



# Kokoonpanolinjan mobiilirobottien käytön optimointi simuloinnin avulla

Timo Sokero

Opinnäytetyö, ylempi AMK

05/23

Tekniikan ala, Robotiikka (YAMK)

**Timo Sokero**

## **Kokoonpanolinjan kokoonpanomobiilirobottien käytön optimointi simuloinnin avulla**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Toukokuu 2023**, 71 sivua.

Robotiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Tuottavuus on kansantalouden kannalta olennainen mittari. Tuottavuuden kehitys on raporttien mukaan ollut Suomessa pitkään hidasta. Suomen valtioneuvoston robotisoitumista käsittelevässä raportissa esitetään keinoja robotiikan osaamisen kehittämiseksi siten, että robotiikan ja automaation kasvattaminen kasvattaisi myös kansantaloutta.

Opinnäytetyön alkuperäiseksi tavoitteeksi asetettiin löytää toimenpiteet ja ratkaisut toimeksiantajayrityksen tuotantoon investoitujen mobiilirobottien tehokkaaksi hyödyntämiseksi. Työ suunniteltiin toteutettavaksi nykyaikaista simulaatio-ohjelmistoa hyväksi käyttäen. Samalla pyrittiin tuomaan toimeksiantajayrityksessä esille simulaation etuja muutoksia suunnitellessa. Työn edetessä havaittiin, että simulaatio-ohjelmistolla pystytään selkeästi havainnollistamaan valmistusprosessista löydettyjä pullonkauloja. Vastanäiden hukkaa aiheuttavien prosessivaiheiden simuloinnin kautta löydettiin vaihtoehtoja havaittujen vaiheiden kehittämiseksi siten, että myös investoitujen mobiilirobottien lisäinvestoinnista olisi todellista hyötyä. Näiden tulosten pohjalta pystyttiin antamaan budjettiluoteinen kustannusarvio sekä alustava aikataulu muutosten toteuttamiseksi.

Työ toteutettiin monimenetelmäisenä tutkimustyönä määrällisin ja laadullisin menetelmin. Työn kehittämistoteuttaa konstruktivisen tutkimuksen suuntauksen. Työn aikataulun takia lopullista muutosta ei käsitelty vaan tutkimustyön lopputuloksena luovutettiin yritykselle raportti konkreettisesta kehittämis ehdotuksesta.

Kehittämistutkimuksesta tehtävinä johtopäätöksenä voidaan sanoa, että simulaatio-ohjelmistoja hyödyntämällä kyetään suunnittelemaan, havainnollistamaan ja testaamaan tuotantoympäristön toimintaa sekä siihen sidoksissa olevia prosesseja. Ohjelmistojen hyödyntäminen vaatii kuitenkin aikaa sekä osaamista tuotannon kehittämisestä, mittaamisesta ja myös käytetyistä teknologioista. Työssä käytetyn ohjelmiston mahdollisuuksia käsiteltiin eri sidosryhmien kanssa. Kiinnostus ohjelmiston mahdollisuuksien hyödyntämisestä kävi ilmi selvästi ja työn jatkona onkin odotettavissa työn aikana syntyneen mallin jatkokehitystä sekä uusia projekteja.

### **Avainsanat (asiasanat)**

robotiikka, tuottavuus, hukka

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

**Timo Sokero**

### **Mobile robot usage optimization with help of simulation software**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 71 pages

Master's Degree in Robotics. Master's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

Productivity is an essential measure for the national economy. According to reports, the development of productivity has been slow in Finland for a long time. The Finnish Government's report on robotics presents ways to develop robotics expertise in such a way that increasing usage of robotics and automation would also increase the national economy.

The original goal of the thesis was to find measures and solutions for the efficient utilization of the mobile robots invested in the production of the client company. The work was planned to be implemented using modern simulation software. At the same time, an effort was made to highlight the advantages of simulation in the commissioning company when planning changes. As the work progressed, it was discovered that the bottlenecks found in the manufacturing process can be clearly illustrated with the simulation software. It was only through the simulation of these waste-causing process steps that alternatives were found to develop the observed steps in such a way that there would also be a real benefit from the additional investment of the invested mobile robots. Based on these results, it was possible to provide a budget-oriented cost estimate and a preliminary timetable for implementing the changes.

The work was conducted as a multi-method research with quantitative and qualitative methods. The work development part implements the trend of constructive research. Due to the schedule of the work, the final change was not processed, but a report on a concrete development proposal was handed over to the company as the final result of the research work.

As a conclusion from the development research is that it can be said that by using simulation software is possible to plan, illustrate and test the operation of the production environment and the processes connected to it. Utilizing of the software, however, requires time and know-how in production development, measurement and the technologies to be used. The possibilities of the software used in this thesis were discussed with different stakeholders. The interest in utilizing the possibilities of the software was clear, and as a continuation of the work, further development of the model created during the thesis work and new projects can be expected.

### **Keywords/tags (subjects)**

robotics, productivity, waste

### **Miscellaneous (Confidential information)**

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Teollisen tuotannon kehitys.....</b>	<b>9</b>
2.1	Ensimmäinen teollinen vallankumous .....	9
2.2	Toinen teollinen vallankumous .....	10
2.3	Kolmas teollinen vallankumous .....	11
2.4	Neljäs teollinen vallankumous eli Industry 4.0 .....	13
2.5	Industry 5.0 .....	15
<b>3</b>	<b>Teollinen yritys ja sen toiminta .....</b>	<b>16</b>
3.1	Yrityksen toiminta ja toimintaedellytykset .....	16
3.1.1	Yrityksen toiminnan kannattavuus .....	17
3.1.2	Tuottavuus ja sen laskenta .....	18
3.1.3	Laatu .....	19
3.2	Lean ja hukka.....	19
3.3	Teollisen yrityksen sujuvan tuotannon perusta .....	21
3.3.1	Oppimiskäyrä ja mitä se tarkoittaa.....	22
3.3.2	Tuotannon kapasiteetti ja läpimenoaika .....	23
3.3.3	Menekin ennustaminen ja sen vaikutukset.....	23
3.3.4	Mitä ovat kokonais-, karkea- ja hienosuunnittelu? .....	24
3.3.5	JIT-tuotanto.....	24
3.4	Työntutkimus osana työn kehittämistä .....	25
3.5	Valmistusprosessin mallintaminen virtuaaliympäristössä .....	26
<b>4</b>	<b>Mitä on robotiikka? .....</b>	<b>28</b>
4.1	Robotin määritelmä .....	28
4.2	Teollisuusrobottien tyypit pähkinänkuoressa.....	29
4.3	Mobiilirobotit, kehitys ja niiden turvallisuus .....	31
<b>5</b>	<b>Tutkimuksen asettelu .....</b>	<b>36</b>
5.1	Tutkimus- ja kehitysympäristö .....	36
5.2	Opinnäytetyön tutkimuskysymykset.....	37
5.3	Opinnäytetyön tietoperusta.....	38
5.4	Käytetyt tutkimusmenetelmät, aineiston keruu ja luotettavuus .....	38
<b>6</b>	<b>Tutkimuksen toteutus.....</b>	<b>40</b>
6.1	Nykytilan kartoitus .....	40
6.2	Kehittämiskohde .....	42

6.3	Kehityskohteen alkuperäinen mallintaminen .....	43
6.3.1	Valmistusprosessin alueen mallintaminen ja säännöt .....	43
6.3.2	Prosessin sekä työvaiheiden mallintamisen perusta.....	45
6.3.3	AGV-vaunujen mallintaminen.....	50
6.3.4	Valmistettavien tuotteiden, luontielementtien ja välivarastojen mallintaminen.	52
6.3.5	Prosessin testausasetelma.....	55
6.3.6	Katselmointi sekä kehityskohteesta päättäminen .....	56
6.3.7	Ensimmäisen mallin luonnissa ja testauksessa havaitut ongelmat sekä virheet ..	56
6.4	Simulaatiomallin laajentaminen kehityskohteen osalta .....	58
6.4.1	Laajennetun prosessin virtuaalimallin luominen.....	59
6.4.2	Prosessimallin tuottama statistiikka .....	62
6.5	Uuden prosessimallin testaus eri vaihtoehdoin.....	62
6.5.1	Alkuperäinen malli ja päätelmä .....	63
6.5.2	Toinen ratkaisuvaihtoehto.....	63
6.5.3	Kolmas malli ja lisätyt AGV:t.....	64
6.5.4	Viimeinen eli neljäs skenaario .....	65
6.6	Ehdotetut vaihtoehdot, muutokset ja niiden kustannukset.....	65
<b>7</b>	<b>Tutkimuskysymysten vastaukset.....</b>	<b>67</b>
7.1	Onnistuuko prosessin mallintamien vastaamaan todellisuutta?.....	67
7.2	Pystytäänkö prosessimallista saamaan joustava tuotemuutosten vaikutusten simuloimiseksi? .....	68
7.3	Löydetäänkö mahdollisille pullonkauloille vaihtoehtoisia ratkaisuja prosessin mallintamisen kautta?.....	68
<b>8</b>	<b>Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus .....</b>	<b>68</b>
8.1	Eettisyys.....	68
8.2	Luotettavuus .....	69
<b>9</b>	<b>Pohdintoja opinnäytetyöstä.....</b>	<b>70</b>
9.1	Aiheen käsittelyn hyödyllisyys .....	70
9.2	Ajatukset jatkokehityksestä .....	70
	<b>Lähteet .....</b>	<b>71</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Höryveturi oli yksi ensimmäisen teollisen vallankumouksen kuljetukseen liittyvistä edistysaskeleista. (Manske 2012) .....	10
Kuvio 2. Vanha Ford Motor Companyn teollisuusrakennus .....	11
Kuvio 3. Siemens PLC:n etä-IO yksikkö kalustettuna tuotantolaitteen automaatiokeskukseen.	12
Kuvio 4. Autotehtaan robottilinja .....	13
Kuvio 5. Industry 4.0 (Christoph Roser n.d.) .....	14
Kuvio 6. Industry 4.0 (Ottomotors, 2018) .....	15
Kuvio 7. Yrityksen talousprosessi (Haverila ym. 2009, 18, muokattu) .....	17
Kuvio 8. Yrityksen kannattavuuden tekijöitä (Haverila ym. 2009, 20, muokattu).....	18
Kuvio 9. Lean:n viisi periaatetta Tero Vuorisen määrittelyn mukaisesti. (Vuorinen 2013, 53, muokattu).....	20
Kuvio 10. Oppimiskäyrä (Lahden Rationalisointiyhdistys ry, 2023).....	22
Kuvio 11. Kanban imuohjauksen periaate (LaurensvanLieshout, 2008).....	25
Kuvio 12. Esimerkki tuotantosolun tutkimustuloksesta. ....	26
Kuvio 13. Digitaalinen kaksonen (Wilmjakob, 2020, muokattu) .....	27
Kuvio 14. Portaalirobotti (Wöllauer, 2006).....	29
Kuvio 15. Scara-robotin kinematiikka (EBattleP, 2019) .....	30
Kuvio 16. Delta-robotti (Perroud, 2006) .....	30
Kuvio 17. Autotehtaan korihitsauslinjan kiertyvänivelrobotteja (Haophuong21, 2021) .....	31
Kuvio 18. Varhainen AGV eli vihivaunu 1950-luvulla (Vermeer, 2021) .....	32
Kuvio 19. ek robotic X MOVE mallisarjan AGV ja AMR mobiilirobotteja (Ek robotics GmbH, 2022) .....	32
Kuvio 20. Kiertyvänivelrobotteja asennettuna erilaisille (AMR) mobiilirobotialustoille (KUKA AG, 2020) .....	34
Kuvio 21. ISO-3691-4 turvallisuusvaatimusten riippuvuussuhteet (TüV, 2020).....	35
Kuvio 22. Konstruktiivisen kehitystyöprosessin vaiheet (Ojasalo 2014, muokattu).....	39
Kuvio 23. Valmistusprosessin vaiheet tehtaan layout:ssa .....	41
Kuvio 24. Uusi prosessikaavio Visual Components mallinnuksen pohjaksi .....	42
Kuvio 25. Pathway-alueen parametrien määrittely.....	44
Kuvio 26. Ensimmäisen prosessimallin Pathway-area-komponenteilla toteutettu työalue .....	44
Kuvio 27. Process Noden parametrien määrittelynäköymä .....	45
Kuvio 28. Prosessivaiheen toiminnallisuuden määrittelytilan valinta .....	45
Kuvio 29. Prosessivaiheen perusmäärittely.....	46
Kuvio 30. Prosessivaiheet sijoitettuna layout:iin .....	46

Kuvio 31. Mobile Robot Transport Controller määrittely.....	47
Kuvio 32. Process Flow määrittelytilan valinta .....	48
Kuvio 33. Prosessisiirtymä kahden prosessipisteen välillä .....	48
Kuvio 34. Prosessisiirtymän toteuttajan eli Implementer-parametrin määrittely.....	48
Kuvio 35. PathWay-alueet yhdistettynä Mobile Robot Controlleriin .....	49
Kuvio 36. Prosessin etenemisjärjestys .....	50
Kuvio 37. Prosessin kierto virheellisenä sekä toimivana toteutuksena.....	50
Kuvio 38. Mobiilirobotti muokattuna muistuttamaan tuotantoon investoituja AGV-vaunuja ..	51
Kuvio 39. Mobiilirobotin energiavarausten hallinta oli poistettava käytöstä .....	51
Kuvio 40. Mobiilirobotin latausalue parametreineen.....	51
Kuvio 41. Määritetyt tuotetyypit ja niiden tunnisteparametreja .....	53
Kuvio 42. Tuotanto-ohjelman mukaisten tuotteiden syöttäminen prosessiin .....	54
Kuvio 43. Välivarasto ja varaston ominaisuudet.....	54
Kuvio 44. Kehityskohteen valinnan pohjaksi käytetty simulaatiomalli .....	55
Kuvio 45. Prosessin visualisointi havaitun pullonkaulan havainnollistamiseksi .....	56
Kuvio 46. Tyhjänä ajava mobiilirobotti .....	57
Kuvio 47. AGV-vaunun lukitusehdot prosessivaiheella .....	57
Kuvio 48. Vaikeuksia tuottanut Conveyor-prosessi .....	58
Kuvio 49. Mallinnettava prosessimalli .....	59
Kuvio 50. Koekäyttölaitteiston materiaalivirtauksen rajoittamiseen käytetty signaalirele .....	60
Kuvio 51. Simulaatiomalliin lisätty alue ja prosessivaiheet .....	60
Kuvio 52. Prosessivaiheiden switch case rakenne .....	61
Kuvio 53. Sinisen tuotteen muista tuotteista poikkeava reitti .....	61
Kuvio 54. Valmistusprosessin mittarit .....	62
Kuvio 55. Prosessin pullonkaulan ilmeneminen välivaraston kuormituksen kautta .....	63
Kuvio 56. Kahden vuotomittauspisteen vaikutus välivaraston kuormitukseen .....	64
Kuvio 57. Prosessiin lisätyt AGV:t mahdollistavat kokoonpanon kaikilla vaiheilla.....	64
Kuvio 58. Kahden vuorottelevan koekäyttöalustan ratkaisun vaikutukset näkyvät selvästi .....	65

## Taulukot

Taulukko 1. Investoinnin budjettilaskelma .....	66
---	----

# 1 Johdanto

Suomen valtionvarainministeriön tuottavuuslautakunnan vuoden 2022 raportissa käsitellään pitkään Suomessa jatkunutta hidasta tuottavuuden kasvua. Työn tuottavuus saavutti huippunsa vuonna 2007 ennen suurta finanssikriisiä. 1970-luvun alusta vuoteen 2007 kasvu jatkui positiivisena lähes katkotta, jos tuottavuutta verrataan Yhdysvaltoihin. Vuoden 2008 jälkeen kehitys on ollut negatiivista tai hetkellinen kasvu erittäin hidasta. (Huovari, Stenborg, Lassi, Kiema, Kuosmanen, Kangaspunta, Maliranta & Obstbaum 2023, 11.) Lautakunnan raportissa sivulla 73 nostetaan yhdeksi suureksi, mutta ei ainoaksi, tuottavuuden laskun syyksi Nokian matkapuhelinliiketoiminnan romahduksen. Raportin mukaan Suomen vienti ei ole palautunut vuoteen 2022 mennessä vuoden 2008 tasolle. (Huovari ym. 2023, 94) Suomen valtioneuvoston vuoden 2018 julkaisussa ”Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030” käsitellään robotisaation vaikutusta mm. teollisuuden tuottavuuteen. Osana tätä selvitystä esitellään toimenpideehtoja robotiikan osaamisen ja kehittämisen edistämiseksi. (Ventä, Honkatukia, Häkkinen, Kettunen, Niemelä, Airaksinen & Vainio 2023, 2.)

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajayrityksen nimeä ei sisällytetä työn raporttiin vaan tekstissä viitataan kyseessä olevaan yritykseen termillä toimeksiantaja. Opinnäytetyön toimeksiantajan sarjatuotanto katsotaan alkaneeksi vuonna 1951. Nykyisessä sijainnissaan koneiden valmistus alkoi vuonna 1969. Yritys on päätenyt useiden omistajavaihdosten kautta osaksi suurta globaalia konsernia. Toimeksiantajan tuotevalikoima ja tuotteissa käytetyt moduulit ovat viime vuosina muuttaneet, monimutkaistuneet ja kasvaneet huomattavasti. Mallivalikoiman laajentuminen ja tuotteiden valmistus sekä myös digitalisoituminen ovat muuttaneet perinteistä kokoonpanoprosessia. Toimeksiantajan päätoimialan kova kilpailu markkina-alueillaan asettaa kovat vaatimukset tuotannon tehokkuudelle, laadulle ja jatkuvalla parantamiselle.

Investoitaessa laajoihin ja pitkän toimitusajan järjestelmiin tulee prosessi suunnitella ja tuntea hyvin. Näin pystytään kohdentamaan investoinnit oikeisiin tuotantovälineisiin oikea aikaisesti. Toimeksiantaja on investoinut uuteen AGV- eli vihivaunujärjestelmään. Järjestelmä on rakennettu osin vanhan tuotantojärjestelmän ehdoilla eli vaunujärjestelmästä ei saada vielä täyttä hyötyä ennen varatun tuotanto alueen vapautumista.



Tämä opinnäytetyö käsittelee toimeksiantajan lopputuotteen yhden pääkomponentin kokoonpanolinjan prosessin mallintamista sekä sitä kautta prosessin sekä mobiilirobottien käytön ja määrän optimointia. Työn aiheeksi valitun moduulikokonaisuuden valmistuksen ja varustelun monimutkaisuus ja eri mallien fyysinen ja toiminnallinen erilaisuus ovat tuoneet haasteita kokoonpanoprosessin prosessin tehokkuuden suunnittelulle ja hallinnalle.

Alkuperäisenä tavoitteena opinnäytetyölle asetettiin uusien mobiilirobottien käytön optimointi. Työn edetessä huomattiin, että mobiilirobottien optimointi vaatii kokoonpanoprosessin lisäksi myös kokoonpanoprosessia seuraavan laadunvarmistusprosessin tarkastelun sekä osittaisen uudelleen mallintamisen. Opinnäytetyössä mallinnettiin useita erilaisia vaihtoehtoja lopulliselle muutosehdotukselle. Prosessimallin toimintaa suunniteltiin ja testattiin visuaalisella mallinnusohjelmistolla. Alkuperäisen ja lopullisen mallin välillä saatiin aikaseksi huomattavia eroja. Työn ulkopuolelle rajattiin muut moduulin kokoonpanoon liittyvät materiaalivirrat esim. koneistukset, osakokoonpanot, sekä laitteistojen tarkempi suunnittelu ja niiden sisältö.

## **2 Teollisen tuotannon kehitys**

Vuosisatojen ajan ihmisten pääelinkeinona oli maatalous. Teollinen tuotanto on tähän verrattuna historiallisesti vielä varsin nuorta. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 4.) Toki jo kauan ennen teollistumista oli keksitty erilaisia työkaluja helpottamaan arjen töitä. Tekninen kehitys eteni kuitenkin hitaasti vuosisatojen ajan. Tänä aikana tehtiin uusia keksintöjä tekniikan alalla, mutta aika ei ollut vielä teollistumisen aikaa, siten kuin se nykyään mielletään. (Martinsuo, Mäkinen, Suomala & Lyly-Yrjänäinen 2016, 6.)

### **2.1 Ensimmäinen teollinen vallankumous**

Teollistumisen katsotaan alkaneen vasta 1700-luvun lopulla. Tarkkaa pistettä vallankumoukselle ei pystytä määrittämään, koska käsitys vaihtelee siitä mikä tarkalleen katsotaan käynnistäneen vallankumouksen. Näitä edellä mainittuja ovat kutoma-, kehruu- tai höyrykoneen keksiminen. Teollistumisen lähtölaukauksena pidetään usein James Watt:n keksimää ja 1784 patentoimaa höyrykoneetta, joka mahdollisti ulkoisen lihasvoimasta riippumattoman energian erilaisiin käyttötarkoituksiin. Höyrykone muutti myös liikkumista, kuten esimerkiksi höyryveturien voimallään. (Ks. kuvio 1.) (Marttinen 2018, 7–8.)



Kuvio 1. Höryveturi oli yksi ensimmäisen teollisen vallankumouksen kuljetukseen liittyvistä edistysaskeleista. (Manske 2012)

Työmarkkinat muuttuivat voimakkaasti teollistumisen myötä. Tehdastyö vaati vähemmän ammattitaitoa, koska työ jaettiin vaiheittaisiin osiin. Työn jakaminen vaiheisiin mahdollisti myös suuremmat valmistusmäärät huomattavasti nopeammin, kuin aiemmin oli kyetty. (Mts. 7–8.)

Mekansaatio käsitteenä syntyi ensimmäisen teollisen vallankumouksen myötä. Yksinkertaisesti sanottuna se tarkoittaa työn tekemistä koneiden avulla. Vielä tällöin koneilla ei ollut omaa älyä vaan kaikki niiden toiminta ja operointi oli lähes aina täysin manuaalista. (Mts. 7–8.)

Suomessa teollistuminen lähti liikkeelle varsin myöhään. Suomessa oli toki rautaruukkeja jo 1500-luvulla, mutta vasta 1860-luvulla alkoi Suomen puunjalostusteollisuuden nousu mitä pidetään Suomen teollistumisen alkuna. (Nurminen 2017.)

## 2.2 Toinen teollinen vallankumous

Toisen teollisen vallankumouksen alku ajoitetaan 1800-luvun loppuun. Sitä siivitti eteenpäin sähkön, erilaisten sähköisten viestintävälineiden ja kulkuneuvojen kehitys. Tekniikan monimutkaistuksessa kasvoi myös koulutuksen tarve. Myös tuotannon tarkempi suunnittelu alkoi kehittyä. Ensimmäinen liukuhihna otettiin teolliseen käyttöön 1870-luvulla, vaikka se olikin keksitty jo vuosisadan alussa. Varsinaisen läpimurron liukuhihnan käytössä teki autovalmistaja Ford. Liukuhihna oli kui-

tenkin paljon enemmän kuin pelkkä tapa liikuttaa kappaleita. Sen käytön tuomien mahdollisuuksien ymmärtäminen avasi aivan uuden tavan suunnitella tuotantoa. Toiselle teolliselle vallankumoukselle on tunnusomaista myös sähköistyminen. (Marttinen 2018, 18.)

Fordin autoteollisuuden kehitys työllisti myös suomalaisia maahanmuuttajia 1900-luvun alkupuolella. Fordin T-malleissa käytettyjen puuosien raaka-aineita saatiin alueilta, minne muutti suomalaisia siirtolaisiksi suuren muuttoliikkeen aikana 1900-luvun alussa, paremman tulevaisuuden toivossa. Pequamingssä Baragan piirikunnassa Superior järven rannalla Ylä-Michiganissa on löydettävissä vielä tänäkin päivänä historiallisia rakennuksia tuolta ajalta. (Ks. kuvio 2.) Henry Fordin kesäasunto sijaitsee aivan rakennuksen naapurissa. (Dougovito 2017.)



Kuvio 2. Vanha Ford Motor Companyn teollisuusrakennus

### 2.3 Kolmas teollinen vallankumous

Kolmannelle teolliselle vallankumoukselle on hyvin tunnusomaista automatisointi. Ford oli myös automatisoinnin osa-alueella alan pioneereja. Tuohon aikaan automaatio oli vielä kuitenkin hyvin yksinkertaista. Vuonna 1969 käyttöön otetun ensimmäisen tietokonepohjaisen ohjelmoitavan logiikan katsotaan aloittaneen kolmannen teollisen vallankumouksen. Kuten toinen teollinen vallankumous niin, kolmaskin sai alkunsa Amerikan Yhdysvalloissa autoteollisuudesta, kun Modicon 084 PLC (Programmable Control Logic) otettiin tuotannolliseen käyttöön. (Marttinen 2018, 28.)

Ohjelmoitavan logiikan yhtenä suurena etuna verrattuna saman ajan tietokoneisiin oli niiden koko. Aiempiin kiinteä rakenteisiin releohjauksiin verrattuna logiikan toimintaa kyettiin muuttamaan ohjelmallisesti ilman fyysisiä johdotusten muutoksia. Alkuvaiheessa suureksi haasteeksi muodostui kuitenkin alalta puuttuva standardointi. Toisaalta vielä tänäkin päivänä väylästandardit ovat osin puutteellisia. Logiikoiden käyttökelpoisuus hyvin erilaisissa sovelluksissa takaa niiden suosion edelleen teollisuudessa. Esimerkiksi muokattavuus mahdollistaa niiden monipuolisen käytön. (Ks. kuvio 3.) (Mts. 28.)



Kuvio 3. Siemens PLC:n etä-IO yksikkö kalustettuna tuotantolaitteen automaatiokeskukseen.

Ensimmäiset teollisuusrobotit syntyivät myös 1960-luvulla. Heti vuosikymmenen alussa otettiin autoteollisuudessa käyttöön ensimmäinen metallivalutyöhön liitetty robotti. 1969 syntyi ensimmäinen 6-akselinen robottikäsi mitä pidetäänkin nykyisten teollisuusrobottien ensimmäisenä mallina. (Ks. kuvio 4.) Jo vuonna 1973 tuli markkinoille ensimmäinen täysin tietokoneohjattu robotti. 1980-luvun alun jälkeen kymmenessä vuodessa oli teollisuudessa otettu käyttöön arviolta jopa 400000 teollisuusrobottia. (Mts. 28.)



