti ruuvaimen kokoon ja tyyppiin.

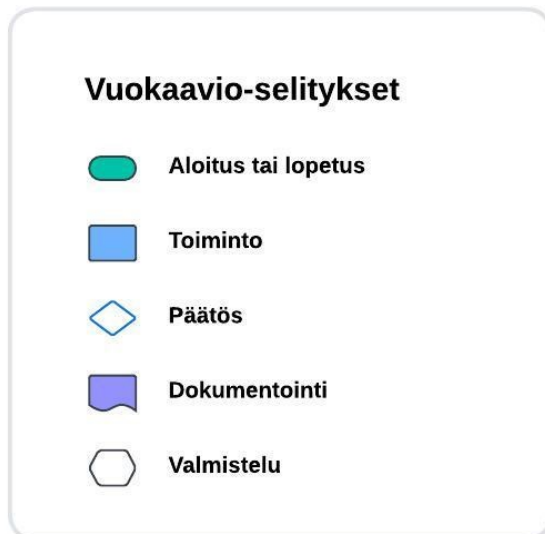


Kuva 12. Automaattiruuvain sekä syöttöjärjestelmä (Stöger Automation, i.a.).

5 TUTKIMUSTYÖ KOKOONPANOPROSESSIN TEHOSTAMISEKSI

5.1 Nykytilatutkimus

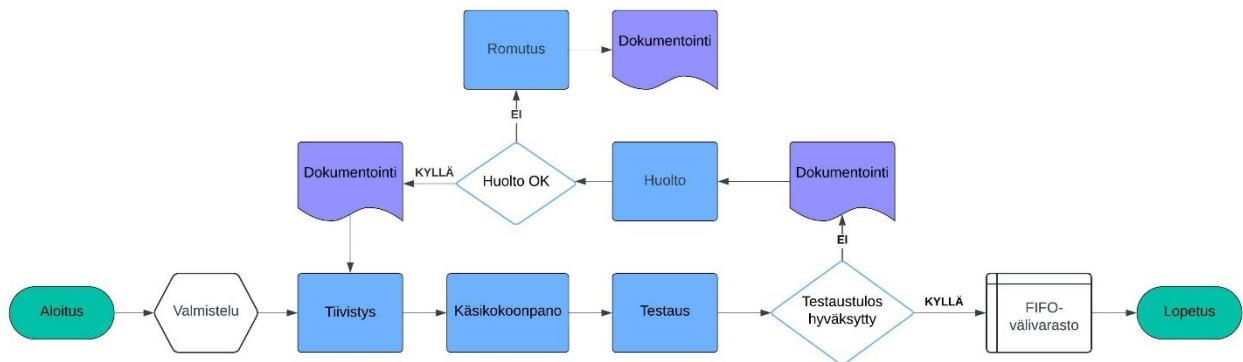
Nykytilatutkimukseen valittiin tuotteet niiden tuotantomäärien ja rakenteen perusteella. Näiden tuotteiden läpimenoajan mahdollisen lyhentymisen uskottiin vapauttavan resursseja muuhun käyttöön, ja parantavan tuottavuutta nykyisestä. Nykytilatutkimus suoritettiin jokaiselle tuotteelle luomalla ensin prosessikaavio vuokaavio-avulla. Prosessikaavioon otettiin vain osa tuotteen koko valmistusprosessista. Prosessikaavioon valittiin ne vaiheet, joita olisi hyvä tutkia ja joissa olisi potentiaalia kehittämiselle. Kuvasta 13 selviää vuokaavio-avun symbolien selitykset. Prosessikaavio-avun luomisen jälkeen tuotteille tehtiin standardisoidun työn työtutkimus, jossa käytettiin kellotuksen kirjaamiseen luvun 2.3 kuvassa 2 olevaa pohjaa. Työntutkimuksen jälkeen suoritettiin analyysi. Analyysissä todettiin mahdolliset ongelmat prosessissa, ja kuinka tuottavuutta voitaisiin nostaa.



Kuva 13. Vuokaavio-selitykset.

5.1.1 Tuote 1

Ensimmäisen tuotteen työntutkimus aloitettiin luomalla prosessikaavio tuotteesta. Prosessikaavio (kuva 14) luotiin tuotannonohjausjärjestelmän sekä prosessin visuaalisen tarkastelun avulla. Prosessikaavio luonnin jälkeen aloitettiin työntutkimus tuotantosolussa. Työntutkimuksessa kelloitettiin tuotteen läpimenoaikaa eri vaiheissa sekä tuotteen kokonaisläpimenoaikaa. Kelloitettujen aikojen kirjauksessa käytettiin luvun 2.3 kuvan 2 mukaista pohjaa.



Kuva 14. Tuotteen 1 prosessikaavio.

Prosessi lähti liikkeelle asetusajan kellottamisesta. Kellotuksen aikana operaattori siirsi kahdet erilaiset valut työpisteelle solun reunassa olevalta hyllyltä, nouti piirilevyt piirilevyjen välivarastosta sekä vaihtoi ohjelman ja jigin dispensointirobotille. Työkalut löytyivät työpisteeltä valmiiksi käden ulottuvilta. Asetusajaksi kelloitettiin 4 minuuttia 45 sekuntia.

Seuraavassa vaiheessa operaattori asetti kaksi valua jigiin ja käynnisti dispensointirobotin nappia painamalla. Valujen asettamiseen jigiin ja valujen dispensointiin kului aikaa 2 minuuttia. Dispensoinnin aika operaattori depaneloi piirilevypaneelin. Kun depanelointi oli suoritettu ja dispensointi oli valmis, operaattori tarkasti dispensoidut valut, asetti piirilevyt molempiin valuihin, nosti piirilevyvalut työpisteelle ja laittoi uudet valut dispensointirobotin jigiin. Ajaksi näihin tehtäviin kelloitettiin 40 sekuntia, joista 10 sekuntia kului depanelointiin dispensoinnin aikana. Dispensointirobotti käynnistettiin, kun uudet valut olivat jigissä.

Lopullisessa kokoonpanossa operaattori kiinnitti piirilevyvaluihin pulteilla kansivalun, ja liimasi tuotetarrat kokoonpantuihin tuotteisiin. Kahden tuotteen kokoonpanoon ja tuotetarrojen liimauksiin kelloitettiin vaiheajaksi 1 minuutti 30 sekuntia. Kahden ensimmäisen kappaleen läpimenoajaksi tuli 4 minuuttia.

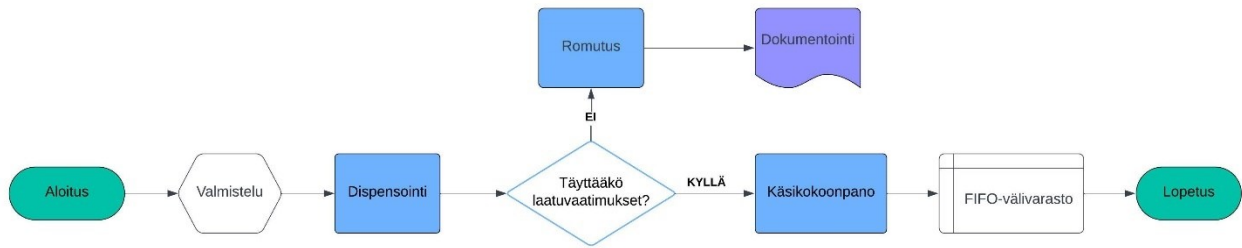
Kun vaiheaikoja kelloitettiin useamman kerran, ei havaittu hajontaa vaiheaikojen kelloituksissa ensimmäisen kahden kappaleen kelloituksiin. Näin myöskään tuotteiden läpimenoaika ei muuttunut. Yhden kappaleen läpimenoajaksi tuli 2 minuuttia. Tuotantoerän valmistumisen jälkeen dispensoinnista ja kokoonpanosta, tuotteet testattiin. Testauksessa asetukseksi kelloitettiin 8 minuuttia 30 sekuntia. Tänä aikana operaattori siirsi tuotteet toiseen soluun, käynnisti testerin ja valitsi oikean testausohjelman. Tämän jälkeen testaus aloitettiin, ja yhden tuotteen läpimenoajaksi tuli keskimääräisesti 3 minuuttia 50 sekuntia. Tässä ajassa operaattori testasi tuotteen ja liimasi kaksi tarraa tuotteeseen.

