

Toni Luomanmäki

# **Tuotannon ja toimitusketjujen tapahtumapohjainen simulointi**

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Teknologiaosaamisen johtaminen

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Teknologiaosaamisen johtaminen, ylempi AMK

Tekijä: Toni Luomanmäki

Työn nimi: Tuotannon ja toimitusketjujen tapahtumapohjainen simulointi

Ohjaaja: Jorma Mettälä

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 84

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia toimitusketjujen tapahtumapohjaisen simuloinnin erityispiirteitä vertaamalla toimitusketjun simulointiprosessia perinteisempään tuotannon simulointiin. Tuotannon simulointi on nykyään hyvin vakiintunut menetelmä tuotannon optimoinnissa ja kehittämisessä, mutta toimitusketjutason tarkasteluissa sitä ei ole vielä laajasti sovellettu.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään logistiikkaan ja erityisesti toimitusketjuihin ja niiden hallintaan. Seuraavaksi käydään läpi simulointiteknologiaa yleisesti ja tutkitaan tarkemmin tapahtumapohjaista simulointia. Lopuksi käydään läpi erityisesti toimitusketjujen simulointiin liittyvää teoriaa.

Varsinainen tutkimus toteutettiin laadullisena vertailevana tapaustutkimuksena, jossa käytiin läpi kahden eri tyyppisen simulointiprojektin kehitysvaiheet ja tulokset. Tutkittaviksi simulointiprojekteiksi valittiin Alavus Ikkunat Oy:lle toteutettu tuotannon simulointi ja Hydroll Oy:lle toteutettu toimitusketjun simulointi. Tutkimuksen tuloksena syntyi käsitys toimitusketjujen tapahtumapohjaisen simuloinnin erityispiirteistä verrattuna tuotannon simulointiin.

Avainsanat: simulointi, toimitusketju, plant simulation, logistiikka

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Master's Degree programme: Technology Competence Management

Author: Toni Luomanmäki

Title of thesis: Discrete Event Simulation of Manufacturing and Supply Chains

Supervisor: Jorma Mettälä

Year: 2017

Number of pages: 84

Number of appendices: 0

---

The main purpose of the thesis was to study the specific features of the discrete event based simulation in supply chain by comparing it to a more traditional production simulation technology. Production simulation is nowadays a well-established method for the optimization and development of productions, but on the level of supply chains, it is not so widely applied.

The theoretical part of the thesis focused on logistics, and in particular, on supply chains and their management. The theoretical part continued with the theory of simulation technology in general and especially on discrete event based simulation. Finally, the theory of the supply chain level simulation was presented.

The study was conducted as a qualitative comparative case study, which went through the development phases and results of two types of simulation projects. The simulation projects chosen for the study were a manufacturing simulation project for Alavus Ikkunat Ltd. and a supply chain simulation project for Hydroll Ltd. As the result of the study, a general view of the supply chain simulation specific features compared to the manufacturing simulation was presented.

Keywords: simulation, supply chain, plant simulation, logistics

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	9
1 JOHDANTO .....	10
1.1 Työn tausta .....	10
1.2 Työn tavoite .....	11
1.3 Työn rakenne .....	11
2 LOGISTIIKKA.....	12
2.1 Logistiikan määritelmä .....	12
2.2 Logistiikan toiminnot.....	13
2.3 Logistiikan historia ja merkitys.....	14
3 TOIMITUSKETJU .....	16
3.1 Mikä on toimitusketju.....	16
3.1.1 Toimitusketjun rakenne .....	17
3.1.2 Toimitusketjun tarkoitus .....	19
3.2 Toimitusketjun tehokkuuden ajurit.....	20
4 TOIMITUSKETJUN HALLINTA .....	21
4.1 Toimitusketjun hallinnan määrittely .....	21
4.2 Toimitusketjun ohjauksen tasot ja vaiheet.....	22
4.3 Toimitusketju prosesseina.....	23
4.4 Toimitusketjun hallinnan strategiat .....	25
4.4.1 Lean-strategia .....	25
4.4.2 Ketterä (Agile) strategia .....	26
4.4.3 Muut strategiat .....	27
4.5 Toimitusketjujen virtojen teknologiset mahdollistajat.....	28
4.5.1 MRP, MRP II, ERP.....	28
4.5.2 Muita teknologioita .....	29
5 SIMULOINTI .....	30

5.1	Simuloinnin tarkoitus .....	30
5.2	Simuloinnin sovellettavuus .....	31
5.3	Simuloinnin hyödyt ja haitat .....	32
5.4	Systeeminäkökulma .....	34
5.4.1	Systeemin komponentit .....	34
5.4.2	Systeemien tyypit .....	35
5.5	Tapahtumapohjainen simulointi .....	36
5.5.1	Simulointimallin rakenne .....	36
5.5.2	Tapahtumapohjaisen simulointitutkimuksen vaiheet .....	37
5.5.3	Simulointiohjelmistot .....	39
5.5.4	Siemens Tecnomatix Plant Simulation .....	40
5.6	Simuloinnin sosiaalinen merkitys .....	41
<b>6</b>	<b>TOIMITUSKETJUJEN SIMULOINTI .....</b>	<b>42</b>
6.1	Miksi toimitusketjuja simuloidaan .....	42
6.2	Toimitusketjujen simulointimenetelmiä .....	43
6.3	Toimitusketjun simuloinnin vaiheet .....	45
6.4	Bullwhip-efekti toimitusketjuissa .....	48
6.5	Tutkimuksia toimitusketjujen simuloinnista .....	49
<b>7</b>	<b>TUTKIMUSMENETELMÄT .....</b>	<b>50</b>
7.1	Tutkimusotteet .....	50
7.2	Tapaustutkimus .....	51
7.3	Tutkimusasetelma .....	52
<b>8</b>	<b>CASE: HYDROLL OY .....</b>	<b>53</b>
8.1	Yritys .....	53
8.2	Simulointiprojekti ja tavoite .....	54
8.3	Lähtötiedot .....	55
8.4	Simulointimallin rakentaminen .....	56
8.4.1	Kysynnän luonti .....	56
8.4.2	Valmistuksen hallinta .....	58
8.4.3	Varaston ja toimittajan hallinta .....	58
8.4.4	Hävikin generointitoiminto .....	60
8.5	Lopputulokset .....	60
<b>9</b>	<b>CASE: ALAVUS IKKUNAT OY .....</b>	<b>63</b>

9.1 Yritys .....	63
9.2 Simulointiprojekti ja tavoite.....	64
9.3 Lähtötiedot .....	65
9.4 Simulointimallin rakentaminen.....	66
9.4.1 Materiaalivirtojen luonti .....	66
9.4.2 Laiteresurssien mallinnus.....	67
9.4.3 Työntekijäresurssin mallinnus .....	68
9.4.4 Testauksen automatisointi .....	70
9.5 Lopputulokset.....	72
<b>10 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>76</b>
10.1 Simuloinnin hyödyllisyys.....	76
10.2 Simulointiprosessi .....	77
10.3 Simulointitekniset erityispiirteet .....	79
10.4 Jatkokehitys.....	80
<b>11 YHTEENVETO.....</b>	<b>82</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>83</b>

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Operaatiot muuntavat sisääntulot halutuiksi ulostuloiksi .....	12
Kuvio 2. Esimerkki paperin toimitusketjusta loppuasiakkaalle .....	16
Kuvio 3. Toimitusketjun toiminnot ja tasot.....	17
Kuvio 4. Toimitusverkoston rakenne ja siihen liittyvät virrat .....	18
Kuvio 5. Vaihtoehtoisia toimitusketjun rakenteita .....	18
Kuvio 6. Toimitusketjun syklit ja aliprosessit .....	23
Kuvio 7. Systemien tyypit .....	35
Kuvio 8. Systemien jaottelu tarkastelutason mukaan.....	35
Kuvio 9. Yksinkertainen FIFO-prosessi.....	36
Kuvio 10. Simulointitutkimuksen vaiheet.....	38
Kuvio 11. Siemens Tecnomatix Plant Simulation -ohjelmiston käyttöliittymä.....	40
Kuvio 12. Simulointi yhdistävänä rajapintana.....	41
Kuvio 13. Kausaliteettikaavio varastosta.....	44
Kuvio 14. Bullwhip-efekti toimitusketjussa. ....	49
Kuvio 15. Tutkimusotteelle tyypilliset menetelmäpolut .....	50
Kuvio 16. Hydraulisen valmistaman painevaraaja.....	53
Kuvio 17. Kaaviokuvaus simuloitavasta kokonaisuudesta (osa tiedoista on rajattu pois).....	55
Kuvio 18. Simulointimallin kysynnän luonti -toiminnot.....	56
Kuvio 19. Osa tilausdialogin ja -taulukon tiedonkäsittelymetodista. ....	57

Kuvio 20. Tilaustoiminnallisuuden luominen ja osa Init-metodista. ....	57
Kuvio 21. Valmistuksen materiaalivirtojen luonti ja osa Init-metodia.....	58
Kuvio 22. Toimitusketjun toimittaja- ja varastotasot. ....	58
Kuvio 23. Varastonhallintametodi.....	59
Kuvio 24. Toimittajatilauksen generointimetodi. ....	59
Kuvio 25. Hävikin generointitoiminnot. ....	60
Kuvio 26. Valmis simulointimalli. ....	60
Kuvio 27. Kaavio toimitusketjun toimijoiden muuttujista .....	61
Kuvio 28. Alavus Ikkunoiden tuotteita .....	63
Kuvio 29. Kuvaus tuotantolinjoista. ....	65
Kuvio 30. Resurssien sarjakohtaiset arvot. ....	65
Kuvio 31. Materiaalivirran generointi. ....	66
Kuvio 32. Tuotantolinjan alkupää simulointimallissa. ....	66
Kuvio 33. Laiteresurssit simulointimallissa.....	67
Kuvio 34. Sarjakohtaiset aikarajat.....	67
Kuvio 35. Materiaalivirran reititysmetodit. ....	68
Kuvio 36. Työvuorokalenterityökalun asetusikkuna. ....	68
Kuvio 37. Työvuokalenterin asettaminen työntekijäresurssille. ....	69
Kuvio 38. Työntekijäresurssien tilat simulointiajon aikana. ....	69
Kuvio 39. ExperimentManager-työkalun asetusikkuna. ....	70
Kuvio 40. Vuorokohtaisen työntekijäresurssin määrittely ExperimentManager-työkalua varten.....	71



Kuvio 41. Testausajojen raja-arvojen määrittely. ....	71
Kuvio 42. Valmis simulointimalli. ....	72
Kuvio 43. Puskureiden kokonaiskäyttöaste. ....	72
Kuvio 44. Vuorokohtainen sarjalaskuri. ....	73
Kuvio 45. Resurssien statistiikat. ....	73
Kuvio 46. Osia ExperimentManager-työkalun raportista. ....	74
Kuvio 47. Toimitusketjun toiminnon yksinkertaistaminen. ....	78
Kuvio 48. Tiedonhaun testausjärjestely. ....	80
Kuvio 49. SQL-tietokantakysely. ....	81
Kuvio 50. Tietokannasta haetut tiedot Plant Simulation -ohjelmiston taulukoissa. ....	81
Taulukko 1. Käytännön esimerkkejä erilaisten systeemien komponenteista. ....	34
Taulukko 2. Esimerkkejä simulointiohjelmistoista. ....	39
Taulukko 3. Esimerkki datavaatimuksista toimitusketjun simuloinnissa. ....	46

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Agile</b>	Ketteriä menetelmiä kuvaava termi.
<b>Bullwhip</b>	Toimitusketjussa esiintyvä ilmiö, joka voi syntyä mm. kysynnän vaihtelun ja puutteellisen tiedonkulun seurauksena.
<b>FIFO</b>	First In First Out -periaate, jota käytetään mm. varastoinnin yhteydessä kuvaamaan sitä, että ensin varastoidut tuotteet otetaan varastosta ulos ensimmäisenä.
<b>Lean</b>	Johtamisfilosofia, joka keskittyy tuottamattomien toimintojen poistamiseen tuotannosta.
<b>MES</b>	Manufacturing Execution System on valmistuksen ohjausohjelmisto tuotantoautomaation ja toiminnanohjausjärjestelmien väliseen ohjaustasoon.
<b>Metodi</b>	Plant Simulation -ohjelmistossa käytetty ohjelmaeditori, johon voidaan kirjoittaa simulaatiota ohjaavaa SimTalk-ohjelmointikieltä. Metodeilla ohjataan simulaation suoritusta.
<b>ODBC</b>	Open Database Connectivity on avoin rajapinta tietokannoille.
<b>PLM</b>	Product Lifecycle Management tarkoittaa tuotteen elinkaarenhallintaa.
<b>SQL</b>	Structured Query Language on kieli, jolla voi tehdä relaatio-tietokantaan kyselyjä.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Yleisesti arvioidaan, että logistiikan osuus bruttokansantuotteesta on 10–20 % (Waters, 2009, 4). Rushtonin, Croucherin ja Bakerin (2010, 10) mukaan suurimmassa osassa Eurooppaa ja Pohjois-Amerikassa logistiikan kustannukset ovat 8–11 % bruttokansantuotteesta, kun taas kehittyvässä maissa se on jopa 12–21 % bruttokansantuotteesta. Rushtonin ym. (2010, 9) mukaan Iso-Britanniassa 30 % työssäkäyvistä väestöstä työskentelee tehtävissä, jotka liittyvät logistiikkaan. Näiden tietojen valossa voidaan todeta, että merkittävä osa tuotekustannuksista syntyy juuri logistiikasta. Watersin (2009, 24) mukaan yksi mielipide on se, että polttoaineesta, maa-alasta, turvallisuudesta, ympäristösuojelusta ja työntekijöistä syntyvät kustannukset kasvavat koko ajan, kasvattaen myös logistiikan kustannuksia. Toisaalta logistiikan kehittyminen kattaa kuitenkin kasvavat kustannukset ja logistiikan osuus tuotteen lopullisesta hinnasta pienenee.

Watersin (2009, 25) mukaan yhden prosentin säästö materiaalien kuljetuskustannuksissa antaa saman hyödyn kuin viiden prosentin myynnin kasvu. Tämän tiedon mukaan on selvää, että logistiikan ja toimitusketjujen kehittämällä ja tehostamisella saadaan aikaan merkittäviä kustannussäästöjä.

Vaasan yliopisto ja Seinäjoen Ammattikorkeakoulu käynnistivät yhteistyössä vuonna 2015 Vertti - Toimintamalli tuottavuuden ja yhteistyön kehittämiseksi pk-yritysverkostossa -hankkeen, jonka päätavoite on luoda toimintamalli pk-yritysverkostolle tuottavuuden ja yhteistyöverkostojen yhteistyön kehittämiseen asiakassuuntuneesti. Hankkeessa kehitetään kokonaisvaltainen malli yritysten välisten yhteistyöverkostojen kehittämiseen. Yhtenä hankkeen keskeisistä toimista on toimitus- ja jakeluverkoston tuottavuuden ja tehokkuuden mittaaminen, mikä toteutetaan simulointiteknologiaa soveltamalla. Hankkeessa syntyneitä simulointimalleja käytetään tämän tutkimuksen materiaaleina.

Tuotannon simulointia on hyödynnetty teollisuudessa jo pitkään toiminnan tehokkuuden ja tuottavuuden kasvattamiseen, mutta myös lisävarmuuden saamiseksi esimerkiksi laiteinvestointien tekoon. Suurin simuloinnista saatava hyöty on se, että huolellisesti rakennetusta mallista saadaan tarkkoja ja luotettavia tuloksia, joiden avulla tarkasteltavan järjestelmän toimintaa voidaan analysoida ja kehittää. Simulointimallin avulla voidaan tehdä myös erilaisia kokeiluja ja testauksia ilman, että todellisia tuotantojärjestelmiä joudutaan muuttamaan ja häiritsemään. Tuotannon simulointeja tehdään tyypillisesti tapahtumapohjaisilla simulointiohjelmistoilla, joita on mahdollista soveltaa myös toimitusketjujen ja -verkostojen simulointiin. Toimitusketjujen ja -verkostojen osalta simulointia voidaan käyttää esimerkiksi erilaisten ohjaus- ja varastointisääntöjen optimointiin sekä toimitusvarmuuden kasvattamiseen.

## **1.2 Työn tavoite**

Työn tavoitteena on tutkia toimitusketjujen ja -verkostojen simulointia ja niiden erityispiirteitä ja verrata niitä perinteisempään tuotannon simulointiin. Tuotannon simulointia tehdään yleensä siihen soveltuvilla erityisillä ohjelmistoilla, jotka usein perustuvat tapahtumapohjaiseen simulointitekniikkaan. Työssä käytetään Siemens Plant Simulation -ohjelmistoa ja tutkitaan sen soveltuvuutta toimitusketjujen ja -verkostojen simulointiin. Ohjelmiston soveltuvuutta ja toimitusketjujen ja -verkostojen simuloinnin erityispiirteitä tutkitaan viemällä läpi kaksi eri tyyppistä simulointiprojektia ja vertaamalla niiden kehitysvaiheita ja lopputuloksia keskenään.