Kuvio 4. Autotehtaan robottilinja

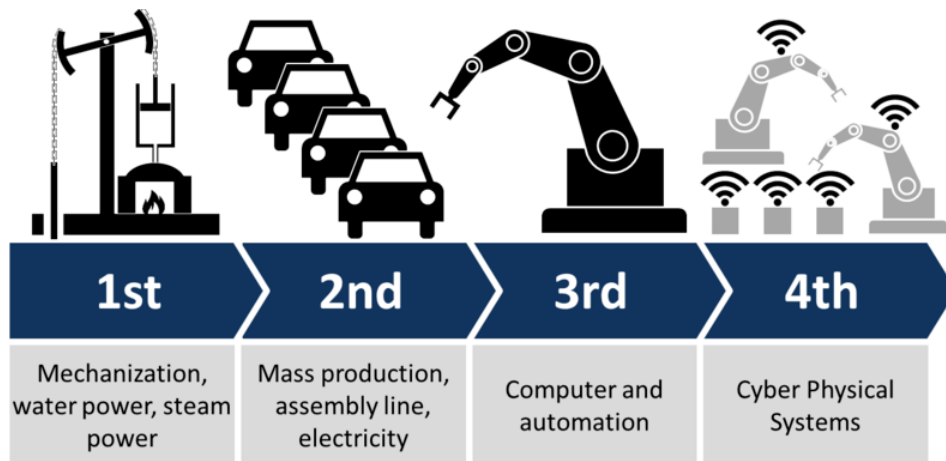
Teollisuuden automatisoitumisen myötä oletettiin, että työttömyys lisääntyy. Tällöin puhuttiin teknologisesta työttömyydestä. Kuitenkin 1960-luvulla voitiin Yhdysvalloissa todeta, että työttömyys ei lisääntynyt vaan pieneni, vaikka esimerkiksi automaatio kehittyi. Työpaikat syntyivät vain uusille aloille eli teknologia ei määrittänytään kokonaistyöllisyyttä (Mts. 30.).

## 2.4 Neljäs teollinen vallankumous eli Industry 4.0

Hannoverin messuilla vuonna 2011 esiteltiin Saksan teollisuuden alustatalouden edistämiseksi Industrie 4.0. Kansallisella ohjelmalla oli tarkoitus säilyttää maan teollisuus teknologisen kehityksen kärjessä. Hankkeen ydinajatuksena on pyrkiä pitämään Saksa maailmassa teollisuuden kärki-maana. (Rouvinen 2016.)

Neljäs teollinen vallankumous ei ollut Hannoverin messuilla julkaistuna itse terminä kuitenkaan uusi. Termiä on käytetty jo 1940, 1950 ja 1970-luvuilla uusien teknologisten innovaatioiden yhteydessä. Tänä päivänä neljännestä teollisesta vallankumouksesta puhuttaessa tarkoitetaan yleisesti Industry/Teollisuus 4.0 käsitettä. (Marttinen 2018, 43.)

Neljäs teollinen vallankumous ei ole muutenkaan kuten edeltäjänsä. Aiemmat vallankumouksen pohjautuivat pitkälti aineelliseen tuotantoon. Neljäs teollinen vallankumous perustuu hyvin pitkälti aineettomaan sisältöön. (Ks. kuvio 5.) (Mts. 43). Keskeisiä osa-alueita Industry 4.0:ssa on mm. esineiden internet (IoT), robotiikka ja tekoäly. (Salmi 2022.)



Kuvio 5. Industry 4.0 (Christoph Roser n.d.)

Industry 4.0:n eräänä tarkoituksena on yhdistää yrityksen järjestelmät siten, että ne pystyvät jakamaan tietoa keskenään. Älykkäiden tehtaiden tuotannon joustavuus mahdollistaa jopa yksilöllisten tuotteiden taloudellisesti kannattavan valmistamisen. (Marttinen 2018, 44.)

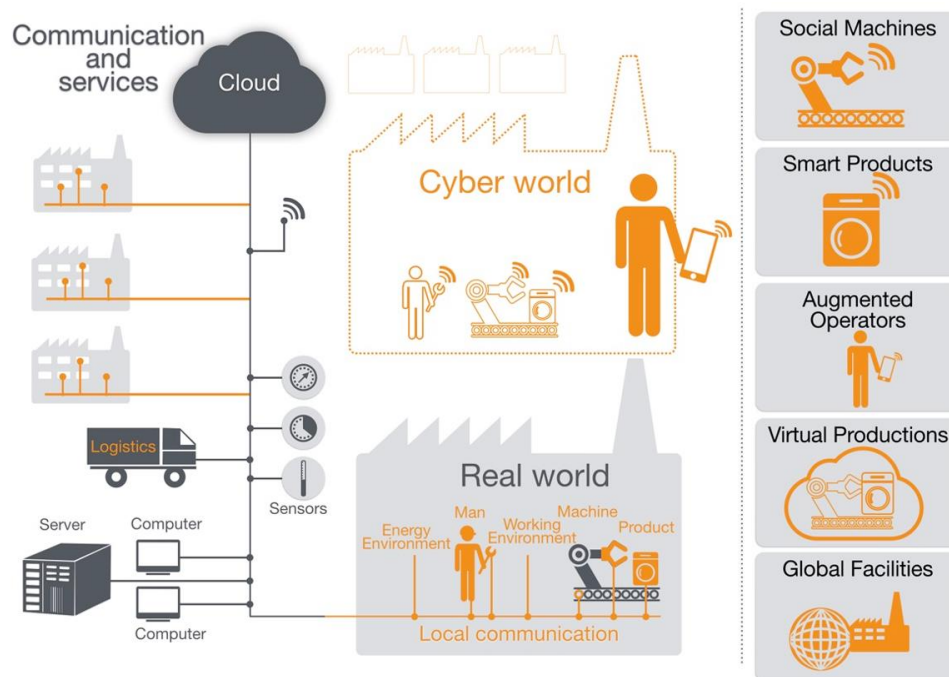
Industry 4.0:ssä on neljä toteutuksen peruseriaatetta: (Spencer, 2021)

1. Interoperability eli yhteistoimivuus on peruseriaatteista ensimmäinen. Se tarkoittaa koneiden ja laitteiden kykyä kommunikoida sekä keskenään, että ihmisen kanssa. Tärkeä osa toimintaa on tiedon reaaliaikainen analysointi erilaisten järjestelmien esim. toiminnanohjausjärjestelmien avulla.
2. Toinen peruseriaate on tiedon läpinäkyvyys. Tämä mahdollistaa tuotannon prosessien reaaliaikaisen seurannan ja sen avulla tehtävien ohjaustoimenpiteiden kautta korkean tuottavuuden.
3. Tekninen apu, mikä tarkoittaa laitteiden ja järjestelmien kykyä helpottaa ihmisen fyysistä työtä sekä visualisoinnin avulla tehtäviä päätöksiä.
4. Tiedon ja päätöksenteon hajauttaminen tarkoittaa sitä, että järjestelmät ja laitteet kykenevät tekemään päätöksiä itsenäisesti ilman ihmisen ohjausta.

Teollinen esineiden internet (IIoT) kuvaa laitteiden, datan ja ihmisen valmistukseen liittyvää yhteyttä (Epicor 2023). (Ks. kuvio 6.) IIoT:n avulla on mahdollista kerätä ja tallentaa älykkäiden laittei-



den dataa niiden toiminnasta. Laitteiden ohjaaminen on usein myös mahdollista internetin välityksellä. Kerätty data ei itsessään vielä kerro kokonaisuuden toiminnasta, vaan vasta data-analytiikka avaan todellisen kuvan tuotannon tilasta. Business Intelligencen eli BI:n avulla pystytään käsittelemään ja visualisoimaan eri lähteistä kerättyä dataa. (Väisänen 2019.) BI-työkalut ovat yksi uusi tapa, jolla voidaan mahdollistaa tarkempaa tiedolla johtamista. (Pulkkinen & Haapea 2020.)



Kuvio 6. Industry 4.0 (Ottomotors, 2018)

## 2.5 Industry 5.0

Viidettä teollista vallankumousta ei ole vielä varsinaisesti määritelty. Neljännen teollisen vallankumouksen ollessa vielä varsin nuori on vain arvauksia mitä tulevaisuus tuo tullessaan. Arviot kohdistuvat ihmisen ja koneen yhteistoiminnan syventymiseen mikä onkin yksi keskeinen asiantuntijoiden muodostama käsitys tulevasta. (EEESC 2018.) On kuitenkin ennustettu, että viides teollinen vallankumous ajoittuisi laskennallisesti 2050-luvulle (Heikkinen, 2017).

Viime aikoina keskustelu tekoälyn nopeasta kehityksestä ja käytön eettisyydestä on noussut otsikoihin. Tekoälyä hyödyntävälle ChatGPT AI:lle esitettävässä kysymyksessä "Milloin viiden teollinen vallankumous alkaa?" saadaan vastaukseksi:

” En ole varma, milloin viides teollinen vallankumous alkaa, koska tällaista tapahtumaa ei ole ennustettu tai suunniteltu tarkasti. Itse asiassa termi "viides teollinen vallankumous" on edelleen kiistanalainen ja sen tarkka merkitys ei ole täysin selvä. Jotkut uskovat, että se on jo alkanut ja liittyy 5G-teknologiaan ja tekoälyyn, kun taas toiset näkevät sen tarkoittavan uutta aikakautta, johon liittyy muun muassa kvanttietokoneita ja bioteknologiaa. Tällä hetkellä on vaikea sanoa, milloin tämä kehitys tapahtuu tarkalleen. ”

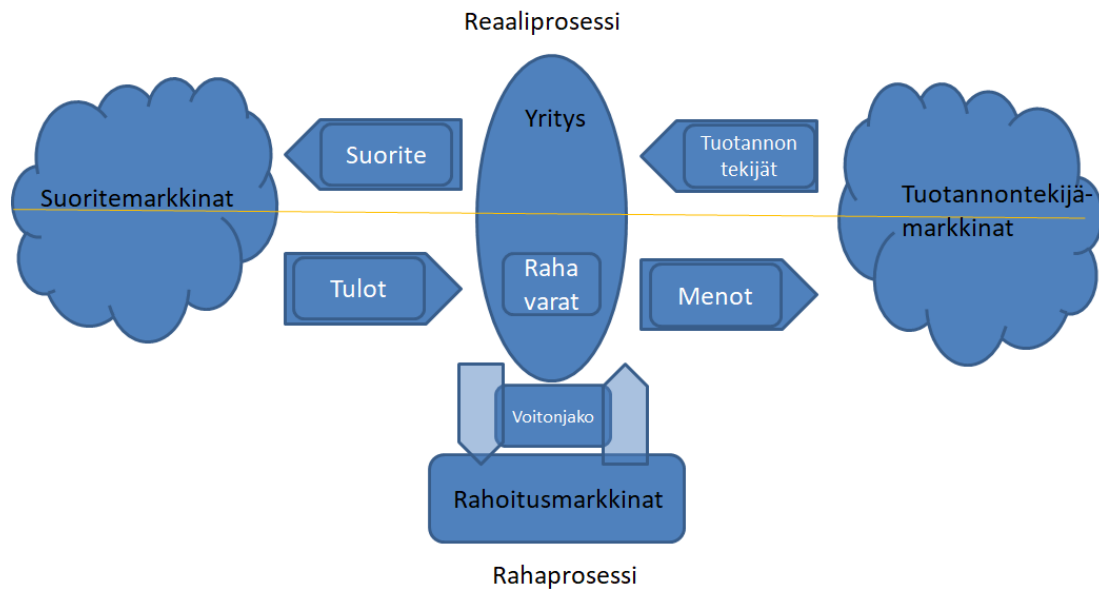
### **3 Teollinen yritys ja sen toiminta**

Yrityksen esisijaisena tavoitteena pidetään yleisesti sen kannattavuutta. Näin määritellään suoraan osakeyhtiölaissa missä sanotaan: ”Toiminnan tarkoitus, Yhtiön toiminnan tarkoituksena on tuottaa voittoa osakkeenomistajille, jollei yhtiöjärjestyksessä määrätä toisin.” (Osakeyhtiölaki 624/2006 5 §). Tässä opinnäytetyön osassa käydään lyhyesti teollisen yrityksen kannattavan toiminnan perusedellytykset.

#### **3.1 Yrityksen toiminta ja toimintaedellytykset**

Teollisen yrityksen reaaliprosessin lopputulokseksi saadaan lopputuloksena suorite eli tuote. Reaaliprosessi toimii tuotannon tekijä- ja suoritemarkkinoiden välissä. Eli yritys yhdistää tuotannontekijämarkkinoilta hankkimansa raaka-aineet, valmistusmateriaalit ja muut tuotannontekijät omassa reaaliprosessissaan suoritteiksi, jotka myydään edelleen suoritemarkkinoille. (Ks. kuvio 7.) (Have-  
rila ym. 2009, 18.)





Kuvio 7. Yrityksen talousprosessi (Haverila ym. 2009, 18, muokattu)

Yrityksen erilaisista rahoitustavoista saama pääoma mahdollistaa tuotannontekijöiden hankinnan ennen kuin suorite saadaan reaaliprosessin kautta markkinoille. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotannontekijöihin sitoutuu omaa tai vierasta pääomaa ennen, kuin suoritemarkkinoilta saadaan pääoman palautusta. Rahoituksen kautta saatua pääomaa on kuitenkin palautettava sovitusti rahoittajille. Rahoittajille on myös maksettava korvaus saadusta tai lainatusta pääomasta. (Mts. 18.)

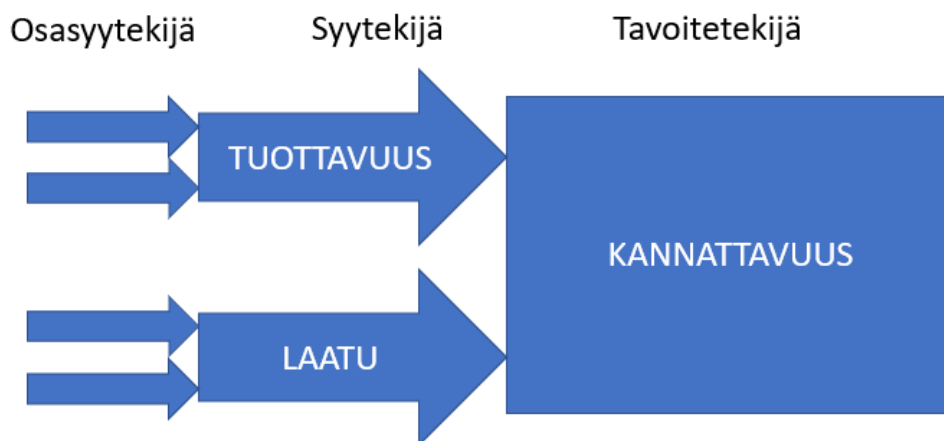
Perinteisesti perusolettamus on, että yritys tuottaa maksimaalisen voiton omistajilleen ja sijoittajille. Yrityksen kolme taloudellista toimintaedellytystä ovat kannattavuus, vakavaraisuus ja likviditeetti. Yrityksen tulojen tulee ylittää pitkällä tähtäimellä menot pystyäkseen toimimaan kannattavasti. Tällöin yritys pystyy vastaamaan kaikkien sidosryhmien rahallisiin velvoitteisiin. (Mts. 19.)

### 3.1.1 Yrityksen toiminnan kannattavuus

Kannattavuus on jaettavissa kahteen osaan, joita ovat lyhyen- ja pitkän aikavälin kannattavuus. Lyhyen aikavälin kannattavuudella tarkoitetaan kykyä vastata yrityksen tulojen kautta yrityksen toiminnan aiheuttamiin menoihin. Pitkän aikavälin kannattavuudessa lasketaan mukaan yrityksen kaikki menot ja voitonjaon kustannukset. Yrityksen toiminnan kannattavuutta voidaan arvioida pitkän aikavälin kannattavuuden kautta. Kannattavuuden tekijöitä ovat tuottavuus ja laatu, jotka jakautuvat osatekijöihin kuvion 8 mukaisesti. (Haverila ym. 2009, 19–20.)

Yrityksen maksukyky eli likviditeetti kuvaa yrityksen kykyä suoriutua lyhytaikaisista maksuista. Kun maksukyky on hyvä, on yrityksellä hyvät edellytykset kasvuun (Nordea, 2023). Tämä tarkoittaa, että yrityksen on järjestettävä rahoituksensa siten, että sen maksukyky säilyy (Haverila ym. 2009, 19).

Kun puhutaan yrityksen vakavaraisuudesta, tarkastellaan yrityksen oman ja lainapääoman suhdetta. Investointien eli pitkävaikutteisten tuotannontekijöiden toteuttaminen sitoo yrityksen pääomaa. Usein pääomaa haetaan myös ulkopuolisella rahoituksella eri menetelmillä. Tällöin ulkopuolisten lainojen korot ja lainojen takaisinmaksut nostavat investoinnin lopullisia kustannuksia. (Mts. 19.)



Kuvio 8. Yrityksen kannattavuuden tekijöitä (Haverila ym. 2009, 20, muokattu)

### 3.1.2 Tuottavuus ja sen laskenta

Yksi tärkeä mittari arvioitaessa yrityksen kannattavuutta on tuottavuus. Tuottavuuden mittaaminen ei kuitenkaan kerro suoraan yrityksen taloudellisesta kannattavuudesta. Tuottavuuden mittaamisessa osatekijöinä ovat panokset, prosessi ja tuotokset. Tällä tavoin saadaan laskettua reaali-prosessin tuotoksen ja panoksen suhdetta. (Martinsuo ym. 2016, 220.)

Tuottavuuden laskenta ei ole vain valmistuksen laskentaa. Kokonaistuottavuuden laskenta antaa vasta oikean kuvan todellisesta tuottavuudesta. Kokonaistuottavuuteen vaikuttaa kaikki suoritteet

tuottamiseksi tarvittavat panokset, kuten esimerkiksi pääomat, materiaalit ja muut välilliset ja välittömät tekijät. (Haverila ym. 2009, 21.)

### 3.1.3 Laatu

Toinen keskeinen kannattavuuden osatekijä tuottavuuden lisäksi on laatu. Laatu on suoritteiden suoritemarkkinoiden arvio ei valmistajan itsensä. (Haverila ym. 2009, 20.) Laatu tarkoittaa sitä, miten suoritteiden ominaisuudet täyttävät sille asetetut odotukset ja vaatimukset. Laadulle on kuitenkin useita erilaisia määritelmiä. Tuotenäkökulmasta arvioituna esimerkiksi suorituskyky ja hinta ovat keskeisessä asemassa. Reaalimaailmassa näihin yhdistyy suoritteiden kyky täyttää myös piilevät vaatimukset. (Anttila & Jussila. 2016.)

## 3.2 Lean ja hukka

Lean-johtamisopin siemen syntyi, kuten monet muutkin teollisuuden aiemmin kuvatut innovaatiot, autoteollisuuden tarpeista. Toyotan tuotannosta vastannut Taiichi Ohno sai 1940-luvun lopulla vaativan tehtävän parantaa yhtiön tuotantokapasiteettia. Pohjan kehitystyölleen Ohno sai Fordin kehittämästä erittäin tehokkaasta, joskin rajoitteisesta, liukuhihnatuotannosta. Fordin ongelma oli tullut tuotannon yksipuolisuus. Markkinoiden vaatimien tuotevariaatioiden valmistaminen oli vaikeaa, hidasta ja tehotonta. Ohno keksikin yhdistää liukuhihnan ja kovasti ihannoimansa amerikkalaisten supermarkettien toiminnan. Tältä pohjalta syntyi Toyotan tapa toimia (Toyota Production System, TPS), mikä myöhemmin muodostui Lean-johtamisopin perustaksi. (Vuorinen 2013, 52.)

Lean filosofian ydinajatus on tuotteen tai palvelun parhaan arvon tuottaminen loppuasiakkaalle. Eli kaikki lopputuotteeseen sisältyvät kulut, mitkä eivät hyödytä asiakasta, ovat hukkaa. (Gauci 2010.) Toyotan alkuperäiseen seitsemän hukan muodon määrittelyyn on myöhemmin tehty vain yksi lisäys. Toisaalta hukan muotoja kuvataan joissain lähteissä olevan jopa yhdeksän (Kpedu 2022.) Kahdeksan Lean:ssa määritellyä hukan muotoa ovat Tero Vuorisen Strategia-kirjan mukaisesti: ylituotanto, odotus, tarpeeton kuljettaminen sekä liikkuminen, turha käsittely, tarpeettomat välikvarastot, virheet ja kahdeksantena Toyotan alkuperäisen määrittelyn lisäksi resurssien hyödyntämätön luovuus. Vuorinen luokittelee Lean:n pääperiaatteet viiteen eri luokkaan. (Ks. kuvio 9.) (Vuorinen 2013, 53.)



Kuvio 9. Lean:n viisi periaatetta Tero Vuorisen määrittelyn mukaisesti. (Vuorinen 2013, 53, muokattu)

Viisi Lean:n periaatetta Vuorisen mukaan:

1. Asiakkaan saama arvo eli mitä asiakas saa ja haluaa tuotteelta tai palvelulta.
2. Arvoketjun tunnistaminen tarkastelee suoritteiden tuottamisen toimintoja ja resursseja siten, että asiakkaalle tarpeettomat poistetaan. Tämä sisältää koko tuotantoketjun yrityksen toimittajista suoritteiden luovutukseen asti.
3. Tuotannon virtauksen suunnittelu pyrkii siihen, että kaikki hukka minimoidaan.
4. Imuohjauksella pyritään tuottamaan suorite vain asiakastilauksen perusteella yrityksen toimittajista lähtien. Tällöin pyritään mm. ajoittamaan materiaalit ja resurssit oikea-aikaisesti ilman ylimääräistä varastointia.
5. Täydellisyyteen pyrkiminen mitä voidaan kuvata jatkuvana parantamisena. Tässä päävastuun kantaa työntekijät tuoden esille tehokkuutta ja laatua parantavia ehdotuksia ja niihin johtavia toimenpiteitä.

James Gaucin mukaan Lean-filosofiassa suoritteiden tärkeimpiä lisäarvoa tuottavia osia ovat:

1. Suoritteelle tehdään vain tarpeelliset toimenpiteet
2. Suoritteiden ominaisuudet muuttuvat
3. Asiakas on valmis maksamaan niistä
4. Suorite läpäisee prosessin suoraan ja virheettömästi

Hänen mukaansa seuraavat toimenpiteet ovat lisäarvoa tuottamattomia:

1. Suoritteelle tehtävät tarpeettomat toimenpiteet
2. Suorite ei vastaa asiakkaan vaatimuksia
3. Asiakas ei ole valmis tai kykenevä maksamaan suoritteesta
4. Suoritteessa ilmenee virheitä prosessin eri vaiheissa

Lean itsessään ei ole kuitenkaan menetelmä. Sen toteuttamiseksi hyödynnetään erilaisia työkaluja ja menetelmiä. Esimerkiksi termit 5/6S, JIT, Kanban, Kaizen, SPC ja VSM (Value Stream Mapping) mainitaan usein Lean-filosofian eri osa-alueiden kehitysmenetelmiä kuvattaessa. (Kpedu 2022; Vuorinen 2013, 54).

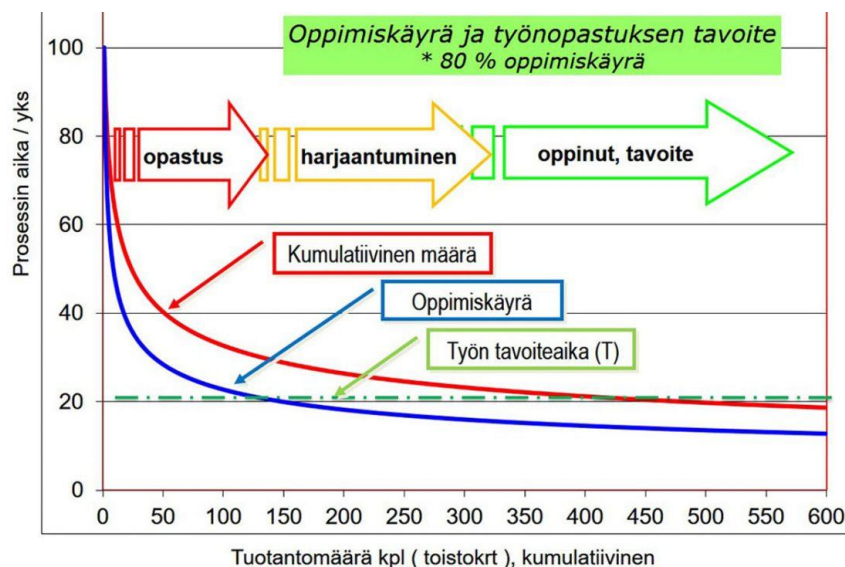
### **3.3 Teollisen yrityksen sujuvan tuotannon perusta**

Tuotantoa suunniteltaessa pitää yrityksessä olla selvillä useat perusasiat. Yrityksen on tunnistettava suunnitellun tuotteen tuotantomuoto. Tämä tarkoittaa sitä, että yrityksellä tulee olla tiedossa esimerkiksi, että tuottaako se tuotteita varastoon vai onko tuotteet vain tilaustuotteita tai millaisissa erissä tuotteita valmistetaan. Yrityksen ei yleensä kannata valmistaa itse kaikkia tarvitsemiin komponentteja tai laitteita. Yrityksen kannattaakin tunnistaa ja panostaa ydinosaamiseensa sekä pohtia tarkkaan mitä palvelua tai komponentteja kannattaa tehdä itse ja mitä kannattaa ostaa ulkopuolelta esimerkiksi alihankkijoilta. Tarvittavien komponenttien sekä valmistettujen tuotteiden kuljetuskustannukset asiakkaille vaikuttavat yritysten tuotantojen sijoituspaikoista tehtäviin päätöksiin. Yrityksessä pitää myös päättää, miten se mitoittaa tuotantonsa sekä alihankintaketjun kapasiteetin verrattuna kysyntään. Kapasiteetin kasvattaminen on usein hidasta ja vaatii kalliita laiteinvestointeja. Tällöin onkin laskettava tarkkaan, miksi ja milloin tuotantokapasiteettia lähdetään kannattavasti kasvattamaan. Tuotantoautomaation alkuinvestointi on yleensä huomattava. Automaatiota kehittämällä pystytään mukauttamaan tuotantoprosessia ja jopa parantamaan tuotteen ominaisuuksia. Näillä toimilla onkin suuri vaikutus yrityksen kilpailukykyyn. Tuotantoteknologian kehitys ja muutostarpeet syntyvät usein tuotteiden teknologian muutoksista. Tuotteiden muuttuessa ja monimutkaistuessa syntyy myös uusia vaatimuksia henkilöstön ammattitaidon kehittämiseksi. Motivoituneen ja ammattitaitoisen henkilöstön rooli onkin avainasemassa yrityksen menestymisen kannalta. (Haverila ym. 2009, 365–367.)

Tuotantomäärien kasvattamisella pyritään saavuttamaan mittakaavaetua. Tällöin yrityksen kiinteät kustannukset / suorite laskee. Samoin käy usein myös suoritteen tuottamiseksi tarvittujen materiaalien hinnoille. Yksikköhintojen laskiessa pystytään laskemaan myös myyntihintoja mikä kautta pyritään saamaan myös hintakilpailuetua. Tuotannon kasvattamisella on kuitenkin rajansa. Kun raja saavutetaan, kääntyvät yksikkökustannukset uudelleen nousuun mm. kuljetuskustannusten nousun kautta. (Mts. 369.)