Analyysin jälkeen todettiin, että ensimmäisen kahden tuotteen kohdalla operaattorille tuli odotusaikaa 1 minuutti ja 50 sekuntia. Vaihekierron aikana odotusaika laski 20 sekuntiin kahden kappaleen kierrolla. Todettiin, että pullonkaulana on dispensointi, josta syntyy odotusaikaa. Lisäksi analyysissä havaittiin ongelma. Operaattori joutuu asettamaan piirilevyt dispensointirobotissa oleviin dispensoituihin valuihin, koska työpisteellä ei ole jigiä tätä varten. Tästä syystä mahdollista dispensointiaikaa valuu hukkaan.

5.1.2 Tuote 2

Toisena tuotteena tutkittiin 6000-tuotesarjan valujen prosessia tuotannossa. Volyyymi on tällä valutuotteella suurin niistä, jotka omaavat oman alikokoonpanoprosessin tuotannossa.

Työntutkimus lähti liikkeelle prosessikaavion (kuva 15) luomisesta, joka luotiin tuotannonohjausjärjestelmän sekä prosessin tarkastelun avulla. Prosessikaaviolla hahmotettiin tuotteen kulku prosessissa eri vaiheineen. Tämän jälkeen tuotantosolussa tutkittiin prosessin eri vaiheiden läpimenoaikaa, sekä kokonaisläpimenoaikaa standardisoidun työn tutkimuksen avulla. Kirjaukset tehtiin luvun 2.3 kuvan 2 mukaiselle pohjalle.



Kuva 15. Tuotteen 2 prosessikaavio.

Tuotteen kaksi prosessi lähti liikkeelle valujen siirtämisestä solun reunalla olevasta hyllystä työpisteelle, automaattisen dispensointirobotin ohjelman valitsemisesta kyseiselle tuotteelle sekä oikean jigien vaihtamisesta dispensointirobottiin. Lisäksi työpisteelle siirrettiin työpisteen vieressä olevasta hyllystä lämmönjohtomatot. Näihin tehtäviin kulunut aika kellotettiin ja siitä muodostui asetusajaksi prosessille. Asetusajaksi muodostui 1 minuutti ja 50 sekuntia.

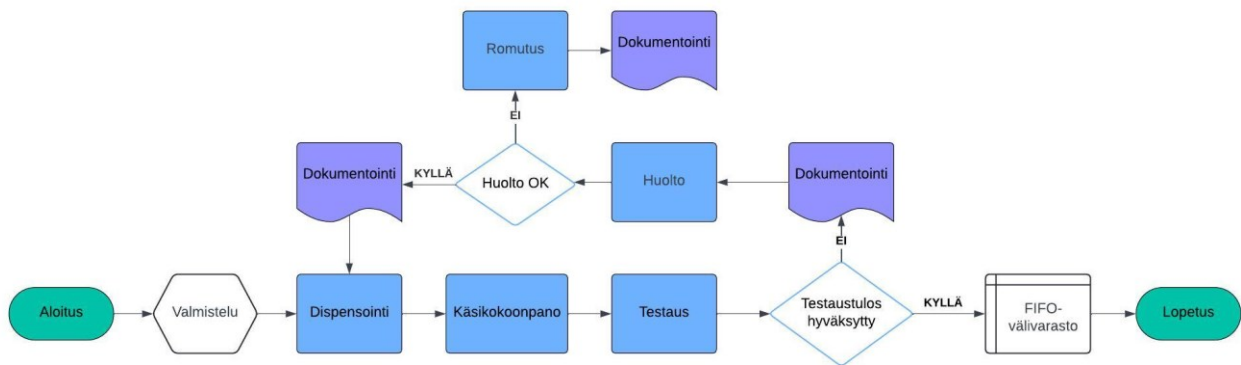
Seuraavaksi asetettiin yksi valu jigiiin, ja napin painalluksen jälkeen dispensointirobotti aloitti dispensoinnin. Valun asettamisesta jigiiin dispensoinnin valmistumiseen saakka kului aikaa 45 sekuntia. Tämän jälkeen dispensoitu valu nostettiin työpöydälle operaattorin tarkastaessa dispensoinnin laadun. Jigiiin vaihdettiin samalla uusi kappale dispensointia varten. Uuden valun dispensointi aloitettiin robotilla, ja sen jälkeen operaattori siirtyi laittamaan lämmönjohtomatot valuuun. Valujen vaihtoon, dispensoinnin laadun tarkastamiseen ja lämmönjohtomattojen asettamiseen kului aikaa 25 sekuntia. Ensimmäisen kappaleen läpimenoajaksi muodostui 1 minuutti ja 10 sekuntia.

Tutkimusta jatkettiin seuraavilla kappaleilla. Kellotuksia tehtiin vaiheille useamman kerran, jotta selvitetäisiin aikahajonta eri vaiheissa. Hajontaa esiintyi dispensointi vaiheessa sekä käsikokoonpanossa +/- 2 sekuntia ensimmäisen kappaleen kellotuksesta, keskimääräisesti kellotetut ajat olivat kuitenkin samat kuin ensimmäisellä kappaleella. Näin keskimääräiseksi läpimenoajaksi tuli sama kuin ensimmäisen kappaleen läpimenoaika, eli 1 minuutti ja 10 sekuntia. Odotusaikaa ensimmäisen kappaleen kohdalla operaattorille tuli 40 sekuntia robotin dispensoidessa, mutta seuraavasta kappaleesta alkaen odotusaika tippui 15 sekuntiin vaihekierron takia.

Pullonkaulaksi muodostui dispensointi, jonka takia odotusaikaa muodostui vaihekierron aikana 15 sekuntia. Todettiin, että odotusajan lyhentämisellä saataisiin tuottavuutta kasvatettua.

5.1.3 Tuote 3

Kolmannen tuotteen prosessikaavio (kuva 16) luotiin myös tuotannonohjausjärjestelmän sekä prosessin tarkastelun avulla, kuten aiempien tuotteiden. Samalla todettiin, että prosessikaavio on samanlainen kuin tuotteella yksi.



Kuva 16. Tuotteen 3 prosessikaavio.

Työntutkimus aloitettiin solussa kellottamalla asetus aika. Asetusaikaan kuului tuotteen valujen nouto solun reunalla olevasta hyllystä työpisteelle sekä piirilevyjen nouto piirilevyjen välivarastosta. Lisäksi dispensointirobottiin valittiin oikea ohjelma ja vaihdettiin jigi kyseiselle tuotteelle. Kokoonpanoa varten tarvittavat työkalut löytyivät työpisteeltä käden ulottuvilta, joten niitä ei tarvinnut huomioida kellotuksessa. Asetusajaksi tuli 5 minuuttia.

Seuraavaksi siirryttiin vaiheajojen kellotuksiin. Ensimmäiseen vaiheeseen kuului kahden valun asettaminen jigiin sekä niiden dispensointi. Dispensointirobotti dispensoi kahden tuotteen valut peräkkäin kierron aikana. Valujen asettamiseen jigiin ja dispensointiin kului aikaa yhteensä 2 minuuttia 30 sekuntia. Tämän jälkeen piirilevyt depaneloitiin, ja piirilevyt asetettiin koneessa oleviin valuihin, samaan aikaan operaattori suoritti laaduntarkastuksen dispensoinnille. Valut piirilevyineen nostettiin pöydälle, ja uudet valut asetettiin jigiin dispensointia varten. Tähän kului aikaa 35 sekuntia. Napin painalluksen jälkeen robotti

aloitti dispensoinnin ja operaattori siirtyi kokoonpanemaan kappaleita. Kokoonpanossa operaattori kiinnitti pulteilla uuden valun dispensoituun piirilevyvaluun ja liimasi tarrat kokoonpantuun tuotteeseen. Sama toistettiin toiselle piirilevyvalulle. Kahden kappaleen kokoonpanon vaiheajaksi kelloitettiin 1 minuutti 20 sekuntia. Kahden ensimmäisen kappaleen läpimenoajaksi tuli 4 minuuttia 25 sekuntia.

Seuraavien kappaleiden vaiheajojen kelloituksissa havaittiin hajontaa, kun piirilevyt depaneloitiin ja asetettiin dispensoituihin valuihin. Keskimääräisesti aikaa kului tähän 5 sekuntia kauemmin kuin ensimmäisen kahden kappaleen kohdalla. Piirilevyjen asettamiseen dispensoituihin valuihin, sekä näiden valujen nostaminen pöydälle ja uusien valujen asettaminen jigiin, kesti näin keskimääräisesti 40 sekuntia. Tätä aikaa käytettiin lopullisessa läpimenoajan laskennassa. Kahden valun dispensoinnissa kului aikaa 2 minuuttia ja 20 sekuntia vaihekierron aikana. Vaihekierron takia alkuperäinen aika lyheni 10 sekuntia, kun valujen asetus jigiin siirtyi toisen vaiheen yhteyteen. Lopullisessa kokoonpanossa hajontaa ei käytännössä ollut, joten lopullisessa läpimenoajan laskennassa käytettiin alkuperäistä kelloitusaikaa. Lopullinen läpimenoaika kahdelle tuotteelle oli 4 minuuttia 20 sekuntia. Kun lopullinen läpimenoaika jaettiin kahdelle tuotteelle, saatiin yhden tuotteen läpimenoajaksi 2 minuuttia 10 sekuntia. Yhden kappaleen läpimenoaika tarvittiin, jotta aika olisi vertailukelpoinen mahdollisen prosessimuutoksen jälkeen.