## **1.3 Työn rakenne**

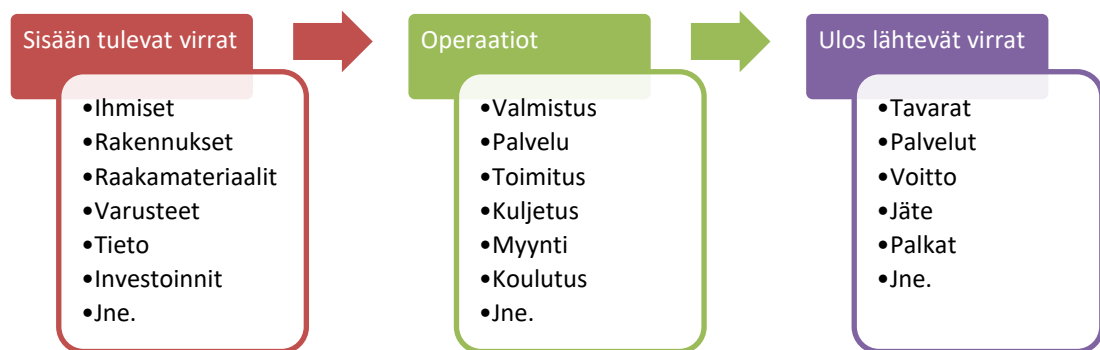
Työn rakenne koostuu teoreettisesta viitekehyksestä, soveltavasta osasta, tuloksista ja pohdinnasta. Teoriaosassa käydään läpi, mitä logistiikka on ja mitä toimitusketjut ja -verkostot tarkoittavat, minkälaisia materiaali- ja tietovirtoja näissä liikkuu ja mikä on niiden tehtävä. Soveltavassa osassa käydään läpi kahden erityyppisen simuloinnin kehitysprosessia yksityiskohtaisesti ja lopuksi arvioidaan näiden välisiä eroja ja muodostetaan näkemys toimitusketjujen ja -verkostojen simuloinnista.

## 2 LOGISTIIKKA

### 2.1 Logistiikan määritelmä

Jokaisen organisaation on liikuteltava materiaaleja. Valmistajilla on tehtaita, jotka keräävät raakamateriaaleja toimittajilta ja toimittavat edelleen valmiita tuotteita asiakkaille. Jälleenmyyjät vastaanottavat toimituksia tukkumyyjiltä, uutispalvelu kerää uutisraportteja maailmalta ja toimittavat uutiset katsojille, verkosta tehdyt kirjatilaukset toimitetaan kotiovelle. Kaikesta tästä liikkeestä vastaa logistiikka, joka voidaankin määritellä toiminnoksi, joka on vastuussa materiaalien liikkutuksesta ja varastoinnista tukitoimintoihin niiden matkalla toimittajilta asiakkaille. (Waters 2009, 4.)

Watersin (2009, 5) mukaan organisaation ytimessä ovat operaatiot, jotka luovat ja toimittavat tuotteet. Nämä operaatiot rakentuvat monenlaisista sisääntuloista ja konvertoivat ne halutuiksi ulostuloiksi kuvion 1 mukaisesti.



Kuvio 1. Operaatiot muuntavat sisääntulot halutuiksi ulostuloiksi (perustuu Waters 2009, 5).

Logistiikka hallinnoi toimittajilta sisään tulevia virtoja, materiaalien siirtelyä organisaation sisällä erilaisten operaatioiden läpi ja materiaalien virtoja asiakkaille. Organisaatioon päin tulevaa materiaalivirtaa kutsutaan saapuvaksi tai sisäänpäin tulevaksi logistiikaksi (inbound, inward). Organisaatiosta pois päin lähtevää materiaali virtaa kutsutaan lähteväksi tai ulospäin suuntautuvaksi logistiikaksi (outbound, outward). (Waters 2009, 5.)

## 2.2 Logistiikan toiminnot

Logistiikka on vastuussa materiaalien virtauksesta toimitusketjujen läpi, joten sitä kutsutaan myös toimitusketjujen hallinnaksi (supply chain management). Jotkut kuitenkin katsovat, että logistiikka keskittyy kapeammalle alueelle, kuten yksittäisen organisaation sisäisten toimintojen materiaalivirtojen hallintaan. Logistiikka voidaan määritellä, että se on ajasta riippuvaista resurssien allokoimista tai koko toimitusketjun strategista hallintaa. (Waters 2009, 14–15.)

Watersin (2009, 18–20) on listannut logistiikan tyypillisimpiä toimintoja, joita organisaatiossa toteutetaan materiaalin virtaamiseksi:

1. **Hankkiminen tai ostaminen.** Materiaalivirrat organisaation aloitetaan usein toimittajalle lähetetyllä ostotilauksella.
2. **Sisäänpäin tulevat kuljetukset tai liikenne.** Liikuttavat materiaalin toimittajilta organisaation vastaanottoalueelle.
3. **Vastaanotto.** Varmistaa, että toimitetut materiaalit vastaavat tilausta. Kuittaa vastaanotetuksi, purkaa kuljetusajoneuvot, tarkistaa materiaalit vikojen varalta ja lajittelee ne.
4. **Varastointi.** Siirtää materiaalit vastaanottoalueelta varastoon ja pitää ne tarvittaessa saatavilla. Huolehtii myös siitä, että materiaalit on varastoitu oikeissa olosuhteissa.
5. **Varastohallinta.** Asettaa säännöt varastoinnille.
6. **Materiaalinkäsittely.** On yleinen termi materiaalin siirtämiselle organisaation sisällä.
7. **Keräily.** Etsii ja kerää materiaalit varastosta.
8. **Pakkaus.** Pakkaa materiaalit oikealla tavalla, etteivät ne vahingoitu siirteilyssä.
9. **Ulospäin lähtevä kuljetus.** Ottaa materiaalit lähetysalueelta ja siirtää ne asiakkaalle.
10. **Fyysinen jakelu.** On yleinen termi aktiviteeteille, jotka kuljettavat valmiit tavat asiakkaille.
11. **Kierrätys, palautukset ja jätteiden käsittely.** Asiakkaat voivat palauttaa tuotteet, kuljetuspakkaukset voidaan keräillä, materiaaleja voidaan kierrättää. Näitä toimintoja kutsutaan käänteiseksi logistiikaksi (reverse logistics).

12. **Sijainti.** Logistiset aktiviteetit on usein sijoitettu moneen eri paikkaan. Jokaiselle aktiviteetille on pyrittävä löytämään paras mahdollinen sijainti ja ottaa huomioon niiden koko ja määrä.
13. **Kommunikointi.** Fyysisten materiaalivirtojen lisäksi on olemassa niihin liittyviä tietovirtoja. Ne linkittävät toimitusketjun jokaisen osan. Tietovirtoihin kuuluvat tuotetiedot, asiakkaan kysyntä, materiaalitiedot, kuljetustiedot, aikataulut, varastosaldot, saatavuustiedot, ongelmat, kustannukset, palvelutasot jne.

### 2.3 Logistiikan historia ja merkitys

Rushtonin ym. (2010, 7) mukaan logistiikan elementit ja toimitusketjut ovat olleet aina keskeisessä roolissa valmistuksessa, varastoinnissa ja tavaroiden ja tuotteiden siirtelyssä. Niiden merkitys keskeisinä aktiviteetteina bisneksessä ja taloudessa on tunnustettu kuitenkin vasta suhteellisen myöhään. Logistiikan ja toimitusketjujen konseptit eivät ole uusia, vaan ne ovat muotoutuneet usean eri kehitystason aikana.

1950-luvulla ja 1960-luvun alussa jakelu- ja toimitusketjut olivat määrittelemättömiä ja vailla suunnitelmallisuutta. Jakeluun ja toimitukseen liittyvillä toiminnoilla ei ollut juurikaan keskenään yhteyttä, mutta tavarat saavuttivat kuitenkin asiakkaat jollakin tavalla. (Rushton ym. 2010, 7.)

1960-luvulla ja 1970-luvun alussa kehittyi fyysisen jakelun konsepti ja katsottiin, että se vaati myös johdon osallistumisen. Tämä perustui huomioon, että oli olemassa toisiinsa liittyviä fyysisiä toimintoja, jotka voitiin linkittää yhteen ja niitä voitiin hallita tehokkaammin. Tämä synnytti systeemiajattelun ja kokonaiskustannuksen näkökulman. (Rushton ym. 2010, 7.)

1970-luvu oli tärkeä vuosikymmen jakelukonseptin kehitykselle. Keskeinen muutos oli muutaman yrityksen huomio, että jakelu tulisi liittää osaksi operatiivista johtamista. (Rushton ym. 2010, 8.)

1980-luvulla jakelu tuli enemmän ammattimaiseksi, mikä toi mukanaan pidemmän ajan suunnittelua ja kustannussäästöjä tukevien toimintojen lisääntymistä. Nämä

toiminnot olivat esimerkiksi keskitetyn jakelun muodostuminen ja tietokoneiden hyödyntäminen paremman informaation ja ohjauksen tukemiseksi. (Rushton ym. 2010, 8.)

1990-luvun vaihteessa organisaatiot alkoivat integroida niitä toimintoja, joilla oli yhteisiä rajapintoja. Yksi näistä oli materiaalinhallinnan (hankintapuoli) ja fyysisen jakelun integroiminen toisiinsa. Logistiikka-termi syntyi kuvaamaan niitä keskeisiä toimintoja, jotka edelleen paransivat asiakastyytyvää ja vähensi siihen liittyviä kustannuksia. (Rushton ym. 2010, 8.)

1990-luvulla prosessi kehittyi yhä enemmän ja siinä huomioitiin organisaation ulkopuoliset tekijät, jotka vaikuttivat tuotteen loppuasiakkaalle toimittamiseen. Tätä kokonaisuutta kutsutaan toimitusketjun hallinnaksi (supply chain management). Toimitusketju-konsepti vahvisti sitä faktaa, että tuotteen saamiseksi markkinoille tuli useiden organisaatioiden osallistua siihen ja tehdä yhteistyötä keskenään. (Rushton ym. 2010, 9.)

Vuodesta 2000 vuoteen 2010 asti organisaatioiden välinen kilpailu ja uusien tuotteiden markkinoille tuominen pakotti organisaatioita kehittämään operaatioidensa tuotavuutta. Tämä johti monien uusien kehitysideoiden syntymiseen, liiketoimintatavoitteiden uudelleen määrittelyyn ja kokonaisten systeemien uudelleen suunnitteluun. Logistiikka ja toimitusketjut olivat viimein tunnistettu liiketoiminnan menestyksen avaintekijöiksi. (Rushton ym. 2010, 9.)

Logistiikka on olennainen toiminto jokaisessa yrityksessä. Yksinkertaistettuna, ilman logistiikkaa materiaalit eivät liiku, operaatioita ei voi suorittaa, mitään ei valmisteta, tuotteita ei toimiteta eikä asiakkaita palvella. (Waters 2009, 13–14.)

Logistiikan ollessa organisaation olennainen osa syntyy siitä myös merkittäviä kustannuksia. Logistiikan kustannukset vaihtelevat paljon toimialojen välillä. Rakennus- alalla, kuten hiekan ja soran kuljetuksessa on korkeat logistiikan kustannukset verrattuna esimerkiksi korujen myyntiin, lääketeollisuuteen tai kosmetiikkaan. Logistiikan kustannuksia on vaikea arvioida, koska normaalit kirjanpitokäytännöt eivät erottele logistiikan kustannuksia muista operointikuluista. Usein on epäselvää, mitkä toiminnot sisältyvät logistiikan kustannuksiin. Nyrkkisääntönä on kuitenkin, että logistiikan kustannukset ovat bruttokansantuotteesta noin 10–20 %. (Waters 2009, 14.)



### 3 TOIMITUSKETJU

#### 3.1 Mikä on toimitusketju

Toimitusketjun tavoite on kaikkien sen osatekijöiden suoralla tai epäsuoralla vaikutuksella vastata asiakkaan tarpeeseen. Toimitusketju ei koostu ainoastaan valmistajista ja toimittajista, vaan myös kuljetuksista, varastoista, tukku- ja jälleenmyyjistä ja asiakkaista. Toimitusketju on dynaaminen kokonaisuus, jossa tieto, materiaali ja varat liikkuvat jatkuvasti ketjun eri osissa. (Chopra & Meindl 2016, 13–14.)

Toimitusketjussa jokainen osa toimii asiakkaana ja toimittajana lukuun ottamatta alkutoimittajaa ja loppuasiakasta. Tukkumyyjä toimii asiakkaana valmistajalle ostaessaan tuotteita heiltä ja toimittajana myydessään tuotteita jälleenmyyjille. Valmistaja ostaa raakamateriaalit toimittajilta ja myy ne edelleen tukkumyyjälle. Kuviossa 2 kuvataan toimitusketjua, joka mahdollistaa paperin toimituksen loppuasiakkaalle. (Waters 2009, 8.)



Kuvio 2. Esimerkki paperin toimitusketjusta loppuasiakkaalle (perustuu Waters 2009, 8).

### 3.1.1 Toimitusketjun rakenne

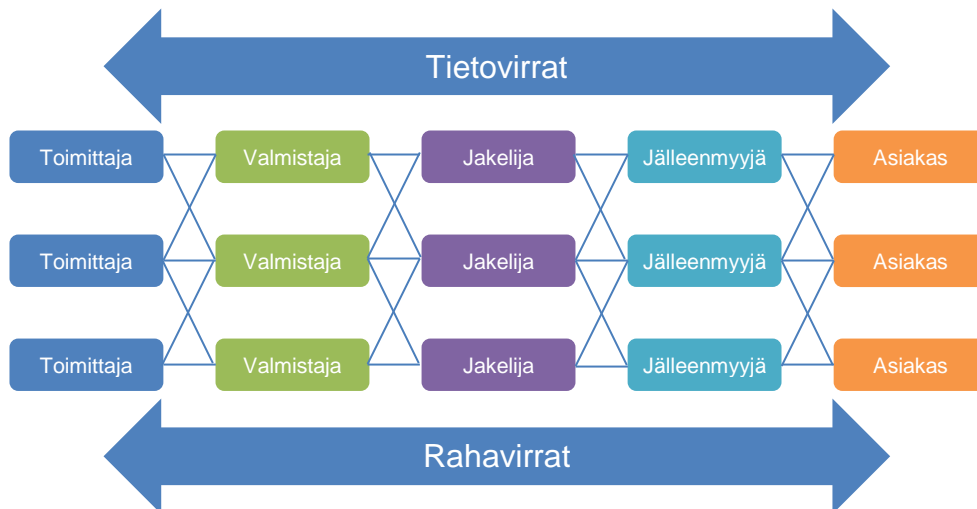
Yksinkertaisimmillaan toimitusketju on sarja organisaatioita, jotka lisäävät niiden kautta kulkevan tuotteen arvoa. Toimitusketjun yksittäisen organisaation näkökulmasta sisään tulevaa materiaalivirtaa kutsutaan ylävirraksi (upstream) ja organisaation jälkeisiä virtoja alavirroiksi (downstream) kuvion 3 mukaisesti. Ylävirran toiminnot on jaettu toimittajien portaisiin (tiers), joissa tarkasteltavan organisaation näkökulmasta lähin porras on 1. tason porras, joka on 2. portaan asiakas ja samalla tarkasteltavan organisaation toimittaja. Toimittajat jaetaan portaisiin aina toimitusketjun alkuun asti. Samaa jaottelua käytetään myös tarkasteltavan organisaation alavirrassa, asiakasportaisissa. Tarkasteltavaa organisaatiota lähin asiakas on 1. tason asiakas jne. (Waters 2009, 9.)



Kuvio 3. Toimitusketjun toiminnot ja tasot (perustuu Waters 2009, 9).

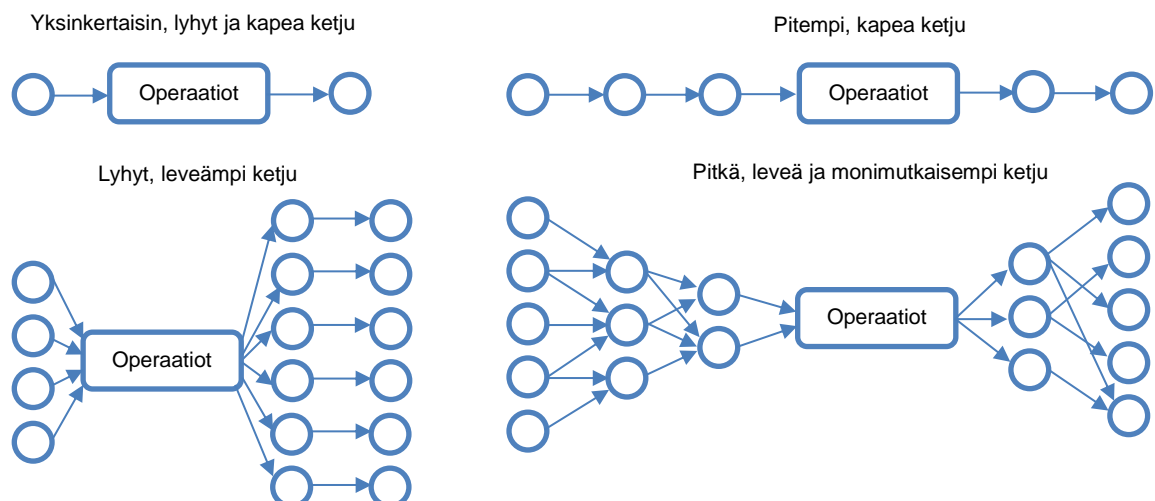
Toimitusketju-termiä kuvattaessa on tärkeää tuoda esiin ketjun läpi kulkevan materiaalivirran lisäksi ketjun eri tasojen välillä kulkevat tieto- ja rahavirrat. Toimitusketju-termistä voi myös olettaa, että jokaisella tasolla on vain yksi toimija, mutta todellisuudessa ketjun organisaatio voi vastaanottaa tavaraa useilta rinnakkaisilta toimittajilta ja se voi toimittaa tavaraa useille asiakkaille. Tästä syystä useimmat toimitusketjut ovat itseasiassa toimitusverkostoja kuvion 4 osoittamalla tavalla. (Chopra & Meindl 2016, 13–14.)