### 3.3.1 Oppimiskäyrä ja mitä se tarkoittaa

Oppimiskäyrällä kuvataan valmistusmäärien kasvua suhteessa valmistukseen vaadittuun aikaan. Tämä ensimmäisen kerran toisen maailmansodan aikaan tehty havainto perustuu siihen, että valmistukseen vaadittavat työtehtävät opitaan tekemään tehokkaammin ja nopeammin. (Ks. kuvio 10.) Lisäksi valmistusmenetelmät kehittyvät oppimisen myötä. Näin myös tuottavuus paranee suhteessa valmistusmääriin. Oppimiskäyrän vaikutus näkyy herkemmin ja selvimmin monimutkaisten tuotteiden valmistuksessa. (Haverila ym. 2009, 370.)



Kuvio 10. Oppimiskäyrä (Lahden Rationalisointiyhdistys ry, 2023)

### 3.3.2 Tuotannon kapasiteetti ja läpimenoaika

Tuotannon kapasiteettia suunniteltaessa on erotettava netto- ja maksimikapasiteetin määritelmät. Maksimikapasiteettiin vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi resurssi- tai osapuutteet sekä tuotantolaitteiden rikkoontumiset. Nettokapasiteetti voi jäädä jopa puoleen maksimikapasiteetista. (Haverila ym. 2009, 400.)

Läpäisy- eli läpimenoajalla tarkoitetaan aikaa mikä suoritteen tuottamiseen vaaditaan. Kokonaisläpimenoaika mittaa aikaa tilauksesta toimitukseen. Valmistuksen läpimenoaika kuvaa kulutettua aikaa suoritteen tuottamisen aloituksesta sen valmistumiseen luovutusta varten. Suoritteen tuottamiseen käytetty lyhyt aika minimoi tuottamiseen sitoutunutta pääomaa. Eli tuotanto tulee suunnitella siten, että aika käytetään tehokkaasti hyväksi. Tähän tuo haastetta materiaalien ja resursien oikean ajoituksen suunnittelu sekä yrityksen eri toimintojen intressit. (Mts. 400–404.)

Kun pyritään lyhentämään läpimenoaikoja, tulisi pyrkiä pienentämään valmistuserien määrää ja välivarastojen määrää, virtaviivaistamaan materiaalivirtoja sekä sijoittamaan työpisteet siten, että työpisteeltä seuraavalle edetään valmistusjärjestyksessä. Lisäksi asetusajkojen lyhentäminen sekä asetustyön ja valmistusprosessin salliessa asetukseen liittyvän työn vieminen valmistusprosessiin aiempiin vaiheisiin nopeuttaa läpimenoa. Läpäisyajkojen lyhentämisellä on huomattavia hyötyjä. Vaikutus laatuun, tuottavuus ja tuotantoon sidottu pääoma kehittyvät positiivisesti, kun läpäisyajan lyhentämiseksi tehdyt toimenpiteet on tehty oikein. (Mts. 406–407.)

### 3.3.3 Menekin ennustaminen ja sen vaikutukset

Menekin ennustaminen on globaalissa toimintaympäristössä usein haastavaa johtuen esimerkiksi kilpailusta ja nopeistakin suhdannemuutoksista. Koska tilausmäärien muutosten sovittaminen vaatii yleensä kapasiteetin sovittamista tuotannossa, tulisi ennusteiden olla luotettavia. Tuotannon joustavuus on yksi keino vähentää ennusteista riippuvuutta. Virheelliset ennusteet voivat aiheuttaa huomattavia kuluja ja taloudellisia tappioita esimerkiksi johtamalla yrityksen investoimaan yli-kapasiteettiin. (Haverila, ym. 413.)

Menekin vaihtelun aiheuttamaan tuotannon tasaustarpeeseen on useita mahdollisuuksia. Valmiita tuotteita voidaan varastoida, mutta toisaalta tämä sitoo yrityksen pääomia valmisvarastoon. Tuotantoresurssien väliaikaiset ylityöt, joustot, vuorojen lisäämiset ja vuokratyö toimivat lyhyellä aikavälillä nousseen menekin tasauksessa. Toisaalta menekin laskiessa ennustettua ja suunniteltua alemmaksi voidaan joutua lakkauttamaan työsuhteita tai vähentämään ylikapasiteettia muilla keinoilla. (Mts. 414.)

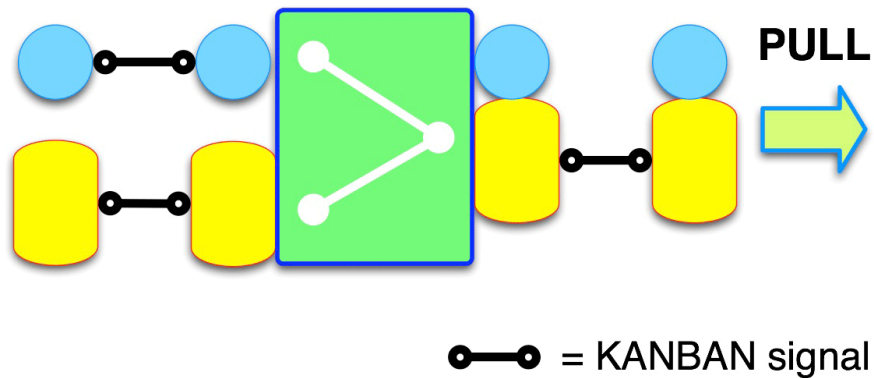
### **3.3.4 Mitä ovat kokonais-, karkea- ja hienosuunnittelu?**

Kuten termeistä voi päätellä, kokonais-, karkea- ja hienosuunnittelun oleellisin ero on niiden tarkkuudessa. Kun hienosuunnittelussa suunnitellaan tuotannon yksityiskohtia, karkeasuunnittelussa tehdään mm. resurssien käytön suunnittelua ja kokonaissuunnittelussa tehdään tuotantomääriä ja budjettia koskevaa suunnittelua. Tilauskanta, ennusteet sekä valmis sekä materiaalivarastot antavat suuntaviivat kokonaissuunnittelun perustaksi. Kokonaissuunnittelun pohjalta määritellään resurssien ja kapasiteetin tarve, materiaalien määrät sekä laaditaan alihankinta ja muut mahdolliset hankintasopimukset. Hienosuunnittelussa tulisi tunnistaa muuta tuotantoa hidastavia pullonkauloja muodostavat työvaiheet ja pyrkiä pitämään tällaisten työvaiheiden kuormitus korkeana. (Haverila ym. 2009, 411–418.)

### **3.3.5 JIT-tuotanto**

Suoraviivaisuus kuvastaa yhdellä sanalla Just-In-Time tuotantoa. JIT-tuotantoperiaatteella on pyrkimys ajoittamaan materiaalit, työt ja toimitus siten, että saavutetaan korkea tuottavuus, materiaaleihin ja valmisvarastoon sitoutunut pääoma on mahdollisimman pieni. Tuotannon materiaalivirrat ja valmistus ovat suunniteltu siten, ettei tarpeettomia välivarastoja tarvita vaan tuotanto etenee valmistusjärjestyksessä. Tällöin pystytään myös valmistamaan erilaisia tuotevariaatioita tuotantomäärien pysyessä lähes vakiona. Tilauspohjaisessa tuotannossa tuotteet tai niiden osakonnaisuudet valmistetaan siten, ettei välivarastointia tarvita. Tällöin ohjauksena toimii esimerkiksi kuvion 11 mukainen Kanban-imuohjaus. (Haverila ym. 2009, 428.)





LL08

Kuvio 11. Kanban imuohjauksen periaate (LaurensvanLieshout, 2008)

Autoteollisuus on suurimpia JIT-tuotantoperiaatteen käyttäjiä. JIT:n yhtenä perustana olevan materiaalien oikea-aikaisen toimittamisen kriittisyyden takia ovat autotehtaat ajautuneet viimeisen parin vuoden aikana suuriin ongelmiin. Globaalit puolijohteiden saatavuusongelmat ovat johtaneet siihen, että autovalmistajat ovat joutuneet pohtimaan JIT:n periaatteista luopumista tai ainakin kriteerien höllentämistä ja muokkaamista. (Núñez 2022.)

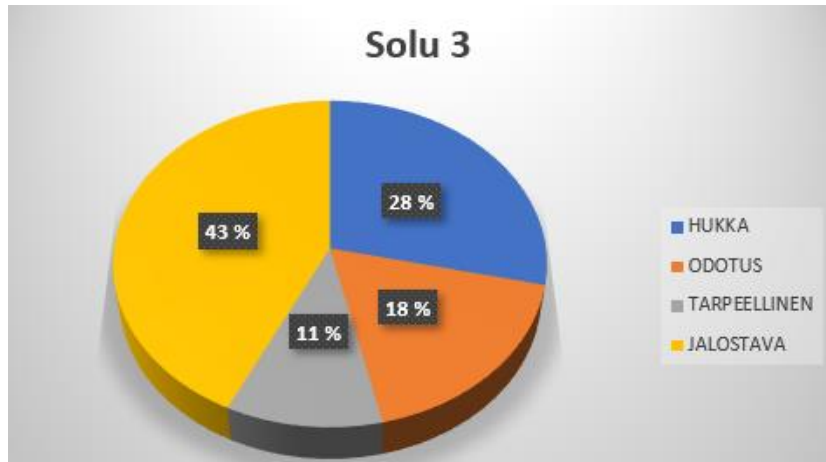
### 3.4 Työntutkimus osana työn kehittämistä

Työntutkimuksen avulla pyritään selvittämään mm. työhön liittyvä ajankäyttö. Ajankäytön tarkastelulla pyritään erottamaan lisäarvoa tuottava ja tuottamaton työ. Muita työhön liittyviä tarkasteltavia asioita ovat ergonomia ja työmenetelmät. Tavoitteena on standardoida työ, jolloin se on helpommin hallittavissa ja ennustettavissa. (Ahokas ym. 6, 2011.)

Työntutkimuksen tarkastelu kohdistetaan kolmeen näkökulmaan. Taloudellisen näkökulman kautta pyritään erottamaan, lisäarvoa ja kuluja tuottavat työt. Lisäksi selvitetään tuotannon pulonkaulat, resursseja ja logistiikkaa kuormittavat työt. Tekniikan lisääminen ja hyväksi käyttäminen tarkastellaan teknologisen näkökulman avulla. Ja henkilöresurssien näkökulma tuo esiin ergonomiset ja työturvallisuuteen liittyvät näkökulmat. (Mts. 6.)

Ajankäytön määrittelyyn on useita menettelytapoja. Työnmittauksen mittausmenetelmiä on useita. Ne jaetaan viiteen eri tutkimustapaan, joita ovat: havainnointitutkimus, kelloaikatutkimus,

liikeaikatutkimus, aikalaskemat ja standardiaikajärjestelmät. Havainnointitutkimuksessa tapahtumat ja niiden aikalajit jaotellaan neljään osaan, kuten kuviossa 12 on esitetty. Näistä neljästä teke-misaika on lisäarvoa tuottavaa työtä. Apu-, tauko- ja häiriöaika ovat tuottamatonta työtä. Havainnointitutkimuksella saadaan laaja kuva työstä. (Mts. 24.)



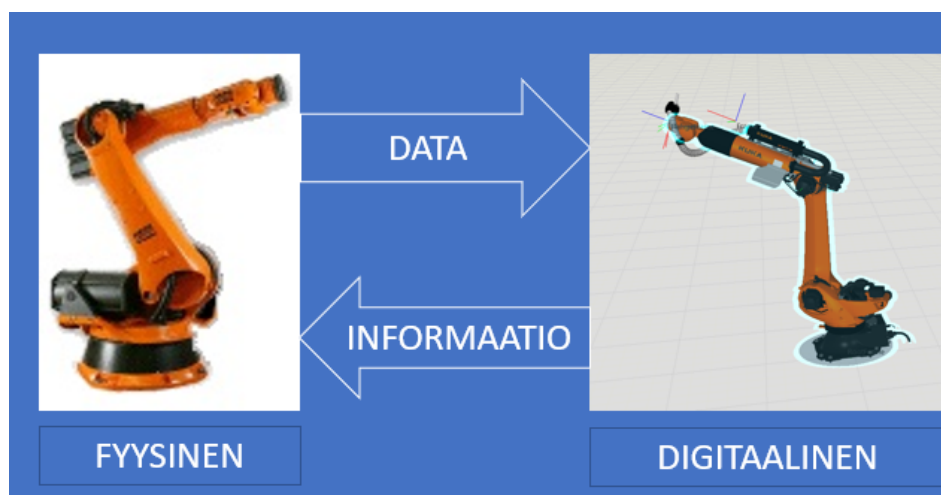
Kuvio 12. Esimerkki tuotantosolun tutkimustuloksesta.

Video- ja valokuvauksen käyttäminen työntutkimuksessa on tuonut uusia tapoja tarkastella työtä. Erilaisten ohjelmistojen avulla voidaan analysoida tallenteita ja jaotella työ eri aikalajeihin. Ohjelmistojen avulla voidaan yhdistää työntutkimuksella saatua tietoa tuotteen suunnittelun pohjaksi. (Mts. 8, 20.)

### 3.5 Valmistusprosessin mallintaminen virtuaaliympäristössä

Prosessien mallinnusta on käytetty jo 1960-luvulla. Tällöin mallit olivat vielä hyvin rajoittuneita. 1980-luvun puolen välin jälkeen kyettiin mallintamalla tekemään esimerkiksi nesteiden virtausanalyysyjä. 2000-luvun alussa tulivat ensimmäiset mallipohjaiset simulointi työkalut, joiden avulla pystyttiin mallintamaan järjestelmien toimintaa. Digitaalinen kaksonen toi kytköksen tuotantodataan vuoden 2015 jälkeen. Digitaalisesta kaksosesta onkin tullut kuvaava termi puhuttaessa mallintamisesta Industry 4.0:n yhteydessä. (Rodič 2017, 196.)

Digitaalinen kaksonen pyrkii toimimaan virtuaalimallina todellisesta prosessista tai koneesta tai niiden yhdistelmästä. Olennaista, että mallinnuksessa käytetty data tulee todellisuudesta esimerkiksi eri tuotantojärjestelmistä. Digitaaliseen malliin pyritään tuomaan mukaan kaikki olennaiset osat mitkä voivat vaikuttaa todellisen prosessin toimintaan tai mitä halutaan tutkia tai ennalta ennustaa. (Pinja DIGITAALINEN KAKSONEN, 2023.) Digitaalinen kaksonen jakaantuu kolmeen osaan, fyysinen malli, virtuaalinen malli ja data mikä kytkee mallit yhteen (Ks. kuvio 13.) (Grieves 2015, 7).



Kuvio 13. Digitaalinen kaksonen (Wilmjakob, 2020, muokattu)

Tuotannon prosessien ja tuotantoympäristöjen mallinnukseen on markkinoilla lukuisia sovelluksia. Internet hakukoneilla hakusanoilla ”factory simulation softwares” löytyy mm. seuraavia 3d-mallintamista tukevia ohjelmistoja: Flexsim, Factoryio, Anylogic, Siemens Technomatrix sekä Visual Components. Ohjelmistotoimittajien tarjonnasta ja referensseistä löytyy hyvin samantyyppisiä teollisuuden aloja, kuten esimerkiksi ajoneuvo-, lääke- ja elektroniikkateollisuudet. Kaikille näille ohjelmistoille on yhteistä, että niitä markkinoidaan Industry 4.0 viittauksin.

Tässä opinnäytetyössä käytettiin suomalaisen Visual Components Oy:n ohjelmistoa mikä on opinnäytetyön toimeksiantajan valitsema ja käyttämä sovellus. Vuonna 1999 perustettu Visual Components Oy päätyi robottivalmistajana tunnetun KUKA konsernin omistukseen. Ohjelmistoa markkinoidaan helppokäyttöisenä ja monipuolisena sovelluksena. Ohjelmisto tukee myös Python ohjelmointikieltä mikä mahdollistaa omien laitteiden ja erikoisratkaisuiden luomisen. Prosessin statistiikan sääntöjen määrittelyn avulla saadaan tarkasteltua esimerkiksi tuotantolaitteiden ja resurssien kuormitusta osana valmistusprosessia. (Visual Components, 2023.)

## 4 Mitä on robotiikka?

Tässä opinnäytetyön osassa käsitellään robotiikkaa käsitteenä sekä robotiikan eri osa-alueita. Keskeisimpänä aiheena syvennytään teollisuusrobotiikkaan ja mobiilirobotiikkaan.

### 4.1 Robotin määritelmä

Robotti mielletään hyvin usein laitteeksi mikä toimii itsenäisesti suorittaen erilaisia työtehtäviä ihmisen sijasta. Mielikuva juontaa vuoteen 1942 ja Isaac Asimovin tieteenovelliteokseen missä kirjailija määrittelee tulevaisuuden roboteille moraaliset säännöt. Kolme robotiikan lakia, mitkä Asimov novelliteoksessaan Runaround esittää, määrittelevät ihmisen ja robotin suhteen siten, että robotti ei saa asettua ihmisen edelle, vaan on noudatettava ihmisen robotille antamia ohjeita ja on suojeltava fyysisesti ensisijaisesti ihmistä ja vasta toissijaisesti itseään. Näitä Asimovin määrittelemiä lakeja pidetään edelleen perustana robotiikan moraalisille säännöille. (Tiesitkö tämän robotiikasta? 4.)

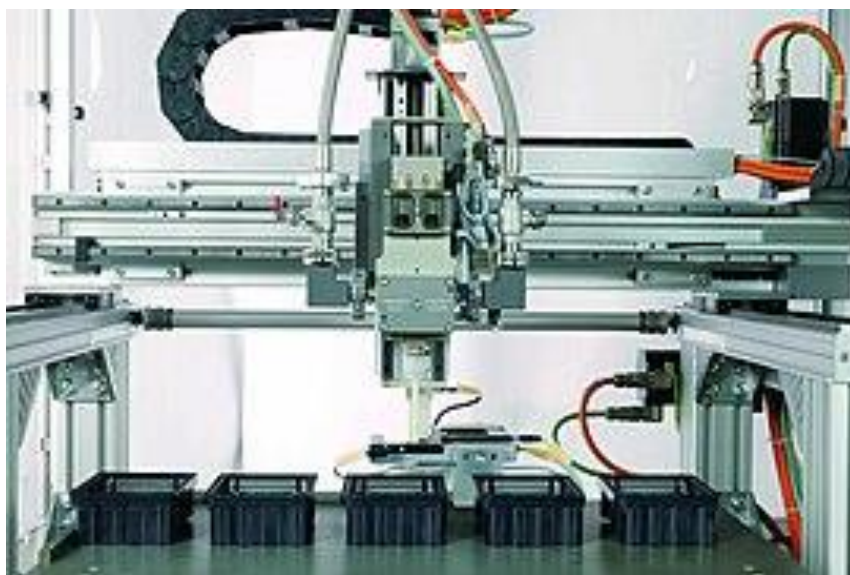
ISO-8373:2021-standardin mukainen robotin määritys kuvaa ohjelmoitavaa robottia laitteena mikä kykenee liikkumaan, käsittelemään ja/tai asemoitumaan itsenäisesti. ISO-8373:2021:ssa määritellään lisäksi seuraavat robottityypit: teollisuusrobotti, palvelurobotti, henkilökohtainen palvelurobotti, ammattimainen palvelurobotti, mobiilirobotti, yhteistyörobotti sekä robottijärjestelmät ja teolliset robottijärjestelmät. (ISO 8373:2021, 1–2.) Aiemmassa ISO-8373:2012-standardin robottikäsitteessä rajattiin itse robotti terminä tiukemmin. Tällöin termiin yhdistettiin laitteen akselien määriä ”two or more axes” mitä vuoden 2021 määrittelyssä ei enää mainita robotti-termiä kuvattaessa (ISO 8373:2012, 1.)

ISO8373-standardi ei määrittele ohjelmistorobotiikka-termiä (RPA - Robotic Process Automation). Ohjelmistorobotiikalla tarkoitetaan ohjelmistoja mitkä opetetaan toimimaan ihmisten tavoin eri tietojärjestelmiä hyväksikäyttäen (Ohjelmistorobotiikka 2021). Ohjelmistoroboteilla eli boteilla pyritään mm. automatisoimaan erilaisten toistuvien raporttien ja muiden tietojärjestelmissä tehtävien toimien manuaalista työtä (Kemell 2020).

## 4.2 Teollisuusrobottien tyypit pähkinäkuoressa

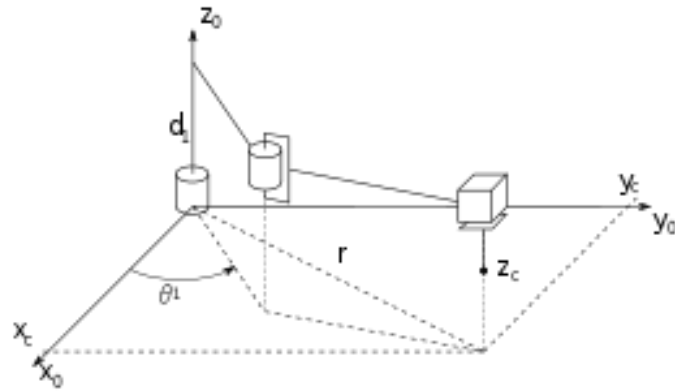
ISO8373:2021-standardin määrittämisen mukaisesti teollisuusrobotti on automaattisesti toimiva, uudelleen ohjelmitava monikäyttöinen laite missä on vähintään kolme toimita-akselia. Robotin asennus on joko kiinteä tai liikkuvalla alustalla. (ISO-8373:2021, 2.) Teollisuusrobottien yleisesti kuvatut pääluokat ovat: portaali- eli suorakulmainen-, SCARA-, rinnakkaisrakenteiset Delta- ja kiertyvänivelrobotit (Väänänen, Ström & Riekkinen ym. 2020).

Portaalirobotin perusrakenne on varsin yksinkertainen. Robotin rakenne toteuttaa kolmiulotteisen avaruuden X, Y ja Z koordinaatistossa robotin kiinteiden akselirakenteiden mukaisesti. Portaalirobotteja käytetään yleensä varastointiin tai koneistukseen liittyvissä tehtävissä. (Legnani & Fassi 2012, 5.) Viime vuosina voimakkaasti yleistyneet 3d-tulostimet muistuttavat rakenteellisesti portaalirobottia. (Väänänen ym. 2020.)



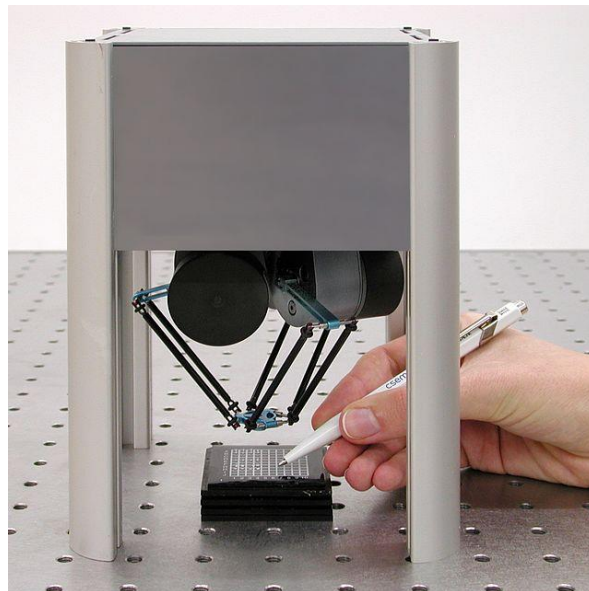
Kuvio 14. Portaalirobotti (Wöllauer, 2006)

Selective Compliance Assembly Robot Arm eli SCARA-robotteja käytetään yleisesti pakkaukseen ja kokoonpanoon liittyvissä Pick & Place tyyppisissä ratkaisuissa. SCARA-robotilla on sylinterimäinen rakenne missä robotin käsivarsi muodostuu kahdesta vaakatasossa kiertyvästä akselista ja työkalun kiertoakselista sekä pystysuunnassa liikkuvasta akselista. (Ks. kuvio 15.) Näillä neljällä akselilla saadaan toteutettua nopea ja tarkka toiminta. (Legnani & Fassi 2012, 6–7.)



Kuvio 15. Scara-robotin kinematiikka (EBatlleP, 2019)

Esimerkiksi elintarviketeollisuuden pakkausratkaisussa käytetyt Delta eli rinnakkaisrobotit ovat suosittuja nopeutensa takia. Käsiteltävät kuormat vaihtelevat muutamasta grammasta muutama kilogrammaan. (Legnani & Fassi 2012, 8.) Delta-robottien perusrakenne muodostuu kolmesta lineaarisesta toimilaitteesta. Markkinoilla on myös suurempia painoja ja siten voimia kestäviä ratkaisuja. (Väänänen ym. 2020.)



Kuvio 16. Delta-robotti (Perroud, 2006)

Teollisuudessa yleisin ja monikäyttöisin robottityyppi on kiertyvänivelinen robotti. Robotin geometria on tyypillisesti antropomorfinen eli ihmismäinen. Kiertyvänivelrobotin kädellä on hyvä ulottuvuus koko toimialueellaan jopa 7-nivelisen rakenteensa ansiosta. Tyypillisiä käyttökohteita tälle robottityypille on mm. hitsaus-, maalaus-, koneistus- ja paletointiratkaisuissa. (Ks. kuvio 17.) (Legnani & Fassi 2012, 9; Väänänen ym. 2020.)



Kuvio 17. Autotehtaan korihitsauslinjan kiertyvänivelrobotteja (Haophuong21, 2021)

### 4.3 Mobiilirobotit, kehitys ja niiden turvallisuus

1950-luvun alussa esiteltiin ensimmäinen magneettikenttää seuraava itsenäisesti kulkeva ajoneuvo. (Ks. kuvio 18.) Pian vuosikymmenen vaihtuessa AGV:ita (Automated Guided Vehicle) käytettiin jo erilaisissa tehtaissa ja varastoissa. Vuonna 1973 Ruotsissa Volvo ja Kalmar alkoivat yhdessä kehittää perinteistä liukuhihnaa korvaavaa järjestelmää. 1980-luvulle saakka AGV-vaunujen ohjaus perustui lähes aina fyysisesti asennettuihin kaapeleihin tai magneetteihin. Tällöin esiteltiin uusia laser-valoon ja INS (inertiaalinen navigointijärjestelmä) navigointiin perustuvia järjestelmiä. INS-navigointilaite hyödyntää erilaisia liiketunnistimia suunnan ja nopeuden määrittämiseen. Viime vuosina on kehitetty hyvin tarkkoja INS-ohjausratkaisuja. (Zhu, M. 2021; Gaojian, C. Yang, B. Shaosong, L. 2021.)