Kun koko erä oli valmistettu, suoritettiin tuotteille testaus. Testerin noutoon ja kytkentään kului aikaa 1 minuutti 30 sekuntia. Tästä muodostui toinen asetus aika prosessiin. Tuotteen kytkentään testeriin ja tuotteen testaukseen kului aikaa 35 sekuntia kappaleelta. Testaus vaati operaattorin läsnäoloa. Dispensoinnin ja kokoonpanon läpimenoaikaan lisättyä testausaika, saatiin yhden kappaleen läpimenoajaksi koko prosessissa 2 minuuttia 45 sekuntia.

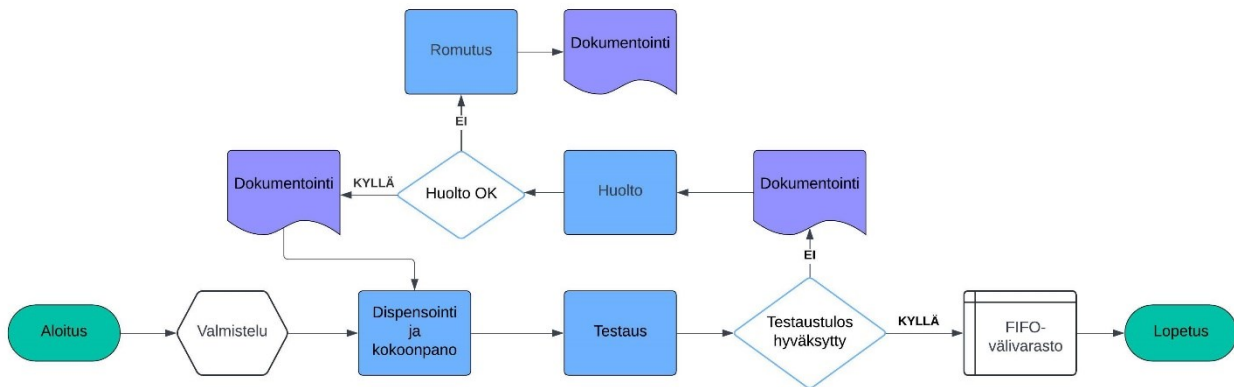
Analyysin jälkeen todettiin, että operaattorille tuli odotusaikaa ensimmäisten kahden kappaleen kohdalla 2 minuuttia 20 sekuntia. Vaihekierron aikana odotusaika lyheni 1 minuuttiin. Pullonkaulaksi todettiin dispensointi, jossa syntyy odotusaikaa. Lisäksi analyysissä havaittiin ongelma. Operaattori joutuu asettamaan piirilevyt koneessa dispensoituihin valuihin, koska työpisteellä ei ole jigiä tätä varten. Tästä syystä mahdollista dispensointi-aikaa valuu hukkaan.

5.2 Tulevaisuudentilatutkimus simuloimalla

Tulevaisuudentilatutkimuksen alussa käytiin läpi jokaisen tuotteen kohdalla, kuinka niiden läpimenoaikaa voitaisiin mahdollisesti parantaa, jos ne valmistettaisiin olemassa olevassa robottisolussa. Tuotteiden suunniteltua tulevaa prosessia varten luotiin uusi prosessikaavio, jonka avulla simulointia hamoteltiin. Simuloinnin yhteydessä tutkittiin myös, mitä muutoksia täytyisi tehdä olemassa olevaan robottisoluun, jotta kyseisen tuotteen prosessi voitaisiin siirtää sinne. Simulointi aloitettiin luomalla olemassa olevasta robottisolusta simulointimalli, jotta tutkimustulokset olisivat realistisia. Simulointimallin luomisessa käytettiin apuna olemassa olevan robottisolun 3D-malleja. Simulointimallista riisuttiin kaikki rakenteet pois, mitkä haittasivat prosessin seurantaa näkyvyyden osalta. Robottisolun simulointimallista ei esitetä yleiskuvia luottamuksellisuuden takia.

5.2.1 Tuote 1

Pullonkaulaksi tuotteen yksi kohdalla muodostui dispensointi, jolloin vaihekierron aikana operaattorille tuli odotusaikaa 20 sekuntia. Lisäksi piirilevyn asettamiseen tarvittavaa jiggiä ei ollut työpisteellä. Tästä syystä työ jouduttiin tekemään dispensointirobotin luona. Tämä aiheutti sen, että dispensointi ei voinut jatkua lähes välittömästi edellisten kappaleiden valmistuttua. Nykytilatutkimuksessa prosessiin kuului testaus omalla erillisellä vaiheella. Uutta prosessikaaviota (kuva 17) luodessa todettiin, että testauksen läpimenoajan takia tuote testattaisiin myös jatkossa omana vaiheenaan. Tuotantoerä olisi tällöin kokonaisuudessaan dispensoitu ja kokoonpantu robottisolussa. Tulevaisuudentilatutkimuksen tavoitteena oli tuotteen yksi kohdalla lyhentää läpimenoaikaa yhdistämällä dispensointi ja kokoonpano samaan vaiheeseen.



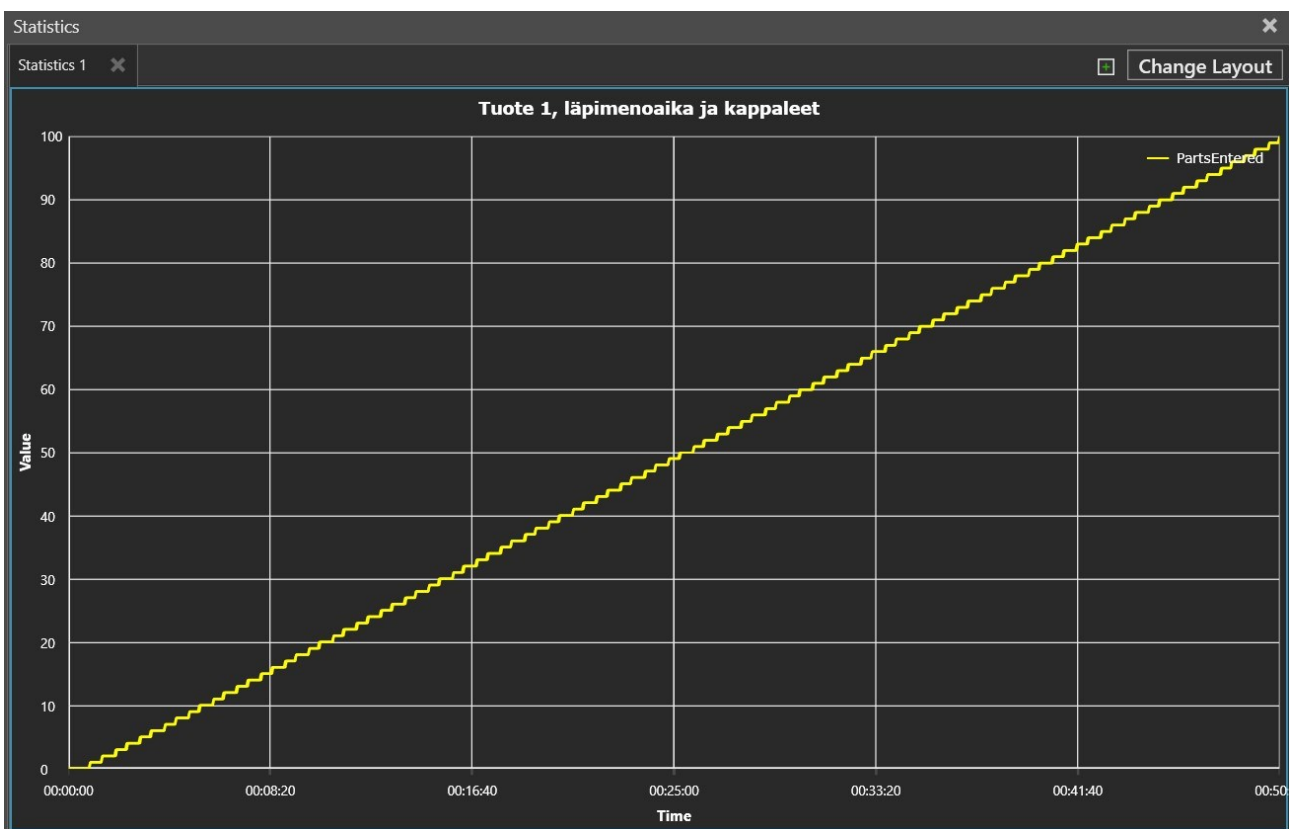
Kuva 17. Tuotteen 1 uusi prosessikaavio.