Nykyään logistiikassa otetaan huomioon myös se, mitä tuotteelle tapahtuu sen jälkeen, kun se on myyty loppuasiakkaalle. Materiaalivirtaa voi olla myös toimitusketjussa ylävirtaan esimerkiksi asiakkaan tekeminä tuotepalautuksina. Lisäksi toimitusketjun normaalista materiaalivirrasta poikkeavia virtoja voivat olla pilaantuneet tuotteet ja jätteenkäsittely. (Harrison, Hoek & Skipworth 2014, 10.)



Kuvio 4. Toimitusverkoston rakenne ja siihen liittyvät virrat (perustuu Chopra & Meindl 2016, 15).

Toimitusketjun rakennetta voidaan kuvata sen pituudella ja leveydellä kuvion 5 mukaisesti. Pituudella tarkoitetaan toimitusketjun tasojen määrää tai materiaalivirran välittäjien määrää ketjun aloitus- ja loppupisteen välillä. Osa toimitusketjuista on lyhyitä, kuten tilanteissa, joissa tuottaja myy suoraan asiakkaalle. Pitkissä toimitusketjuissa yhdistyy monen tason tuottajia ja jakelijoita ja ketjussa voi olla useita logistiikkakeskuksia, kuljetusoperaatioita, huolitsijoita, välittäjiä jne. Toimitusketjun leveydellä tarkoitetaan toimitusketjun rinnakkaisia aktiviteetteja tai organisaatioiden määrää samalla tasolla. (Waters 2009, 114.)



Kuvio 5. Vaihtoehtoisia toimitusketjun rakenteita (perustuu Waters 2009, 115).

### 3.1.2 Toimitusketjun tarkoitus

Watersin (2009, 15–16) mukaan toimitusketjun olennainen tarkoitus on yhdistää aukot toimittajien ja asiakkaiden välillä. Toimitusketjun organisaatioiden välisten etäisyyksien hallitseminen on vain yksi toimitusketjun tarkoitus. Esimerkiksi sokerin kysyntä on melko tasaista vuositasolla, mutta sokeriruo'on ja sokerijuurikkaan tarjonta vaihtelee merkittävästi vuoden aikana. Ylitarjonta varastoidaan toimitusketjuun ja käytetään sitten, kun viljankorjuu on ohi. Yleisesti ottaen toimitusketjun tarkoitus on täyttää mitkä tahansa aukot toimittajien ja asiakkaiden välillä. Waters (2009, 16) on listannut viisi eri tyyppistä toimitusketjuissa ilmenevää aukkoa:

1. **Tila-aukot** erottavat toimittajat sijainnillaan asiakkaista
2. **Aika-aukot**, kun tuotteen saataville tulon ja asiakkaan tarpeen välillä on ajallinen ero
3. **Määrä-aukot**, määrällisen kysynnän ja tarjonnan ero
4. **Valikoima-aukot**, kun asiakas haluaa laajemman valikoiman, kun toimittajalla on tarjolla
5. **Tietoaukot**, kun asiakas ei tiedä tuotteen olevan saatavilla tai ei tiedä sen alkuperää tai toimittaja ei tiedä potentiaalisesta asiakkaasta.

Chopran ja Meindlin (2016, 15–16) mukaan jokaisen toimitusketjun tarkoitus on maksimoida ketjun tuottama kokonaisarvo. Arvo (toimitusketjun ylijäämä), jonka toimitusketju luo täyttääkseen asiakkaan kysynnän, on lopputuotteen asiakasarvon ja koko ketjun aiheuttamien kustannusten erotus. Lopputuotteen arvon ja hinnan erotus jää asiakkaan ylijäämäksi. Lopusta toimitusketjun ylijäämästä tulee toimitusketjun tuottoa, eli asiakkaasta kertyneen tulon ja koko toimitusketjun kustannusten erotus. Toimitusketjun menestystä pitäisi mitata koko ketjun ylijäämänä, eikä yksittäisen tason tuottona. Keskittymällä kasvattamaan koko toimitusketjun ylijäämää kannustetaan ketjun jokaista jäsentä tekemään samoin.

### 3.2 Toimitusketjun tehokkuuden ajurit

Chopran ja Meindlin (2016, 56) mukaan toimitusketjun tehokkuus reagoitakyvyn ja kustannustehokkuuden näkökulmasta perustuu seuraaviin logistisiin ja toisiinsa liittyviin ajureihin: toimitilat, varastointi, kuljetus, informaatio, hankinta ja hinnoittelu. Tavoite on organisoida nämä ajurit niin, että saavutetaan haluttu reagoitakyky mahdollisimman alhaisilla kustannuksilla ja toisaalta kasvatetaan toimitusketjun ylijäämää ja yrityksen taloudellista suorituskykyä. Chopra ja Meindl (2016, 56–57) ovat kuvailleet ajureita tarkemmin seuraavasti:

1. **Toimitilat** ovat fyysisiä paikkoja toimitusketjussa, toimitiloissa tuotteet varastoidaan, kootaan tai valmistetaan. Kaksi merkittävintä toimitilatyyppeä ovat tuotantotehtaat ja varastot. Päätökset liittyen tilojen rooliin, sijaintiin, kapasiteettiin ja joustavuuteen vaikuttavat merkittävästi koko tuotantoketjun tehokkuuteen.
2. **Varastointi** käsittää kaiken raakamateriaalin, keskeneräisen tuotannon ja valmiit tuotteet toimitusketjussa. Muuttamalla varastointisääntöjä voidaan vaikuttaa merkittävästi toimitusketjun tehokkuuteen ja reagoitakykyyn.
3. **Kuljetus** käsittää varastojen siirtelyn toimitusketjussa paikasta toiseen. Kuljetus voi käsittää monenlaisia kuljetuksen muotoja ja reittejä. Näillä jokaisella on eri piirteet tehokkuuden suhteen. Valinnoilla kuljetuksen suhteen on merkittävä vaikutus toimitusketjun tehokkuuteen ja reagoitakykyyn.
4. **Tieto** koostuu datasta ja sen analysoinnista liittyen toimitiloihin, varastointiin, kuljetukseen, kustannuksiin, hinnoitteluun ja asiakkaisiin toimitusketjussa. Tieto on mahdollisesti isoin ajuri toimitusketjussa, koska se vaikuttaa suoraan kaikkiin muihin ajureihin toimitusketjussa.
5. **Hankinta** on päätös siitä, ketkä toteuttavat jotakin tiettyä osaa toimitusketjussa, kuten tuotantoa, varastointia, kuljetusta tai tiedon johtamista. Strategisella tasolla nämä päätökset määrittävät sen, mitä yritys tekee itse ja mitä se ulkoistaa.
6. **Hinnoittelu** määrittää sen, kuinka paljon yritys veloittaa tuotteista ja palveluista, jotka se tarjoaa toimitusketjuun. Hinnoittelu vaikuttaa asiakkaan käyttäytymiseen ja edelleen toimitusketjun kysyntään ja tehokkuuteen.

## 4 TOIMITUSKETJUN HALLINTA

### 4.1 Toimitusketjun hallinnan määrittely

Nykyinen kova kilpailu globaaleilla markkinoilla, uusien, lyhyen elinkaaren tuotteiden lanseeraus ja kohonneet asiakkaiden vaatimukset ovat pakottaneet yritykset investoimaan ja fokuoitumaan toimitusketjuihinsa. Tämän lisäksi jatkuvat edistysaskeleet kommunikaatiossa ja kuljetusteknologioissa ovat motivoineet yrityksiä kehittämään jatkuvasti toimitusketjujaan ja niiden hallintatekniikoita. (Simchi-Levi, Kaminsky & Simchi-Levi 2000, 1.)

Simchi-Levi ym. (2000, 1) ovat määritelleet toimitusketjun hallinnan seuraavasti: Toimitusketjujen hallinta on joukko lähestymistapoja, joita käytetään integroimaan toimittajat, valmistajat, varastot ja kaupat tehokkaasti niin, että kauppatavara on valmistettu ja jaeltu oikeissa eräkoissa, oikeisiin paikkoihin ja oikeaan aikaan minimoimien kustannukset ja säilyttäen palvelutason vaatimukset.

Rossin (2011, 17) mukaan lisääntyvät strategiset piirteet toimitusketjun hallinnassa ja lisääntyvä integraatio informaatioteknologioiden kanssa lisäävät tarvetta määrittellä toimitusketjun hallinta uudelleen seuraavalla tavalla: Strateginen kokonaisuuden hallinta filosofia, joka koostuu jatkuvasti uudelleen syntyvistä informaatioteknologiolla yhdistetyistä bisnesverkostoista ja toiminnoista, jotka lisäävät asiakasarvoa pienimmillä mahdollisilla kustannuksilla. Asiakasarvo syntyy hyödyntämällä digitaalista, reaaliaikaista tuotteiden ja palveluiden synkronointia, informaatiota markkinoista ja logistiikan mahdollisuuksia kysynnän mukaan.

## 4.2 Toimitusketjun ohjauksen tasot ja vaiheet

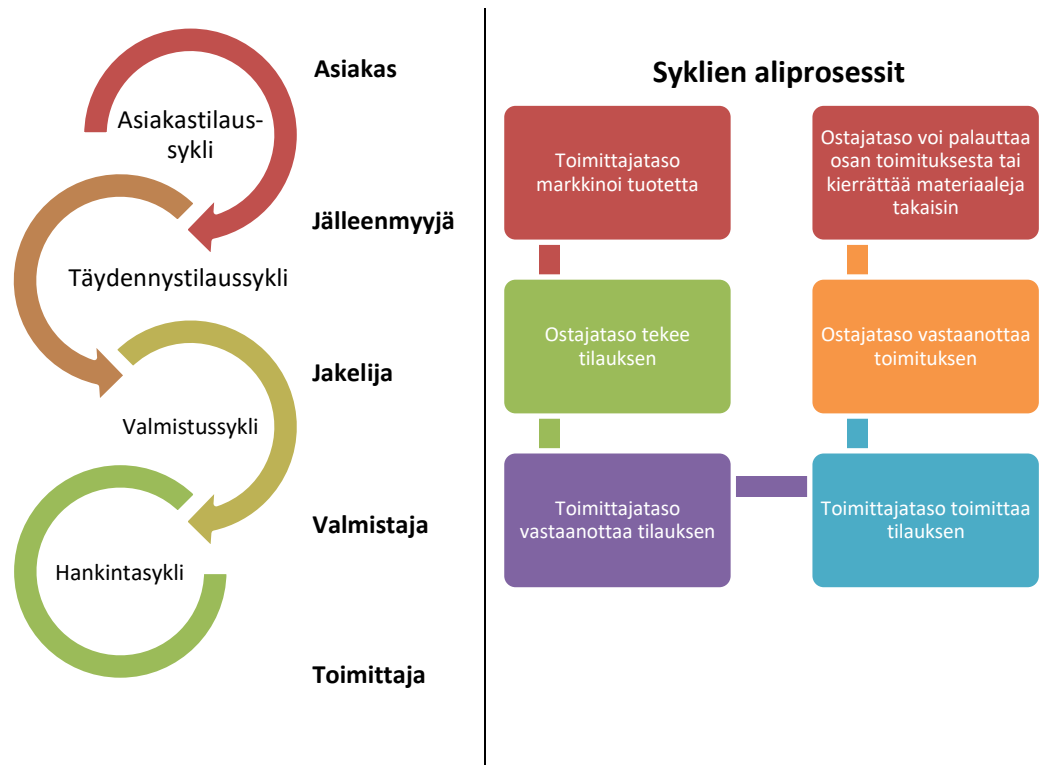
Chopran ja Meindlin (2016, 18) mukaan menestyvä toimitusketjun hallinta edellyttää monia päätöksiä liittyen informaation, tuotteiden ja varojen virtoihin. Jokaisen päätöksen tulisi kasvattaa toimitusketjun ylijäämää. Nämä päätökset jakautuvat kolmeen kategoriaan tai vaiheeseen riippuen siitä, kuinka pitkälle ajalle niillä on vaikutusta. Kirjoittajat (2016, 18–19.) kuvailevat näitä kolmea kategoriaa tarkemmin seuraavasti:

1. **Toimitusketjun strategia tai malli:** Tässä vaiheessa yritys päättää, miten jäsentää toimitusketjunsä seuraaviksi vuosiksi. Yritys päättää ketjujen rakenteen, miten resurssit allokoidaan ja mitä prosesseja kukin taso suorittaa. Yritysten tekemät strategiset päätökset määrittävät sen, ulkoistaanko vai tehdäänkö joku toimitusketjun toiminto itse, mikä on tuotannon ja varastojen sijainti ja kapasiteetti, mitä tuotteita valmistetaan ja varastoidaan missäkin paikassa, mitä kuljetusmuotoa käytetään ja mitkä ovat näihin toimintoihin liittyvät tietojärjestelmät.
2. **Toimitusketjun suunnittelu:** Tämän vaiheen päätökset koskevat yleensä seuraavaa 4–12 kuukauden ajanjaksoa. Jakson tehtävä on maksimoida ketjun ylijäämä suunnitellulle ajanjaksolle, ottaen huomioon strategisessa vaiheessa määritellyt reunaehdot. Yritykset aloittavat suunnittelun ennustamalla tarkastellun ajanjakson kysynnän ja muut muuttujat, kuten kustannukset ja hinnat eri markkinoilla. Suunnittelu käsittää päätökset siitä, mille markkinoille toimitetaan mistäkin paikasta, ketkä toimivat alihankkijoina, mitkä ovat noudatettavat varastointisäännöt ja mikä on markkinoinnin ajoitus ja sen kattavuus.
3. **Toimitusketjun operointi:** Tämän vaiheen aikahorisontti on päivästä viikkoon. Tämän vaiheen aikana yritykset tekevät päätökset yksittäisen asiakkaan tilauksiin liittyen. Toimitusketjun operoinnin tarkoitus on käsitellä tulevia asiakastilauksia parhaalla mahdollisella tavalla. Vaiheen aikana yritykset allokoivat varastoinnin tai tuotannon yksittäisille tilauksille, asettavat toimitusajat, luovat keräilylistat varastolle, allokoivat tilauksen tietylle kuljetusmuodolle ja kuljetukselle, asettavat toimitusaikataulut rekoille ja tekevät täydennystilaukset.

### 4.3 Toimitusketju prosesseina

Toimitusketju on sekvenssi prosesseja ja virtoja eri tasojen välillä, jotka täyttävät asiakkaan tarpeen tuotteista. On olemassa kaksi tapaa, joilla prosessien suoritusta voidaan kuvata toimitusketjussa: syklinen ohjaus tai imu- tai työntöohjaus. (Chopra & Meindl 2016, 20.)

Syklisessä ohjauksessa toimitusketjun prosessit ovat jaettu sarjaksi syklejä, joista jokainen suoritetaan kahden peräkkäisen tason välillä toimitusketjussa. Kuviossa 6 on vasemmalla viisi toimitusketjun tasoa, joihin liittyy neljä prosessisykliä. Jokaiseen sykliin liittyy kuviossa 6 oikealla oleva aliprosessi.



Kuvio 6. Toimitusketjun syklit ja aliprosessit (perustuu Chopra & Meindl 2016, 20–21).

Kuvion 6 aliprosessit linkittyvät SCOR-malliin (Supply Chain Operations Reference), joka on kehitetty kuvaamaan toimitusketjun prosesseja, niiden suhteita ja tehokkuutta (Chopra & Meindl 2016, 21).



Kaikki toimitusketjujen prosessit voidaan jaotella kahteen kategoriaan riippuen siitä, miten asiakaskysyntä vaikuttaa prosessien käynnistymiseen ja ajoitukseen. Imuohjauksessa prosessi käynnistyy asiakastilauksesta. Työntöohjauksessa prosessi käynnistyy asiakastilauksiin pohjautuvien ennusteiden perusteella. (Chopra & Meindl 2016, 22.)

Simchi-Levin ym. (2000, 118) mukaan pitkäaikaisiin ennusteisiin perustuvalla työntöohjauksella toimitusketjulta kestää kauemmin reagoida markkinoiden muutoksiin. Tämä voi johtaa siihen, että toimitusketju ei pysty vastaamaan vaihtuviin kysyntämuutoksiin. Lisäksi varastot voivat vanhentua, jos muuttuvan markkinan myötä joillekin tuotteille ei ole enää kysyntää.

Imuohjattu toimitusketju perustuu todelliseen asiakaskysyntään. Imuohjatun toiminnan mahdollistaa asiakaskysyntään perustuvan tiedon jakaminen koko ketjun yli. Tämä johtaa siihen, että läpimenoaika lyhenee, varastot pienenevät ja kysynnän vaihtelut eri tasoilla pienenevät. (Simchi-Levi ym. 2000, 119.)

#### 4.4 Toimitusketjun hallinnan strategiat

Jokainen organisaatio suunnittelee omat logistiset strategiat, mutta hyvin usein ne noudattavat samoja linjoja. Yleensä yritykset noudattavat jotakin variaatiota yleisistä strategioista, joita Waters (2009, 80) on kuvannut seuraavasti:

- **Kustannuspainotteinen keskittymisstrategia.** Tekee samaa tai vastaa-  
vaa tuotetta kuin kilpailijat, mutta halvemmalla hinnalla.
- **Differointipainotteinen keskittymisstrategia.** Tekee tuotetta, jota asiak-  
kaat eivät saa muusta lähteestä.
- **Markkinaosuuspainotteinen keskittymisstrategia.** Erikoistuu jollain ta-  
valla, ehkä toimii vain osan markkinan kanssa tarjoten erikoispalveluita.