Kuvio 18. Varhainen AGV eli vihivaunu 1950-luvulla (Vermeer, 2021)

Kun mobiilirobotista halutaan toiminnaltaan itsenäisempi, ei puhuta enää AGV:sta eli perinteisemmin vihivaunusta. Autonomous Mobile Robot eli AMR:n ominaisuuksina kuvataan yleisesti mobiilialustan liikkumisen vapautta. AMR ei tällöin tarvitse erikseen määriteltyjä ja merkittyjä reittejä vaan se voi tehdä ajoreittivalintansa itsenäisesti. Tyypillisesti AMR:lle opetetaan vain sen toiminta-alueen kartta ja siihen liittyvät rajoitukset sekä työpisteet. AMR luo annettujen ja itse oppineen tietonsa perusteella omat kulkureitit optimoiden tarvittaessa niitä. AMR kykenee määrittelemään itse vaihtoehtoisia kulkureittejä esimerkiksi, jos kuljettavalla ajoreitillä on väliaikainen este tai muutoin ruuhkaa. Tämä onkin yksi merkittävin ero AGV-vaunuihin verrattuna. AGV-vaunujen liikkumisen perustuessa kiinteisiin reitteihin esteen kohdatessa vaunu yleensä vain pysähtyy ja jää odottamaan esteen poistumista. (AGV vs. AMR, 2023.) Saksalainen ek robotics GmbH on tuonut markkinoille mobiiliroboteistaan mallisarjan, minkä asiakas voi tilata joko AGV- tai AMR-tyyppisenä (Ks. kuvio 19.) (ek robotics GmbH, 2022).



Kuvio 19. ek robotic X MOVE mallisarjan AGV ja AMR mobiilirobotteja (Ek robotics GmbH, 2022)



Kuten AGV- ja AMR-robottien eroista voidaan päätellä, niiden käyttösovellukset ovat usein myös erilaiset. Mike Oitzman vertaa ”What’s the difference between an AMR and an AGV?” artikkelissaan AGV:n ja AMR:n suhdetta samoin, kuin verrattaisiin raitiotievaunua ja taksia. AGV:n soveltuu ennalta suunniteltuun säännöllisesti toistuvaan prosessiin, kuten esimerkiksi kokoonpanoalustaksi tai materiaalien kuljetukseen. AMR:n itsenäisemmän toimintatavan takia ne soveltuvat paremmin ei niin selkeisiin ympäristöihin ja toimimaan esimerkiksi ihmisten kanssa yhteistyössä. (Oitzman 2021; Weber 2015.)

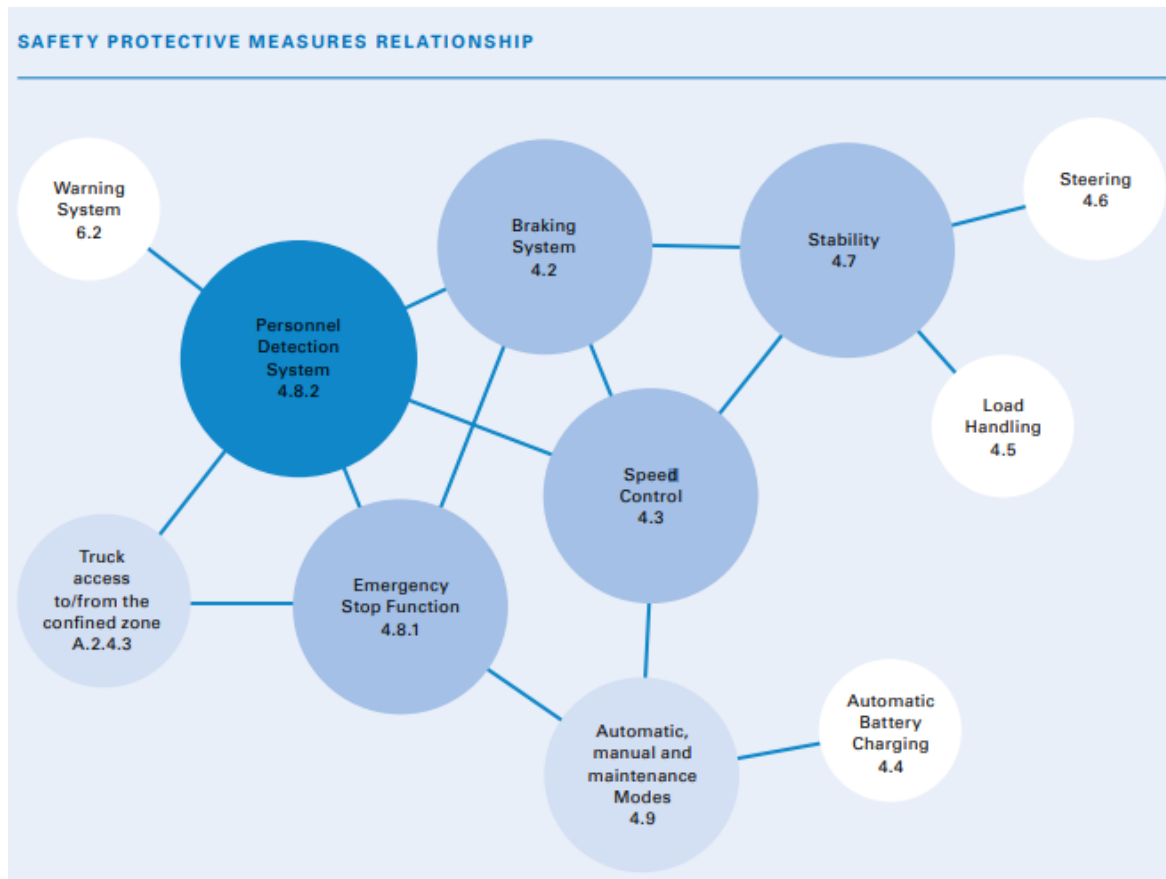
AGV- ja AMR-investointikustannusten vertailu on haasteellista. Alfredo Pastor Tella kirjoittaa AGV network-blogipalvelussa AGV- ja AMR-valinnoista ja vertailee esimerkiksi laitetyyppien käyttötarkoituksen kautta tulevia vaatimuksia. Kirjoituksessa verrataan myös investoinnin kustannusrakennetta laitetyyppien välillä. Kuten voidaankin olettaa, pelkkä laitteen hankintakustannus ei ole investoinnin kokonaiskustannus. AGV:n käyttöönotto vaatii paljon enemmän suunnittelu-, esivalmistelu- ja asennustyötä, kun sitä verrataan AMR-robotin käyttöönottoon. Tällöin työstä syntyy myös kuluja. Kun tehtaassa tai työalueella käytössä on useampia AGV-vaunuja, tarvitaan myös erillinen ohjausjärjestelmä vaunujen sisäisien ohjausjärjestelmien lisäksi. AGV-vaunujen käyttömalli ja prosessi pitää olla ennakkoon huolellisesti suunniteltu ja valmisteltu. Tämä tarkoittaa myös sitä, että AGV:n käyttöönotto vie enemmän aikaa, kun sitä verrataan vapaasti navigoivien AMR-robottien käyttöönottoon. Samoin AGV-vaunujen reitin muuttaminen vaatii lähes aina enemmän suunnittelua ja mekaanisia muutostöitä, kuin AMR-vaunuilla. (AGV vs. AMR 2023; Tella 2022.)

ISO standardi 8373:2021 sanaston kohdan 4.15 mukaisesti mobiilirobotti on robotti, joka kykenee liikkumaan itsenäisesti. Kuvauksessa kiinnitetään huomiota myös mobiilirobotin käyttötapaan. Standardin kohdan 4.15 huomiossa 1 kuvataan mobiilirobotin olevan joko liikkuva alusta tai liikkuva-alusta kiinteästi asennetulle manipulaattorille eli esimerkiksi kiertyvänivelrobotille. (ks. kuvio 20.) Standardissa huomioidaan myös mobiilirobotin kauko-ohjattavuus. Standardin kohdassa 4.16 tarkennetaan liikkuvan mobiilialustan määritelmää. Standardin kohdan 4.16 huomiossa 3 mainitaan teollisuudessa käytettyjen AGV:en käyttävän ennalta suunniteltuja reittejä. (ISO 8373:2021, 5–6.)



Kuvio 20. Kiertyvänivelrobotteja asennettuna erilaisille (AMR) mobiilirobottialustoille (KUKA AG, 2020)

ISO-3691-4:2020 on ilman kuljettajaa liikkuvien ajoneuvojen ja niiden ohjausjärjestelmien tämänhetkinen ajantasainen standardi liittyen laitteiden turvallisuusvaatimuksiin. ISO-standardi korvasi 23 vuotta vanhan EN 1525:1997 standardin. Euroopassa on lisäksi otettu käyttöön ISO-standardia automaation ja sähköisten järjestelmien osalta laajentava EN 1175:2020 standardi. (Pliz GmbH 2021.) Tärkeimpiä uudistuksia ISO-3691-4:ssa ovat henkilöiden havaitsemiseen ja robotin pysähtymiseen liittyvät tarkennukset ja vaatimukset. On huomattava, että ISO 3691-4 standardiin tuotiin täydennyksiä ISO 13849-1 standardista suorituskkytason osalta (Performance level, PL). Tämän muutoksen myötä robotin turvatoimintojen suorituskkytaso PL määräytyy riskigraafin kautta, kuten tuotantolaitteiden määrittelykin tapahtuu. Muun muassa tällaista vaatimusta ei ollut määritetty edeltävässä EN-1525:1997 standardissa. (TüV ISO 3691-4, 6, 8.)



Kuvio 21. ISO-3691-4 turvallisuusvaatimusten riippuvuussuhteet (TüV, 2020)

Suomen työturvallisuuslaki (TTL 738/2002) velvoittaa työnantajan suorittamaan työpaikalla riskien arvioinnit. Tämä on huomioitava aina uusia koneita hankittaessa, sillä kyseinen laki koskee myös mobiilirobottien käyttöä työpaikalla. Riskiarvioita tehdessä kiinnitetään huomiota mm. törmäysten aiheuttamiin riskeihin sekä liikkuvien osien väliin puristumisvaaroihin ja turvaetäisyyksiin sekä pysähtymismatkoihin. (Työturvallisuuskeskus 2021, 12, 63.)

## 5 Tutkimuksen asettelu

### 5.1 Tutkimus- ja kehitysympäristö

Opinnäytetyön toimeksiantajalla on käytössä useita AGV-vaunuja, joilla toteutetaan kokoonpanoprosessin logistiikka kokoonpantavalle moduulille. Ensimmäiset vaunut investoitiin vuonna 2008 osana suurta kokoonpanoprosessin ja tuotemallien muutosta. Kyseiset vaunut ovat edelleen käytössä moduulien toisen perheen kokoonpanossa. Näiden vaunujen navigointi perustuu lattiaan upotettuun kaapeliin ja sen sähkökentän seuraamiseen.

Vuonna 2022 yrityksessä investoitiin uusiin AGV-vaunuihin. Aiemmin kyseisen moduulikokonaisuuden moduulien siirrot vaiheiden välillä oli toteutettu sähkökäyttöisillä lavansiirtovaunuilla. Kyseiset vaunut olivat täysin käsin operoitavia ja sitoivat aina vähintään yhden resurssin vaunua kohden kokoonpanovaiheen siirtymän aikana. Uusien vaunujen hankintaprosessissa tutkittiin eri toimittajien AGV- ja AMR-ratkaisuja. Kokoonpantavien moduulien koko ja paino rajoittivat valintaa siten, että lopulta investoinnissa päädyttiin räätälöityyn AGV ratkaisuun. Valittujen vaunujen navigoinnin perustana toimii tehdashallin lattiaan kiinteästi asennetut magneetit. Vaunujen turvalaitteet on toteutettu turvaskannerein sekä turvareunoin. Vaunujen keskusohjausjärjestelmänä toimii teollisuuslogiikka mikä ylläpitää mm. vaunujen lähettämää paikkatietoa. Vaunujen lataus on toteutettu sekä perinteisellä manuaalisella pistorasialatauksella sekä kahdella automaattilatauspisteellä missä vaunut käyvät osana työkiertoa, jos latauspisteet ovat vapaana. Tutkimuksen alussa tuotantolinjalla oli käytössä 8 kpl AGV-vaunuja ja tavoitteena olisi lisätä vielä 3 kpl, jolloin pystyttäisiin varautumaan myös mahdollisiin laiterikkoihin. Moduulin tuotannolle varattu alue ei ole optimaalinen vaunujen käytön kannalta. Tämä aiheuttaa hukkaa mm. tarpeettoman liikuttelun kautta. Lisäksi vanhojen sekä uusien vaunujen ajoreittien risteäminen hankaloittaa prosessin hallintaa.

## 5.2 Opinnäytetyön tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin toimeksiantajan uusien AGV-vaunujen määrän optimointi sekä valmistettavan moduulin kokoonpanon prosessimallin luonti Visual Components ohjelmistolla. Opinnäytetyön kysymyksiksi asetettiin kolme kysymystä, joihin pyrittiin löytämään vastaukset työn toteutuksen aikana.

Opinnäytetyön ensimmäinen kysymys on, että pystytäänkö kokoonpanoprosessi mallintamaan siten, että tuotosta voidaan käyttää AGV-vaunujen määrän arviointiin. Tavoitteena on luoda simulaatiomalli mihin pystytään määrittelemään kokoonpanoprosessin vaiheet ja vaiheajat mallisarjoittain. Lisäksi prosessille luodaan statistiikka minkä avulla pystytään arvioimaan tarvittavien AGV-vaunujen määrää ja siten optimoinnin kautta tulevaa investointisäästöä. Lähtötietona käytetään tuotannosta työntutkimuksen eli havainnointitutkimuksen avulla saatua dataa. Lisäksi mallinnuksessa käytetään sen hetkistä tuotanto-ohjelmaa mallisarjoittain. Näitä tietoja käytetään mallin testaamiseen ja tulosta verrataan tuotannossa syntyvään todelliseen dataan.

Toinen tämän opinnäytetyön kysymys on, että pystytäänkö toteutetusta mallista luomaan rakenteeltaan sellainen, että sitä voidaan käyttää tuotemuutosten tai uusien mallien vaikutusten ennalta-arviointiin. Oppimiskäyrän mukaisesti tuotteiden valmistuksen aloituksesta kestää x-kpl määrän, ennen kuin saavutetaan tavoiteltu vaiheaika. Tällä on kokoonpanolinjalla vaikutus myös jo olemassa olevien mallien valmistusaikoihin, jos prosessia ei säädetä. Kokoonpanolinjan prosessin hidastumisella on suora vaikutus linjan tuottavuuteen. Odottelusta syntyvä hukka pyritään saamaan näkyviin luodun mallin statistiikan kautta.

Kolmas kysymys pyrkii löytämään prosessista mahdollisia pullonkauloja ja luomaan prosessimalliin vaihtoehtoisia ratkaisuja pullonkaulojen vaikuttavuuden minimoimiseksi. Mahdollisille pullonkauloille luodaan vaihtoehtoisia prosesseja sekä pyritään jakamaan hidastava työ useampiin osiin. Tavoitteena on saada luotua ehdotus kehitysinvestointien oikeaksi kohdentamiseksi.

Eli kolme opinnäytetyölle asetettua ydinkysymystä on seuraavat:

1. Onnistuuko prosessin mallintamien vastaamaan todellisuutta?
2. Pystytäänkö prosessimallista saamaan joustava tuotemuutosten vaikutusten simuloimiseksi?
3. Löydetäänkö mahdollisille pullonkauloille vaihtoehtoisia ratkaisuja prosessin mallintamisen kautta?

### 5.3 Opinnäytetyön tietoperusta

Tämän opinnäytetyön tietoperusta pohjautuu teollisen tuotannon eri osa-alueiden tuntemukseen sekä toiminnan edellytyksiin. Aiemmin käsitellyt aihepiirit yhdistyvät työn eri vaiheisiin sekä niihin lainalaisuuksiin mitkä tulee huomioida kehitystyötä tehdessä. On tärkeä huomata, että tuottavuuden ja laadun kautta syntyvä kannattavuus ohjaa myös tuotannon investointeja.

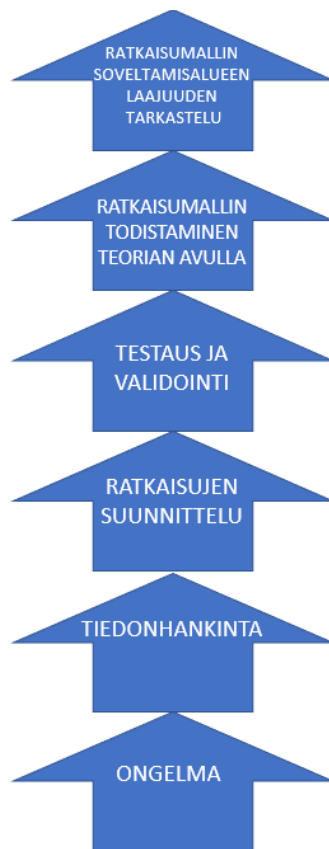
Kappaleessa 3.2 käsiteltävän Lean-filosofian kautta opitaan ymmärtämään tuotannon hukkan erilaiset ilmenemismuodot ja miten ja miksi niitä voidaan tai tulee hallita. Lean filosofiassa on huomiotavaa se, että vain lisäarvoa asiakkaalle tuottava toiminta on tuottavaa työtä. Toisin sanoen hukka ei hyödytä asiakasta vaan nostaa tuotteen hintaa.

Opinnäytetyön aihepiiriin liittyvän tekniikan kehityksen ymmärrys ja sen kautta tulevat sovellusmahdollisuudet on myös olennainen osa opinnäytetyön onnistumista. Teollisuuden ja etenkin robotiikan kehitys on tuonut mukanaan uusia menetelmiä tarkastella tuotannon prosesseja ja kehittää niitä. Kappaleissa 2 ja 4 käsitellään teollisen tuotannon historiaa sekä aihepiiriin liittyvä robotiikkaa. Lisäksi käsitellään mobiilirobottien turvallisuutta ja siihen liittyviä standardeja.

### 5.4 Käytetyt tutkimusmenetelmät, aineiston keruu ja luotettavuus

Tutkimuksellisen kehittämistyön perustana on järjestelmällisyys ja analyttisyys. Kerätty tieto perustuu jokaisessa prosessin vaiheessa kriittisesti arvioitujen tutkimus ja muutoin hankittujen tietojen sekä tulosten systemaattisena käsittelynä ja tallentamisena. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, 22, 2014). Tämän opinnäytetyön tutkimuksellisena lähestymistapana voitaisiin pitää toimintatutkimusta, koska lopputuloksena syntyy tavoitteita nykytilan muutoksiksi (Mts. 58). Toisaalta lopputuloksen ja menetelmien kautta tarkasteltuna kehittämistyön lähestymistapa on kuitenkin lähempänä konstruktivisen tutkimuksen lähestymispiirteitä (Ks. kuvio 22.), koska opinnäytetyön

lopputuloksena syntyy uusi tai uudistettu prosessimalli sekä alustava suunnitelma tarvittavista muutoksista (Mts. 37).



Kuvio 22. Konstruktivisen kehitystyöprosessin vaiheet (Ojasalo 2014, muokattu)

Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelminä käytettiin laadullisia sekä määrällisiä menetelmiä eli tällöin voidaan puhua monimenetelmäisestä tutkimuksesta. Näitä menetelmiä hyödyntämällä pyrittiin saamaan kattava ja riittävän laaja käsitys tutkittavasta kohteesta. (Laadullinen tutkimus, JYU, 2021; Määrällinen tutkimus, JYU, 2021; Monimenetelmäisyys, JYU, 2021.)

Tässä opinnäytetyössä määrällistä tutkimusmenetelmää edustaa toimeksiantajan tuotannosta saatava matemaattisesti käsiteltävä tuotantotieto, kuten esimerkiksi valmistettavien mallien jakautuminen päivätasolla ja tuotannon päivittäiset tuotantomäärät. Lisäksi käytetään toimeksiantajan tekemän kehittävän työntutkimuksen eli toimintatutkimuksen avulla saatua mittaustietoa valmistusprosessin eri vaiheiden kestosta sekä työaiheiden ajankäytöstä.

Opinnäytetyössä käytetään avoimia haastatteluita eri sidosryhmien edustajien kanssa. Tämä edustaa laadullisia menetelmiä. Näitä haastatteluita käydään niin tuotannon johdon, työnjohdon, työsuunnittelun sekä suorittavan tahon kanssa. Lisäksi prosessin ymmärtämiseksi käytetään havainnointia, jotta voidaan tunnistaa prosessista tarvittavat yksityiskohdat sekä mahdollisesti piiloon jäävät ja poikkeavat työvaiheet.

Kerätty aineisto saadaan pääosin toimeksiantajayrityksen järjestelmistä ja omasta dokumentaatiosta sekä tutkimustiedosta. Tämä tieto käsitellään siten, että sitä voidaan hyödyntää varsinaisessa simulaatiomallissa. Syötettävä tieto katselmoidaan yrityksen työnjohdon kanssa siten, että sen paikkansapitävyydestä saadaan riittävä varmuus.

Järjestelmistä saadun tiedon luotettavuuden voidaan olettaa olevan hyvää. Työntutkimuksesta saadussa datassa on tutkimusresurssien mukaan ongelmia, koska valmistuksessa olevien uusien mallien vaiheajat ovat vielä osin oppimiskäyrän alkuvaiheessa. Tämä pyritään huomioimaan siten, että toteutettavassa mallissa ei ylitetä normaaliksi suunniteltua vaiheaikaa.

## **6 Tutkimuksen toteutus**

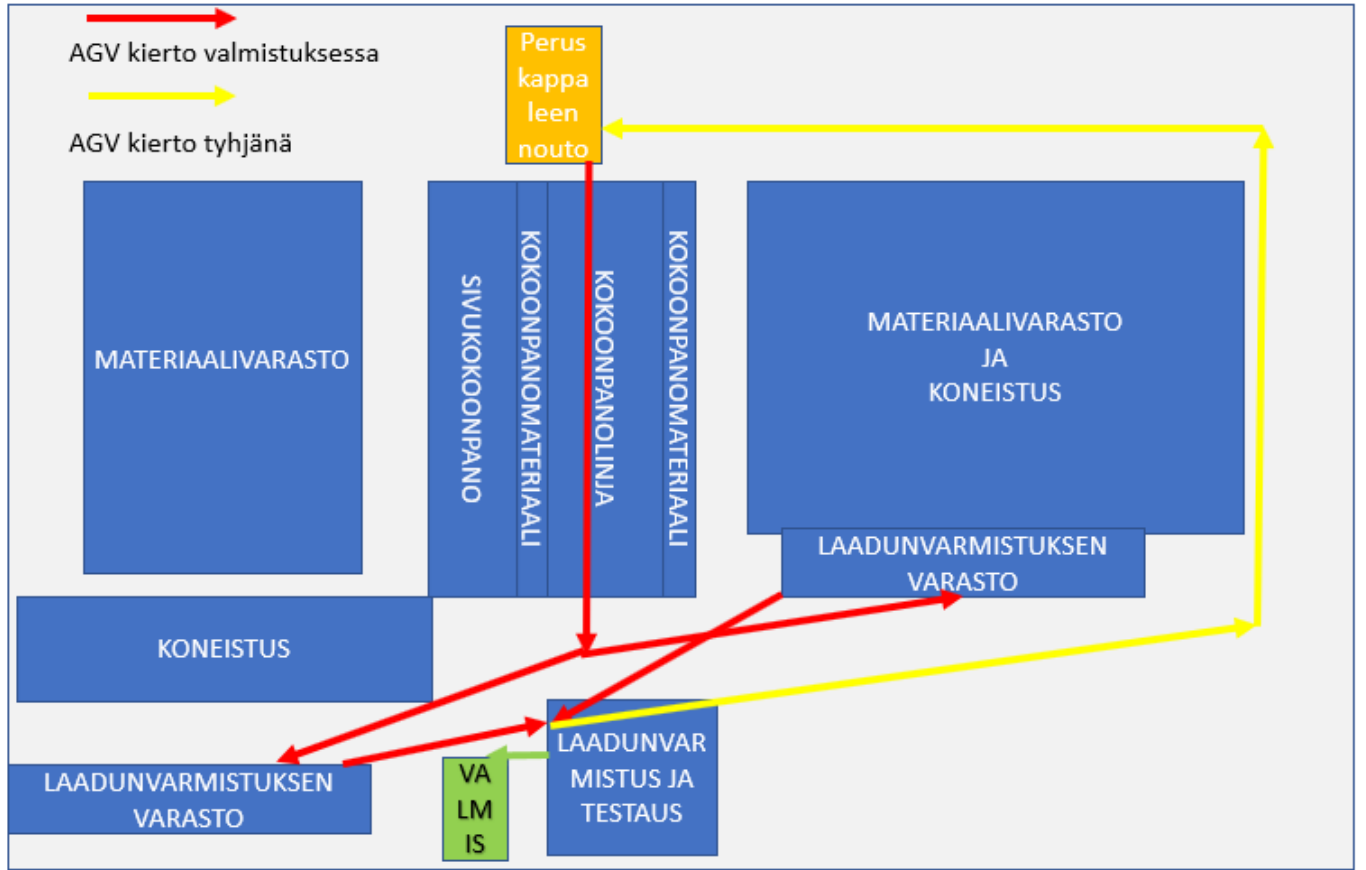
### **6.1 Nykytilan kartoitus**

Työn toiminnallinen vaihe aloitettiin havainnoinnilla. Tavoitteeksi asetettiin saada selkeä kuva prosessin vaiheista. Prosessin seurannassa kävi selväksi, että työkuorma eri työvaiheilla vaihtelee huomattavasti. Lisäksi tuotevariaatioiden takia, työmäärät samalla työvaiheella saattavat vaihdella huomattavasti asiakastilauksen varusteiden mukaan. Tämä havainto käy selvästi ilmi työntutkimuksen raportteja tarkastellessa. Työntutkimuksen raportteja katselmoitaessa sovittiin, että raporteista kerätään mallikohtaiset vaiheajat siten, että taulukoinnissa huomioidaan pisin vaadittu aika eikä työvaiheen kokonaisaika. Tutkimuksessa mitattu kokonaisaika ei ole suoraan verrattavissa vaiheaikaan mikä on vaunujen käytön ja mitoituksen kannalta olennaisempi tieto.

Tuotannon layout on rakennettu vanhojen olemassa olevien rakenteiden ehdoilla. Kokoonpanoprosessin vaatima tila joudutaan puristamaan selvästi pienempään tilaan, kuin se olisi materiaalin käsittelyn ja tuotannon sujuvuuden kannalta suotavaa. (Ks. kuvio 23.) Tällöin syntyy väistämättä hukkaa mikä ei Lean-filosofian tulkinnan kautta ole hyväksyttävää. Varsinkin valmistusprosessin



jälkeinen testausta odottavien kappaleiden välivarastointi ja varastoinnin vaatima logistiikka kuluttaa paljon tehtaan lattiatilaa sekä kapeiden käytävien kautta tuo myös turvallisuusriskejä. Riskien minimoimiseksi joudutaan kuljetusprosessissa operoimaan osin manuaalisesti.