Simuloinnin ensimmäisessä vaiheessa tuotiin tuotteen kolme 3D-mallit simulointiohjelmaan. 3D-mallit pitivät sisällään kaksi valua sekä piirilevypaneelin. Koska olemassa olevassa robottisolussa valmistettiin hyvin samankokoisia tuotteita, ei mitoitusta tarvinnut varmistaa tuotteesta kolme. Seuraavaksi luotiin molempien valujen syöttö kuljettimia pitkin robottisoluun. Valujen syöttämisessä käytettiin ohjelmistosta löytyvää syöttöjärjestelmää, joka luo valun ja syöttää sen kuljettimelle. Tällä mallinnettiin operaattorin tekemää työtä. Tuotteen kolme simulointimallissa käytettiin kaikkia kolmea olemassa olevaa kuljetinta. Kahta kuljetinta tarvittiin kahden erilaisen valun syöttämiseen robottisoluun, ja kolmas kuljetin toimi poistokuljettimena.

Toisessa vaiheessa simulointia luotiin ohjelmat käsivarsiroboteille ja niihin liitettiin signaalit kuljettimiin. Ensimmäisen robotin tehtävinä oli hakea etukansivalu kuljettimelta, käyttää valu dispensoinnissa, kuvauttaa dispensoitu valu ja sen jälkeen jättää valu jättöpaikalle. Todettiin, että jättöpaikalla olemassa olevaa jigiä täytyy hieman muuttaa, jotta se sopii myös tuotteelle yksi. Toisen robotin tehtäväksi tuli hakea piirilevypaneeli depanelointiin piirilevyräkistä, hakea piirilevy depaneloinnin jälkeen kuvattavaksi, ja viedä piirilevy jättöpaikalla odottavaan valuun. Nämä vaiheet kulkivat rinnakkain ensimmäisellä ja toisella robotilla. Näiden vaiheiden jälkeen toinen robotti haki takakansivalun kuljettimelta, asetti sen dispensoidulle piirilevyvalulle, ja tämän jälkeen käytti kokoonpanon automaattisella ruuvausasemalla ruuvauksessa. Kun lopullinen kokoonpano oli tehty, jätettiin tuote kolme poistokuljettimen jättöpaikalle. Työnkierto toteutettiin niin, että ensimmäinen robotti aloitti uuden työnkierron, kun toinen robotti siirtyi ruuvausasemalle kokoonpanon kanssa. Näin välttyttiin törmäyksiltä jättöpaikalla ja välttyttiin pitkiltä odotusajoilta robottien suhteen.

Kolmannessa vaiheessa luotiin poistokuljettimelle tietopiste, joka mittaa statistics-toiminnon avulla siihen tulevien kappaleiden läpimenoaikaa ja määrää. Tietopiste asetettiin kuljettimelle kohtaan, josta operaattori poistaa valun.

Simulointi suoritettiin dispensoinnille ja kokoonpanolle ensin kymmenelle tuotteelle ja sen jälkeen sadalle tuotteelle. Kymmenen tuotteen simuloinnissa läpimenoajaksi saatiin kymmenelle tuotteelle 5 minuuttia 29 sekuntia. Sadan tuotteen simuloinnissa läpimenoajaksi saatiin sadalla tuotteella 49 minuuttia 59 sekuntia. Sadan tuotteen simuloinnin kuvaaja esitetään kuvassa 18.



Kuva 18. Tuotteen 1 sadan kappaleen simulaation kuvaaja.

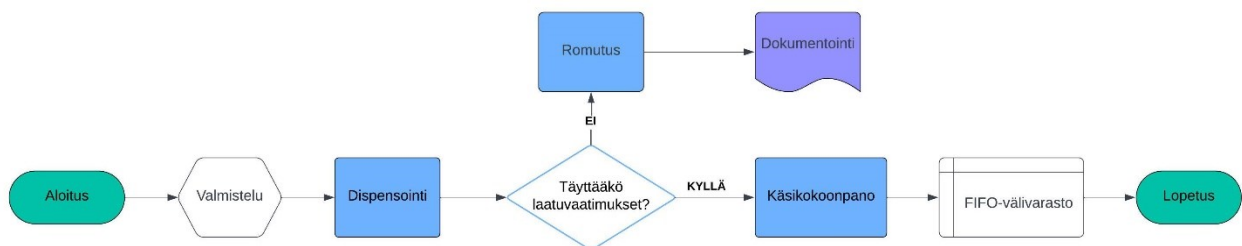
Kuvaaja (kuva 18) on lineaarinen, koska kyseessä on tasatahtinen prosessi. Pystyakselilla on valmistuneet tuotteet ja vaaka-akselilla aika. Jokaisella tuotteella on saman kestoiset työvaiheet samassa järjestyksessä, jolloin tuotteitakin valmistuu tasaisesti. Kymmenen tuotteen simulaatiossa yhden tuotteen läpimenoajaksi saatiin 32,9 sekuntia, ja sadan tuotteen simulaatiossa yhden tuotteen läpimenoajaksi saatiin 30 sekuntia.

Todettiin, että tässä ajassa operaattori ennättää täyttää robottisoluun meneville kuljettimille valuja, poistaa poistokuljettimelta tuotteen ja liimata tuotetarrat valuihin.

Asetusajaksi laitettiin 7 minuuttia tuotteelle yksi, se määritettiin kellottamalla robottisolussa jo valmistettavien tuotteiden asetusaikoja. Tässä ajassa operaattori siirtää valut solun reunalla olevasta hyllystä kuljettimien viereen, hakee piirilevyt piirilevyjen välivarastosta sekä vaihtaa ohjelman roboteille.

5.2.2 Tuote 2

Tuotteen kaksi pullonkaulaksi muodostui nykytilatutkimuksessa dispensointi, jonka aikana operaattorille muodostui odotusaikaa 15 sekuntia per kappale. Tätä aikaa pyrittiin lyhentämään tuotteen kaksi tulevaisuudentilatutkimuksessa simuloinnin avulla. Tuotteen kaksi uutta mahdollista prosessikaaviota (kuva 19) hahmoteltaessa päädyttiin siihen, että prosessikaavio pysyy samanlaisena kuin se oli aiemmin.