##### 4.4.1 Lean-strategia

Lean-strategia käyttää tehokkaita operaatiota saadakseen kustannukset alas. Lean-strategia ei kuitenkaan ainoastaan tavoittele alhaisia kustannuksia, vaan sen pe-  
rusta on säilyttää hyväksyttävä asiakaspalvelun taso käyttämällä mahdollisimman  
vähän resursseja, kuten ihmiset, fasilitetit, aika, varasto, laitteet jne. Tämä saavu-  
tetaan poistamalla hukkaa toimitusketjusta. (Waters 2009, 81.)

Watersin (2009, 80–81) mukaan lean-strategian peruslähestymistapa on tutkia  
kaikki operaatiot, joita käytetään lopputuotteen aikaansaamiseksi. Sitten tunnistee-  
taan ne operaatiot, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaalle ja ryhdytään eliminoimaan  
niitä. Lean-filosofialla on pitkä historia, mutta muodolliset metodit hukan poistami-  
sesta systemaattisesti esitteli ensimmäisenä Toyota. Aluksi se keskittyi hukan pois-  
tamiseen tuotantoprosesseista, mutta laajeni myöhemmin koskemaan koko yritystä.

Waters (2009, 81) on luetellut 12 merkittävää hukan lähdettä:

1. **Ylituotanto**, tekee tuotetta, jota ei juuri tarvita ja ylittää varastot
2. **Odotus**, resurssit odottavat materiaaleja, laitteet korjausta jne.
3. **Kuljetus**, materiaalien siirtely, liian pitkiä välimatkoja toimittajien ja asiak-  
kaiden välillä
4. **Huono prosessi**, tarpeeton, monimutkainen tai aikaa kuluttava operaatio

5. **Käynnissä oleva työ**, sitoo materiaaleja ja liikkuu hitaasti toimitusketjun läpi
6. **Siirtely**, tuotteille tehdään tarpeettomia, pitkiä tai hankalia siirtelyjä operaatioiden aikana
7. **Tuoteviat**, resursseja tuhlataan, kun huonot tuotteet romutetaan, korjataan, tehdään uudelleen tai palautetaan prosessin aiempaan vaiheeseen.
8. **Yliostaminen**, pidetään korkeita varastotasoja, vaikka materiaaleja ei juuri tarvita
9. **Vapaa kapasiteetti**, laitteiden pieni käyttöaste ja tuottavuus
10. **Ihmisresurssin vajaakäyttö**, ei hyödynnetä ihmisten täyttä potentiaalia
11. **Byrokratia**, liian monta johtotasoa, hitaat päätökset, tieto ei kulje
12. **Liian isot kiinteät kustannukset** aiheuttavat operaatioille tarpeetonta kuormaa

#### 4.4.2 Ketterä (Agile) strategia

Watersin (2009, 84) mukaan lean-logistiikka toimii parhaiten ison mittakaavan massatuotannossa, missä tehokkuus ja kustannus ovat määrääviä tekijöitä. Samat periaatteet eivät välttämättä toimi muunlaisissa toimitusketjuissa, joissa on paljon kysynnän vaihtelua ja epävarmuutta. Silloin on paljon tärkeämpää säilyttää asiakaspalvelun taso ja olla reaktiivinen nopeille muutostarpeille. Tämä johtaa vaihtoehtoiseen, ketterään strategiaan, jonka avaintunnuksia ovat joustavuus ja reagoimisen nopeus.

Watersin (2009, 84) mukaan on olemassa kahta eri näkökulmaa ketteryydestä. Ensimmäinen on reaktion nopeus: ketterä logistiikka seuraa erittäin tarkasti asiakaskysyntää ja reagoi nopeasti muutoksiin. Toisena on kyky räätälöidä logistiikka jokaisen asiakkaan tarpeiden mukaisesti, tarjoamalla uniikkia palvelua, joka täyttää jokaisen asiakkaan vaatimukset. Lean-filosofian liittyessä vahvasti massatuotantoon ovat ketterät menetelmät enemmän pieniä operaatioita, enemmän vaihtuvilla tuotteilla. Organisaatiot, jotka soveltavat ketterää strategiaa, korostavat asiakastytyväisyyttä niin paljon, että heillä sanotaan olevan asiakasfokus. Näitä ovat tyypillisesti:

- ovat herkkiä markkinaolosuhteille ja tietävät, mitä asiakkaat haluavat
- tähtäävät asiakastyytyväisyyteen
- tarjoavat laajan skaalan tuotteita, joita valmistetaan tilauksesta- tai massakustomointiperiaatteella
- on muuttuva kysyntä, joka on vähän ennustettavissa
- perustaa operaatiot oikeaan asiakaskysyntään eikä ennusteisiin
- tekee yhteistyötä toimitusketjun kumppaneiden kanssa jakaakseen tietoa ja varmistaakseen, että asiakkaat pysyvät tyytyväisinä
- varmistaa, että kaikki operaatiot ovat tarpeeksi joustavia vastataksaan tarpeeksi nopeasti muuttuviin olosuhteisiin
- suunnittelee logistiikan vastaamaan tai ylittämään todennäköisen kysynnän
- pitävät organisaation avoinna, että asiakkaiden on helppo lähestyä
- rutiininomaisesti varmistaa, että asiakkaat pysyvät tyytyväisinä
- katsovat ulospäin ja pitävät asiakkaisiin, potentiaalisiin asiakkaisiin ja kilpailijoihin yhteyttä. (Waters 2009, 84.)

#### 4.4.3 Muut strategiat

Watersin (2009, 86–87) mukaan lean-perusteisen ja ketterän strategian kannattajat sanovat, että edellä mainitut menetelmät ovat kasvaneet alkuperäisestä ajatuksesta laajemmiksi johtamisfilosofioiksi. Seuraus on se, että on olemassa monenlaisia strategioita, joista jokainen voi väittää kuuluvansa lean-perusteisiin tai ketteriin strategioihin. Waters (2009, 87–91) esittelee nämä strategiat seuraavasti:

- Strategiset allianssit ja partnerit
- Aikaa vähentävät strategiat
- Tuottavuutta lisäävät strategiat
- Materiaalien hallinta -strategiat
- Arvoa lisäävät strategiat
- Monipuolistamis- ja erikoistumisstrategiat
- Kasvustrategiat
- Ympäristönsuojeluun liittyvät strategiat
- Ihmisresursseihin perustuvat strategiat.

## 4.5 Toimitusketjujen virtojen teknologiset mahdollistajat

Perinteisessä logistiikan suunnittelussa logistista strategiaa jalostetaan yksityiskoh-  
tia lisäämällä, että päästään pitkän aikavälin kapasiteettisuunnitelmista keskipitkän  
aikavälin suunnitelmiin ja edelleen lyhyen aikavälin aikataulutukseen. Lyhyen aika-  
välin aikataulutus antaa tyypillisesti päivätason aikataulun töille ja resursseille. (Wa-  
ters 2009, 268.)

Käytännössä yleensä käytetään erilaisia aikataulutussääntöjä, jotka antavat koke-  
muksen mukaan kohtuullisia tuloksia. Ensin saapunut, ensin palveltu -sääntö ottaa  
ensimmäisenä saapuneen työn alle ensimmäisenä, eikä ota huomioon prioriteetteja  
tai kiireellisyyttä. Kaikista kiireellisistä työ ensin -sääntö määrittää jokaisen työn kii-  
reellisyyden ja ne suoritetaan siinä järjestyksessä, että kiireellisyys vähenee. Huo-  
nona puolena tässä on se, että kiireettömät työt voivat jäädä odottamaan suoritusta  
hyvinkin pitkäksi aikaa, koska kiireellisempiä töitä tulee koko ajan uusia. Lyhyin työ  
ensin -sääntö minimoi keskimääräisen ajan, jonka työ kuluttaa systeemissä. Aikaa  
vievät työt voivat jäädä roikkumaan pitkäksi aikaa. Aikaisin toimituspäivä ensin  
-sääntö järjestää työt toimituspäivän mukaiseen järjestykseen. (Waters 2009, 269–  
270.)

### 4.5.1 MRP, MRP II, ERP

Watersin (2009, 274) mukaan MRP (Material Requirements Planning) käyttää pal-  
jon informaatiota aikatauluista, tuotteista, materiaaleista ja toimittajista. Nämä tule-  
vat kolmesta lähteestä:

- **Master-aikataulu** kertoo jokaisen valmistettavan tuotteen määrän tietyssä  
ajanjaksona
- **Osaluettelo** kertoo jäsennellyn listan tarvittavista materiaaleista, joita tarvi-  
taan jokaisen tuotteen valmistamiseen
- **Varastosaldot** kertovat saatavilla olevat materiaalit ja niihin liittyvät yksityis-  
kohdat

Master-aikataulu kertoo, koska tuotteiden tulee olla valmiina, ja osaluettelo kertoo sen, mitä osia niihin tarvitaan. Nämä yhdistämällä saadaan aikataulu tarvittaville materiaaleille. Varastosaldot kertovat sen, mitä materiaaleja on varastossa, joten näiden perusteella voidaan suunnitella aikataulu materiaalien tilauksille. (Waters 2009, 274.)

MRP II -järjestelmä sisältää enemmän toiminnollisuuksia verrattuna MRP-järjestelmään. Aluksi järjestelmä aikatauluttaa materiaalien toimitukset, tämän jälkeen sitä voidaan käyttää kapasiteettisuunnittelussa, joka ottaa eräkoot huomioon. Merkittävin ero MRP-järjestelmään tulee kuitenkin siinä, että materiaalit ovat vain yksi resurssi. MRP II -järjestelmä aikatauluttaa myös ihmiset, laitteet, fasilitetit, rahaliikenteen, kuljetuksen jne. (Waters 2009, 281.)

ERP-järjestelmä laajentaa edelleen toimintoja koskemaan muitakin organisaatiota toimitusketjussa (Waters 2009, 281). Chopran ja Meindlin (2016, 67) mukaan ERP-järjestelmät mahdollistavat kaupallisen seurannan ja informaation globaalien läpinäkyvyyden yrityksessä läpi sen koko toimitusketjun. Tämä reaaliaikainen informaatio auttaa toimitusketjua tekemään parempilaatuisia operatiivisia päätöksiä.

#### **4.5.2 Muita teknologioita**

Elektroninen tiedonsiirtojärjestelmä (EDI, Electronic Data Interchange) kehitettiin 70-luvulla sähköisesti helpottamaan ostotilausten tekemistä toimittajilta. Järjestelmä nopeutti toimintaa huomattavasti verrattuna paperiperusteiseen toimintaan. (Chopra & Meindl 2016, 67.)

2000-luvun alussa internetin myötä on yleistynyt järjestelmiä, jotka linkittävät toimitusketjun toimittajat asiakkaisiin toimitusketjun makroprosessien tasolla. Näitä makroprosesseja ovat CRM (Client Relationship Management), ISCM (Internal Supply Chain Management) ja SRM (Supplier Relationship Management). (Chopra & Meindl 2016, 67.)

## 5 SIMULOINTI

### 5.1 Simuloinnin tarkoitus

Simulointi on oikean maailman prosessien tai systeemien imitointia ajan suhteen. Systeemin ajan suhteen kehittyvää käyttäytymistä voidaan tarkastella simulointimallilla, joka muodostuu yleensä sääntöjen joukosta liittyen systeemin käyttäytymiseen. Säännöt ilmaistaan yleensä matemaattisilla, loogisilla tai symbolisilla suhteilla systeemin kokonaisuuksien tai objektien välillä. Kun simulointimalli on kehitetty ja validoitu, voidaan sillä tehdä laaja-alaisia "mitä jos" -analyyskejä oikean maailman systeemien suhteen. Potentiaaliset systeemin muutokset voidaan ensin simuloida, jotta nähdään niiden vaikutukset systeemin suorituskykyyn. Simulointia voidaan käyttää myös systeemien suunnitteluvaiheessa, että voidaan tutkia niiden käyttäytymistä ennen rakentamista. (Banks, Carson II, Nelson & Nicol 2005, 3.)

Joissain tapauksissa simulointimalli voi perustua matemaattisiin menetelmiin, jos se on tarpeeksi yksinkertainen. Usein kuitenkin oikean maailman systeemit ovat niin monimutkaisia, että niitä ei voi ratkaista matemaattisilla menetelmillä. Näissä tapauksissa tietokoneperusteisella simuloinnilla voidaan jäljitellä systeemin käyttäytymistä ajan suhteen. Simulaatiosta voidaan kerätä ja analysoida tietoa niin kuin oikeastakin systeemistä. Kerättyä tietoa käytetään edelleen systeemin suorituskyvyn arvioinnissa. (Banks ym. 2005, 3.)

## 5.2 Simuloinnin sovellettavuus

Banksin ym. (2005, 4) mukaan erityisesti simulointiin tarkoitettujen työkalujen saatavuuden, tietokoneiden laskentatehon kasvamisen ja simuloinnin metodologian kehitys ovat tehneet simuloinnista laajasti käytetyn ja hyväksytyyn työkalun tutkimuksissa ja systeemien analysoinnissa. Banks ym. (2005, 4) mukaan simulointia voidaan soveltaa seuraaviin tarkoituksiin:

1. Simulointi mahdollistaa monimutkaisten systeemien tai niiden osien sisäisten vuorovaikutusten tutkimisen ja testaamisen.
2. Informatiiviset, organisatoriset ja ympäristölliset muutokset voidaan simuloida ja niiden vaikutukset voidaan havaita simulointimallissa.
3. Simulointimallin kehittämisen aikana syntynyt tieto voi olla arvokasta tarkastelun alla olevan systeemin kehittämisessä.
4. Kokeilemalla simulaatiossa eri parametreja ja tarkastelemalla niiden vaikutuksia voidaan saada tärkeää tietoa siitä, mitkä ovat tärkeimpiä muuttujia ja miten ne vaikuttavat toisiinsa.
5. Simulointia voidaan käyttää opetuksellisena välineenä vahvistamaan analyttisten menetelmien oppimista.
6. Simuloinnilla voidaan kokeilla uusien suunnitelmien tai käytäntöjen toimivuutta ennen käyttöönottoa. Tällä voidaan valmistautua siihen, mitä voi tapahtua.
7. Simuloinnilla voidaan varmentaa analyttisiä ratkaisuja.
8. Simuloimalla koneelle erilaisia kapasiteetteja, voi siitä olla apua sen vaatimusten määrittelyssä.
9. Koulutukseen tehdyt simulointimallit voivat tehdä oppimisen mahdolliseksi häiritsemättä oikeaa ympäristöä, jossa systeemi sijaitsee.
10. Simuloinnin tulokset voidaan esittää animaatioilla, jotka visualisoivat suunnitelmat.
11. Modernit systeemit (tehtaat, vesilaitokset, palveluorganisaatiot) voivat olla niin monimutkaisia, että niiden sisäisiä vuorovaikutuksia voidaan tarkastella ainoastaan simuloinnin avulla.



Banks ym. (2005, 4) listaavat myös tapaukset, jolloin simulointia ei ole kannattavaa soveltaa ongelmien ratkaisuun:

- Simulointia ei tule käyttää, jos ongelma on ratkaistavissa käytännön järjellä.
- Simulointia ei tule käyttää, jos ongelma on ratkaistavissa analyyttisin menetelmin.
- Simulointia ei tule käyttää, jos on helpompaa ja edullisempaa tehdä testaukset suoraan oikeassa ympäristössä.
- Simulointia ei tule käyttää, jos simulointiprojektin kustannukset ylittävät sen tuomat säästöt.
- Simulointiprojektia ei tule aloittaa, jos siihen ei ole sen tarvitsemia resursseja (aika, raha) tarpeeksi käytettävissä.
- Simuloinnissa käytetään joskus paljonkin dataa, joten jos sitä tai edes arvioita ei ole tarpeeksi saatavilla, simulointia ei tule käyttää.
- Simulointia ei tule soveltaa, jos simulointimallin validoimiseen ei ole tarpeeksi aikaa tai henkilöitä.
- Jos johdolla on ylimitoitettut odotukset, jos ne pyytävät liian paljon liian nopeasti tai jos simuloinnin voimasta on vääristyneet käsitykset, niin simulointia ei tule käyttää.
- Jos systeemin toiminta on liian monimutkaista tai sitä ei voi määritellä, niin simulointia ei tule käyttää.

### 5.3 Simuloinnin hyödyt ja haitat

Banksin ym. (2005, 5) mukaan simulointi on vetovoimainen teknologia asiakkaalle, koska se jäljittelee oikeiden systeemien toimintaa tai kertoo, miten suunnitteluvaiheessa oleva systeemi toimii. Simuloinnilla on monia hyötyjä, mutta myös joitakin rajoitteita. Simuloinnin hyötyjä Banks ym. (2005, 5–6) ovat listanneet seuraavasti:

1. Uusia sääntöjä, operaatiojärjestyksiä, päätössääntöjä, informaatiovirtoja jne. voidaan löytää simuloinnin avulla häiritsemättä oikeaa systeemiä.
2. Uudet laitteistosuunnitelmat, layoutit, kuljetusjärjestelmät jne. voidaan testata ilman, että niiden hankintaan tarvitsee sitoa resursseja.

3. Olettamukset, miksi tai miten joku tapahtuma ilmenee, voidaan testata simuloinnilla.
4. Aikaa voidaan nopeuttaa tai hidastaa jonkun tapahtuman tutkimisen helpottamiseksi.
5. Systeemin muuttujien välisistä suhteista voidaan saada selkeä kuva simuloinnista.
6. Systeemin muuttujien tärkeys ja niiden vaikutus systeemin suorituskykyyn voidaan selvittää simuloimalla.
7. Pullonkaula-analyysejä voidaan tehdä selvittämään, missä vaiheessa työ, informaatio, materiaalit jne. ovat myöhässä.
8. Simulointiprojekti voi auttaa näkemään, miten koko systeemi toimii, eikä ainoastaan yksilön näkökulmasta.
9. ”Mitä jos”-kysymyksiin saadaan vastaus. Tämä on etenkin uusien järjestelmien suunnittelussa käytännöllistä.