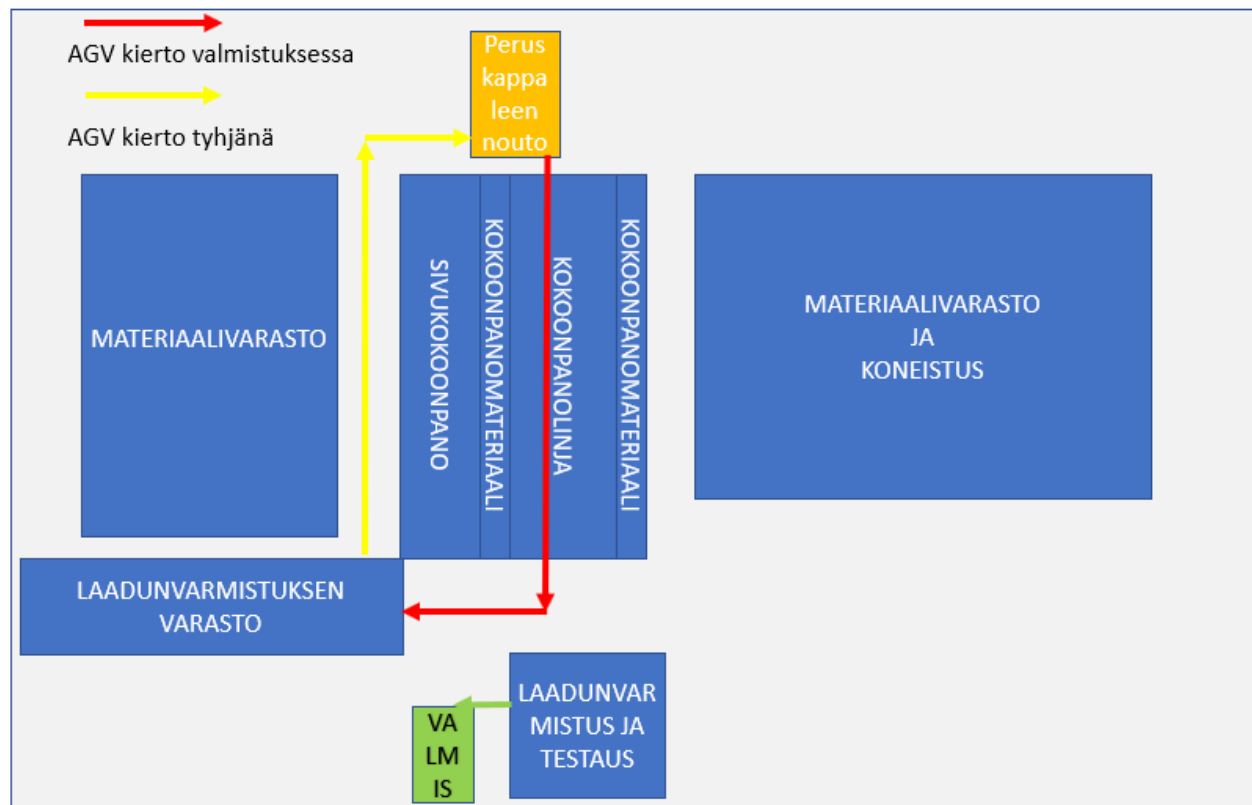
Kuvio 23. Valmistusprosessin vaiheet tehtaan layout:ssa

Valmistettavien tuotteiden siirtoon käytettävät AGV-vaunut olivat työn aloitushetkellä uudet. Myös vihivaunujen käytön alkuvaiheen ja lopullisen sujuvan prosessin välillä voidaan käyttää oppimiskäyrää. Työn valmistumishetkellä AGV-vaunujen käyttö on jo huomattavasti sujuvampaa ja ongelmatilanteiden ratkaisu on rutinoituneempaa. Vaunujen käyttöönoton jälkeen ilmenevät toistuvat ongelmat on pääosin ratkaistu, mutta tuotannon layout estää edelleen niiden täyden hyödyntämisen. Vaunujen manuaalinen operointi liittyy lähinnä valmistusprosessin jälkeisten prosessivaiheiden välisten vaiheiden siirtoon. Manuaalinen operointi vaatii operoivan resurssin ja tämä aiheuttaa hukkaa ja heikentää tuottavuutta.

## 6.2 Kehittämiskohde

Tuotannon layout-kuvasta (kuvio 23) ilmenee selvästi tarve optimoida laadunvarmistuksen varaston sijaintia ja AGV-vaunujen ajoreittejä. Vaunujen ajoreittien monimutkaisuus ja niiden sääntöjen luominen todettiin erittäin vaikeaksi ja kyseisen alkuperäisen layout mallin viemisestä Visual Components virtuaaliympäristöön luovuttiin. Lisäksi risteävien aiemmin investoitujen AGV-vaunujen ja toisella kokoonpanolinjalla valmistettavien mallisarjojen rinnakkaisliikenteen mallintaminen mukaan olisi kasvattanut mallinnustyön kohtuuttoman suureksi.

Koska toimeksiantajan tehtaassa tuotannossa on viime aikoina investoitu uusiin koneistuskeskuksiin ja niiden tuotannon ylös ajo kehittämiskohdetta määriteltäessä on valmistumassa, pystyttiin oletamaan, että kuviossa 23 vasemmalle puolelle sijoittuva koneistusalue tulee poistumaan näiden korvausinvestointien kautta. Tämä vapautuva alue päätettiin hyödyntää ensimmäistä virtuaalimallia luotaessa. (Ks. kuvio 24) Tässä vaiheessa laadunvarmistusprosessi jätettiin pois tarkasteltavien kohteiden listalta. Tästä valmistusprosessin osasta tuotiin malliin mukaan kuitenkin prosessivaiheen vaatima aika.



Kuvio 24. Uusi prosessikaavio Visual Components mallinnuksen pohjaksi

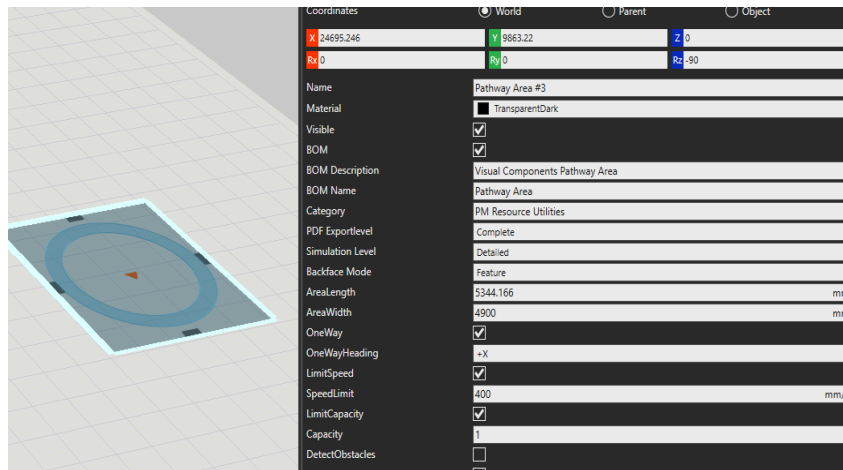
## 6.3 Kehityskohteen alkuperäinen mallintaminen

Kuten jo aiemmin todettiin, päädyttiin siihen, että työn aloitushetkellä olevan layoutin mallintaminen ei ole tarkoituksenmukaista Visual Components ympäristössä. Toimeksiantajalla on opinnäytetyön tekohetkellä lisensoituna Visual Components versio 4.4. Uusin julkaistu versio ohjelmistosta samalla hetkellä on 4.6, mutta versiopäivitystä ei ole vielä otettu yrityksessä käyttöön. Visual Components ohjelmistoon luotavan mallin pohjaksi valittiin kuvion 24 mukainen prosessilayout, mitä käsitellään tässä opinnäytetyön toteutuksen pohjana.

Visual Components sovellus mahdollistaa omien mallien tuonnin erilaisissa formaateissa. Opinnäytetyön aiheena olevasta valmistusalueesta ylläpidetään tarkkaa Autocad-mallia missä esitetään eri kerroksina tuotannon ja rakennuksen infrastruktuuri ja tuotannon rakenne. Tämä malli tuotiin Visual Components sovellukseen pohjaksi. Valmistusprosessin mallinnusta kuvattaessa käsitellään pääosin kyseisen mallin toteuttamiseen olennaisesti vaikuttavat ohjelmiston toiminnallisuudet ja ominaisuudet. Visual Components:lla on erittäin kattava dokumentaatio, akatemia sekä käyttäjäfoorumi. Näiden lisäksi Visual Components tarjoaa asiakkailleen tukipalvelun. Tätä kyseistä palvelua on käytetty myös tämän opinnäytetyön toteutuksen apuna.

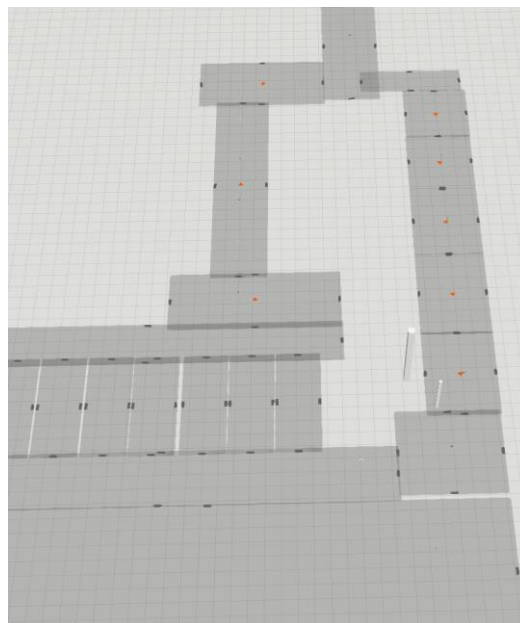
### 6.3.1 Valmistusprosessin alueen mallintaminen ja säännöt

Visual Components-mallinnus aloitettiin luomalla hahmotelma valitusta layoutista. Mobiilirobottien ajoalueen rajausta tehdään käyttäen Pathway-komponenttia. Komponentteja sijoitellessa on huomioitava, että siirryttäessä seuraavaan Pathway-alueeseen tulee vierekkäisten komponenttien sijoitus tehdä siten, että ne koskettavat toisiaan. Jos mobiilirobottien halutaan ajavan vain yhteen suuntaan, on Pathwaylle määritettävä myös koordinaatiston mukainen ajosuunta sekä parametri, jolla määritellään, että liikenne on vain yksisuuntaista "OneWay". Näiden lisäksi määritettäviä parametreja ovat alueen maksimijonopeus, kapasiteetti sekä tarvittaessa esteiden havainnointi, kuten kuvion 25 esimerkissä on tehty. Kapasiteetin määrittämisellä sallitaan esimerkkikuvassa vain yksi resurssi kerrallaan Pathway-alueella.



Kuvio 25. Pathway-alueen parametrien määrittely

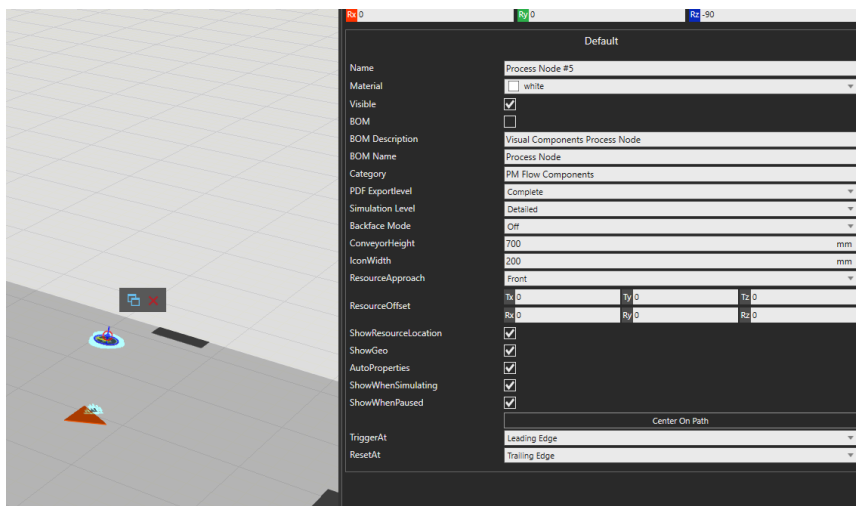
Pathway-alueiden määrittämisestä saatiin lopputulokseksi yhtenäinen kierto, jonka säännöillä on pyritty mobiilirobottien yksisuuntaiseen pakotettuun kiertoon, kuten kuviosta 25 ilmenee. Tässä vaiheessa mallissa oli vielä poikkeava määrä kokoonpanopisteille varattuja alueita verrattuna todelliseen tuotantoon. Tällä puutteella ei ollut kuitenkaan vielä merkitystä pullonkaulojen havainnointiin, mutta AGV-vaunujen määrän laskentaa ei voida tämän mallin pohjalta tehdä. Kuviossa 26 on huomioitava Pathway-alueiden limitys siten, että koko työalueesta saadaan peitoltaan yhtenäinen alue.



Kuvio 26. Ensimmäisen prosessimallin Pathway-area-komponenteilla toteutettu työalue

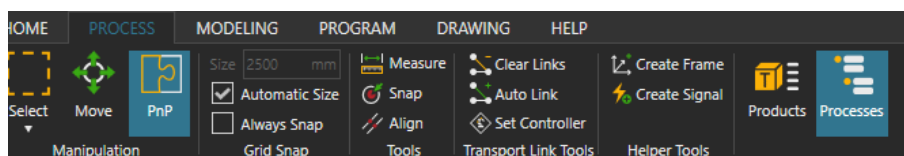
### 6.3.2 Prosessin sekä työvaiheiden mallintamisen perusta

Prosessin layout:n mallintamisen jälkeen valmisteltiin varsinaiset prosessivaiheet. Prosessin vaihe mallinnetaan käyttäen Process node-komponenttia. Process node:t sijoitettiin halutuille PathWay alueille siten, että niiden sijainti vastaa haluttua kokoonpanoprosessin vaiheistusta ja sijaintia. Keskeisenä Process node-komponenttia määriteltäessä on huomattava ResourceApproach-parametri. Parametrilla määritetään resurssin tulosuunta prosessipisteeseen. Jos tämä on tehty väärin, saattaa esimerkiksi mobiilirobotti kääntää tulosuuntansa haluttua ajosuuntaa vasten tai ajaa prosessipisteeseen pisteen sivusta. Tämän lisäksi nodeille määriteltiin ConveyorHeight-parametri, mikä kertoo tulevan objektin korkeusaseman prosessivaiheen aikana. Kuviossa 27 esitetään yhden vielä nimeämättömän Process Noden parametrinti.



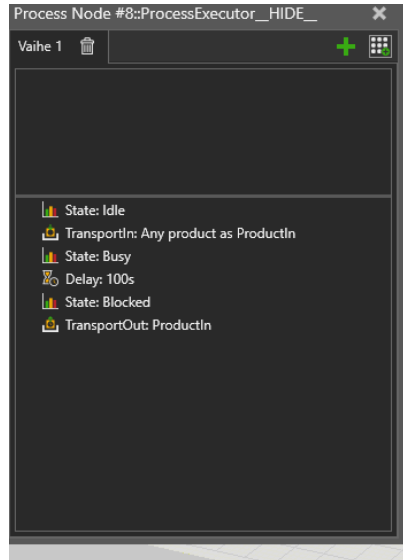
Kuvio 27. Process Noden parametrien määrittelynäkyvä

Kokoonpanopisteitä varten tehtyjen prosessipisteiden määrittelyn ja sijoittamisen jälkeen määriteltiin prosessipisteille perusohjelma. Tämä määrittely tehdään Visual Components:n Process-tilassa kuvion 28 osoittamalla valinnalla.



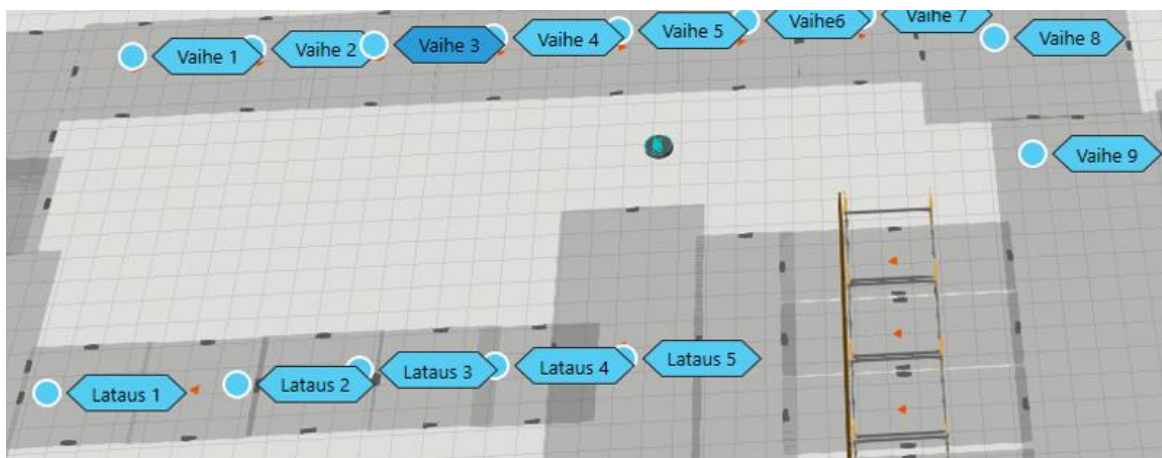
Kuvio 28. Prosessivaiheen toiminnallisuuden määrittelytilan valinta

Jokaiselle prosessivaiheelle määriteltiin perusparametreiksi statistiikan tunnistustilat (Idle, Busy ja Blocked) (Ks. kuvio 29.) sekä prosessin vaiheen kesto. Statistiikan tilojen hyödyntäminen käsitelään myöhempanä.



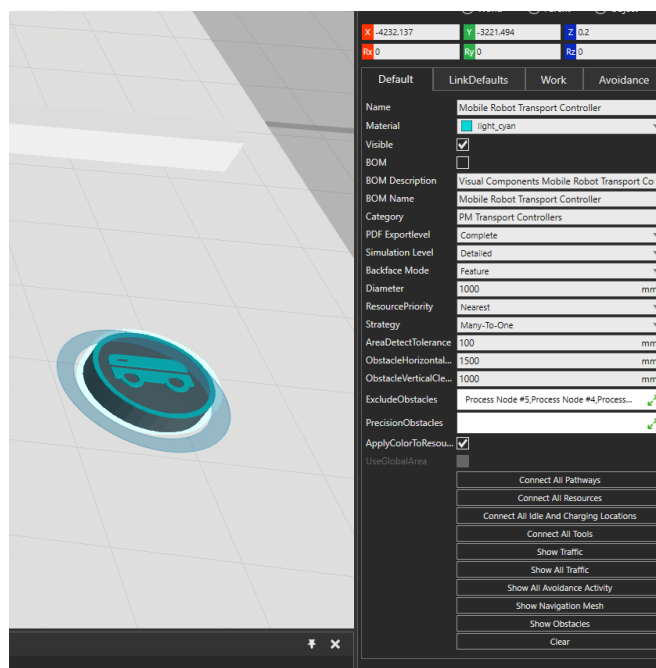
Kuvio 29. Prosessivaiheen perusmäärittely

Lopputuloksena saatiin mallinnettua 9 vaiheinen prosessi, joka toteuttaa olemassa olevan 8 vaiheisen kokoonpanoprosessin sekä yhden lisävaiheen varauksen. Kuviossa 30 esitettyjä Lataus-prosesseille nimettyjä vaiheita ei tarvitse määrittää prosessivaiheina ja ne onkin poistettu lopullista mallia toteutettaessa.



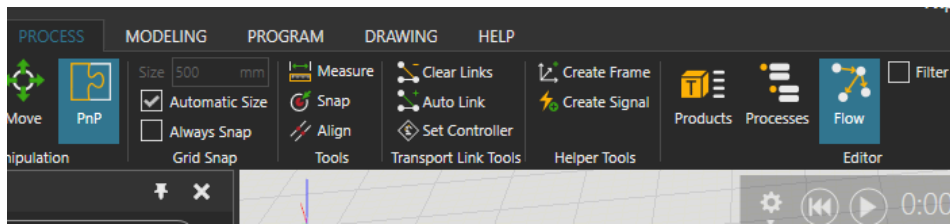
Kuvio 30. Prosessivaiheet sijoitettuna layout:iin

Ennen prosessin järjestyksen määrittelyä malliin on tuotu pakollinen mobiilirobotteja hallinnoiva prosessikomponentti. Tämä Mobile Robot Transport Controller komponentti toimii siihen linkitettyjen mobiilirobottiresurssien ohjaimena. Näitä ohjaimia voidaan tuoda malliin tarvittava määrä esimerkiksi toisistaan riippumattomien prosessien mallintamiseksi. Kuviossa 31 on esitetty mobiilirobottiohjaimen määrittysikkuna.

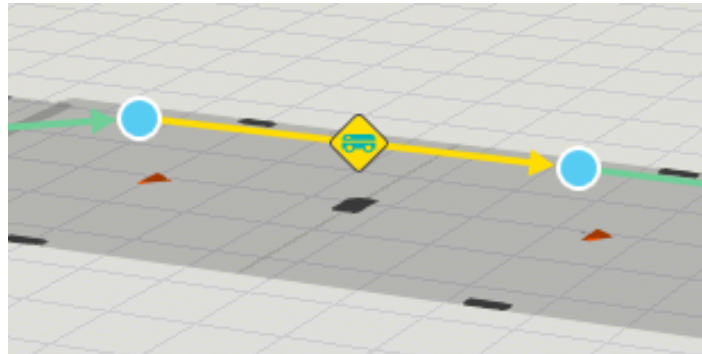


Kuvio 31. Mobile Robot Transport Controller määrittys

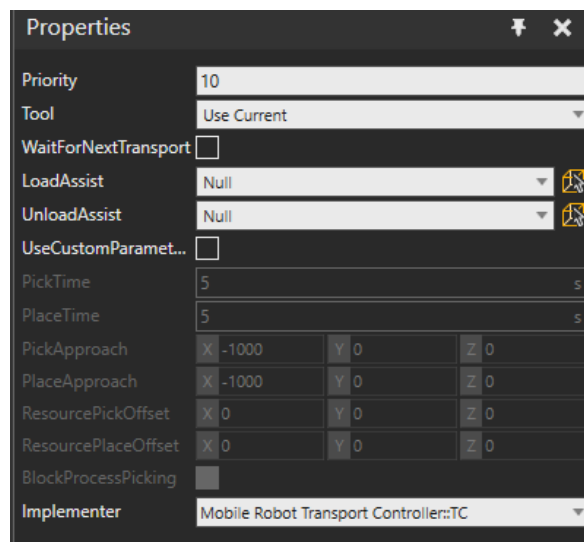
Prosessivaiheiden lisäksi malliin tulee määrittää prosessijärjestys. Järjestys määritetään Process-Flow-tilassa, joka on esitetty kuviossa 32. Prosessivaiheet yhdistetään toisiinsa piirtämällä vaiheiden välillä nuoli valitsemalla ensimmäiseksi lähtöpiste ja toiseksi kohdepiste. Näin luodulle siirtymälle valitaan näiden lisäksi haluttu prosessiohjain mikä tässä tapauksessa on aiemmin luotu mobiilirobottiohjain. Kuvioissa 33 ja 34 esitetään prosessivaiheen luominen sekä haluttu siirron toteuttaja eli Implementer.



Kuvio 32. Process Flow määrittelytilan valinta



Kuvio 33. Prosessisiirtymä kahden prosessipisteen välillä

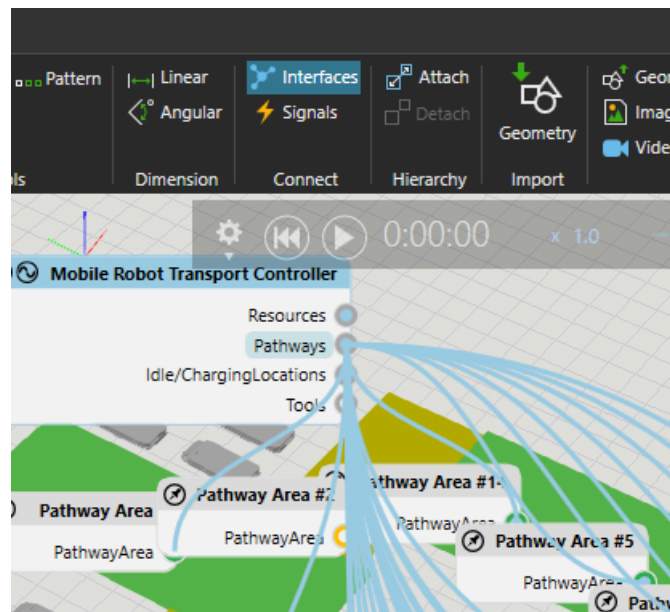


Kuvio 34. Prosessisiirtymän toteuttajan eli Implementer-parametrin määrittäminen

Prosessin vaiheiden lisäksi malliin on määritelty Feeder-komponentti, joka luo kappaleita prosessiin. Vastaavasti prosessin viimeisenä vaiheena on Sink-komponentti, joka poistaa kappaleen. Näiden määrittelyt käsitellään myöhemmin.



Prosessisiirtymien lisäksi määritetään valittuun mobiilirobottiohjaimeen siihen kytkettyjen mobiilirobottien toiminta-alueet. Näin saadaan tarvittaessa erotettua mobiilirobotit omille alueilleen. Jos käytetään vain yhtä mobiilirobottiohjainta, voidaan valita kuvion 31 näkymästä Connect All Pathways. Tällöin ohjaimeen liitetään automaattisesti kaikki siihen mennessä luodut Pathway-alueet. Jos käytetään useampia ohjaimia ja halutaan, ettei malli salli mobiilirobottien siirtymistä toimialueilta toisille tulee PathWay-alueet yhdistää Home-luontinäkymän Interfaces valinnan kautta, kuten kuviossa 35 on esitetty.

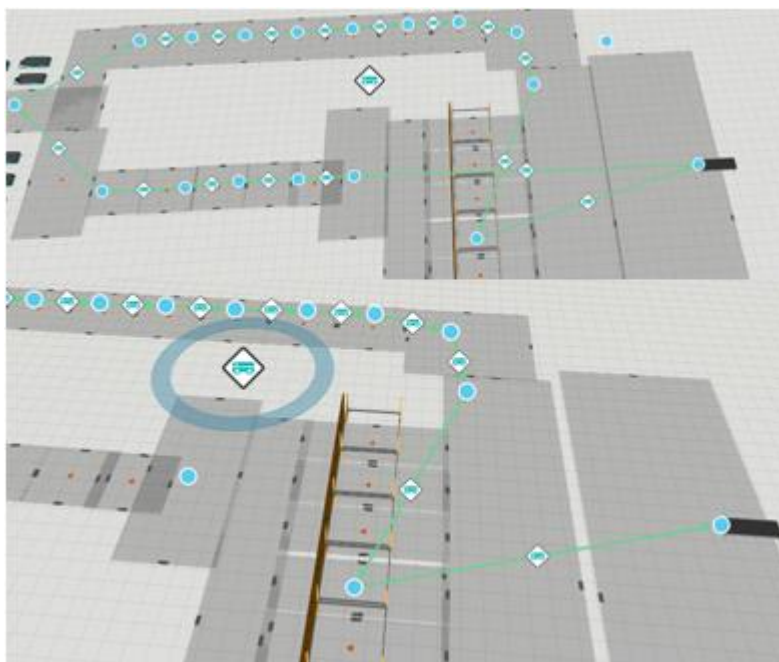


Kuvio 35. PathWay-alueet yhdistettynä Mobile Robot Controlleriin

Halutun PathWay-määrityksen lisäksi tulee prosessin vaiheet määrittää vielä prosessin virtauskaavioon. Process Flow Editor:lla määritetään prosessin järjestys. Prosessivaiheiden välisen siirtymän toteuttava ohjain on määritettävissä vaihtoehtoisesti tässä näkymässä. Kuviossa 36 on esitetty ensimmäinen kokeiluprosessi. Prosessin luonnissa tehdyt virheet ja niiden oikea toteuttaminen käsitellään tämän opinnäytetyön myöhemmässä vaiheessa. Kuviossa 37 on esitetty valmis prosessi virheellisenä sekä toimivana toteutuksena. Prosessikaaviota määriteltäessä on huomioitava, että määrittäminen kohdistuu tuotteen ei mobiilirobottien liikkeeseen.