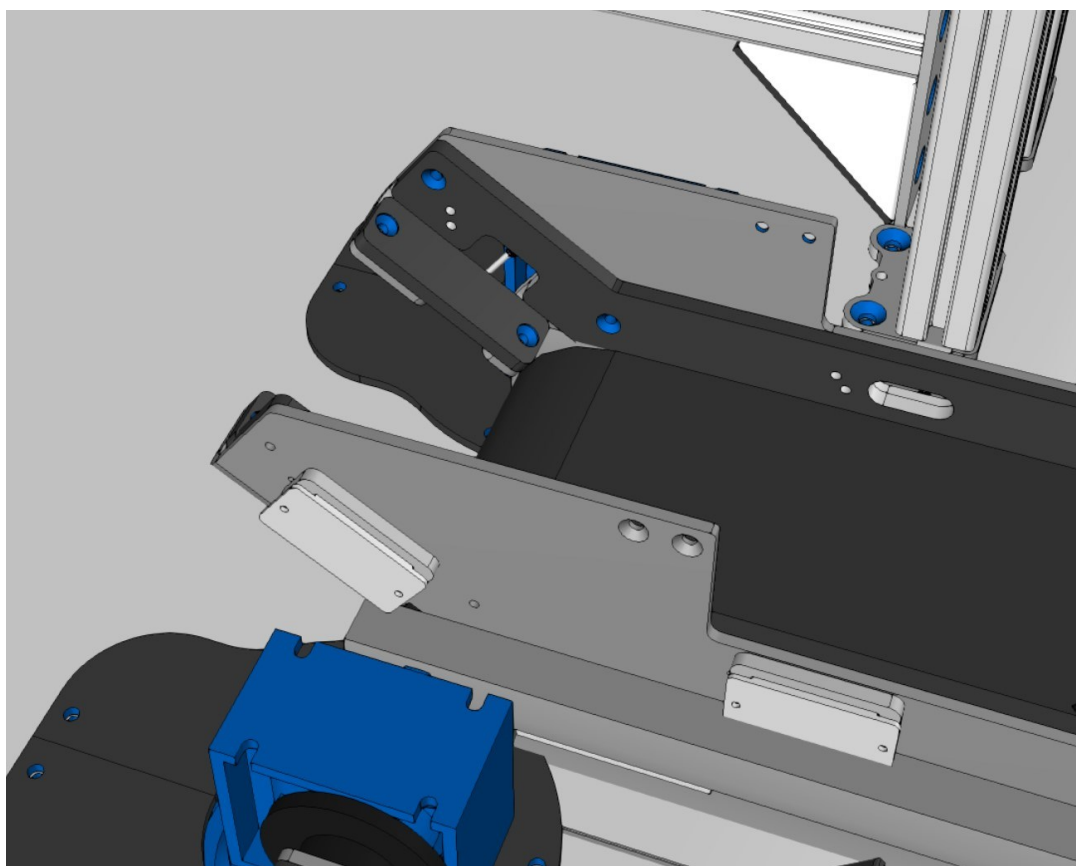


Kuva 19. Tuotteen 2 uusi prosessikaavio.

Simuloinnin ensimmäisessä vaiheessa tuotiin tuotteen kaksi 3D-malli simulointiohjelmaan. Sen jälkeen varmistettiin tuotteen sekä robottisolun 3D-mallien mitoista, että tuote kaksi mahtuu robottisoluun johtavalle kuljettimelle ja sieltä poistuvalla kuljettimelle. Tässä vaiheessa todettiin, että tuote kaksi mahtuu kulkemaan kummallakin kuljettimella. Lisäksi tarkastettiin 3D-malleista, sekä robottisolun tarttujien teknisistä tiedoista, aiheuttaako valun koko ongelmia tarttujalle. Tämä täytyi tarkastaa, koska tuote kaksi on mitoiltaan suurempi kuin robottisolussa jo valmistettavat tuotteet. Tässäkään ei havaittu ongelmia.

Toinen vaihe simuloinnissa aloitettiin luomalla valujen syöttö kuljetinta pitkin robottisoluun. Valun syöttämisessä käytettiin ohjelmistosta löytyvää syöttöjärjestelmää, joka luo valun ja syöttää sen kuljettimelle. Tällä mallinnetaan operaattorin tekemää työtä.

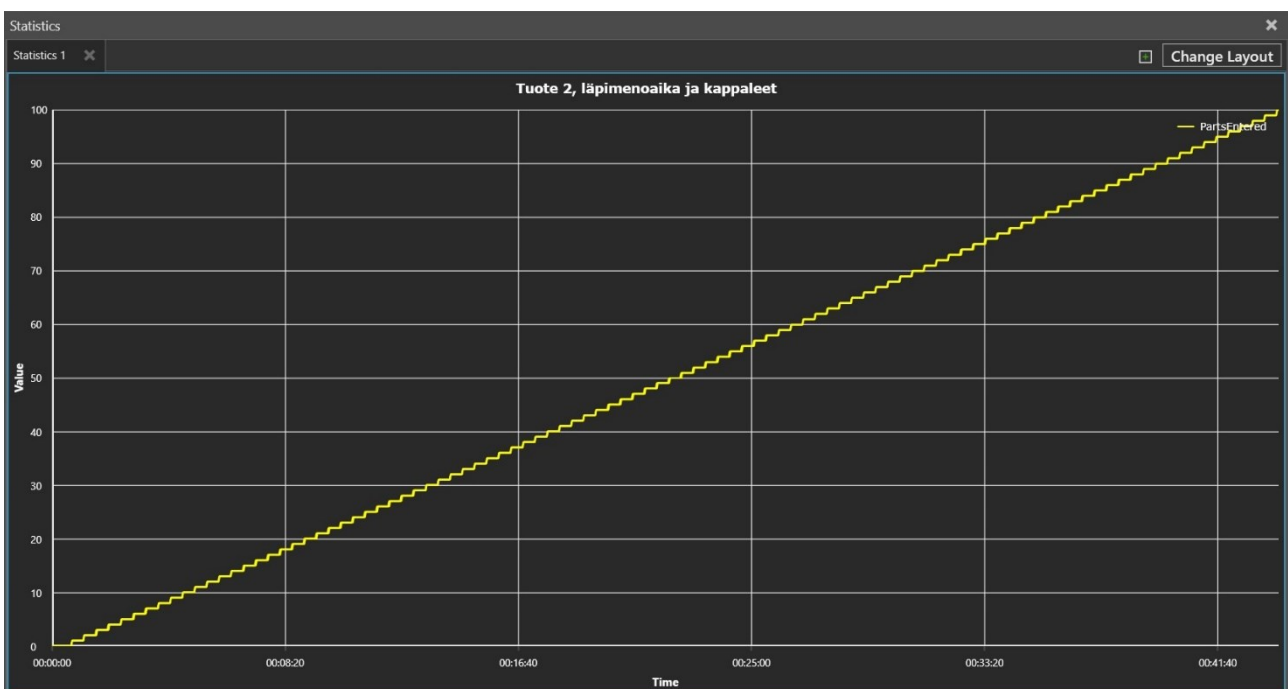
Kolmannessa vaiheessa luotiin roboteille ohjelmat. Lisäksi luotiin robottien sekä kuljettimien välille signaalit, jotta toiminnot sulautuisivat toisiinsa I/O-käskyjen avulla. Robottisolussa on kaksi käsivarsirobottia, joista ensimmäistä käytettiin valun noutoon kuljettimelta, valun käyttämisessä dispensoinnissa ja sen jälkeen valun viennissä jättöpaikalle. Robotin nopeus dispensoinnissa säädettiin vastaamaan tasoa, jota käytetään muissa robottisolussa valmistettavissa tuotteissa. Näin pystytään varmistamaan dispensoinnin laatu. Todettiin, että valun jättöpaikalle täytyisi tehdä jigi valua varten, jottei se jää makaamaan suoraan tasolle. Toisen robotin tehtäväksi jäi noutaa valu paikasta, jonne ensimmäinen roboti jätti sen, ja viedä valu poistokuljettimelle. Jotta tarttuja mahtuu avautumaan riittävästi jättäessä valua poistokuljettimelle, täytyisi valun jättökohtaa (kuva 20) hieman levenittää.



Kuva 20. Poistokuljettimen syöttökohta.

Neljännessä vaiheessa luotiin poistokuljettimelle tietopiste, joka mittaa statistics-toiminnon avulla siihen tulevien kappaleiden läpimenoaikaa ja määrää. Tietopiste asetettiin kuljettimelle paikkaan, josta operaattori poistaa valun.

Kun kaikki vaiheet olivat valmiina, aloitettiin simulointi valujen dispensoinnille robottisolussa. Simulointi suoritettiin ensin kymmenelle valulle ja sen jälkeen sadalle valulle. Kymmenen valun simulaatiossa statistics-toiminnon kuvaaja näytti valujen valmistuneen 4 minuutissa 43 sekunnissa. Sadan valun simulaatiossa aikaa kului 43 minuuttia 47 sekuntia. Sadan valun simulaation kuvaaja esitetään kuvassa 21.



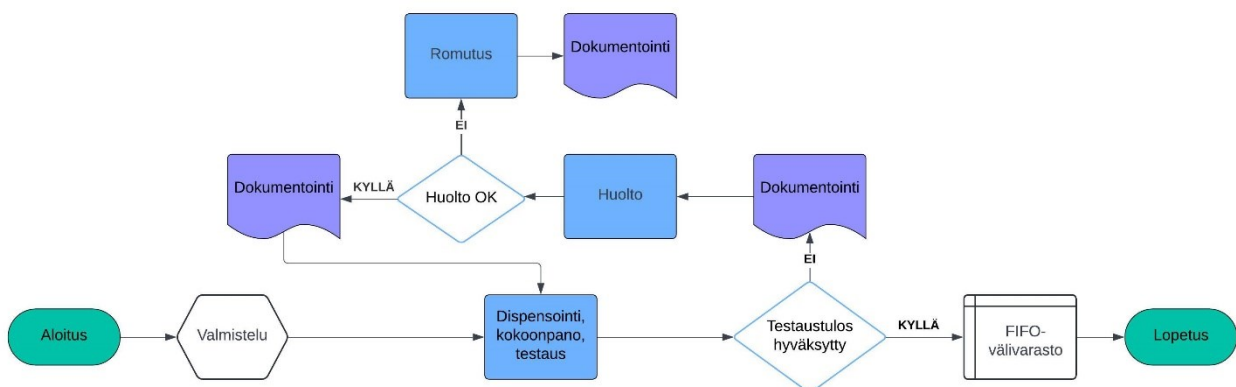
Kuva 21. Tuotteen 2 sadan kappaleen simulaation kuvaaja.