Banks ym. (2005, 6) ovat listanneet myös haitat seuraavasti:

1. Mallin rakentaminen vaatii erikoisosaamista. Se on taidetta, mikä opitaan ajan ja kokemuksen myötä. Kahden ihmisen rakentamien mallien välillä on todennäköisesti samankaltaisuuksia, mutta koskaan ne eivät ole samanlaisia.
2. Simuloinnin tuloksia voi olla vaikea tulkita. Useiden simulaatioiden tulokset ovat satunnaisia muuttujia, joten voi olla vaikeaa erottaa, onko kyse systeemin todellisista sisäisistä vuorovaikutussuhteista vai satunnaisuudesta.
3. Simulaation rakentaminen ja analysointi voi olla kallista ja aikaa vievää, mutta niissä säästäminen voi tehdä lopputuloksesta merkityksettömän.

## 5.4 Systeminäkökuuma

Systemin mallinnuksessa on tärkeää ymmärtää systemin määritelmä ja sen rajat. Systemi määritellään joukoksi keskinäisessä vuorovaikutuksessa olevia objekteja, jotka pyrkivät saavuttavaan jonkun tavoitteen. Systemin toimintaan vaikuttaa yleensä systemin ulkopuoliset muutokset. (Banks ym. 2005, 9.) Systemi voidaan määritellä siten, että sillä on tarkoitus tai tarkoituksia, sen osatekijät ovat yhteydessä toisiinsa organisoidulla tavalla ja ne työskentelevät yhdessä saavuttaakseen päämääränsä (Choi & Kang 2013, 4).

### 5.4.1 Systemin komponentit

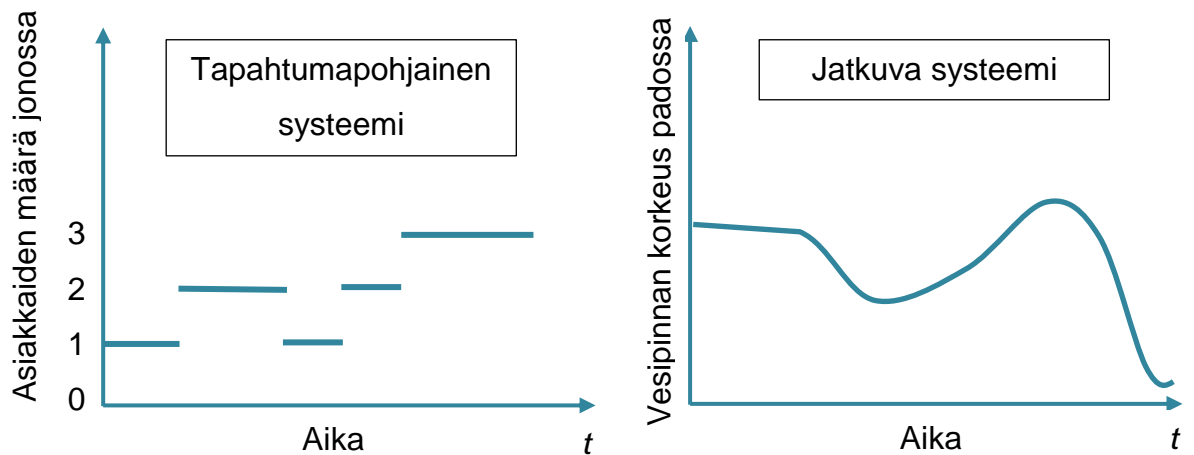
Ymmärtääkseen ja analysoidakseen systemin toimintaa on määriteltävä sen muodostavat osatekijät. Entiteetti on tarkastelun alainen objekti systemissa. Attribuutti on entiteetin ominaisuus. Aktiviteetti kuvaa tietynpituista aikajaksoa. Systemin tila määritellään siten, että se on tarpeellinen kokoelma muuttujia, joilla voidaan kuvata systemi missä ajankohdassa tahansa. Tapahtuma määritellään välittömänä ilmentymänä, joka voi vaikuttaa systemin tilaan. Taulukossa 1 on esimerkkejä erilaisista systemeista ja niiden komponenteista. (Banks ym. 2005, 9–11.)

Taulukko 1. Käytännön esimerkkejä erilaisten systemien komponenteista (perustuu Banks ym. 2005, 10).

Systemi	Entiteetti	Attribuutti	Aktiviteetti	Tapahtuma	Tilat
<b>Tuotanto</b>	Koneet	Nopeus, Kapasiteetti	Hitsaus, leimaus	Hajoaminen	Koneiden tilat (käyttöaste)
<b>Pankki</b>	Asiakas	Tarkistaa tilin saldon	Tekee talletuksen	Saapuminen, Lähteminen	Odottavien asiakkaiden määrä
<b>Varasto</b>	Varastoyksikkö	Kapasiteetti	Varastointi	Kysyntä	Varastosaldot

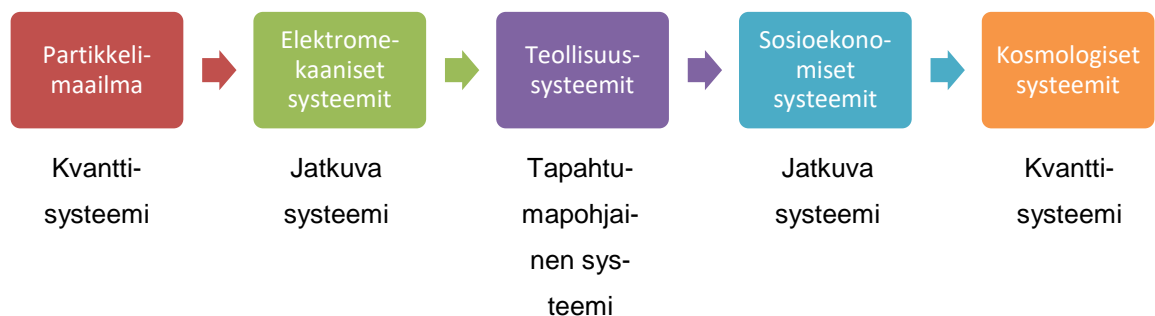
## 5.4.2 Systemien tyypit

Systemit voidaan jaotella tapahtumapohjaisiin ja jatkuviin systeemeihin. Tapahtumapohjaisen systeemin tila vaihtuu ajan kuluessa erillisen tapahtuman vaikutuksesta, kun taas jatkuvan systeemin tila vaihtuu jatkuvasti ajan suhteen kuvion 7 mukaisesti. (Choi & Kang 2013, 4.)



Kuvio 7. Systemien tyypit (perustuu Banks ym. 2005, 11–12).

Choi ja Kangin (2013, 4–5) mukaan systemit voidaan jaotella myös tarkastelutason mukaan partikkelitasosta kosmologiseen tasoon kuvion 8 mukaisesti.



Kuvio 8. Systemien jaottelu tarkastelutason mukaan (perustuu Choi & Kang 2013, 5).

## 5.5 Tapahtumapohjainen simulointi

Altiokin ja Melamedin (2007, 11) mukaan suurin osa moderneista tietokonesimulointiohjelmistoista (simulaattoreista) soveltaa tapahtumapohjaisen simuloinnin paradigmaa. Tapahtumapohjaisten systeemien simulointi tarkoittaa sellaisten järjestelmien simulointia, joiden tilamuuttujat vaihtavat tilaansa ainoastaan epäjatkovasti ajan suhteen. Simulointimalleja analysoidaan numeerisin menetelmin, eikä niinkään analyttisin menetelmin. (Banks ym. 2005, 13.)

### 5.5.1 Simulointimallin rakenne

Yksinkertaista simulaatiota voidaan kuvata kuvion 9 mukaisesti. Kuviossa on yksittäinen kone, jota puskuri syöttää. Uuden työn saapuessa silloin, kun kone on varattu (tekee jotakin toista työtä), se menee puskuriin odottamaan vuoroaan. Nämä työt suoritetaan myöhemmin saapumisjärjestyksessä eli FIFO-periaatteella (first in first out). Tätä kutsutaan queue- tai queueing-systeemiksi. Kuvattaessa tätä systeemiä tapahtumapohjaisen simuloinnin näkökulmasta on määriteltävä tila  $S(t)$ , joka on töiden määrä systeemissä ajan hetkellä  $t$ . Näin ollen,  $S(t) = 5$  tarkoittaa, että ajan hetkellä  $t$  kone on kiireinen prosessoidessaan ensimmäistä työtä ja loput neljä työtä odottavat puskurissa. Systeemissä on kahden tyyppisiä tapahtumia, jotka ovat saapumiset ja prosessin valmistumiset. Oletetaan, että saapumistapahtuma tapahtui ajassa  $t$ , jolloin systeemissä oli  $S(t) = n$  työtä. Tällöin  $S$ :n arvo hyppää ajan hetkellä  $t$  arvosta  $n$  arvoon  $n + 1$ . Tätä muutosta kuvataan lauseella  $n \rightarrow n + 1$ . Samalla tavalla prosessin valmistuminen kuvataan muutoksella  $n \rightarrow n - 1$ . (Altiok & Melamed 2007, 13.)



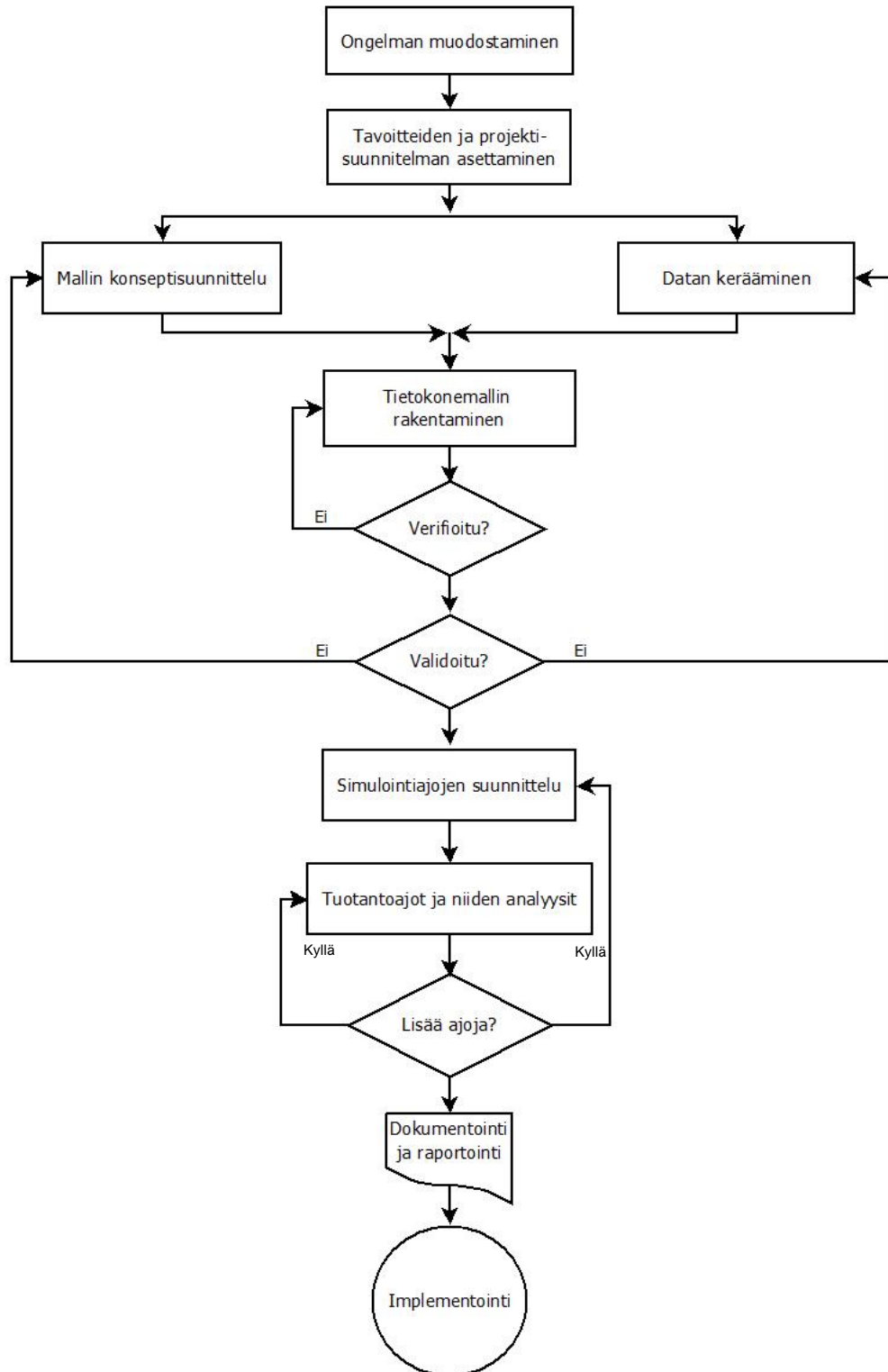
Kuvio 9. Yksinkertainen FIFO-prosessi (perustuu Altiok & Melamed 2007, 14).

### 5.5.2 Tapahtumapohjaisen simulointitutkimuksen vaiheet

Banks ym. (2005, 15–18) ovat luetelleet simulointimallin rakentamiseen liittyviä tehtäviä seuraavasti:

- **Ongelman muodostaminen.** Jokainen projekti tulee aloittaa ratkaistavan ongelman rajaamisella.
- **Tavoitteiden ja projektisuunnitelman määrittäminen.** Tavoitteet määrittelevät niitä kysymyksiä, johon simuloinnilla pyritään vastaamaan.
- **Mallin konseptointi.** Luodaan mallista konsepti, joka määrittelee simulointimallin kehittämistä.
- **Datan kerääminen.** Kerätään simulointia varten kaikki tarvittavat tiedot, jotka vaihtelevat yleensä simuloinnin tavoitteiden mukaan.
- **Tietokonemallin rakentaminen.** Rakennetaan tietokonemalli simulaatiosta siihen soveltuvalla ohjelmistolla.
- **Verifiointi.** Varmistetaan, että rakennettu simulointi toimii oikealla tavalla.
- **Validointi.** Verrataan mallia oikeaan järjestelmään ja suoritetaan tarvittavat korjaukset, jos eroja oikean ja simuloitun järjestelmän välillä ilmenee.
- **Simulointiajojen suunnittelu.** Määritellään esimerkiksi simulointiajojen määrät ja pituudet tietyillä parametreilla, määritellään alustusajon pituus jne.
- **Tuotantoajot ja analyysit.** Ajetaan varsinaiset simulaatiot ja analysoidaan niiden tulokset. Tuloksien pohjalta voidaan tehdä johtopäätöksiä simuloivan kokonaisuuden suorituskyvystä ja muista ominaisuuksista, joita simuloinnilla tutkitaan.
- **Dokumentointi ja raportointi.** On kahdenlaista dokumentointia: ohjelman dokumentointia ja simulointiprosessin dokumentointia. On tärkeää dokumentoida ohjelma ja koko rakentamisprosessi, että simulaatiota voidaan käyttää uudelleen mahdollisimman helposti. Raporteissa tulisi esittää tapauksesta riippuen simulointimallin määrittelyt, animaatiota, analyysijä, ohjelmadokumentointi, edistymisdokumentointi, simuloinnin tuloksia jne.
- **Implementointi.** Lopulta simuloinnin tulokset voidaan toimeenpanna, jos niiden katsotaan olevan tarpeeksi luotettavia ja niistä on noussut esiin joitakin toimenpide-ehdotuksia.

Banks ym. (2005, 18) ovat kuvanneet simulointiprosessin kuvion 10 mukaisesti.



Kuvio 10. Simulointitutkimuksen vaiheet (perustuu Banks ym. 2005, 15).

### 5.5.3 Simulointiohjelmit

Tapahtumapohjaisten simulointimallien kehittämiseen on yksinkertaistettuna kolme erityyppistä vaihtoehtoa: taulukkolaskentaohjelmit, erityiset simulointiohjelmit ja ohjelmointikielet. Taulukkolaskentaohjelmistoissa on joitakin tapahtumapohjaista simulointia helpottavia toimintoja, kuten satunnaislukugeneraattoreja ja satunaisia näytteenottajia. Ajanhallinta on kuitenkin taulukkopohjaisessa simuloinnissa haastavaa. Monimutkaisempien mallien kohdalla taulukkolaskentaohjelmistojen ominaisuuksia voidaan laajentaa esim. Visual Basic for Applications -laajennuksella. (Brailsford, Churilov & Dangerfield 2014, 23.)

Brailsfordin ym. (2014, 23) mukaan ohjelmointikieliä käytetään silloin, kun erityisiä simulointiohjelmita ei ole saatavilla tai niiden ominaisuudet eivät riitä simulaation kehittämiseen. Kuitenkin ohjelmointikielten ja taulukkolaskentaohjelmistojen käyttö simuloinnissa on vähentynyt viime vuosina, koska erityisten simulointiohjelmistojen hinnat ovat laskeneet ja niiden ominaisuudet ovat kehittyneet.

Suurin osa tapahtumapohjaisista simuloinneista kehitetään erityisillä simulointityökaluilla ja -ohjelmistoilla. Useimmissa niistä simulointia voidaan rakentaa valikkopohjaisen käyttöliittymän kautta ja ohjelmiston ominaisuudet ovat laajennettavissa ohjelmointirajapinnan kautta. Lisäksi simuloinnin ajoa voidaan seurata visuaalisesta näkymästä, johon simulaation toiminnot ovat animoitu. (Brailsford ym. 2014, 23.)