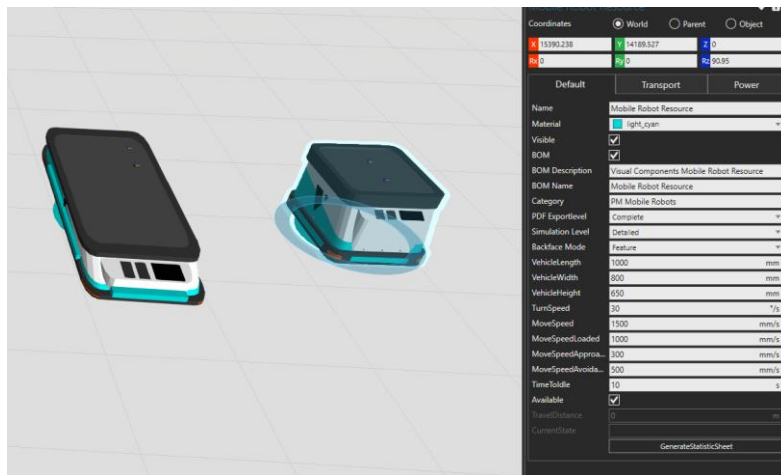
Kuvio 36. Prosessin etenemisjärjestys



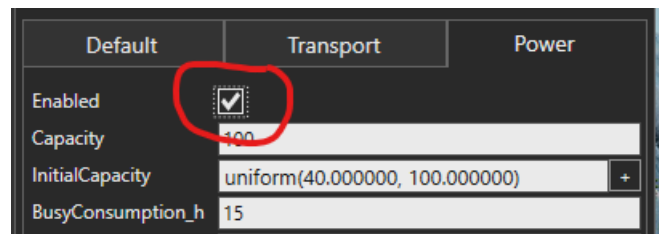
Kuvio 37. Prosessin kierto virheellisenä sekä toimivana toteutuksena

### 6.3.3 AGV-vaunujen mallintaminen

AGV-vaunujen pohjaksi valittiin Visual Componentsin kirjastosta perusmobiilirobotti eli AMR. Mobiilirobotin ulkonäkö haluttiin muistuttavan enemmän tuotannossa käytössä olevaa mallia. Muuttaminen tehtiin mittoja muokkaavien parametrien avulla, kuten kuviossa 38 on esitetty. Vaunuja mallinnettaessa poistettiin käytöstä vaunujen energiavarauksenhallinta kuviossa 39 esitetyn parametrin poistolla. Tämä siksi, että tuotannossa olevien vaunujen käyttöajoista ei ollut vielä täyttä varmuutta.

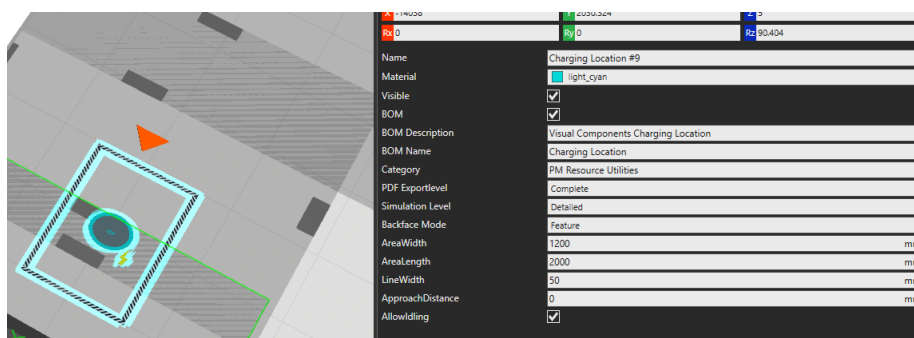


Kuvio 38. Mobiilirobotti muokattuna muistuttamaan tuotantoon investoituja AGV-vaunuja



Kuvio 39. Mobiilirobotin energiavarauksen hallinta oli poistettava käytöstä

Mallin luominen mahdollistaa mobiilirobottien akkujen lataamisen. Tälle toiminnolle on saatavilla myös rinnakkainen toiminto, millä määritellään vapaana olevat mobiilirobotit ajamaan IDLE eli taukopaikalle. Luodussa mallissa käytetään IDLE-paikkoja hillitsemään vapaana olevien tyhjien mobiilirobottien liikkeitä. Kuviossa 40 on esitettyä mobiilirobotin latauspiste.



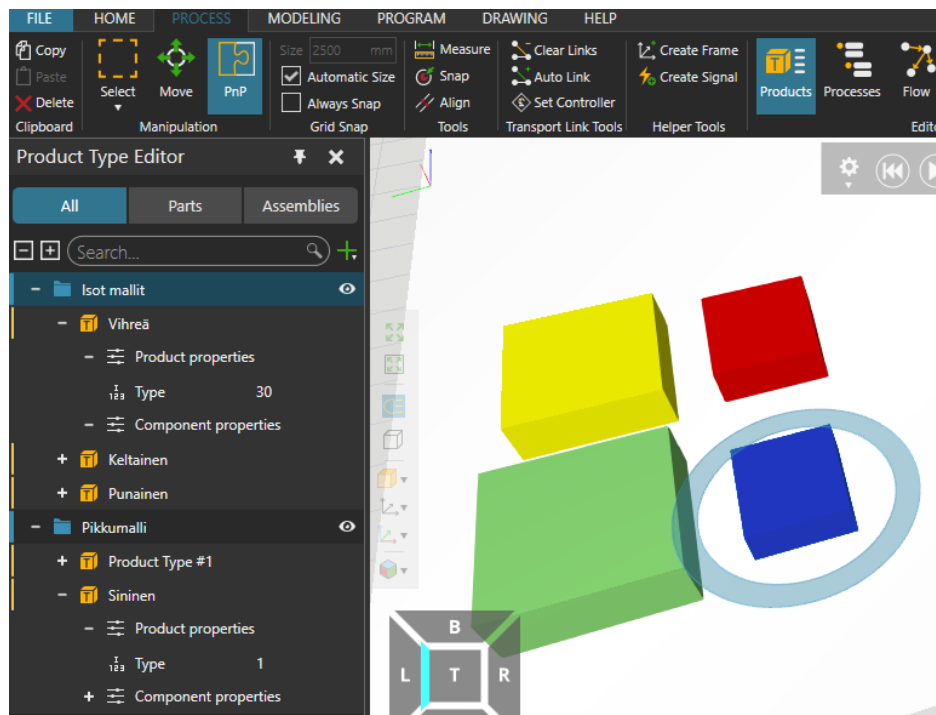
Kuvio 40. Mobiilirobotin latausalue parametreineen

Kuten aiemmin kävi ilmi, Visual Componentsin laitekirjastosta ei löydy suoraan AGV-vaunua. AGV-toiminnallisuus mallinnettiin käyttäen mobiilirobottia. Mobiilirobottien vapaampi liikkuminen kävi ilmi malleja testatessa. AGV-vaunuille tyypillinen säännöllisten reittien noudattaminen ja esteisiin reagointi jouduttiin ratkaisemaan vaihtoehtoisin keinoin. Havaitut ongelmat sekä niiden ratkaisurytykset kuvataan kappaleessa 6.3.5.

#### **6.3.4 Valmistettavien tuotteiden, luontielementtien ja välivarastojen mallintaminen**

Tuotannossa valmistettavien mallien perusrungot sovittiin esitettäväksi laatikkomalleina. Mallinnukseen otettiin mukaan kaikki tuotannossa käsiteltävät runkomallit. Mallinnettujen laatikoiden koko kuvaa myös tuotteiden kokoja järjestystä. Luodut mallit voidaan korvata haluttaessa yleisesti tunnetulla step-tiedostoformaattilla tuodulla 3D-mallilla. Prosessimalleja on myös testattu käyttäen näin tuotuja malleja, mutta eri väristen avulla tehty havainnointi on selkeä ja helpommin ymmärrettävä esitystarkoituksessa. Lisäksi monimutkaiset 3D-mallit vaativat käytetyiltä laitteilta enemmän resursseja.

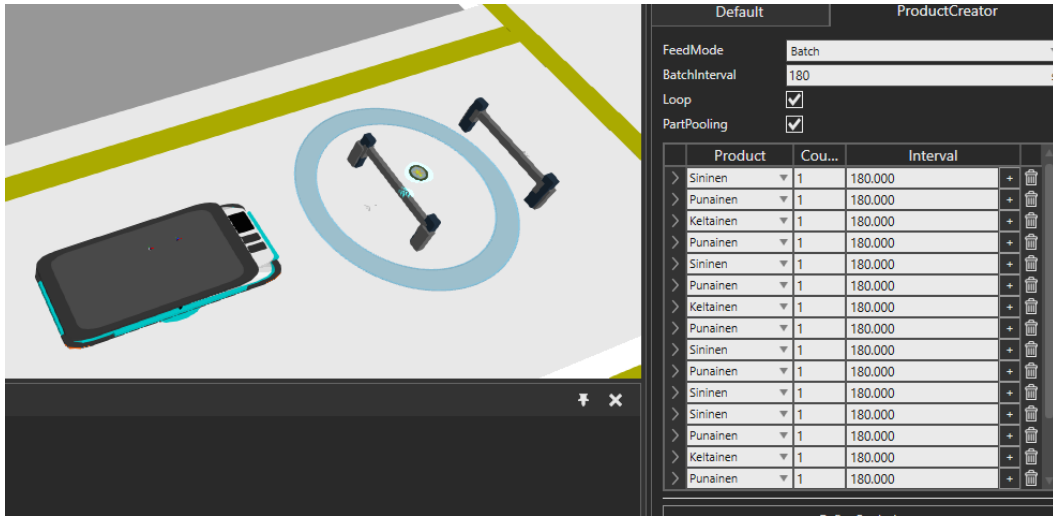
Mallien luonti aloitettiin sopivien muotojen mallintamisella. Piirtäminen tehtiin käyttäen komponenttivalikoimasta löytyviä perusmuotoja. Muodoista määritellään seuraavaksi tuotteet Process-toimintojen Product-määrityksen avulla. Jokaiselle tuotetyypille määritettiin oma tunnistus eli Type. Tämän tunnistuksen avulla pystytään tunnistamaan valmistusprosessin vaiheelle tuleva tyyppi. Lisäksi tuotetyypin linkitetään haluttu aiemmin luotu muoto. Esimerkiksi pienimmälle mallille on valittu sininen laatikko ja tuotteen ominaisuuksissa on määrityksenä tyyppi 1. Tuotetyypit jaoteltiin kahteen kategoriaan koon ja laadunvarmistusvaiheen mukaisesti. Kuviossa 41 on esitetty luodut tuotetyypit sekä niille asetettuja parametreja.



Kuvio 41. Määritetyt tuotetyypit ja niiden tunnisteparametreja

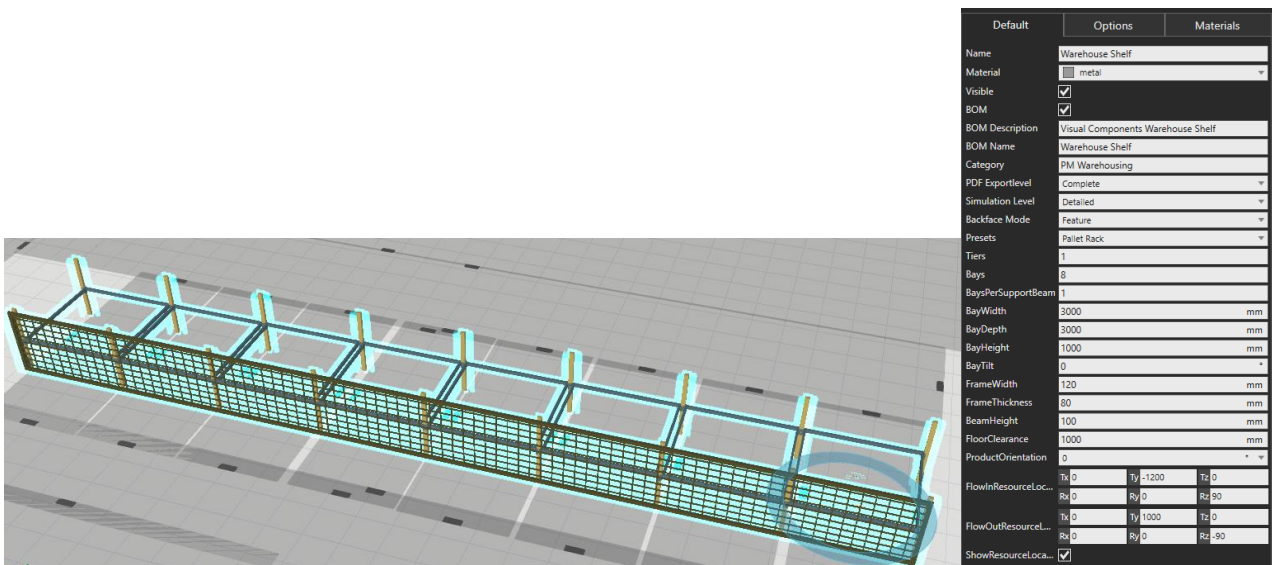
Jotta prosessiin saadaan syötettyä edellisessä vaiheessa luotuja tuotteita, tulee malliin tuoda tuotteita syöttävä Feeder process. Feeder-prosessikomponentti asetetaan prosessimäärityksessä ensimmäiseksi, kuten kuvioista 36 ilmenee. Kun mobiilirobottien ohjaimeen liitettyjen PathWayn alueelle syntyy uusi tuote, ohjaa mobiilirobottiohjain mobiilirobotin noutamaan tuotteen kuljetettavaksi prosessiin. Feederille määritettiin, samoin kuin muillekin prosessikomponenteille, tulosuunta ja korkeus.

Feeder komponentin määrittämisessä luodaan säännöt tuotteiden synnyttämiselle. Säännöt voidaan tehdä valitsemalla ProductCreator-välilehdellä tuotteen tyyppi ja määrittämällä tuotettu määrä sekä asetetaan aika luontivälille. Näin voidaan tuoda malliin testattavaksi suunniteltu tai muutoin koestettava tuotanto-ohjelma. Tuotanto-ohjelma voidaan tuoda myös tiedostosta. Kuten kuviossa 42 esitetään, luotiin tuotantoon eri mallien keskimääräinen tuotanto sovitun tuotantokuukauden keskiarvosta. Simulaatiomallin tuotanto-ohjelmaa voidaan vapaasti muokata ja siihen voidaan hahmottaessa tuoda mukaan uusia tuotemalleja.



Kuvio 42. Tuotanto-ohjelman mukaisten tuotteiden syöttäminen prosessiin

Prosessin osaksi liitettiin myös välivarasto. Varaston kapasiteetiksi määritettiin 8 välivarastopaikkaa. Valmistettavien tuotteiden kokoerot sekä varaukset pyrittiin huomioimaan määrittelyissä. Välivaraston jokaiseen varastopaikkaan määritettiin PathWay-määrittelyissä kapasiteetiksi yksi sekä yhdensuuntainen liikenne. Kuviossa 43 esitetään ensimmäinen varastoratkaisu sekä siihen tehdyt varaston kokomäärittelyt.



Kuvio 43. Välivarasto ja varaston ominaisuudet

Viimeiseksi prosessissa määritettiin Sink process komponentti. Tämän komponentin tarkoituksena on poistaa tuote prosessista. Sink-prosessille ei ollut tarvetta tehdä lisämäärytyksiä. Ensimmäisissä prosessin mallinnuksissa käytettiin lisäksi kuljetinkomponenttia, minkä parametrien avulla pystyttiin kuvaamaan laaduntarkastusprosessin vaiheaikaa.

### 6.3.5 Prosessin testausasetelma

Kun oli saatu varmuus mallin perustoiminnasta, tehtiin ensimmäiset testit kehittämiskohteen valinnan pohjaksi. Simulaatiomalli toteutti kuvion 44 kaltaisen prosessikierron. Malliin tuotiin mukaan tuotanto-ohjelman mukainen valikoima tuotteita. Prosessivaiheille asetettiin vaiheajaksi alkuperäinen tuotannon vaiheajasuunnitelma. Mallin toimivuutta testattiin eri määrillä luotuja AGV-vaunuja.



Kuvio 44. Kehityskohteen valinnan pohjaksi käytetty simulaatiomalli



### 6.3.6 Katselmointi sekä kehityskohteesta päättäminen

Ensimmäisen toimivan prosessimallin lopputuloksena kävi selväksi, että ennen kuin AGV-vaunujen määrää lähdetään tarkemmin arvioimaan ja laskemaan tulee laadunvarmistusprosessin pullonkaulat mallintaa. Kuviossa 45 esitetään prosessimallin visuaalinen tulos, kun koko prosessi asetettiin toimimaan vain yhden työvuoron mallilla. Tässä opinnäytetyön vaiheessa pyrittiin järjestämään työpaja ideoimaan prosessin tai prosessivaiheiden mahdollisia muutoksia sekä lisäyksiä. Työpajan pohjatietona käytettäisiin simulaation avulla saatuja tuloksia. Erinäisten käytännön aikataulu syiden takia työpaja korvattiin avoimin haastatteluin.



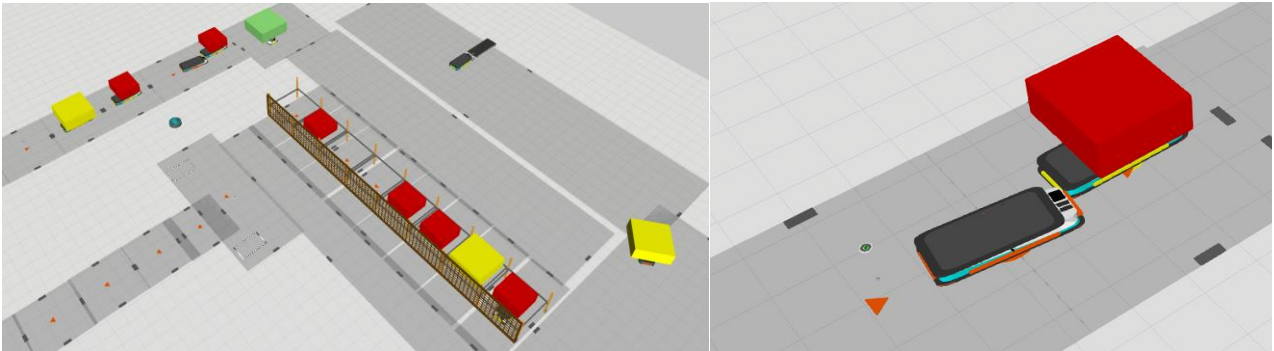
Kuvio 45. Prosessin visualisointi havaitun pullonkaulan havainnollistamiseksi

### 6.3.7 Ensimmäisen mallin luonnissa ja testauksessa havaitut ongelmat sekä virheet

Heti simulaatiomallin toteutuksen alusta alkaen kävi selväksi, että mobiilirobottien käyttäytyminen AGV-vaunujen tapaan tulee haastavaksi. Jos haluttaisiin täydellinen kopio tuotannossa olevien AGV-vaunujen toteutuksesta, tulisi vaunut luoda omana komponenttimallinaan. Käytetyn mobiilirobottimallin käyttäytymistä pystyttiin kuitenkin rajoittamaan siten, että varsinaiselle mallille ei syntynyt suuria ongelmia ratkaisuiden löytämisen jälkeen.

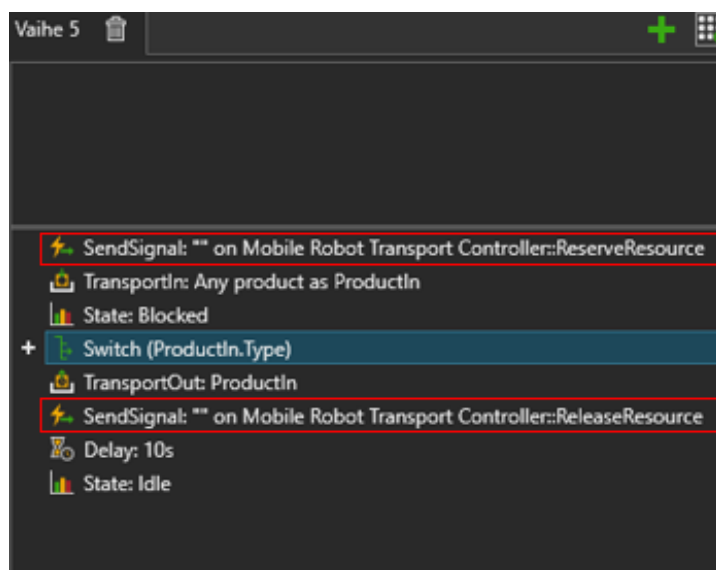
Kuviossa 46 esitetään simulaatiossa esiintyvää ongelmaa, kun syntyviä ja kuljetettavia tuotteita on prosessissa enemmän, kuin käytössä olevia vaunuja. Tällöin ohjain pyrkii saamaan syntyvät tuotteet suunnitelman mukaisesti prosessin eri vaiheille. Toiminnallisuus jättää prosessivaiheella olevan tuotteen paikalleen ja lähtee noutamaan uutta syntynyttä tuotetta. Tällainen toiminta ei ole normaalia AGV-vaunuille, koska ne toimivat todellisuudessa asetetun vaiheistuksen mukaisesti.





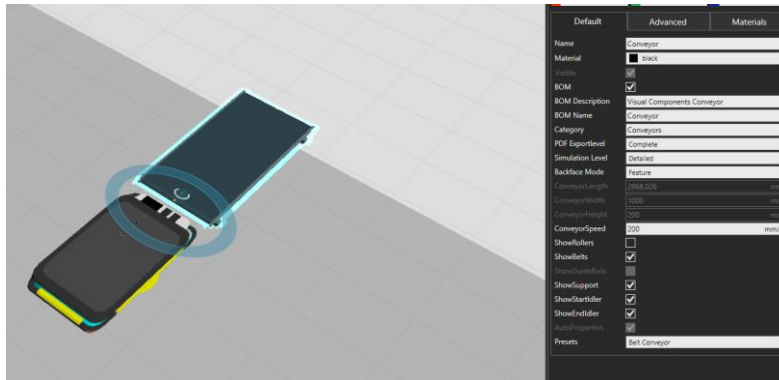
Kuvio 46. Tyhjänä ajava mobiilirobotti

Ratkaisua tähän ilmenneeseen ongelmaan lähdettiin hakemaan muokkaamalla prosessia sekä PathWay-alueita. Lopputulos ei ollut kuitenkaan tyydyttävä ja ongelmaan pyydettiin konsulttia ohjelmistovalmistajalta. Ratkaisuehdotukseksi saatiin ohje lisätä varaussignaalin lähetys mobiilirobottiohjaimelle. Signaali toimii siten, että tuotteen tullessa prosessivaiheeseen ohjain lukitsee AGV:n kyseiselle vaiheelle. Varaus vapautetaan, kun vaiheen toiminnot on suoritettu. Kuviossa 47 on esitetty täydennetty prosessin vaihe lukituksen osalta. Tällä ratkaisulla estetään vaunujen aiemmin esitetyt ei-toivotut toiminnot.



Kuvio 47. AGV-vaunun lukitusehdot prosessivaiheella

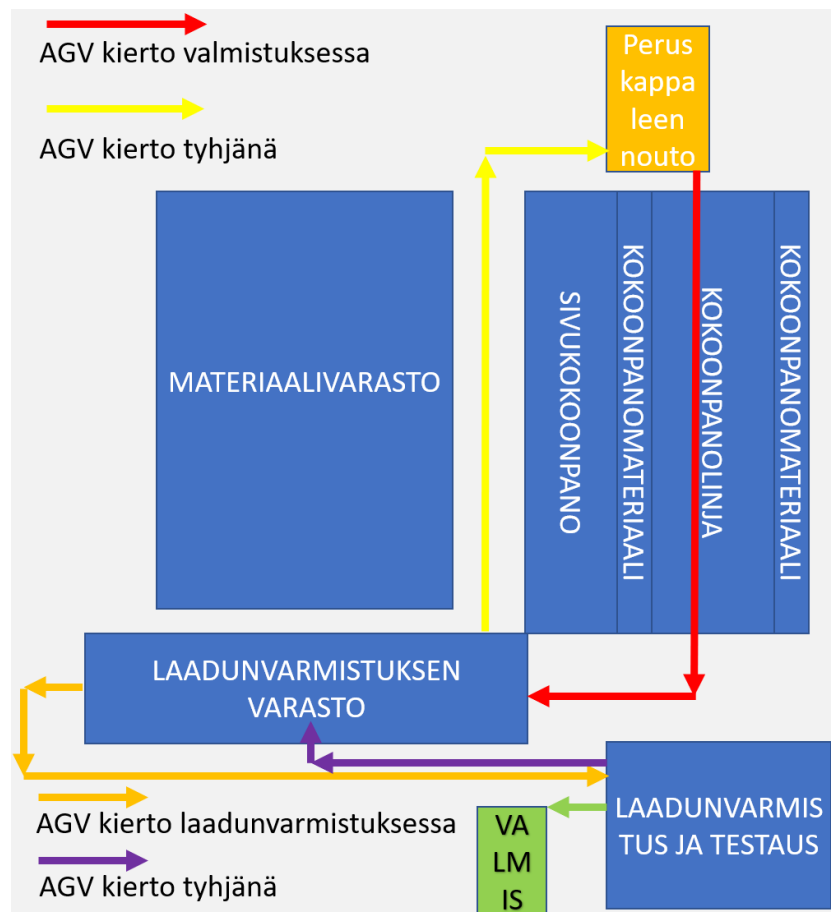
Toisena mallin toteutusta hidastavana ongelmana ilmeni ensimmäisen mallinnusvaiheen laadun- tarkastusprosessia kuvaava kuljetinprosessi. Prosessiin tuotu kappale ei poistunut lukuisista muu- toksista huolimatta. Vasta kuljettimen poisto mallista ja ohjelmiston uudelleenkäynnistys ratkaisi ongelman. Edellistä vastaava ongelma ilmeni myös laadun välivaraston kanssa. Ongelmia aiheutta- nut kuvion 48 kuljetinprosessi oli käytössä vain ensimmäisen vaiheen mallinnuksessa.