Kuvaaja (kuva 21) on lineaarinen, koska kyseessä on tasatahtinen prosessi. Pystyakselilla on valmistuneet tuotteet ja vaak akselilla aika. Jokaisella tuotteella on saman kestoiset työvaiheet samassa järjestyksessä, jolloin tuotteitakin valmistuu tasaisesti. Kymmenen valun simulaatiossa tuotteen kaksi läpimenoajaksi tuli yhdelle valulle 28,3 sekuntia ja sadan valun simulaatiossa yhden valun läpimenoajaksi tuli 26,3 sekuntia. Todettiin, että tässä ajassa operaattori ennättää täyttää robottisoluun menevällä kuljettimelle valuja, ottaa dispensoitu valu pois ja asettaa lämmönjohtomatot dispensoituihin valuihin.

Asetusajaksi prosessiin laitettiin 1 minuutti ja 50 sekuntia. Asetusaika on sama aika kuin nykytilatutkimuksessa. Syynä tähän oli se, että valuhylly sijaitsee kummassakin solussa käytännössä yhtä kaukana ja ohjelman vaihto vie yhtä kauan robottisolussa kuin dispensointirobotilla ohjelman vaihto ja jigien vaihto.

5.2.3 Tuote 3

Tuotteen kolme pullonkaulaksi todettiin dispensointi, jolloin operaattorille tuli minuutti odotusaikaa vaihekierron aikana. Lisäksi piirilevyn asettamiseen tarvittavaa jigä ei ollut työpisteellä. Tästä syystä työ jouduttiin tekemään dispensointirobotin luona. Tämä aiheutti sen, että dispensointi ei voinut jatkua lähes välittömästi edellisten kappaleiden valmistuttua. Tuotteen testaus tehtiin vasta kun kaikki tuotteet olivat kokoonpantu, joten täytyi tutkia mahdollisuutta testata tuotteita kokoonpanon aikana operaattorin toimesta. Näiden perusteella luotiin uusi prosessikaavio tuotteelle kolme, jossa yhdistetään dispensointi ja kokoonpano robottisolussa, ja testaus tehtäisiin heti kun kappale tulee poistokuljettimelle poistokohtaan. Tulevaisuudentilatutkimuksen tavoitteena oli tuotteen kolme kohdalla lyhentää läpimenoaikaa, ja yhdistää testaus samaan vaiheeseen, kuten prosessikaaviossa kuvassa 22 esitetään.



Kuva 22. Tuotteen 3 uusi prosessikaavio.

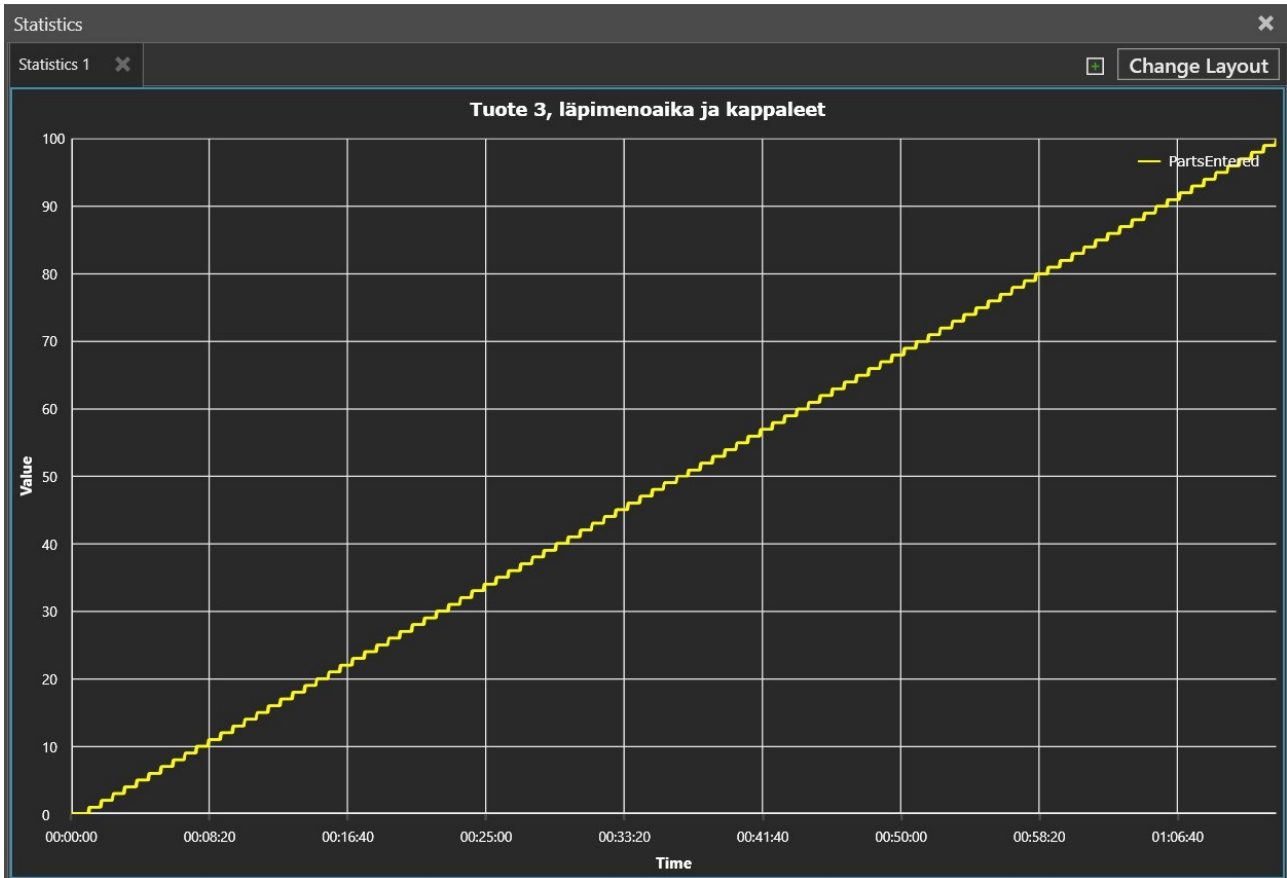
Simuloinnin ensimmäisessä vaiheessa tuotiin tuotteen kolme 3D-mallit simulointiohjelmaan. 3D-mallit pitivät sisällään kaksi valua sekä piirilevypaneelin. Koska olemassa olevassa robottisolussa valmistettiin hyvin samankokoisia tuotteita, ei mitoitusta tarvinnut varmistaa tuotteesta kolme. Seuraavaksi luotiin molempien valujen syöttö kuljettimia pitkin

robottisoluun. Valujen syöttämisessä käytettiin ohjelmistosta löytyvää syöttöjärjestelmää, joka luo valun ja syöttää sen kuljettimelle. Tällä mallinnettiin operaattorin tekemää työtä. Tuotteen kolme simulointimallissa käytettiin kaikkia kolmea olemassa olevaa kuljetinta. Kahta kuljetinta tarvittiin kahden erilaisen valun syöttämiseen robottisoluun ja kolmas kuljetin toimi poistokuljettimena.

Toisessa vaiheessa simulointia luotiin ohjelmat käsivarsiroboteille ja niihin liitettiin signaalit kuljettimiin. Ensimmäisen robotin tehtävinä oli hakea etukansivalu kuljettimelta, käyttää valu dispensoinnissa, kuvauttaa dispensoitu valu ja sen jälkeen jättää valu jättöpaikalle. Toisen robotin tehtäväksi tuli hakea piirilevypaneeli depanelointiin piirilevyräkistä, hakea piirilevy depaneloinnin jälkeen kuvattavaksi, ja viedä piirilevy jättöpaikalla odottavaan valuun. Nämä vaiheet kulkivat rinnakkain ensimmäisellä ja toisella robotilla. Näiden vaiheiden jälkeen toinen robotti haki takakansivalun kuljettimelta, asetti sen dispensoidulle piirilevyvalulle, ja tämän jälkeen käytti kokoonpanon automaattisella ruuvausasemalla ruuvauksessa. Kun lopullinen kokoonpano oli tehty, jätettiin tuote kolme poistokuljettimen jättöpaikalle. Työnkierto toteutettiin niin, että ensimmäinen robotti aloitti uuden työnkierron, kun toinen robotti siirtyi ruuvausasemalle kokoonpanon kanssa. Näin välttyttiin törmäyksiltä jättöpaikalla ja välttyttiin pitkiltä odotusajoilta robottien suhteen.