Taulukossa 2 on lueteltu osa Swainin (2015) kyselyyn osallistuneista tapahtumapohjaisista simulointiohjelmistoista. Kyselyn mukaan ohjelmistojen hinnat vaihtelevat ilmaisista muutamiin kymmeneen tuhansiin dollariin.

Taulukko 2. Esimerkkejä simulointiohjelmistoista. (perustuu Swain 2015).

Simulointiohjelmit		
AnyLogic	Flexsim	Simio
Arena	MicroSaint	SIMUL8
Enterprise Dynamics	Plant Simulation	Visual Components
Extend	ProModel	Witness

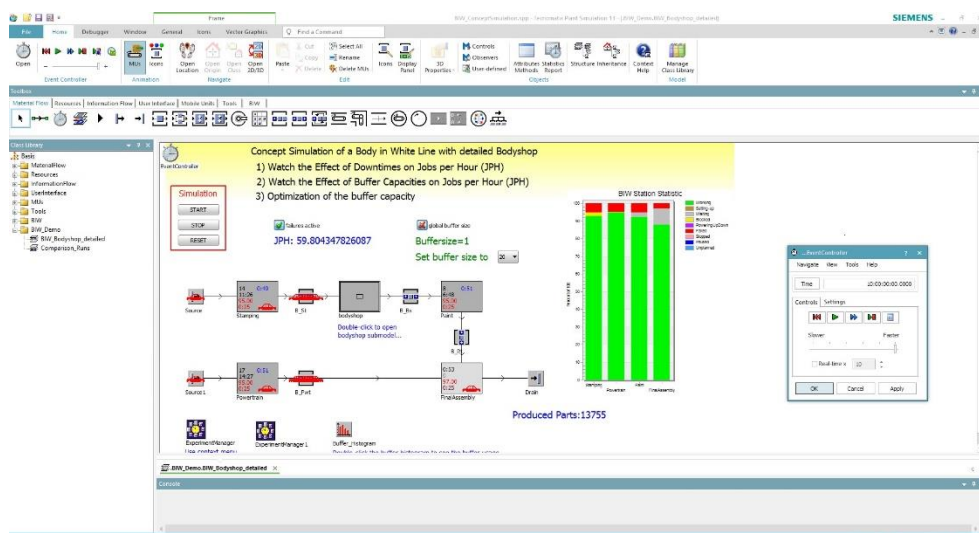


## 5.5.4 Siemens Tecnomatix Plant Simulation

Tähän opinnäytetyöhön liittyvät simulaatiot rakennetaan Siemens Tecnomatix Plant Simulation -simulointiohjelmistolla. Plant Simulation -ohjelmisto kuuluu Tecnomatix-tuoteportfolioon, joka sisältää tuotannon kehitys- ja simulointityökaluja. Plant Simulation on ollut käytössä SeAMK Tekniikassa vuodesta 2013 lähtien osana Siemens PLM -ohjelmistoja.

Plant Simulation -ohjelmisto mahdollistaa digitaalisten mallien luomisen logistisista systeemeistä. Mallien avulla voidaan tutkia systeemin käyttäytymistä ja optimoida sen suorituskykyä. Digitaalinen malli mahdollistaa erilaisten ajojen ja mitä-jos-skenaarioiden testaamisen, joten sitä voidaan käyttää suunnitteluvaiheen työkaluna ennen oikean järjestelmän hankkimista. (Tecnomatix Plant Simulation, 2014.)

Plant Simulation -ohjelmistossa simulointi rakennetaan käyttämällä objekti-pohjaista, hierarkkista mallinnustapaa, jolla voidaan simuloida tapahtumapohjaisia tai jatkuvia prosesseja kuvion 11 mukaisesti. Plant Simulation -ohjelmisto sisältää myös automaattisia optimointityökaluja perustuen esimerkiksi neuraaliverkkoihin ja geneettisiin algoritmeihin. Avoin arkkitehtuuri mahdollistaa useiden rajapintojen tuen, kuten esimerkiksi SQL, ODBC, XML SOCKET, OPC jne. (Tecnomatix Plant Simulation, 2014.)

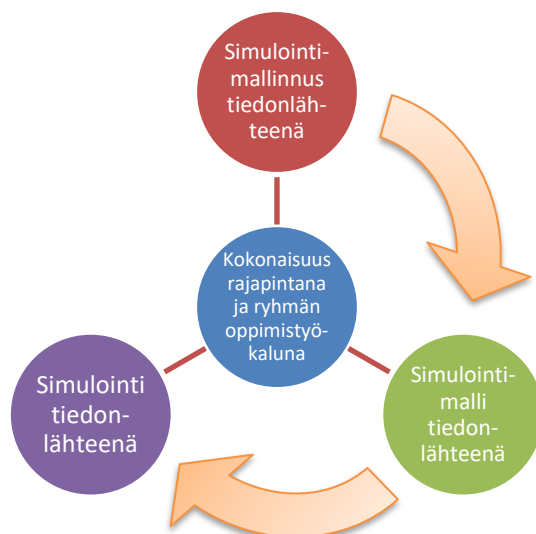


Kuvio 11. Siemens Tecnomatix Plant Simulation -ohjelmiston käyttöliittymä.

## 5.6 Simuloinnin sosiaalinen merkitys

Simulointimalleja ja niiden kehitystä voidaan hyödyntää monin tavoin. Simulointiprojektien sisältö ja tavoitteet vaihtelevat yhtä paljon, kuin käytettävät lähestymistavat ja työkalut. Mallinnettu systeemi on vain osa siitä, mikä määrittää simulointiprosessin. Simulointimallin kehittäjä on vain yksi sidosryhmä, jolla on vaikutusta simulointimalliin tai siihen, miten se vaikuttaa mallin kehittäjään. Muita sidosryhmiä voivat olla simulointimallin käyttäjät päätöksentekijöinä, opiskelijat opetuksen näkökulmasta tai simulointiprojektiryhmä. Etäisempiä sidosryhmiä voivat olla ne, joihin vaikuttaa epäsuorasti simulointimallien perusteella tehtävät päätökset. Simulointimallien voidaan ajatella toimivan myös rajapintoina eri sidosryhmien välillä. (Brailsford ym. 2014, 125.)

Kuvion 12 mukaisesti simulointi voi toimia rajapintana erilaisissa tapauksissa, joissa simuloinnin on osoitettu tukevan tilanteita, joissa erilaisten sidosryhmien on luotava uutta tietoa. Laajoilla, poikkitieteellisillä tutkimusaloilla simulointimallit voivat mahdollistaa tiedon kulun eri alojen välillä. Simulointimallinnuksen on todettu toimivan rajapintana myös tekniikan suunnittelussa, jossa se mahdollistaa eri sidosryhmien osallistumisen innovointiprojekteihin ja kehittämään ratkaisuja tekniikan haasteisiin. Simuloinnit ovat toimineet rajapintoina myös politiikan tekemisessä, sen mahdollistaessa tutkijoiden tutkimusten löydösten esittelyn päätöksentekijöille. (Brailsford ym. 2014, 127.)



Kuvio 12. Simulointi yhdistävänä rajapintana (perustuu Brailsford ym. 2014, 127).

## 6 TOIMITUSKETJUN SIMULOINTI

### 6.1 Miksi toimitusketjuja simuloidaan

On olemassa useita syitä, miksi toimitusketjuja simuloidaan. Voi osoittautua mahdolliseksi tai liian kalliiksi tarkastella esimerkiksi tulevien vuosien myynnin vaikutusta oikeassa toimitusketjussa. Toimitusketju voi olla liian monimutkainen, että se voitaisiin kuvata matemaattisin yhtälöin. Vaikka matemaattinen malli voitaisiin muodostaa, se voi olla liian monimutkainen, että siitä voidaan löytää ratkaisua analyttisin menetelmin. Toimitusketjujen simulointi voi tuoda esiin toimitusketjun keskeisimpien muuttujien ja niiden välisten suhteiden vaikutukset suorituskykyyn. Lisäksi toimitusketjujen simuloinnin avulla voidaan kokeilla uusia tilanteita, joista ei ole vielä tietoa saatavilla ja tarkastella uusien toiminta- ja ohjaussääntöjen vaikutusta kokonaisuuteen, ennen muutosten vientiä oikeaan toimitusketjuun. (Campuzano & Mula 2011, 1.)

Simulointi vaikuttaa olevan ainoa keino, jonka avulla voidaan mallintaa ja analysoida toimitusketjujen laajuisia kokonaisuuksia. Simulointi mahdollistaa toisaalta toimitusketjun suunnittelun ja toisaalta toimitusketjun toimintasääntöjen testaamisen ennen niiden käytäntöön viemistä. (Thierry, Thomas & Bel 2008, 6.)

Thierry ym. (2008, 6) mukaan, kun simuloinnissa on kyse toimitusketjun suunnitellun liittyvistä päätöksistä, niin mm. seuraavia asioita voidaan tarkastella:

- lokalisointi
  - fasiliteettien sijainti
  - toimitus- ja jakelukanavien määrittely
  - varastojen sijainti
- valinnat
  - toimittajat
  - kumppanit
- koko
  - kapasiteetin määrittely
  - varastotasot

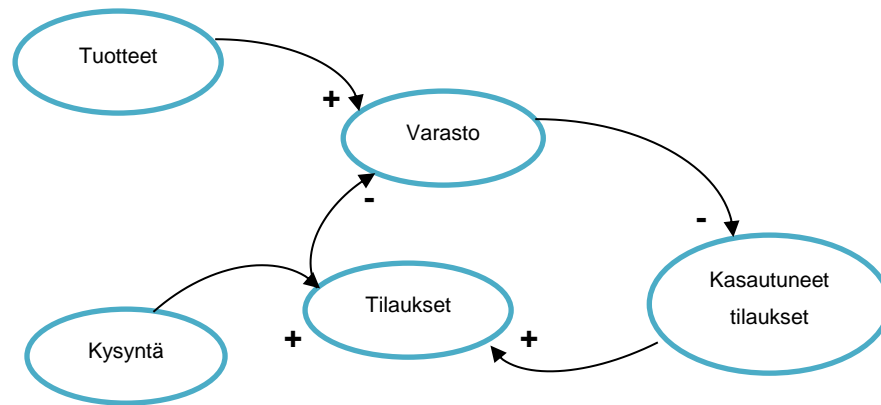
Thierryn ym. (2008, 6) mukaan, kun simuloinnissa on kyse toimitusketjun toimintasääntöihin ja -logiikkoihin liittyvistä päätöksistä, niin mm. seuraavia asioita voidaan tarkastella:

- ohjaussäännöt
  - varastonhallinta, varaston ohjaussäännöt
  - suunnitteluprosessit
- yhteistyösäännöt
  - yhteistyö, koordinointi jne.
  - tiedon jakaminen jne.

## 6.2 Toimitusketjujen simulointimenetelmiä

Campuzanon ja Mulan (2011, 5) mukaan toimitusketjun simulointitavan valinta riippuu siitä, minkä tyyppistä ongelmaa ollaan ratkaisemassa. He esittelevät toimitusketjujen simulointimenetelmiä seuraavasti:

- **Taulukkopohjaiset simuloinnit.** Taulukko-ohjelmistot tekivät tuotantoprosessien mallintamisesta melko suosittua yrityksissä. Tämän tyyppinen simulointi voi olla melko hyödyllistä johdolle, mutta toisaalta se voi kuvata tilannetta liian yksinkertaisesti ja tulokset voivat olla epäluotettavia.
- **Systeemidynamiikka.** Yleisesti systeemidynamiikan päätavoite on ymmärtää rakenteelliset syyt, jotka määrittävät systeemin toiminnan. Muutama esimerkki toimitusketjun syötteistä ovat tuotanto ja myynti. Muutama esimerkki toimitusketjun lähdöistä ovat varastot, täyttösuhde ja käynnissä oleva työ. Systeemidynamiikka olettaa, että ohjaus on toteutettu muuttamalla muuttujien suhdetta, kuten tuotantoa ja myyntiä, jotka muuttavat virtausta ja edelleen varastoja. Systeemejä voidaan mallintaa kuvion 13 mukaisilla kausaaliteettikaavioilla, joista tulee ilmi myös systeemidynamiikan sisäiset takaisinkytkentäsilmut.



Kuvio 13. Kausaliteettikaavio varastosta (perustuu Campuzano & Mula 2011, 11).

- **Tapahtumapohjainen simulointi.** On tärkeä menetelmä toimitusketjujen simuloinnissa, koska sillä on kaksi pääominaisuutta. Se tuo esiin yksittäisiä tapahtumia (tilauksen saapuminen asiakkaalta jne.) ja se ottaa huomioon epävarmuuden (asiakkaan tilaukset saapuvat satunnaisina hetkinä, kone rikkoutuu satunnaisesti ja korjaus kestää satunnaisen ajan).
- **Bisnespelit.** Ovat pelillisiä simulaatioita, joiden ohjaamiseen voi osallistua yksi tai useampi osanottaja. Bisnespelit voidaan jakaa kahteen alakategoriaan: strategiset pelit ja operationaaliset pelit. Strategisissa peleissä voi olla useampi joukkue, jotka kontrolloivat erikseen jotakin simuloitun toimitusketjun osaa ja pyrkivät siihen, että toimitusketju toimisi mahdollisimman tehokkaasti. Yksi tunnettu esimerkki strategisesta bisnespelistä on Beer Game, joka keskittyy oluen toimitusketjuun ja Bullwhip-efektiin. Operationaalisissa bisnespeleissä on usein yksi ryhmä, joka kontrolloi simulointimallia muutama kierroksen reaaliajassa. Yhtenä esimerkkinä voidaan mainita tuotannon suunnitteluun ja ajoitukseen liittyvä operationaalinen bisnespeli. (Campuzano & Mula 2011, 5.)

### 6.3 Toimitusketjun simuloinnin vaiheet

Ensimmäinen vaihe toimitusketjujen simulointiprosessissa on ymmärtää toimialan piirteet, toimitusketjun liiketoiminta ja suunnitteluprosessit. Campuzano ja Mula (2011, 17–18) ovat luetelleet muutamia esimerkkejä toimitusketjun suunnitteluprosesseista seuraavasti:

- **Myynnin ja kysynnän suunnittelu.** Luodaan asiakasprosessi ja määritellään kysynnän ennustusmalli.
- **Toimitusketjun tai -verkoston suunnittelu.** Tuotanto- ja jakeluresurssien määrittely kapasiteetteineen ja rajoitteineen.
- **Varastoiden suunnittelu.** Varastosääntöjen ja -prosessien määrittely raakamateriaaleille, alkuvarastoille ja lopputuotteille.
- **Tuotannon suunnittelu ja ajoitus.** Tuotantoprosessien suunnittelu (raakamateriaalien hankinnan ajoitus, tuotantoprosessin ajoitus, materiaalivirtojen ohjaus).
- **Kuljetuksen ja jakelun suunnittelu.** Määritellään jakelukeskukset, varastojen sijainnit ja suunnitellaan kuljetus resurssien, ajankohtien ja kustannuksien näkökulmasta.

Campuzanon ja Mulan (2011, 18) mukaan seuraava askel on simuloinnin suunnittelu. Harvoin on tarpeellista mallintaa kaikkia yksityiskohtia. Usein on syytä keskittyä ainoastaan ongelmakohtiin. Tässä vaiheessa määritellään toimitusketjun simulointiin vaikuttavat muuttujat, joita Campuzano ja Mula (2011, 18) ovat esitelleet seuraavasti:

- Määritellään kuinka paljon, koska ja mitä tuotetaan ja/tai jaellaan.
- Määritellään raakamateriaalien, puolivalmisteiden, lopputuotteiden määrät ja paikat varastoissa.
- Määritellään toimitusketjun tasojen määrä lähinnä toimitusketjun rinnakkaisen toimijoiden osalta.
- Päätetään, mitkä jakelijat palvelevat mitäkin asiakasta.
- Päätetään, mitkä tehtaot valmistavat mitäkin tuotetta.
- Määritellään ostaja-toimittaja-suhteen kriittisimmät muuttujat.

- Määritellään toimitusketjussa käsiteltävien tuotevariaatioiden määrä.

Campuzanon ja Mulan (2011, 18–19) mukaan on tarpeellista kerätä myös dataa simulointia varten. Taulukossa 3 kirjoittajat kuvaavat yhden esimerkkisimulaation vaatiman datan jaoteltuna alueittain.

Taulukko 3. Esimerkki datavaatimuksista toimitusketjun simuloinnissa (perustuu Campuzano & Mula 2011, 19).

Toimialue	Vaadittava data
<b>Valmistusprosessit ja -ajat</b>	Valmistusprosessi (prosessiajat, läpimenoajat, valmisteluajat, koneiden määrä prosesseissa, vaihtoehtoiset reitit)  Aikatauludata (vuorot, lomat, ennakoivat huollot)  Konedata (Koneiden lukumäärä, keskimääräiset vikaantumisaajat, keskimääräiset korjausajat, vaihtoehtoiset resurssit, ennakoivan huollon ajat)
<b>Varaston ohjaussäännöt</b>	Turvarajat, tilauspisteet, varastotasot raakamateriaaleille, puolivalmisteille ja lopputuotteille  Varaston sijainti tuotantolaitoksessa
<b>Toimitukset ja logistiikka</b>	Toimittajien toimitusajat, eräkoot, kapasiteetti
<b>Kysyntä</b>	Toimitusaika, prioriteetti, aloitus- ja lopetusajat, kysynnän vaihtelu
<b>Säännöt/strategiat</b>	Ohjaussäännöt tilauksille, huoltosäännöt

Thierryn ym. (2008, 33) mukaan mallin yksityiskohtaisuutta voidaan vähentää muodostamalla pienistä yksiköistä isompia kokonaisuuksia ja mallintamalla isomman kokonaisuuden toiminnallisuus sen lähtöjen ja tulojen mukaan. Usein liian yksityiskohtainen mallinnus lisää simuloinnin kompleksisuutta, mikä vaikeuttaa simuloinnin rakentamista merkittävästi.