Kuvio 48. Vaikeuksia tuottanut Conveyor-prosessi

## 6.4 Simulaatiomallin laajentaminen kehityskohteen osalta

Avoimien haastatteluiden pohjalta suunniteltiin prosessikaavio mikä toteuttaa työn toteutuksen hetkisen prosessin myös laadunvarmistuksen osalta. Prosessi päätettiin toteuttaa kahdella erillisellä AGV-kierrolla siten, että kokoonpanoprosessin vaunut toimivat vain niille määritellyllä alu- eella. Malliin sovittiin luotavaksi yksi AGV-vaunu palvelemaan välivaraston ja laadunvarmistuksen välistä tuotteiden kuljetusta. Loppuprosessin vaiheajat haettiin toimeksiantajan järjestelmistä sekä työntutkimuksen tuloksista. Työntutkimustuloksia tulkittaessa oli huomioitava, että niihin kirjataan myös mahdolliset häiriöt. Loppukoestuksen läpimenoajat tallentuvat koekäytön päätyttyä tallen- nettavaan koekäyttöraporttiin. Näitä raportteja pystytään käsittelemään tilastollisesti ja tietokan- taan voidaan tehdä hakuja SQL-rajapinnan kautta. Malliin tuodaan mallikohtaiset koekäyttöajat häiriöttömästä koekäytöstä. Kuviossa 49 on esitetty sovittu prosessimalli ja malliin lisätyt prosessi- vaiheet.



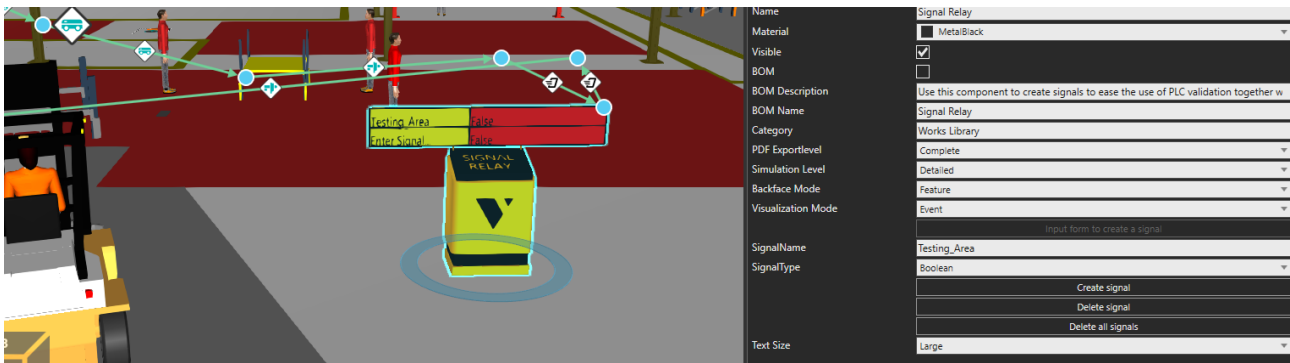
Kuvio 49. Mallinnettava prosessimalli

Simulaatiomallin laajentamisen lisäksi sovittiin, että kokoonpanoprosessin vaiheille luodaan säännöt tuotteiden mallikohtaisten vaiheaikojen syöttämiseksi. Tämän avulla halutaan tuoda statistiikan kautta paremmin esille vaiheilla syntyvää hukkaa. Alkuperäisen mallin vaiheajat eivät tätä totea, koska jokaiselle vaiheelle on määritelty mallista riippumaton vaiheaika. Statistiikan määrittelystä sovittiin jätettäväksi pois häiriöt, koska häiriöiden tutkimus ja simuloiminen olisi kasvattanut tutkimusta huomattavasti. Prosessimalli ja mallin säännöt on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisena ja avoimena, jotta mm. häiriöiden simuloiminen on myöhemmin mahdollista.

#### 6.4.1 Laajennetun prosessin virtuaalimallin luominen

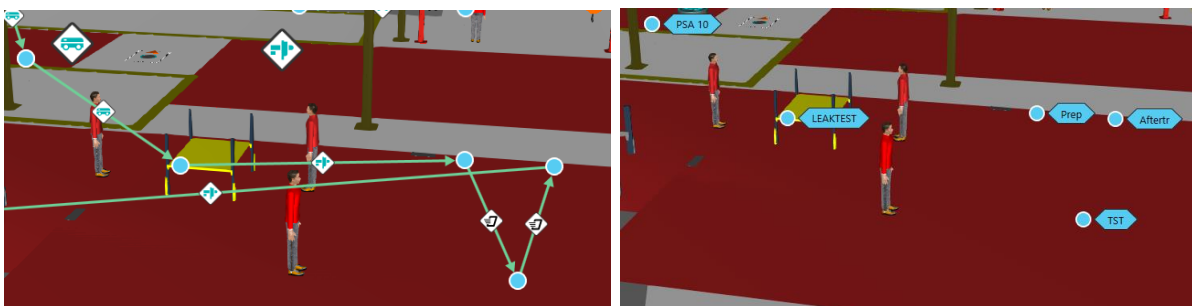
Simulaatiomallin laajennos aloitettiin tuomalla layoutin laadunvarmistukseen halutut prosessin vaiheet. Lisääminen tehtiin vastaavilla komponenteilla, kuin valmistuksessa on käytetty. Lisäksi malliin lisättiin siltanosturi sekä koekäyttöprosessin vaiheiden tilaa välittävä signaalirele eli Signal

Relay. (Ks. kuvio 50.) Signaalireleen toiminnallisuutta tarvitaan varaamaan prosessin aiempi esiasetusvaihe koekäytössä olevalle tuotteelle. Prosessivaiheen lukituksella estetään siltanosturin automatiikan tekemät tuotteiden siirrot. Tällä varauksella kuvataan koekäyttäjärjestelmän rajoitusta eli järjestelmässä voi olla opinnäytetyön tekohetkellä vain yksi tuote kerrallaan sisältäen esiasetuksen ja jälkivarustelun.



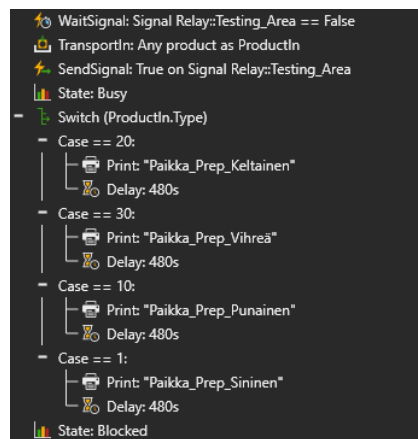
Kuvio 50. Koekäyttölaitteiston materiaalivirtauksen rajoittamiseen käytetty signaalirele

Laadunvarmistusalue jakaantuu kolmeen osa-alueeseen kuvion 51 mukaisesti. Ensimmäisenä vaiheena tässä prosessin osassa on tuotteen vuotomittaus. Mittauksen prosessivaihe on toteutettu välivarastokomponentilla. Prosessivaiheelle voidaan määrittää varastointiaika. Testattavassa prosessimallissa varastointiaikana käytetään keskimääräistä vuototestiaikaa. Vuototestin valmistuttua siltanosturi nostaa tuotteen esiasetteluvaiheeseen. Esiasettelusta siirto testausprosessiin ja testausprosessista jälkivarusteluun tehdään käyttäen prosessisiirtymää ilman erillisiä laitteita. Tällä ei ole kuitenkaan vaikutusta lopputulokseen, muuten kuin visuaalisuuden kannalta.



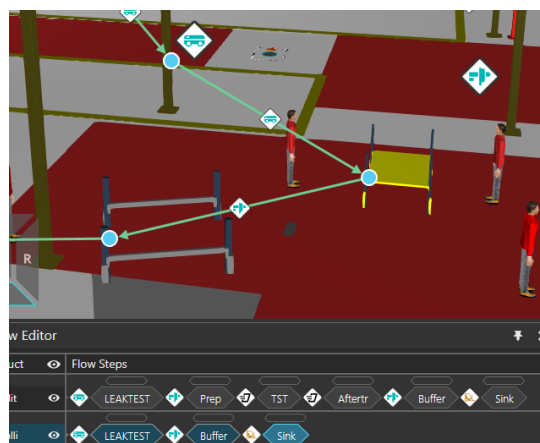
Kuvio 51. Simulaatiomalliin lisätty alue ja prosessivaiheet

Prosessin vaiheille määritellyt tuotteiden mallikohtaiset vaiheajat määrittävät myös esiasettelu, testaus ja jälkivarusteluvaiheet. Tuotteiden vaatiman valmistusajan määrittäminen toteutetaan eli Switch-Case-rakenne esitetään kuviossa 52. Jälkivarustelun prosessin valmistuttua tuote nostetaan viimeiselle vaiheelle ennen haarukkatrukin noutoa Sink-prosessiin. Prosessivaihe on toteutettu samoin, kuin vuototestauksen vaihe, mutta vaiheelle ei ole määritely erikseen kestoja.



Kuvio 52. Prosessivaiheiden switch case rakenne

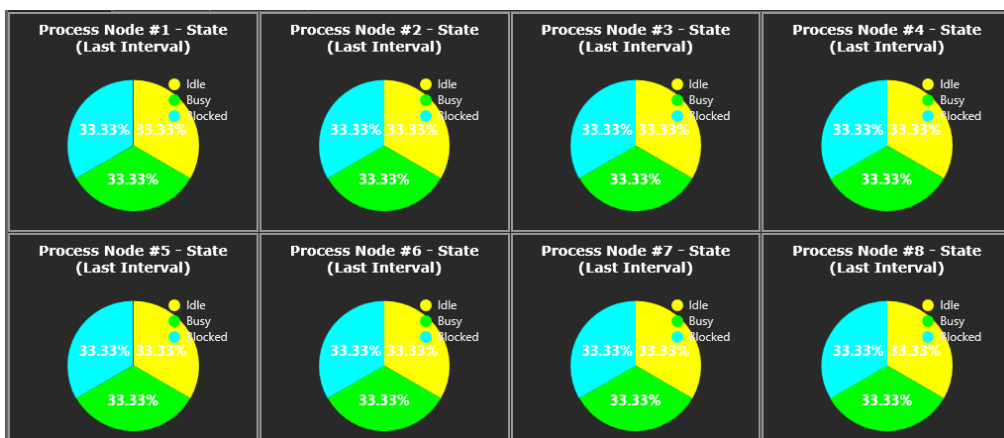
Sinisen tuotteen vuototestin jälkeinen prosessi poikkeaa muista tuotteista. Poikkeava prosessi pystyttiin mallintamaan käyttämällä Process Flow editoria sekä luomalla Flow-kaaviolla tuotteen poikkeava reitti, kuten kuviossa 53 esitetään. Prosessi käyttää samaa siltanosturiresurssia tuotteen siirtoon vuototestistä noutovarastoon, kuin käytetään muiden tuotteiden siirrossa koestukseen ja koestuksesta.



Kuvio 53. Sinisen tuotteen muista tuotteista poikkeava reitti

## 6.4.2 Prosessimallin tuottama statistiikka

Prosessin analysoimiseksi määriteltiin valmistusprosessin vaiheille säännöt, joiden avulla pystytään luomaan Visual Componentsin tilastointityökalulla visuaalisia näkymiä halutuista prosessin vaiheista. Valmistusprosessin tasapainoa varten määriteltiin näkymä, jonka avulla pystytään muodostamaan yhden sivun näkymä eri kokoonpanovaiheiden tasapainosta. (Ks. kuvio 54.) Lisäksi luotiin näkymä, minkä avulla pystytään seuraamaan prosessin läpi tulleiden tuotteiden kappalemääriä. Tätä laskuria pystytään käyttämään esimerkiksi testattaessa loppukoestuksen vaiheikojen muutosten vaikutusta prosessin ulostulomääriin.



Kuvio 54. Valmistusprosessin mittarit

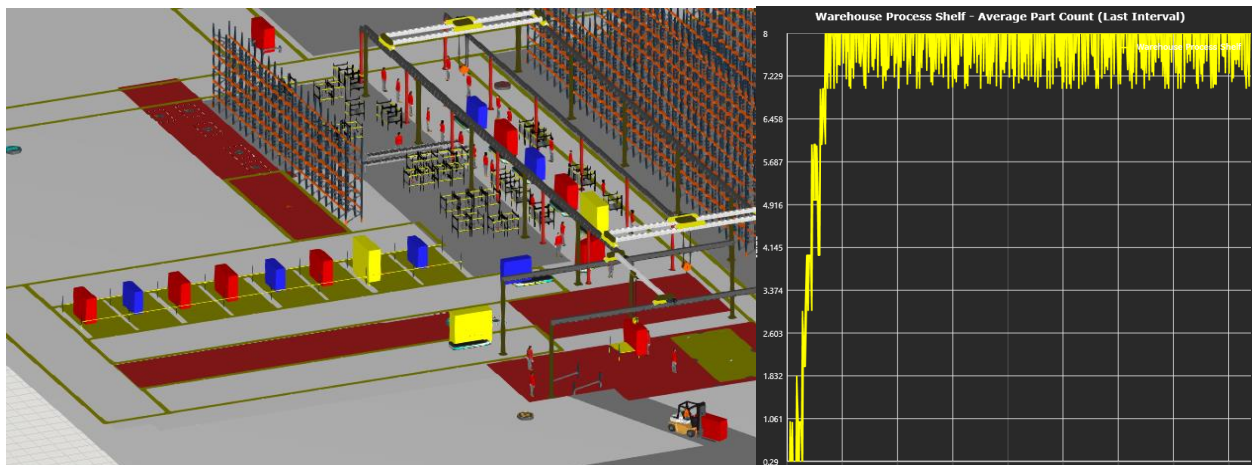
## 6.5 Uuden prosessimallin testaus eri vaihtoehdoin

Laadunvarmistuksen prosessilla täydennetyistä mallista valittiin valmistettavien tuotteiden koko valmistuksen kattavan prosessin suorituskykytesteihin neljä eri vaihtoehtoa. Kaikissa vaihtoehdoissa käytetään yksivuoromallia. Tulokset tarkasteltiin 140 tunnin yhtäjaksoisen ajon jälkeen. Simulaatioon valittiin tarkasteltavien AGV-vaunujen määräksi 7+1 sekä kahdessa muussa vaihtoehdossa 9+1.

Normaalisti tuotannon laadunvarmistus toimii kolmivuoromallilla. Tällä hallitaan tuotteen valmistusta hitaampaa prosessin vaihetta. Yksivuoromallin simuloimisella haluttiin esittää selkeämmin prosessin hitaammasta vaiheesta aiheutuvaa hukkaa mittareiden kautta. Eri vaihtoehdoista syntyneet tulokset esitetään suhteellisina verrattuna alkuperäiseen malliin.

### 6.5.1 Alkuperäinen malli ja päätelmä

Alkuperäisen prosessimallin simuloinnissa kävi selväksi ensimmäistä kokoonpanoprosessia simuloitaessa tehty havainto. Laadunvarmistuksen hitaus vaikuttaa ratkaisevasti tuotannon sujuvuuteen, jos toimitaan yksivuoromallissa. Päätelmäksi saatiin, ettei AGV-vaunujen lisäämisestä ole prosessin sujuvuuden kannalta hyötyä, koska laadunvälivaraston täytyminen estää tuotannon sujuvan etenemisen. (Ks. kuvio 55.) Tuotannon ulostulon suhdeluku on tässä alkuperäisessä mallissa 1.

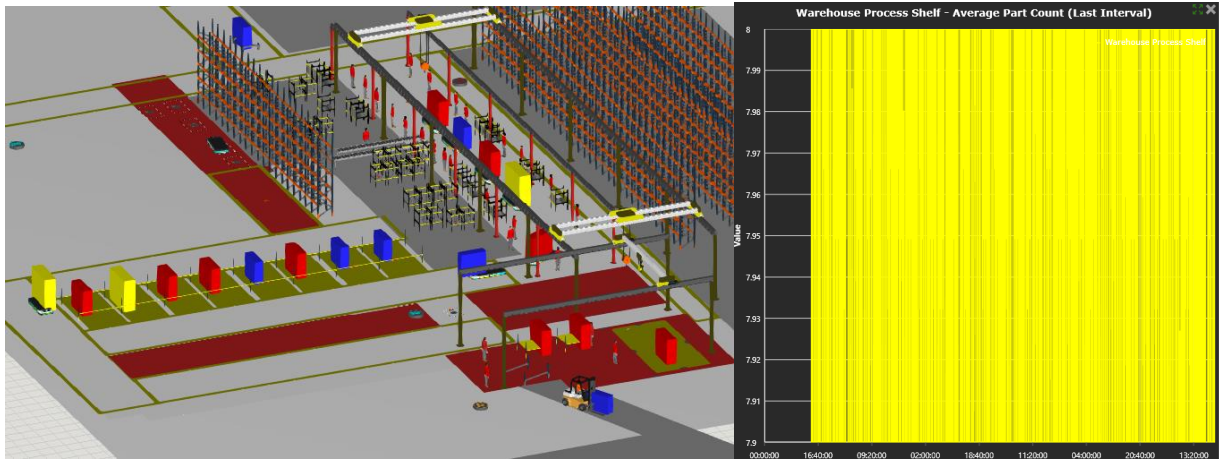


Kuvio 55. Prosessin pullonkaulan ilmeneminen välivaraston kuormituksen kautta

### 6.5.2 Toinen ratkaisuvaihtoehto

Toiseen prosessivaihtoehtoon tuotiin laadunvarmistukseen olemassa olevan vuotomittauksen rinnalla identtinen vuotomittauspiste. AGV-vaunujen määrä säilytettiin samana, kuin alkuperäisessä prosessimallissa. Prosessia simuloitaessa saatiin tulokseksi havainto, että toisen vuotomittauspisteen lisäämisellä saadaan noin 8,5 % parannus läpimenokykyyn suhdeluvun ollessa 1,085. Tämä saatu tulos selittyy sinisten tuotteiden poikkeavalla laadunvarmistusprosessilla. Silti laadun välivaraston kuormitus käyttäytyy lähes samoin, kuin yhden vuotomittauksen kanssa. (Ks. kuvio 56.)

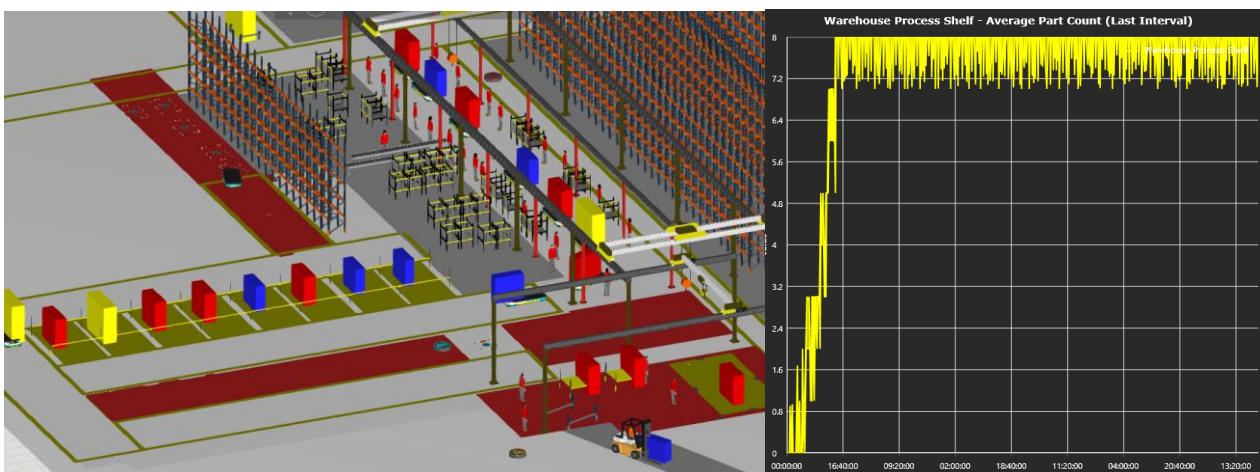




Kuvio 56. Kahden vuotomittauspisteen vaikutus välivaraston kuormitukseen

### 6.5.3 Kolmas malli ja lisätyt AGV:t

Kolmanteen prosessimalliin lisättiin 2 AGV-vaunua. Vaunut liitettiin osaksi valmistuskiertoa ennen laadunvarmistuksen varastoa. Tässäkin vaihtoehdossa kävi selväksi, ettei AGV-vaunujen lisäämisellä saada kasvatettua prosessin ulostuloa. Valmistuneiden tuotteiden määrä jäi samaksi, kuin toisessa vaihtoehdossa suhdeluvun ollessa 1,085. Kuten aiemmissakin tapauksissa, laadunvarmistuksen välivarasto kuormittuu maksimiin. (Ks. kuvio 57.) Eroa syntyy kuitenkin valmistusprosessin vaihekohtaisissa kuormituksissa. Tällöin saadaan hidastuksesta huolimatta jokaiselle kokoonpanon vaiheelle tuote valmistukseen.

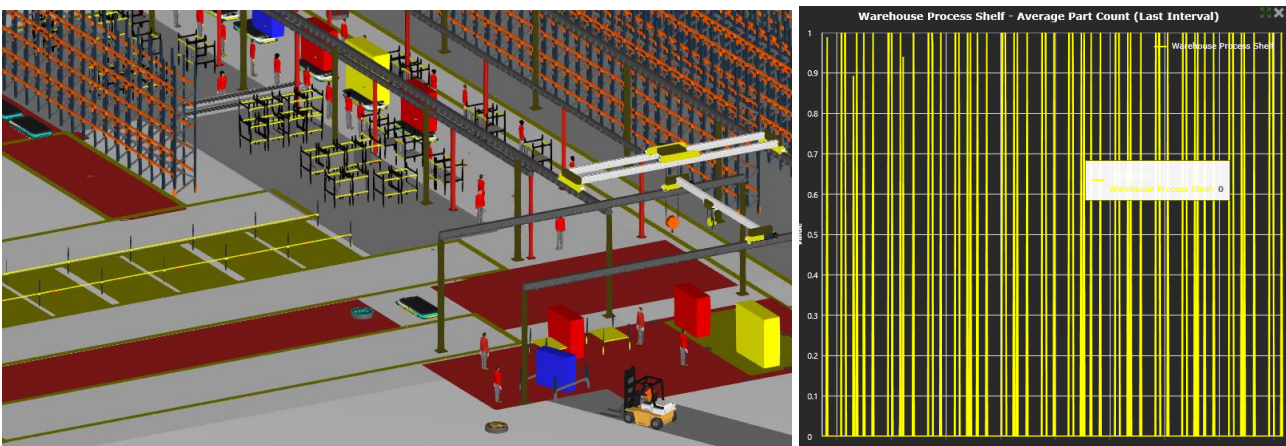


Kuvio 57. Prosessiin lisätyt AGV:t mahdollistavat kokoonpanon kaikilla vaiheilla



#### 6.5.4 Viimeinen eli neljäs skenaario

Viimeiseen testattavaan vaihtoehtoon määriteltiin tuotteiden koekäyttöön säännöt, joiden avulla pystytään toteuttamaan kahden koeajoalustan ratkaisu. Tämä luotu ratkaisu mahdollistaa koekäytön esiasettelun ja jälkivarustelun samalla, kun koekäyttötapauksena on käynnissä. Laskennallisesti prosessin tämän vaiheen läpimenoaika puolittuu alkuperäiseen verrattuna. Tämä käykin ilmi testauksen lopputuloksia tarkasteltaessa. Laaduntarkastuksen välivaraston kuormituksen kuvaajaa tarkastellessa ilmenee, että varaston kuormitus laskee huomattavan alhaiseksi, kuten kuviosta 58 asia ilmenee. Tätä vaihtoehtoa tarkasteltiin useamman kerran, koska tuloksena tuli huomattavasti odotuksia suurempi ero. Toteutuksesta ei löydetty niin suurta virhettä, että sillä olisi voitu selittää odotuksiakin suurempi lopputuloksen ero aiempiin vaihtoehtoihin verrattuna. Lopputuloksena saatiin tuotannolle 43 % läpäisyn parannus tarkasteltavana ajanjaksona eli suhdeluvuksi tuli 1,43. Tämän lisäksi tuotteen valmistuksen työvaiheiden välinen epätasapaino näkyi selvästi tarkastellussa statistiikassa. Sama ilmiö tulee esille myös tehtyjen työntutkimusraporttien kautta. Tämä osa tuotannosta vaatii myös tarkemman analysoinnin tuotantolinjan ns. balansoimiseksi.



Kuvio 58. Kahden vuorottelevan koekäyttöalustan ratkaisun vaikutukset näkyvät selvästi

#### 6.6 Ehdotetut vaihtoehdot, muutokset ja niiden kustannukset

Visual Componentsilla toteutettujen mallivaihtoehtojen pohjalta voidaan todeta, että käsitellyn valmistusprosessin pullonkaula syntyy laadunvarmistuksen koekäyttötoiminnosta. Käytettäessä yhden koekäyttöalustan prosessia koekäytön esiasetuksen ja jälkivarustelun tarvitsema aika varaa

koekäyttölaitteiston ja kuluttaa tarpeettomasti kallista koneaikaa. Muuttamalla koekäyttöprosessia tukemaan kahden alustan ratkaisua saadaan esiasetuksesta ja jälkivarustelusta syntyvä varsinaisen laitteiston odotus poistettua. Uusien tai rinnakkaisesti tehtävien työvaiheiden lisääminen prosessiin vaatii manuaaliseen asennustyöhön lisäresursseja. Tällä hetkellä vuorotyömallin kautta yksivuoromalliin siirryttäessä vapautuvia resursseja voitaisiin hyödyntää syntyvissä uusissa tai rinnakkaisissa työvaiheissa ilman, että resurssien kokonaismäärää tarvitsisi kasvattaa. Tarkempaa resurssilaskentaa ei sisällytetty tähän opinnäytetyöhön.

Yrityksessä on suunniteltu lisättävän AGV-vaunuja 3kpl täydentämään nykyistä valmistuskierrossa olevaa 8kpl:tta. Tarkoituksena on lisätä tuotantoon 2kpl sekä yksi vaunu varataan mahdollisten viikatapausten varavaunuksi. Suunniteltu AGV-vaunuihin tehtävän investoinnin hyöty saadaan, kun tarkastellun prosessin loppuosaa kehitetään hukan minimoimiseksi. Hukan minimoimisen lisäksi vapautuu koestusprosessista huomattavasti kapasiteettia mahdollista tuotannon kasvattamista silmällä pitäen. Tämä vähentää tarvetta investoida hyvin monimutkaisiin ja kalliisiin laitteistoihin ilman, että niiden käytösuhdetta parannettaisiin. Prosessin kehittämistä tehtiin kustannuslaskenta missä käsiteltiin erilaisia vaihtoehtoja koestusalustan vaihtolaitteistoksi seuraavin tuloksin. Budjetin määrittelyn pohjaksi lasketut tulokset esitetään suhdelukuina varsinaisten investointisummien sijaan seuraavassa taulukossa AGV-vaunun arvon ollessa 1. Hinta-arvion laskemiseen käytetyt summat perustuvat laitteista tai osaprojekteista saatuihin tarjouksiin tai jo toteutuneisiin kustannuksiin.