Kolmannessa vaiheessa luotiin poistokuljettimelle tietopiste, joka mittaa Statistics -toiminnon avulla siihen tulevien kappaleiden läpimenoaikaa ja määrää. Tietopiste asetettiin kuljettimelle kohtaan, josta operaattori poistaa valun.

Simulointi suoritettiin dispensoinnille ja kokoonpanolle ensin kymmenelle tuotteelle, ja sen jälkeen sadalle tuotteelle. Kymmenen kappaleen simulointiin kului aikaa 7 minuuttia 35 sekuntia. Sadan kappaleen simulaatiossa aikaa kului 1 tunti 12 minuuttia 35 sekuntia. Kuvassa 23 esitetään sadan kappaleen simulaation kuvaaja.



Kuva 23. Tuotteen 3 sadan kappaleen simulaation kuvaaja.

Kuvaaja (kuva 23) on lineaarinen, koska kyseessä on tasatahtinen prosessi. Pystyakselilla on valmistuneet tuotteet ja vaak akselilla aika. Jokaisella tuotteella on saman kestoiset työvaiheet samassa järjestyksessä, jolloin tuotteitakin valmistuu tasaisesti. Kymmenen kappaleen läpimenoajaksi saatiin 45,5 sekuntia ja sadan kappaleen läpimenoajaksi saatiin 43,55 sekuntia. Läpimenoaikojen perusteella todettiin, että testaus ja tarrojen liimaus voidaan suorittaa robottisolussa tehtävän dispensoinnin ja kokoonpanon yhteydessä. Lisäksi operaattori ennättää syöttää uusia valuja kuljettimille.

Asetusajaksi laitettiin 7 minuuttia tuotteelle kolme, se määritettiin kellottamalla robottisolussa jo valmistettavien tuotteiden asetusajoja. Tässä ajassa operaattori siirtää valut solun reunalla olevasta hyllystä kuljettimien viereen, hakea piirilevyt piirilevyjen välivarastosta sekä vaihtaa ohjelman roboteille.

6 TULOKSET JA POHDINTA

Tuotteen yksi kohdalla simuloinnissa läpimenoaika laski 75 % alkuperäisestä läpimenoajasta, kuten taulukosta 1 voidaan havaita. Läpimenoajan lyhentyminen johtui työnkierrosta, jota robotit pystyivät lähes samanaikaisesti suorittamaan. Tuotteen yksi kohdalla täytyisi olemassa olevan robottisolun jättöpaikalle suunnitella ja vaihtaa uusi jigi, jota voisi käyttää kaikille robottisolussa valmistettaville tuotteille.

Taulukko 1. Tuotteen 1 läpimenoajat ja niiden muutos.

Tuote 1	
Läpimenoaika nykytilatutkimuksessa	0:02:00
Läpimenoaika tulevaisuudentilatutkimuksessa	0:00:30
Nykytila- ja tulevaisuudentilatutkimuksen läpimenoajan erotus	0:01:30
Nykytila- ja tulevaisuudentilatutkimuksen läpimenoajan muutos prosentteina	-75,00

Tuotteen kaksi kohdalla simuloinnissa läpimenoaika laski 62,86 % alkuperäisestä läpimenoajasta, kuten taulukosta 2 voidaan havaita. Syynä tähän oli selkeästi se, että nykytilatutkimuksessa todettu operaattorin odotusaika käytännössä katosi robottien työnkierron ansiosta. Jotta välttyttäisiin mahdollisilta epäpuhtauksilta tuotteessa kaksi, täytyisi jättöpaikalle asentaa jigi, johon tuote voidaan jättää. Lisäksi poistokuljettimen jättöpaikka vaatisi muutoksen, jotta tarttuja pääsee avautumaan tarpeeksi.

Taulukko 2. Tuotteen 2 läpimenoajat ja niiden muutos.

Tuote 2	
Läpimenoaika nykytilatutkimuksessa	0:01:10
Läpimenoaika tulevaisuudentilatutkimuksessa	0:00:26
Nykytila- ja tulevaisuudentilatutkimuksen läpimenoajan erotus	0:00:44
Nykytila- ja tulevaisuudentilatutkimuksen läpimenoajan muutos prosentteina	-62,86

Tuotteen kolme kohdalla simuloinnissa läpimenoaika laski 73,33 % alkuperäisestä läpimenoajasta, kuten taulukosta 3 voidaan havaita. Läpimenoajan parannus johtui selvästi siitä, että testaus saatiin yhdistettyä samalle vaiheelle. Lisäksi tähän vaikutti robottien työnkierto, jota ne pystyivät suurimmilta osin samanaikaisesti suorittamaan. Simuloinnissa ei havaittu mitään, mikä estäisi tai vaikuttaisi tuotteen valmistukseen robottisolussa. Muutoksia olemassa olevaan robottisoluun ei tarvita tämän tuotteen valmistusta varten.

Taulukko 3. Tuotteen 3 läpimenoajat ja niiden muutos.

Tuote 3	
Läpimenoaika nykytilatutkimuksessa	0:02:45
Läpimenoaika tulevaisuudentilatutkimuksessa	0:00:44
Nykytila- ja tulevaisuudentilatutkimuksen läpimenoajan erotus	0:02:01
Nykytila- ja tulevaisuudentilatutkimuksen läpimenoajan muutos prosentteina	-73,33

Tutkimus saatiin suoritettua alusta loppuun hyvin. Suurempia ongelmia siinä ei esiintynyt. Perehtyminen ja suunnittelu vaikuttivat suuresti tutkimuksen etenemiseen. Lisäksi tietojen saaminen ajoissa toimeksiantajalta auttoi viemään asioita eteenpäin.

Pelkästään nykytilatutkimuksesta saaduilla tiedoilla voidaan tehdä analyysiä. Analyysin avulla voidaan selvittää voiko nykyistä prosessia tehostaa pienillä muutoksilla, vai vaatiiko se jotain suurempaa muutosta. Tämä kannattaa tehdä jokaiselle tuotteelle, vaikka nykyinen prosessi tuntuisi tehokkaalta.

Simulaatiosta olisi saanut tietoa ulos huomattavasti enemmän, mutta tutkimuksessa keskiytettiin lopulta läpimenoaikoihin automatisoinnin vuoksi. Simuloinnissa olisi ollut mahdollista tarkastella statistiikan avulla esimerkiksi robottien käyttöasteita, joiden avulla olisi voitu muun muassa optimoida vielä työvaiheita ja niiden kestoa. Simulointiin ei myöskään otettu lopussa mukaan ohjelmistosta löytyviä työntekijöitä, joiden simulointi olisi ollut myös mahdollista käytettävässä ohjelmistossa. Läpimenoajoista ja nykytilatutkimuksen kellotuksista todettiin, että operaattori ennättää hoitaa määrätyt tehtävät. Simuloinnista saatiin tietoa esimerkiksi läpimenoaikojen parannuksista, joita ei muutoin olisi voinut kuvitellakaan.

7 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia, mitä tuotteita voitaisiin kannattavasti siirtää olemassa olevaan robottisoluun sen käyttöasteen nostamiseksi sekä tuotteiden läpimenoajan lyhentämiseksi. Tutkimuksen aikana selvitettiin myös, minkälaisia muutoksia täytyisi tehdä robottisoluun, jotta tuote tai tuotteet voitaisiin sinne siirtää. Ensimmäisenä valittiin siirtoon potentiaaliset tuotteet, jonka jälkeen aloitettiin nykytilatutkimukset tuotteille. Nykytilatutkimusta saatiin tehdä rauhassa tuotteille, ja yhteistyö operaattorien kanssa sujui hyvin. Toimeksiantaja tarjosi lisäksi riittävästi tietoa, jota nykytilatutkimuksessa tarvittiin. Seuraavana vuorossa oli tulevaisuudentilatutkimus, jossa valittujen tuotteiden valmistusta tutkittiin robottisolussa. Tulevaisuudentilatutkimuksessa käytettiin Visual Components -simulointiohjelmistoa, johon saatiin 3D-mallit tuotteista sekä robottisolusta toimeksiantajalta. Valmiiden 3D-mallien saaminen nopeutti työtä huomattavasti. Näiden avulla saatiin luotua ohjelmistoon simulointimalli, jotta tutkimus oli mahdollisimman realistinen. Simuloinnin rakentaminen ohjelmistossa sujui aiemman kokemuksen myötä kohtuullisesti. Vaikkakin ohjeita ohjelmiston käytöstä täytyi välillä hakea. Valitettavasti olemassa olevasta robottisolusta ei saatu tietoja robottien nopeuksista, jotta niitä olisi voitu käyttää simuloinnissa. Nopeuksia arvioitiin todellisten robottien tehtävien kestosta, ja niitä verrattiin simuloinnissa tapahtuviin robottien tehtävien keston. Simuloinnissa robottien liikenopeudet jäivät varmasti alakanttiin verrattuna fyysisten robottien nopeuksiin. Onneksi kuitenkin oikean robotin liikenopeudet dispensoinnissa saatiin otettua talteen ja vietyä simulointimalliin.