Eräs tärkeä vaihe toimitusketjujen simuloinnissa on tulosindikaattoreiden määrittely. Tulosindikaattoreiden avulla voidaan määrittellä simuloitavan systeemin tehokkuus tai tehottomuus. Tämän perusteella voidaan systeemiä verrata toisiin vastaaviin. Toimitusketjun simuloinnin tulosindikaattorit voidaan jakaa laadullisiin ja määrällisiin indikaattoreihin. (Campuzano & Mula 2011, 19.)

Esimerkkinä laadullisista tulosindikaattoreista Campuza & Mula (2011, 19) esittävät seuraavasti:

- Asiakastyytyväisyys.
  - Ennen ostotapahtumaa kuvaavat palvelutapahtumat.
  - Ostotapahtumaan liittyvät palveluelementit, kuten tuotteen jakelu.
  - Ostotapahtuman jälkeiset palvelut, kuten tuotetuki.
- Toimitusketjun joustavuus kysynnän vaihtelujen mukaan.
- Materiaali- ja tietovirtojen integraation taso.
- Riskin hallinta.
- Toimittajien suorituskyky.

Määrällisiä tulosindikaattoreita voidaan kuvata numeerisesti, joista esimerkkinä Campuza ja Mula (2011, 19–20) esittelevät seuraavasti:

- Tavoitteet perustuen kustannuksiin/tuottoon:
  - Kustannusten minimointi, eniten käytetty, koko toimitusketjun, liike-toimintayksikön tai tietyn osan kustannukset.
  - Myynnin maksimointi. Myynti rahallisena yksiköinä tai myytyinä yksiköinä.
  - Myyntikatteen maksimointi.
  - Varastoihin tehtyjen investointien minimointi.
  - Sijoitetun pääoman tuotto.
- Tavoitteet perustuen asiakkaan reaktioon:
  - Täyttösuhteen maksimointi. Maksimoi ajallaan toimitettujen tilausten määrän.
  - Läpimenoajan minimointi.



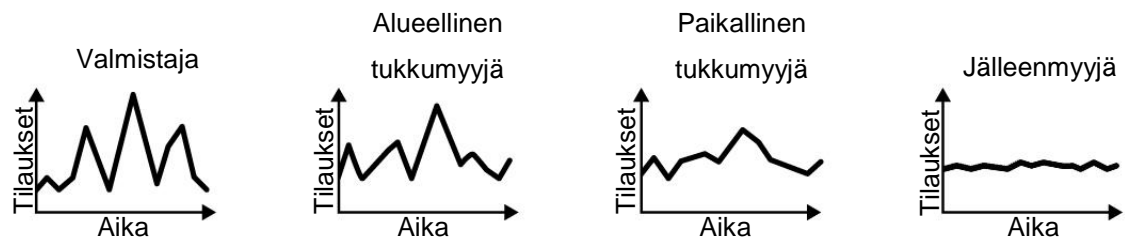
## 6.4 Bullwhip-efekti toimitusketjuissa

Bullwhip-ilmiötä tai toisin sanoen kysynnän vaihtelun vahvistumista toimitusketjun alavirran toimijalta ylävirran toimijaan nähden on tutkittu teollisuudessa jo useita vuosia. Ensimmäiset viittaukset ilmiöön teki todennäköisesti Jay Wright Forrester 1958, joka ei keksinyt varsinaisesti Bullwhip-termiä, mutta toi esiin kysynnän vahvistumisen toimitusketjussa teollisuusdynamiikan avulla. (Carranza Torres & Villegas Morán 2006, 1.)

Thierryn ym. (2008, 48) mukaan Bullwhip-efektiä on syytä analysoida (esim. simuloimalla), koska se aiheuttaa ainakin seuraavia ongelmia:

- Epävarmuuteen sopeutumisen takia johtajat ylläpitävät liian suuria varastoja.
- Vaikka varastot ovatkin läpinäkyviä koko toimitusketjussa, toimituksen ja kysynnän synkronointi voi olla haastavaa ja ketjun tasojen välillä voi olla toimitusongelmia.
- Bullwhip-efekti ei ainoastaan lisää varastosaldoja, vaan se lisää myös logistiikkaoperaatioiden kustannuksia.
- Tiedon puute tai väärä tieto voi aiheuttaa liian suuria varastoja, huonoa palvelutasoa, lisätä kuljetuskustannuksia, pienentää liikevaihtoa ja lisätä tuotannonsuunnittelu ja -johtamisongelmia.

Watersin (2009, 143) mukaan Bullwhip-efektiä voidaan kuvailla seuraavasti: Jälleenmyyjä huomaa, että yhden viikon kysyntä kasvaa viidellä yksiköllä. Tilatessaan jälleenmyyjä olettaa kysynnän olevan nousussa ja tilaa 10 yksikköä tukkumyyjältä varmistukseensa riittävän varaston. Paikallinen tukkumyyjä näkee kysynnän nousseen 10 yksiköllä ja tilaa 20 yksikköä vastatakseen kysynnän kasvuun. Alueellinen tukkumyyjä näkee kysynnän kasvaneen 20 yksiköllä ja tilaa 30 yksikköä valmistajalta vastatakseen kasvavaan kysyntään. Näin liikehdintä kulkee koko toimitusketjun läpi ja suhteellisen pieni kysynnän muutos loppupäässä toimitusketjua vahvistuu massiiviseksi vaihteluksi toimitusketjun alkupään toimijoille kuvion 14 mukaisesti.



Kuvio 14. Bullwhip-efekti toimitusketjussa.

## 6.5 Tutkimuksia toimitusketjujen simuloinnista

Chang ja Makatsoris (2001) käyvät tutkimuksessaan ” Supply Chain Modelling Using Simulation” läpi toimitusketjujen mallintamista simuloinnin avulla yleisellä tasolla. Tutkimus antaa hyvän kuvan siitä, miksi toimitusketjuja simuloidaan ja mitä sillä voi saavuttaa.

Wangin ja Inghamin (2008) tutkimus ”A Discrete Event Approach for Supply Chain Simulation” esittelee, miten dynaamista simulointia voidaan käyttää parantamaan ja optimoimaan toimitusketjujen tehokkuutta. Tutkimuksessa käydään ensimmäiseksi toimitusketjuja yleisesti läpi. Seuraavaksi kuvataan tilausmekanismien vaikutusta toimitusketjun suorituskykyyn ja simuloidaan neljällä eri tilaustavalla toimitusketjun toimintaa. Lopuksi tuloksia analysoidaan ja todetaan paras tilausmenetelmä.

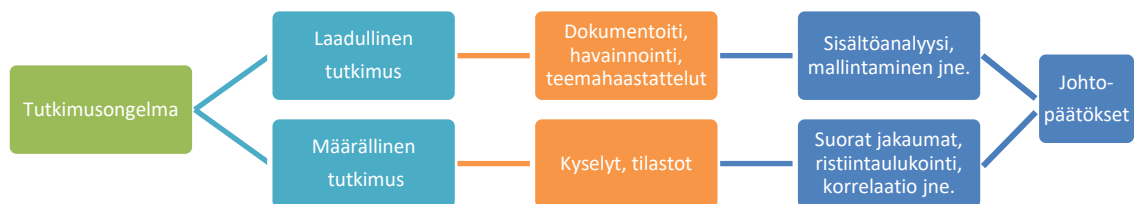
Siebers, Macal, Garnett, Buxton ja Pidd (2010) kuvaavat tutkimuksessaan ”Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!” agentti-pohjaisen simuloinnin ominaisuuksia tapahtumapohjaiseen simulointiin nähden. Kirjoittajien mukaansa agentti-pohjainen simulointi voi tuoda lisää syvyyttä myös toimitusketjujen simulointiin, koska agentti-pohjaisella simuloinnilla voidaan mallintaa tarkemmin esimerkiksi ihmisen päätöksentekoprosessia.

## 7 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 7.1 Tutkimusotteet

Tutkimukseen sisältyy aina tutkimusongelma, joka voidaan ratkaista siihen sopivalla tutkimusmenetelmällä. Tutkimusongelmana voi olla myös muutoksen toteuttaminen tai asian kehittäminen. Tutkimuksen tekemiseen liittyy aina halu saada ymmärrys tutkittavasta ilmiöstä ja saada aikaiseksi muutos parempaan. (Kananen 2013, 22.)

Tutkimusote tarkoittaa laajaa ongelman lähestymistapaa, joka on eräänlainen filosofinen sateenvarjo valituille tiedonkeruun, analysoinnin ja tulkinnan menetelmille. Menetelmät linkittyvät toisiinsa ketjuiksi, joissa ketjun alkupää määrittelee käytettävissä olevat työkalut ja menetelmät kuvion 15 mukaisesti. (Kananen 2013, 22.)



Kuvio 15. Tutkimusotteelle tyypilliset menetelmäpolut (perustuu Kananen 2013, 23.)

Tutkimusmenetelmät jakautuvat ylätasolla laadulliseen (kvalitatiivinen) ja määrälliseen (kvantitatiivinen) tutkimukseen (Kananen 2013, 23). Laadulliset tutkimukset voivat jakautua 1) olemassa oleviin, aiheeseen liittyviin tutkimuksiin ja muotoiluihin teorioihin, 2) empiirisiin aineistoihin sekä 3) tutkimuksen tekijän omiin päättelyihin ja ajatuksiin. Määrällinen tutkimus perustuu teorioiden lisäksi pääasiassa kerättyihin aineistoihin pohjautuviin mittaustuloksiin ja tutkijan ajatteluun. Toki laadullisessa tutkimuksessa voidaan analysoida aineistoa määrällisesti ja puolestaan määrällisessä tutkimuksessa voidaan käyttää laadullisia aineistoja. (Saarinen-Kauppinen & Puusniekka 2009, 6.)

## 7.2 Tapaustutkimus

Tapaustutkimuksen sisältäessä lähtökohtaisesti useita tutkimusmenetelmiä on perusteltua sanoa, että tapaustutkimus ei ole tutkimusmenetelmä, vaan tutkimusstrategia tai tutkimustapa. Tapaustutkimuksen sisällä voidaan käyttää erilaisia menetelmiä ja aineistoja. (Laine, Bamberg & Jokinen 2007, 9.) Laadullinen tutkimus pyrkii ratkaisemaan tutkimusongelman yhdellä laadullisen tutkimuksen menetelmällä, koska tutkimuskohde on ollut mahdollista rajata selvästi. Tapaustutkimuksessa ongelmat ovat usein moninaisia ja -säkeisiä, joita ei voida ratkaista yhdellä tutkimusmenetelmällä. (Kananen 2013, 56–57.)

Tyypillisesti tapaustutkimukselle valitaan tutkimuskohteeksi tilanne, tapaus, tapah-tuma tai joukko tapauksia, joiden tarkastelussa kiinnitetään usein huomioita prosesseihin. Tavoitteena on tutkimuskohteen ominaispiirteiden totuudenmukainen, tarkka ja systemaattinen kuvailu. Tutkittavan tapauksen tulisi muodostaa aina jonkunlainen kokonaisuus. Tapaustutkimuksessa pyritään selittämään ja kuvailemaan tutkittavia tapauksia pääsääntöisesti miten- ja miksi-kysymysten avulla. (Saarinen-Kauppinen & Puusniekka 2009, 43.)

Tapaustutkimuksen haasteena on sen yleistettävyyys. Voidaanko tutkimuksen tuloksia yleistää koskemaan muitakin samanlaisia tapauksia. Tapaustutkimuksia on kritisoitu, että niiden tulokset koskevat vain yhtä tapausta, eikä niillä ole laajempaa tieteellistä arvoa. Tapaustutkimusten kohdalla korostetaan yleensä kuitenkin sitä, että kokonaisvaltainen ymmärtäminen on olennaisempaa kuin yleistettävyyys. Onnistunut tapaustutkimus antaa mahdollisuuden yleistämiselle, koska aineistosta tehtävät tulkinnat nostavat esiin yleisesti tärkeitä teemoja ja uusia tarkastelukulmia. (Laine ym. 2007, 130, 214.)

### 7.3 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin laadullisena vertailevana tapaustutkimuksena, jossa tutkittiin kahden eri tyyppisen simulointiprojektin läpiviemistä ja niiden eroavaisuuksia. Eri-tyisesti haluttiin saada selville, miten tapahtumapohjainen simulointityökalu soveltuu toimitusketjutason simulointiin ja mitkä ovat sen erityispiirteet.

Tutkimuksessa kuvatut simulointiprojektit tehtiin työn aikana alusta loppuun, jolloin saatiin selkeä käsitys, mitä eri tyyppisten simulointitapausten toteuttaminen vaatii. Simulointiprojektit käydään läpi määrittelyvaiheesta toteutusvaiheeseen ja edelleen lopputuloksiin. Tutkimuksen tuloksissa pyritään tuomaan esiin projektien aikana esiin tulleita merkityksellisiä asioita, joiden voidaan ajatella olevan ominaisia kyseiselle toteutusmenetelmälle.

Tutkimuksen luotettavuutta ja yleistettävyyttä arvioitaessa on hyvä huomioida tapaustutkimuksen heikko yleistettävyys. Tässä tutkimuksessa tutkitut tapaukset eivät välttämättä edusta kovin suurta osaa tuotannon tai toimitusketjujen simuloinneista, koska simulointiprojektit ovat usein hyvin tapauskohtaisia. Tästä huolimatta tutkituissa tapauksissa on lukuisia yhtymäkohtia eri tyyppisiin simulointiprojekteihin ja -tekniikoihin.

## 8 CASE: HYDROLL OY

### 8.1 Yritys

Hydroll Oy (myöhemmin Hydroll) on Etola-yhtiöihin kuuluva, vuonna 1998 perustettu yritys, jonka toimitilat sijaitsevat Lapualla. Yritys on ainoana maailmassa keskittynyt yksinomaan mäntätoimisten painevaraajien suunnitteluun ja valmistukseen yhteistyössä asiakkaidensa kanssa. Hydrollin mäntätoimiset painevaraajaratkaisut tarjoavat huomattavia etuja perinteisiin rakko- ja kalvoakkuihin nähden. Kuviossa 16 on Hydrollin valmistama painevaraaja. (Hydroll 2012.)



Kuvio 16. Hydrollin valmistama painevaraaja (Hydroll 2012).

Hydrollin erikoistuneen ja tehokkaan toimitusketjun ja modernin kokoonpanoprosessin ansiosta yritys pystyy palvelemaan asiakastaan tehokkaasti, luotettavasti ja asiakaslähtöisesti maailmanlaajuisesti. Hydroll suhtautuu vakavasti yrityksen sosiaaliseen vastuuseen ja ympäristövastuuseen asettaen asiakkaansa ja henkilöstönsä etusijalle. Henkilöstön turvallisuus ja ergonomia ovat yritykselle tärkeitä. Hydroll on Cleantech Finlandin jäsen. (Hydroll 2012.)

## 8.2 Simulointiprojekti ja tavoite

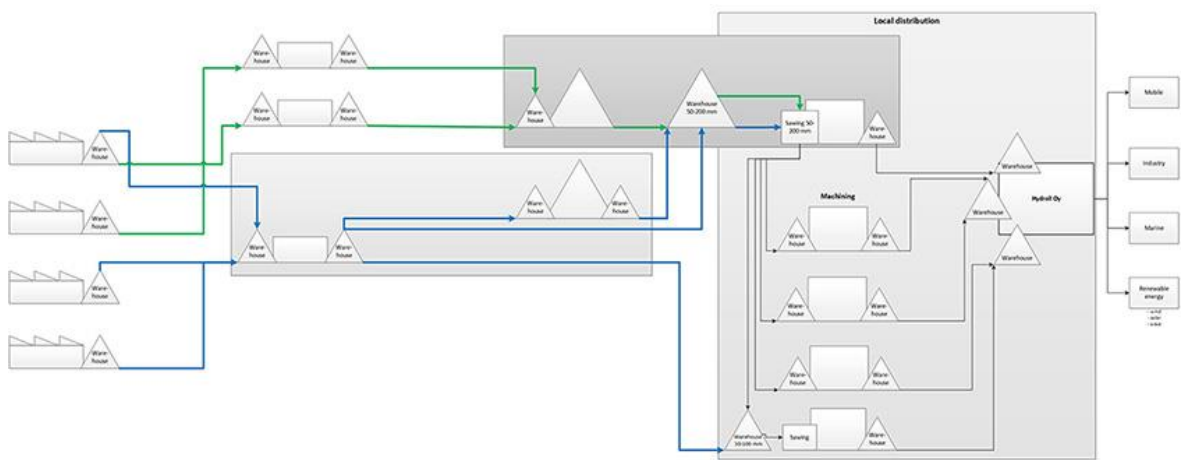
Simulointiprojektin tavoitteena oli luoda Hydraulisen putkimateriaalin hankintaverkostosta simulointimalli, jolla voidaan kokeilla eri parametrien vaikutusta toimitusketjun tehokkuuteen ja pyrkiä optimoimaan toimitusketjun suorituskykyä. Painevaraajissa putkimateriaali on merkittävässä roolissa, koska varaajan sylinteriosa tehdään kyseisestä putkesta. Putken tulee olla myös laadullisesti korkeatasoista. Putkimateriaalin hankintaverkoston toimijoista osa sijaitsee ulkomailla. Putkimateriaalia käytetään useaa eri kokoa ja laatuluokkaa, joten pelkän putken hankintaverkosto on merkittävä kokonaisuus ja sen toiminnan tehokkuudella on merkittävä vaikutus Hydraulisen toimintaan. Simulointi mahdollistaa isojen kokonaisuuksien toiminnan tarkastelun ja mahdollisen optimoinnin tietokonemallin avulla.