Taulukko 1. Investoinnin budjettilaskelma

	Hinta	Määrä	Kokonaisarvo
AGV-vaunu	1	3	3
Koestusalustan vaihtojärjestelmä	6,875	1	6,875
Puoliautomaattinen siltanosturi	1,875	1	1,875
Vuotomittaus	0,25	1	0,25
		yhteensä	<b>12</b>

Ehdotetun investoinnin toteutus on kokoluokaltaan ja vaikutuksiltaan suuri. Tämä asettaa rajoituksia muutoksen aikataulutukselle. Käytännön kokemukseen perustuen on arvioitu, että normaalin

tuotannon ollessa käynnissä ei vaadittuja rakennemuutoksia voida toteuttaa. Tästä syystä muutokset on ajoitettava sellaiseen ajankohtaan, milloin tuotanto ei ole käynnissä. Tällaisia ajankohtia ovat mm. vuosilomien ajat, jolloin tuotanto on pysähdyksissä pidemmän yhtäjaksoisen ajan.

Ehdotetulle investoinnille ei voitu työn toteutuksen aikana tehdä laskelmaa takaisinmaksusta. Takaisin maksun laskemiseksi olisi tarvittu tarkempi tutkimus resurssien käytön tarpeiden muutoksista. Tuloksista voidaan kuitenkin laskea tuotannon tahti minkä ylittyessä syntyy tarve investoida rinnakkaiseen koestusjärjestelmään.

Koska ehdotetun muutoksen toteutuksen aikataulu on tarjous-sopimus-osto-valmistus-testaus-asennus prosessin keston kautta pitkä, päädyttiin tekemään tuotannon prosessimalliin vaihtoehtoinen toteutus tukemaan yhden vuoron malli kokoonpanoon sekä 3 vuoron malli koestukseen. Tässä toteutuksessa prosessiin luotiin uusi tuotetyyppi, joka ajoitettiin siten, että se tuodaan mukaan prosessiin työvuoron viimeisenä. Tämän lisäksi viimeiselle työvaiheelle määriteltiin työn kestoksi laskennallisesti 9 tuntia. Näin saadaan keinotekoisesti pysäytettyä valmistuslinjan tuotanto. Lisäksi on suunniteltu mallinnettavan kahden vuoron mallia hidastamalla tuotantotahtia. Näiden vaihtoehtojen käsittely on opinnäytetyön kirjoitushetkellä kesken eikä niitä ole huomioitu lopputulosta arvioitaessa.

Jo useamman vuoden teollisuutta vaivannut globaali elektroniikan komponenttipula asettaa myös suunnitelmien toteutukselle oman haasteensa. Korona-aikana pahentunut osien saatavuus vaivaa myös automaatiokomponenttien valmistusta (Korhonen, 2022.) Tämä käy selvästi ilmi myös ehdotetun projektin laitteista saaduissa tarjouksissa. Laitetoimittajat jättävät varauksia toimitusaikatauluihin vedoten komponenttien saatavuuteen.

## **7 Tutkimuskysymysten vastaukset**

### **7.1 Onnistuuko prosessin mallintamien vastaamaan todellisuutta?**

Ensimmäiseen asetettuun kysymykseen saatiin vastauksia useiden tarkasteluiden kautta. Prosessimallin mittareita verrattaessa yrityksen lähteistä saatuihin saadaan yhteneviä tuloksia. Koska prosessimalli ei huomioi poikkeuksia esimerkiksi tuotannon materiaalipuutteiden tai laitteiden vikaantumisten kautta, täydellistä yhteneväisyyttä ei mallille kuitenkaan saada. Toteutettua mallia

katselmoitiin useita kertoja ja mallin toteutuksessa havaitut virheet ja puutteet pyrittiin poistamaan tai minimoimaan. AGV-vaunujen mallintaminen käyttäen ohjelmistossa valmiina olevia mobiilirobotteja jäi odotuksista. Yrityksen tuotannossa olevien AGV-vaunujen liikkeet eri tilanteissa poikkeavat joiltain osin simulaatio-ohjelmiston mobiilirobottien tavoista liikkua. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut ongelmia simuloinnille vaan ongelma on pääosin vain visuaalinen. Toinen huomioitava ongelma liittyi koestuksen siltanosturin määrittäisiin. Parametrien asettelu eri tilanteisiin päätyi kompromissiksi. Käytännössä tuotemallien välillä poikkeavat ajat huomioitiin esiasettelun vaiheajoissa.

## **7.2 Pystytäänkö prosessimallista saamaan joustava tuotemuutosten vaikutusten simuloimiseksi?**

Toinen kysymys asetettiin työn tuloksena syntyvän simulaatiomallin hyödynnettävyyden kannalta. Mallista haluttiin helposti muokattava siten, että sitä voitaisiin käyttää tulevaisuudessa esimerkiksi prototyypin valmistuksen ajoituksen apuna. Jokaiselle prosessivaiheelle luotiin säännöt, joiden avulla pystytään määrittämään tuotteen mallien mukaiset vaiheajat. Avoimen haastattelun lopputuloksena saatiin vastaukseksi lievästi positiivinen vastaus.

## **7.3 Löydetäänkö mahdollisille pullonkauloille vaihtoehtoisia ratkaisuja prosessin mallintamisen kautta?**

Viimeiseksi tutkimuskysymykseksi oli asetettu olemassa olevan tuotannon kannalta hyvin oleellinen kysymys. Jos löydetäisiin huomattavasti tuottavuutta heikentävä pullonkaula, saavutettaisiin myös tavoite. Pullonkaulaksi arvioitiin jo opinnäytetyön aloitushetkellä loppukoekäytön työalue. Luotujen prosessivaihtoehtojen kautta pystyttiin todentamaan, että suurin hyöty saavutetaan, jos koekäyttöalueelle lisätään koekäyttöalustan vaihtojärjestelmä.

# **8 Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus**

## **8.1 Eettisyys**

Tutkimuksessa on noudatettu JAMK:n eettisiä ohjeita. Tutkimusaineistoa kerätessä ei ole käsitelty henkilötietoja. Lisäksi avoimissa haastatteluissa haastateltujen henkilöiden nimiä ei ole tallen-

nettu. Virallinen työntutkimus on yrityksessä sallittua vain siihen koulutetuilta henkilöiltä. Työntutkimuksen tulokset saatiin käsiteltäväksi ko. henkilöiltä. Työntutkimuksen tuloksia käsiteltäessä ei ole käsitelty itse työtä vaan vain työvaiheiden aikoja.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajayrityksen ohjeistuksen mukaisesti yritystä ei mainita raportissa nimeltä. Lisäksi opinnäytetyön raportissa on ohjeistuksen mukaisesti pyritty häivyttämään todelliset valmistettavat tuotteet. Näillä ei ole kuitenkaan vaikutusta työn lopputulokseen ja tulosten käytettävyyteen.

Kaikki käytetty tutkimusmateriaali jää yrityksen haltuun mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten.

Tutkimusmateriaalia on käsitelty vain yrityksen omistuksessa olevilla laitteilla ja ne on tallennettu yrityksen käytössä olevaan pilvipalveluun.

## **8.2 Luotettavuus**

Opinnäytetyön teorianäytteenä pyrittiin käyttämään vain tunnettuja ja luotettavaksi arvioituja lähteitä. Internetistä löytyvien lähteiden luotettavuutta arvioitiin myös ristiin tarkistamalla useita toisiaan vastaavia lähteitä. Kerätty tutkimustieto on käsitelty siihen liittyvien sidosryhmien kanssa siten, että tiedon todenmukaisuudesta ei voi syntyä ristiriitaa. Työn toteutuksessa on toimittu avoimesti ja on pyritty tuomaan esille toteutuksen pohjaksi tehdyt päätelmät.

Opinnäytetyön simulointimallin toteutuksen testauksessa käytetty työntutkimustieto oli osin vanhentunutta. Tutkimustietoa katselmoitaessa todettiin, että kokoonpanoprosessissa on edelleen kohtia, joiden mittaaminen on vaikeaa. Jotta simulointimallin pohjalta tehtäviä päätöksiä voitaisiin varmuudella pitää investointipäätöksenteon pohjana, tulisi työntutkimuksen tieto ajantasaistaa. Lisäksi simuloinnissa käytetty tuotanto jono oli valittu jo valmistetuista tuotteista. Mallin testauksessa olisi tullut käyttää myös tulevaisuuden ennusteita. Vasta näin olisi saatu huomattavasti vahvempi pohja investointiesitykselle.

Visual Components mahdollistaa suuren määrän eri toiminnallisuuksia ja niiden parametreja. Virheelliset parametrit ja säännöt voivatkin johtaa täysin virheellisiin tuloksiin. Parametrejä asetellessa tulee tuntee tarkkaan niiden vaikutus ja tunnistaa ne tuotantoprosessista.

## 9 Pohdintoja opinnäytetyöstä

### 9.1 Aiheen käsittelyn hyödyllisyys

Opinnäytetyössä käsitellyn aihealueen kokonaisuuden ymmärtäminen on valmistusprosessin kannalta erittäin tärkeä. Kokonaisuuden suunnittelu vaatii syvällistä perehtymistä useisiin tuotannon osa-alueisiin. Pienillekin vaikuttavat prosessin osat saattavat aiheuttaa huomattavia määriä hukkaa. Opinnäytetyön prosessin aikana pyrittiin luomaan sidosryhmille kuva simulaation hyödyllisyydestä ja siitä, että simulaatioon kannattaa panostaa tulevaisuudessa.

Toteutuksen simulointimalli perustui pääosin yhteen olemassa olevaan prosessiin ja sen jatkokehittämiseen. Varsinkin prosessin loppuvaiheessa on mallissa näkymättömiä elementtejä, joiden vaikutusta tulisi arvioida kriittisesti ennen muutosten toteutusta. Lisäksi lopputulosta arvioitaessa tulisi huomioida tulevaisuudessa mahdollisesti tulevat tarpeet.

### 9.2 Ajatukset jatkokehityksestä

Opinnäytetyön tuloksena syntynyt simulaatiomalli olisi jatko kehitettävissä kattamaan tarkemman kokoonpanotyön mallintamisen. Visual Components mahdollistaa myös ihmisresurssien mallintamisen varsinaiseen kokoonpanotyöhön. Statistiikan avulla pystyttäisiin tarkastelemaan tarvittavien resurssien määriä ja tekemään tulosten avulla tarkasteluita kokoonpanolinjan työkuormien tasaimiseksi. Yrityksen toisilla tehtailla on ohjelmistolle laajempi käyttäjäkunta. Konzernissa onkin oma käyttäjä foorumi Visual Components käyttäjille.

Koronan vaikutus näkyy edelleen simulaation mallin pohjana käytetyn tuotantolinjan toiminnassa. Pahimpana korona-aikana tuotannon joustavuus kävi useita kertoja ääri rajoilla. Vasta viime aikoina on päästy stabiloimaan ja todellisesti standardoimaan tuotantolinjan työprosessia. Tämä tulee huomioida simulaatiomallia jatkokehitettäessä.

Visual Components on käytettävyydeltään joiltain osin haastava. Todennäköisesti työn toteutuksessa käytetyssä ohjelmistoversiossa 4.4 ilmenneet ongelmat on ratkaistu uusimpaan 4.6 versioon. Näyttävien mallien luominen ja ohjelmiston laajat prosessien mallintamiseen käytettävät ominaisuudet mahdollistavat monimutkaisienkin mallien luomisen. Tosin ohjelmisto ei käytä simulaation

ajossa läheskään kaikkea tietokoneen prosessorin suorituskykyä hyväksi. Tämä näkyi esimerkiksi yhden vuoden tuotantoa vastaavan tuntimäärän simuloinnissa ohjelmiston pikatoiminnon avulla. Tuotannon simulointi saattoi kestää useampia tunteja. Visual Components ohjelmiston avulla voidaan mallintaa myös omia laitteita ja Python ohjelmointikielen tuen kautta voidaan sanoa, että vain mielikuvitus on rajana.

## Lähteet

2-IN-1: EINE TRANSPORTPLATTFORM FÜR BEIDE TECHNOLOGIEWELTEN – AMR & AGV. 2023. ek robotics GmbH. Valmistajan verkkosivut. Viitattu 2.4.2023. <https://ek-robotics.com/de/fahrzeuge/x-move/>.

AGV vs. AMR - What's the Difference? . 2023. Mobile Industrial Robots A/S (MiR). Viitattu 19.2.2023. <https://www.mobile-industrial-robots.com/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/>.

Ahokas, P. Tiihonen, J. Neuvonen, J. & Suikki, M. 2011. Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Verkkojulkaisu. Viitattu 26.3.2023. <https://teknologiainfo.net/fi/content/ty%C3%B6ntutkimuksen-k%C3%A4sitteit%C3%A4-menettelytapoja-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6kohteita-pdf-muodossa>.

Anttila, J. @ Jussila, K. 2016. Mitä laatu on? SFS Ry. Artikkel. Viitattu 7.1.2023. <https://sfs.fi/mita-laatu-on/>.

Dougovito, L. @ Dougovito, J. 2017. Paikallisoppaat. L'Anse, Michigan, USA. Haastattelu 5.6.2017.

Defining the Next Industrial Revolution. 2018. Ottomotors. kuvio. Viitattu 15.3.2023. <https://ottomotors.com/blog/understanding-industry-4-0>.

EBattleP. 2019. Representation of a SCARA manipulator which can be used to extract the inverse kinematics of the system. kuvio. Viitattu 5.4.2023. (CC BY-SA 4.0). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SCARA\\_manipulator\\_representation.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SCARA_manipulator_representation.svg).

Esimerkkejä Lean-menetelmistä. 2020. Keski-Pohjanmaan koulutusyhtymä. Verkkojulkaisu. Viitattu 5.3.2023. <https://www.kpedu.fi/kpedu/projektitoiminta-hankkeet/projektit/projektiaarkisto/kpedu-lean/esimerkkej%C3%A4-lean-menetelmist%C3%A4>.

Gaojian, C. Yang, B. Shaosong, L. 2021. AGV Research Based on Inertial Navigation and Vision Fusion. Viitattu 21.2.2023. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9661175>.

Gauchi, J. 2010. What is Lean? Discover what Lean is, how it relates to Six Sigma and the seven wastes of Lean. Verkkoblogi. Viitattu 5.3.2023. <https://www.processexcellencenetwork.com/lean-six-sigma-business-performance/articles/what-is-lean>.

Grieves, M. 2015. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Michael W. Grieves LLC. Viitattu 28.3.2023. [https://www.researchgate.net/publication/275211047\\_Digital\\_Twin\\_Manufacturing\\_Excellence\\_through\\_Virtual\\_Factory\\_Replication](https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication).

Haophuong21. 2021. Industrial robots are being used in many different industries. kuvio. Viitattu 6.4.2023. (CC BY-SA 4.0). <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robot-cong-nghiep-the-he-moi.jpg>.

Haverila, M. Uusi-Rauva, E. Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. p. Tampere: Infacts Oy.

Heikkinen, R. 2017. Viides teollinen vallankumous. LAMKpub. Artikkel. Viitattu 1.2.2023. <https://www.lamkpub.fi/2017/10/05/viides-teollinen-vallankumous/>.

Huovari, J. Stenborg, M. Lassi, A. Kiema, I. Kuosmanen, N. Kangaspunta, S. Maliranta M. & Obstbaum, M. 2022. Palkat ja kilpailukyky tuottavuuden varassa: Miten tuottavuuskasvua voidaan edistää? Valtiovarainministeriö tuottavuuslautakunta. VVM verkkojulkaisu. Viitattu 18.3.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-367-268-0>.



ISO 3691-4:2020 A Standard for Automated Guided Vehicles. TÜV Rheinland. Viitattu 21.2.2023. [https://www.tuv.com/content-media-files/master-content/services/industrial-services/pdf/tuv-rheinland-automatic-guided-vehicles-whitepaper-en\\_neu.pdf](https://www.tuv.com/content-media-files/master-content/services/industrial-services/pdf/tuv-rheinland-automatic-guided-vehicles-whitepaper-en_neu.pdf).

Kemell, K. 2020. Botteja siellä, botteja täällä – botti osana työyhteisöä. Jyväskylän ammattikorkeakoulun ja Keski-Suomen ELY-keskuksen Robotti tuli töihin hankkeen blogi. Julkaistu 25.5.2020. Viitattu 4.2.2023. <https://blogit.jamk.fi/turbinaattori/2020/05/25/botteja-siella-botteja-taalla-botti-osana-tyoyhteisoa/>.

Korhonen, T. 2022. Komponenttipula ja saatavuushaasteet. Miten voimme yhdessä varautua tulevaisuudessa? Schneider Electric. Blogi. Viitattu 23.4.2023. <https://blog.se.com/fi/teollisuudenalat/2022/05/komponenttipula-ja-saatavuushaasteet-miten-voimme-yhdessa-varautua-tulevaisuudessa/>.

Kühn, S. 2019. Industriemuseum Chemnitz. kuvio. Viitattu 10.2.2023. (CC0 1.0). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20151111\\_Industriemuseum\\_Chemnitz\\_038.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20151111_Industriemuseum_Chemnitz_038.jpg).

LaurensvanLieshout. 2008. Visualization of the KANBAN concept. kuvio. Viitattu 28.3.2023. CC BY-SA 3.0. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kanban\\_signal.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kanban_signal.png).

Legnani, G. & Fassi, I. 2012. Robotics: State of the Art and Future Trends. New York: Nova Science Publishers, Inc. Viitattu 5.2.2023. <https://janet.finna.fi>, Ellibslibrary.

Likviditeetti & kassavirta – mitä ne ovat ja miksi niillä on väliä? 2023. Nordea. Artikkel. Viitattu 3.2.2023. <https://www.nordea.fi/yritysassiakkaat/yrityksesi/yrityksen-johtaminen/rahoitus-kassavirta-likviditeetti.html>.

Manske, M. 2012. Steam engine 41360 at Rüdeshheim (2004). kuvio. Viitattu 10.2.2023. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steam\\_engine\\_41360\\_\(2004\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steam_engine_41360_(2004).jpg).

Martinsuo, M. Mäkinen, S. Suomala, P. & Lyly-Yrjänäinen, J. Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. 2016. 2. p. e-kirja. Helsinki: Edita. <https://www.ellibslibrary.com/book/978-951-37-6826-3>.

Marttinen, J. 2018. Palvelukseen halutaan robotti. Tekoäly ja tulevaisuuden työelämä. e-kirja. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Aula & Co. <https://www.ellibslibrary.com/fi/book/978-952-7190-93-7>.

Mikä on Teollisuus 4.0 – Teollinen esineiden Internet (IIoT, Industrial Internet of Things)? 2023. Epicor Software Corporation. Verkkoblogi. Viitattu 14.1.2023. <https://www.epicor.com/fi-fi/resources/articles/what-is-industry-4-0/>.

Núñez, A. 2022. Automakers to Reconsider Just-in-Time Manufacturing. Mexico Business News. Verkkojulkaisu. Viitattu 26.3.2023. <https://mexicobusiness.news/automotive/news/automakers-reconsider-just-time-manufacturing>.

Nurminen, J. 2017. Kulttuuriympäristomme.fi/Teollisuuskaupungit. Ympäristöministeriö. Verkkojulkaisu. Viitattu 12.2.2023. [https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Teollisuusymparistot/Teollisuuskaupungit\(37474\)](https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Teollisuusymparistot/Teollisuuskaupungit(37474)).

Ohjelmistorobotiikka. 2021. itewiki. Digitalisoinnin opas / Sanastoa. Viitattu 3.2.2023. <https://www.itewiki.fi/opas/ohjelmistorobotiikka/>.

Oitzman, M. 2021. What's the difference between an AMR and an AGV? Mobile Robot Guide verkkojulkaisu. Viitattu 19.2.2023. <https://mobilerobotguide.com/2021/08/06/whats-the-difference-between-an-amr-and-an-agv/>.

Ojanen, R. 2023. Lahden Rationalisointiyhdistys ry. Viitattu 5.4.2023. <http://www.lry.fi/tuottavuus-2/>.

Ojasalo, K. Moilanen, T & Ritalahti, J. Kehittämistyön menetelmät – Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 2014. 3.p. SanomaPro. Helsinki. e-kirja. Viitattu 9.4.2023. <https://www.ellibslibrary.com/book/978-952-63-2695-5>.

OPAS: DIGITAALINEN KAKSONEN TEOLLISUUDESSA - mitä, miksi ja kenelle? 2023. Pinja. Viitattu 27.3.2023. <https://blog.pinja.com/opas-digitaalinen-kaksonen-teollisuudessa>.

Perroud, S. @ Dingley, A. 2016. PocketDeltaStandalone. kuvio. Viitattu 5.4.2023. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PocketDeltaStandalone.jpg>.

Pulkkinen, J. & Haapea, P. 2020. Business intelligence -työkalusta apua päätöksentekoon ja tiedolla johtamiseen. Labopen. Verkkoartikkeli. Viitattu 16.1.2023. <https://www.labopen.fi/lab-pro/business-intelligence-tyokalusta-apua-paatoksentekoon-ja-tiedolla-johtamiseen/>.

RealAws. 2020. Mobile Robots header. kuvio. Viitattu 10.4.2023. (CC BY-SA 4.0). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mobile Robots header.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mobile_Robots_header.jpg).

Riskien arviointi ja hallinta työpaikalla -työkirja. 2021. Sosiaali- ja terveysministeriö, Työsuojeluosasto Työturvallisuuskeskus. Viitattu 3.3.2023. <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/vastuut-ja-velvoitteet/tyonantajan-yleiset-velvollisuudet/vaarojen-tunnistaminen-ja-riskien-arviointi/>.

Rodič, B. 2017. Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. Faculty of Information Studies, Novo mesto, Slovenia. Viitattu 27.3.2023. [https://www.researchgate.net/publication/319249287\\_Industry\\_40\\_and\\_the\\_New\\_Simulation\\_Modelling\\_Paradigm](https://www.researchgate.net/publication/319249287_Industry_40_and_the_New_Simulation_Modelling_Paradigm).

Roser, C. Industry 4.0. 2015. kuvio. Viitattu 10.3.2023. <https://www.allaboutlean.com/industry-4-0/industry-4-0-2/>.

Rouvinen, P. 2016. Neljäs teollinen vallankumous tulee – Onko Suomi valmis? EK. Verkkoblogi. Viitattu 10.2.2023. <https://ek.fi/ajankohtaista/blogit/petri-rouvinen-neljas-teollinen-vallankumous-tulee-onko-suomi-valmis/>.

Salmi, P. 2022. Teollisuus 4.0 -teknologioiden avulla kohti tehokkaampaa liiketoimintaa. Blogi. Lapin AMK. Viitattu 12.2.2023. <https://www.lapinamk.fi/blogs/Teollisuus-40--teknologioiden-avulla-kohti-tehokkaampaa-liiketoimintaa/0q5cunco/ada75425-942a-4a90-92be-a5f47325ebc2>.

Spencer, S. 2021. The 4 Design Principles of Industry 4.0. Verkkoartikkeli.

<https://vksapp.com/blog/4-design-principles-of-industry-4-0>.

Tella, A. 202x. AGV vs AMR. The Truth. What should you buy? Differences? Pros & Cons? - Winner?

Viitattu 20.2.2023. <https://www.agvnetwork.com/agv-vs-amr>.

Teollisuus 5.0 kypsyttää uutta ihmisen ja koneen yhteistoiminnan mallia. 2018. Euroopan talous- ja sosiaalikomitea. Verkkojulkaisu, Viitattu 22.1.2023. <https://www.eesc.europa.eu/fi/news-media/eesc-info/012019/articles/66151>.

Tiesitkö tämän robotiikasta? JAMK Robocountryside. 2021. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.2.2023.

<https://www.jamk.fi/sites/default/files/2021-10/robocountryside-valijulkaisu-web-small.pdf>.

Timmo. 2022. The X MOVE model series combines the technology worlds of AGV (Automated Guided Vehicles) and AMR (Autonomous Mobile Robot). ek robotics GmbH. kuvio.Viitattu 6.4.2023.

(CC BY-SA 4.0). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ek\\_robotics\\_AGV\\_X\\_MOVE\\_Range.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ek_robotics_AGV_X_MOVE_Range.png).

Tutkimusstrategiat. 2014/2021. Koppa, Jyväskylän yliopisto. Viitattu 9.4.2023.

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat>.

Uudet kansainväliset standardit. 2021. Pilz Skandinavian K/S. Viitattu 19.2.2023.

<https://www.pilz.com/fi-FI/company/news/articles/227889>.

Ventä, O. Honkatukia, J. Häkkinen, K. Kettunen, O. Niemelä, M. Airaksinen & M. Vainio, T. 2018. Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. raportti. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston verkkojulkaisu. Viitattu 19.3.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-484-9>.

Vermeer. 2020. Robotics continue to drive innovation in manufacturing at Vermeer. kuvio.Viitattu 6.4.2023.

<https://www.vermeer.com/la/news/next-generation-advanced-manufacturing-at-vermeer>.

Visual Components. 2023. About-us. Visual Components Oy. Verkkosivut. Viitattu 8.4.2023. <https://www.visualcomponents.com/about-us>.

Vuorinen, T. 2013. Strategiakirja – 20 työkalua. Helsinki. Talentum. e-kirja. Viitattu 5.3.2023. <https://janet.finna.fi/Record/jamk.992923734806251>.

Väänänen, O., Ström, M. & Riekkinen, J. 2020. Robotiikan sovellukset, YTGJ0100-3001. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 4.2.2023. Oppilaitoksen sähköinen kurssimateriaali Moodle-järjestelmässä.

Väisänen, P. 2019. IIoT ja BI – näin ne tehostavat teollisuuden analytiikkaa. Verkkoblogi. Pinja. Viitattu 16.1.2023. <https://blog.pinja.com/iiot-ja-bi-nain-ne-tehostavat-teollisuuden-analytiikkaa>.

Weber, A. 2015. A New Generation of AGVs Are Appealing to Small- and Midsize Manufacturers. Assembly Magazine verkkojulkaisu. Viitattu 20.2.2023. <https://www.assemblymag.com/articles/92791-a-new-generation-of-agvs-are-appealing-to-small--and-midsize-manufacturers>.

Wilmjakob. 2020. First published figure to illustrate Digital Twin Model. kuvio. Viitattu 2.4.2023. Uudelleen muotoiltu. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Digital Twin Concept of Grievess and Vickers.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Digital_Twin_Concept_of_Grievess_and_Vickers.png).

Wöllauer, P. 2006. Two-component single doser on a portal system for moving the dosing head, CNC-controlled. kuvio. Viitattu 5.4.2023. (CC BY 2.5). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2 komponenten einfachdosierer auf portal.jpg komponenten einfachdosierer auf portal.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2_komponenten_einfachdosierer_auf_portal.jpg_komponenten_einfachdosierer_auf_portal.jpg).

Zhu, M. 2021. The history of the AGV (automatic guided vehicle). LinkedIn artikkeli. Viitattu 21.2.2023. <https://www.linkedin.com/pulse/history-agvautomatic-guided-vehicle-ava-mao>.