Nykytilatutkimusta tehtäessä havaittiin melko nopeasti, mitä ongelmia tuotteiden prosesseissa esiintyi. Lisäksi todettiin, että läpimenoaika saataisiin varmasti parannettua. Kuitenkin lopputulos yllätti simulaation jälkeen, kuinka paljon läpimenoajat paranivat. Lisäksi simulointia rakentaessa huomasi heti muutettavat asiat, jotta tuotteita voitaisiin valmistaa robottisolussa.

Tutkimustulokset puhuvat puolestaan, joten kaikki kolme tutkittavaa tuotetta olisi kannattavaa siirtää robottisoluun. Tämä toisi merkittävää muutosta tuottavuuteen jokaisen tuotteen kohdalla, ja tuotteiden volyymien takia käyttöaste nousisi robottisolussa. Tutkimustulosten sekä monipuolisen valmistuksen mahdollistavan robottisolun perusteella, olisi kannattavaa tarkastella muita tuotteita, joita voisi mahdollisesti valmistaa robottisolussa.

LÄHTEET

Ahokas, P., Tiihonen, J., Neuvonen J., & Suikki, M. (2011). *Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita*. EK-SAK tuottavuustyöryhmä.

Asiakastieto. (i.a.). *Taloustiedot*. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/epec-oy/15690673/taloustiedot>

Billing, M. (2023). Teollisuusrobotti. Teoksessa K. Välimäki, & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden robotiikka* (s.118-119). Suomen Robotiikkayhdistys ry.

Chase, R., & Jacobs, R. (2010). *Operations and Supply Management: The Core* (Second Edition). McGraw-Hill & Irwin.

Coherent. (i.a.) *What is PCB Depaneling?*. <https://www.coherent.com/news/glossary/pcb-depaneling>

Dialani, P. (2020). *Digital Twins: An Advanced Technology to Improve Industrial Robots*. <https://www.analyticsinsight.net/latest-news/digital-twins-an-advanced-technology-to-improve-industrial-robots>

Epec Oy. (i.a.). *Company: About Us*. <https://epec.fi/company/>

Harrison, D.K., & Petty, D.J. (2002). *Systems for planning and control in manufacturing: systems and management for competitive manufacturing*. Butterworth-Heinemann.

HowToRobot. (2024). *Types of industrial robots and their different uses*. <https://howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>

IQS Directory. (i.a.). *Automatic Screwdrivers*. <https://www.igsdirectory.com/articles/automation-equipment/automatic-screwdrivers.html>

Keinänen, T., & Sumujärvi, M. (2019). *Automaatiotekniikka*. SanomaPro.

Korhan, O. (2023). *Digital Twin Technology Fundamentals and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104048>

Kytöharju, J., & Pöysäri, S. (2023). Simulointi ja mallipohjainen etäohjelmointi. Teoksessa K. Välimäki, & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden robotiikka* (s. 252–262). Suomen Robotiikkayhdistys ry.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V., & Torvinen, S. (1997). *Konepajan tuotantotekniikka: Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*. WSOY.

LEAN. (i.a.). *Standard Work Templates: Standardized Work Process Capacity Sheet*. <https://www.lean.org/wp-content/uploads/2021/01/Standardized-Work-Process-Capacity-Sheet.pdf>

Lempiäinen, J. (2023). Teollisuuden robotiikka Suomessa. Teoksessa K. Välimäki & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden robotiikka* (s.19-23). Suomen Robotiikkayhdistys ry.

Luomanmäki, T., & Pakkanen, J. (2018). Simulointitekniikat tuotantoympäristöjen kehityksen tukena. Teoksessa P. Junell, K. Katajisto, P. Mäkelä, & S. Saarikoski (toim.), *Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2018: SeAMKin Tekniikan yksikkö edistämässä digitaalista muutosta teollisuudessa ja rakentamisessa* (s.92-95). (Seinäjoen Ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 134). Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-7109-87-8>

Mann, D. (2010). *Creating a LEAN Culture: Tools to Sustain Lean Conversions* (Second Edition). Taylor and Francis Group.

Mectalent. (29.2.2024). Ajankohtaista Blogi. *Kun valmistettavuus huomioidaan suunnittelussa, säästyy aikaa ja rahaa*. <https://www.mectalent.com/fi/ajankohtaista/valmistettavuus-saastaa-aikaa-ja-rahaa>

Nordson. (i.a.). *736HPA-NV High Pressure Valves*. <https://www.nordson.com/en/products/efd-products/736hpa-nv-high-pressure-valves>

OEM Finland Oy. (i.a.) *Dispenserit*. <https://www.oem.fi/tuotteet/materiaalit-ja-laitteet/dispenserit>

Organising Works. (i.a.). Business Systemization. *The Basics of Process Mapping: Benefits, Tools & Steps*. <https://organisingworks.com.au/the-basics-of-process-mapping/>

Pekarcikova, M. (2020). *Simulation of the production line in 2D -initial state*. https://www.researchgate.net/figure/Simulation-of-the-production-line-in-2D-initial-state_fig2_342180601

Ponsse. (2004). *Ponssesta Epec Oy:n pääomistaja*. https://www.ponsse.com/fi/news2/-/asset_publisher/ZE4CjSrtQpXR/content/ponsse-to-acquire-a-majority-stake-in-epec-oy#/

Raypcb. (i.a.). *What is the PCB Depaneling process? (From Manual to Laser Machine)*. <https://www.raypcb.com/pcb-depaneling/>

Räsänen, J. (11.9.2018). *Articles by Jussi Räsänen*. Dispensointi (osa 1). <https://www.linkedin.com/pulse/dispensointi-osa-1-jussi-r%C3%A4s%C3%A4nen>

- Stöger Automation. (i.a.). *Individual solutions: Automatic screwdriving systems*. <https://www.stoeger.com/en/automatic-screwdrivers.html>
- Tervala, M. (25.11.2020). *Pinja Blogi*. Tavoitteena lyhyempi tuotannon läpimenoaika? <https://blog.pinja.com/fi/tavoitteena-lyhyempi-tuotannon-lapimenoaika>
- Tilastokeskus. (i.a.). *Työn tuottavuus*. https://stat.fi/meta/kas/tyon_tuot.html
- TWI. (i.a.). *Simulation vs Digital Twin (What is the Difference Between Them?)*. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/simulation-vs-digital-twin#SimulationVsDigitalTwinComparison>
- Universal Robots. (i.a.). *Robotiq 2F-85*. <https://www.universal-robots.com/plus/products/robotiq/2f-85/>
- Visual Components. (2016). *5 tips to help you create proposals faster with Visual Components*. <https://www.visualcomponents.com/blog/5-tips-help-create-proposals-faster-visual-components/>
- Visual Components. (2018). *Introducing Visual Components 4.1*. <https://www.visualcomponents.com/blog/introducing-visual-components-4-1/>
- Visual Components. (i.a.-a). *Using Statistics Templates*. <https://academy.visualcomponents.com/lessons/using-statistics-templates/>
- Visual Components. (i.a.-b). *About Us*. <https://www.visualcomponents.com/about-us/>
- Visual Components. (i.a.-c). *Use Cases*. <https://www.visualcomponents.com/use-cases/>
- Visual Components. (i.a.-d). *Learn 3D Simulation using Visual Components*. <https://academy.visualcomponents.com/>
- Väisänen, J. (3.6.2013). *VSM (Value Stream Mapping) – Arvovirtakuvaus*. <https://qkk.fi/vsm-arvovirtakuvaus/>
- Yasar, K. (2024). *What is machine vision?*. <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/machine-vision-computer-vision>