Simulointimallista oli tavoitteena luoda sellainen, että sillä voitaisiin kokeilla toimitusketjun eri parametrien muutosten vaikutusta esim. tilausten läpimenoaikaan ja varastojen käyttäytymiseen. Varastojen osalta pyrittiin parametrisoimaan niiden kapasiteetit, turvarajat sekä tilaus- ja toimituseräkoot. Hydraulisen näkökulmasta pyrittiin parametrisoimaan tilausten generointi siten, että olisi mahdollista luoda eri tuotteille erikokoisia tilauksia ja muodostaa näistä tilausjonoa ajan suhteen. Lisäksi malliin oli tavoitteena luoda hävikin generointi -toiminto, jolla voitiin simuloida hävikin syntymistä toimitusketjussa. Toimitusketjun simulaatiossa tulisi ottaa huomioon myös materiaalin valmistuksen parametrit ja materiaalin kuljetukseen liittyvät muuttujat, kuten kuljetusajat ja -eräkoot.

Simulointimallissa otettiin tarkasteluun toimitusverkoston yksi haara, joka voidaan tarpeen mukaan parametrisoida niin, että se palvelee jotakin toistakin osaa toimitusverkostosta. Näin ollen ei ole tarpeellista pyrkiä mallintamaan koko toimitusverkostoa, koska mallin kompleksisuus voi kasvaa liian suureksi ja simulointi olisi mahdoton toteuttaa.

### 8.3 Lähtötiedot

Lähtötietojen keräämisen lisäksi on olennaista ymmärtää simuloitavan kokonaisuuden keskeiset toiminnot ja niihin vaikuttavat tekijät. Hyvä tapa sisäistää jonkun kokonaisuuden toiminta ja sen tekijät on piirtää siitä kaaviokuva siihen soveltuvalla työkalulla. Simuloinnin aloituspalaverissa piirrettiin Microsoft Visio -ohjelmistolla Hydröllin edustajien kanssa kuvion 17 mukainen kaaviokuvaus simuloitavasta kokonaisuudesta. Tämän tyyppistä kaaviokuvaa on hyvä käyttää tukena, kun määritellään verkoston toimintalogiikoita, numeerista dataa, reitityssääntöjä jne.



Kuvio 17. Kaaviokuvaus simuloitavasta kokonaisuudesta (osa tiedoista on rajattu pois).

Simuloitava kokonaisuus koostuu neljätasoisesta toimitusketjusta, joka käsittää putkimateriaalia tuottavia ja jalostavia toimijoita, varastotoimijoita ja loppuasiakkaan. Osaa kuvion 17 kaaviokuvan toimijoista ei ole tarpeellista huomioida simulointimallia rakennettaessa, koska niillä ei ole lopputuloksen kannalta niin suurta merkitystä ja niiden huomioiminen olisi lisännyt mallin kompleksisuutta.

Seuraavana selvitettiin toimitusketjun materiaalivirtojen ominaisuudet, kuten eräkoot eri tasoilla, materiaalin valmistukseen ja jalostamiseen liittyvät parametrit ja toimitusajat eri tasoilla. Varastojen osalta määriteltiin mm. varastojen alkutasot, varmuusvarastot ja täydennyseräkoot. Lisäksi Hydröllilta saatiin oikeaa tilausdataa, joten simuloinnin kysynnänluonti voitiin toteuttaa oikeaan dataan perustuen.



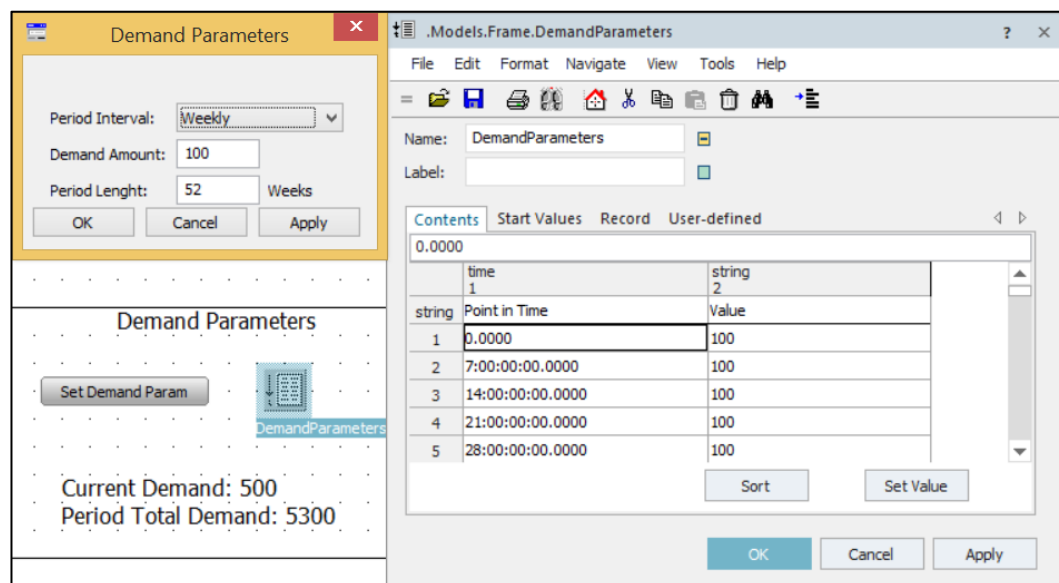
## 8.4 Simulointimallin rakentaminen

Simulointimallin rakentaminen kuvataan pääpiirteittäin mallin keskeisimpien toimintojen osalta. Raportin kuvissa esiintyvät numeeriset arvot eivät vastaa kohdeyrityksen luovuttamia tietoja, koska ne ovat muutettu raporttia varten.

### 8.4.1 Kysynnän luonti

Simuloitava toimitusketju toimii imuohjauksella siten, että tilaus tehdään edeltävälle portaalle, joka omien sääntöjensä puitteissa tilaa edelleen edeltävältä portaalta varastoonsa tavaraa. Toimitusketjun valmistuspää toimii itsenäisesti.

Tilauksille tehtiin kuvion 18 mukaiset toiminnot, joilla tilauskannan voi syöttää DemandParameters-tilaukseen ja määrittellä siihen tilattavat määrät tietyillä ajanhetkillä. Lisäksi tehtiin tilausdialogi, jolla voidaan generoida tilauksia halutulle ajanjaksolle, valitulla aikavälillä ja määrällä. Tilausdialogista voi tehdä esim. 52 viikon tilausjonon siten, että kerran viikossa tilataan tietty määrä. Tilausjonoon voi syöttää kysynnän vaihtelua manuaalisesti. Dialogi kirjoittaa tilaukset DemandParameters-tilaukseen SimTalk-kielellä kirjoitetun metodin avulla. Kuviossa 19 esitetään osa metodista.



Kuvio 18. Simulointimallin kysynnän luonti -toiminnot.

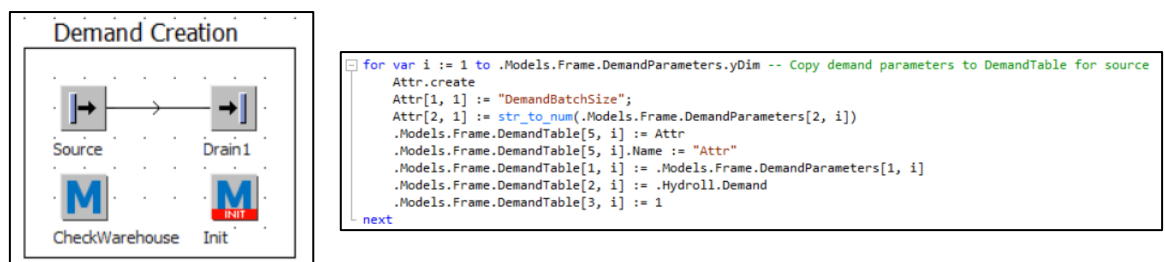
```

.Models.Frame.DialogMethod
param action: string
var ListTime : time
ListTime := str_to_time("0:::")
switch action
  case "Apply"
    DemandParameters.delete({1, 1}..{*,*})
    if @.getValue("PeriodLenghtTB") = "" or @.getValue("PeriodLenghtTB") = "0"
      messagebox("Enter Period Lenght ",1, 4)
    end
    if @.getValue("PeriodList") = "Daily"
      for var i := 1 to str_to_num(@.getValue("PeriodLenghtTB"))
        DemandParameters[1,i] := ListTime
        DemandParameters[2,i] := @.getValue("DemandAmount")
        ListTime := ListTime + str_to_time("1:::")
      next
      DemandParameters[1, DemandParameters.yDim + 1] := ListTime
      DemandParameters[2, DemandParameters.yDim] := @.getValue("DemandAmount")
      ListTime := str_to_time("0:::")
    elseif @.getValue("PeriodList") = "Weekly"
      for var i := 1 to str_to_num(@.getValue("PeriodLenghtTB"))
        DemandParameters[1,i] := ListTime
        DemandParameters[2,i] := @.getValue("DemandAmount")
        ListTime := ListTime + str_to_time("7:::")
      next
      DemandParameters[1, DemandParameters.yDim + 1] := ListTime
      DemandParameters[2, DemandParameters.yDim] := @.getValue("DemandAmount")
      ListTime := str_to_time("0:::")
    end
end

```

Kuvio 19. Osa tilausdialogin ja -taulukon tiedonkäsittelymetodista.

Varsinainen tilaustoiminnallisuus malliin luodaan Souce-objektilla, jolla on mahdollista luoda materiaalivirtaa vakimuotoisen Delivery Table -taulukon mukaan. DemandParameters-taulukon sisältö kopioidaan Delivery Table -taulukon Init-metodilla, joka suoritetaan simulaation käynnistyessä. DemandParameters-taulukkoa käytetään aputaulukkona siitä syystä, että siinä on näkyvillä vain ne parametrit, joita halutaan muuttaa, ja se on näin selvempi loppukäyttäjälle. Source-objekti luo uuden tilauksen Delivery Table -taulukossa määrittelyllä ajan hetkellä ja attribuuteilla kuvion 20 mukaisesti. Kun tilaus lähtee Source-objektista, se on määritelty siten, että se kutsuu aina metodia, joka käynnistää tilaus-toimitusketjun edeltävällä tasolla.

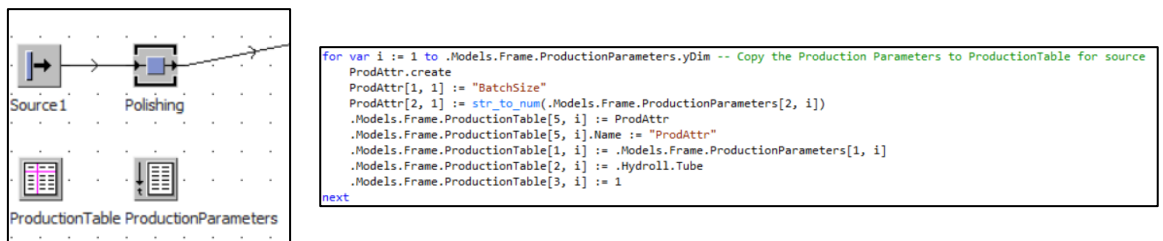


Kuvio 20. Tilaustoiminnallisuuden luominen ja osa Init-metodista.

### 8.4.2 Valmistuksen hallinta

Toimitusketjun alkupään valmistus toimii itsenäisesti, eikä sille generoida tilauksia seuraavalta toimittajatasolta. Tämä ratkaisu tehtiin siitä syystä, että valmistuksen toiminnasta ei ollut saatavilla tietoa simuloinnin aikana, joten sekin parametrisoitiin, että eri parametrien vaikutuksia toimitusketjuun voitiin kuitenkin tarkastella.

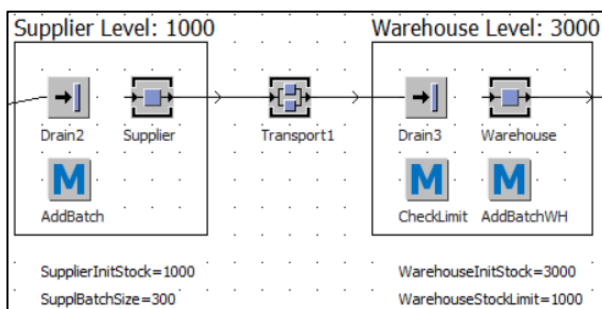
Valmistuksen toimitusten generointi tehtiin myös samalla tavalla Source-objektilla ja Delivery Table -taulukolla, kuten loppuasiakkaan tilausten generointi kuvion 21 mukaisesti. Aputaulukkona käytettiin ProductionParameters-taulukkoa, johon loppukäyttäjä voi syöttää toimituksen toimitusajan ja -määrän.



Kuvio 21. Valmistuksen materiaalivirtojen luonti ja osa Init-metodia.

### 8.4.3 Varaston ja toimittajan hallinta

Toimitusketjun toimittajatasolle määriteltiin parametreiksi alkuvarasto ja toimituserä koko. Varastotasolle määriteltiin parametreiksi alkuvarasto ja varmuusvarastoraja kuvion 22 mukaisesti. AddBatch-metodeilla lisätään saapuvat toimituksen toimijan varastosaldoon.



Kuvio 22. Toimitusketjun toimittaja- ja varastotasot.

Toimituksia varastosta loppuasiakkaalle ja toimittajalta varastoon kontrolloidaan pääsääntöisesti kahdella eri metodilla. Loppuasiakkaan tekemän tilauksen perusteella kutsutaan kuvion 23 mukaista metodia, jolla tarkistetaan varastokirjanpidosta, onko varastossa tilausta vastaavaa määrää tavaraa toimitettavaksi. Jos tavaraa ei ole tarpeeksi, metodi kutsuu täydennystoimintoa ja pysäyttää suorituksen siihen asti, kunnes varasto täydentyy ja tekee toimituksen sen jälkeen.

```

Models.Frame.CheckWarehouse *
var Item: object
var CurrentDemand: integer
var unsuccAttempts: integer

CurrentDemand := @.DemandBatchSize -- Current demand from param
.Models.Frame.Variables.CurrentDemand := CurrentDemand -- Update variable

Source.ExitLocked := True -- Lock Source Exit until current demand is handled

if Variables.AvailWare >= CurrentDemand -- If Warehouse has stock for current order
    Item := .Hydroill.Tube.create(Warehouse) -- Create batch
    Warehouse.cont.BatchSize := CurrentDemand
    Variables.AvailWare := Variables.AvailWare - CurrentDemand -- Update Stock Levels
else -- If Warehouse stock isn't enough for current order
    CheckSupplDemand -- Check if order already pending, if not then make one
    waituntil Variables.AvailWare >= CurrentDemand prio 1 -- Wait until Warehouse can fulfill current order
    Item := .Hydroill.Tube.create(Warehouse)
    Warehouse.cont.BatchSize := CurrentDemand
    Variables.AvailWare := Variables.AvailWare - CurrentDemand
end
Source.ExitLocked := False -- Release Source for next order

```

Kuvio 23. Varastonhallintametodi.

Varaston täydennystoiminto tarkistaa ensin, onko toimittajalla jo olemassa täydennystilaus, joka odottaa valmistajalta materiaalia. Mikäli täydennystilausta ei ole, kuvion 24 metodi tekee toimittajalta parametrin mukaisen toimituksen varastolle. Jos toimittajalla ei ole materiaalia varastossa, metodi jää odottamaan sen saapumista valmistajalta ja tekee toimituksen sen jälkeen.

```

Models.Frame.CheckLimit
var item: object
var CurrentDemand: integer
var unsuccAttempts: integer

CurrentDemand := .Models.Frame.Variables.CurrentDemand
Variables.OrderPending := True -- Order from supplier pending

waituntil Supplier.cont = void prio 1 -- Wait until Supplier is available

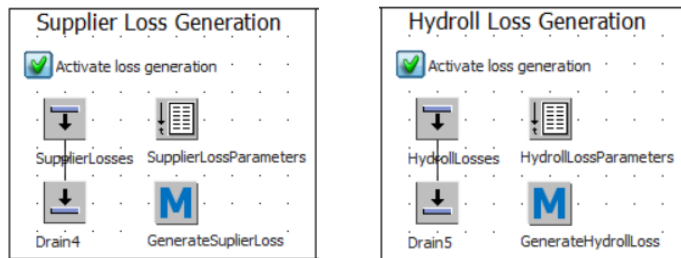
if Variables.AvailWare <= WarehouseStockLimit or CurrentDemand > Variables.AvailWare -- If Warehouse stock is low
    if Variables.AvailSupl >= SupplBatchSize -- If Supplier is able to deliver
        item := .Hydroill.Tube.create(Supplier)
        Supplier.cont.BatchSize := SupplBatchSize
        Variables.AvailSupl := Variables.AvailSupl - SupplBatchSize
    else
        waituntil Variables.AvailSupl >= SupplBatchSize prio 1 -- Wait until production fill
        item := .Hydroill.Tube.create(Supplier)
        Supplier.cont.BatchSize := SupplBatchSize
        Variables.AvailSupl := Variables.AvailSupl - SupplBatchSize
    end
end
Variables.OrderPending := False

```

Kuvio 24. Toimittajatilauksen generointimetodi.

### 8.4.4 Hävikin generointitoiminto

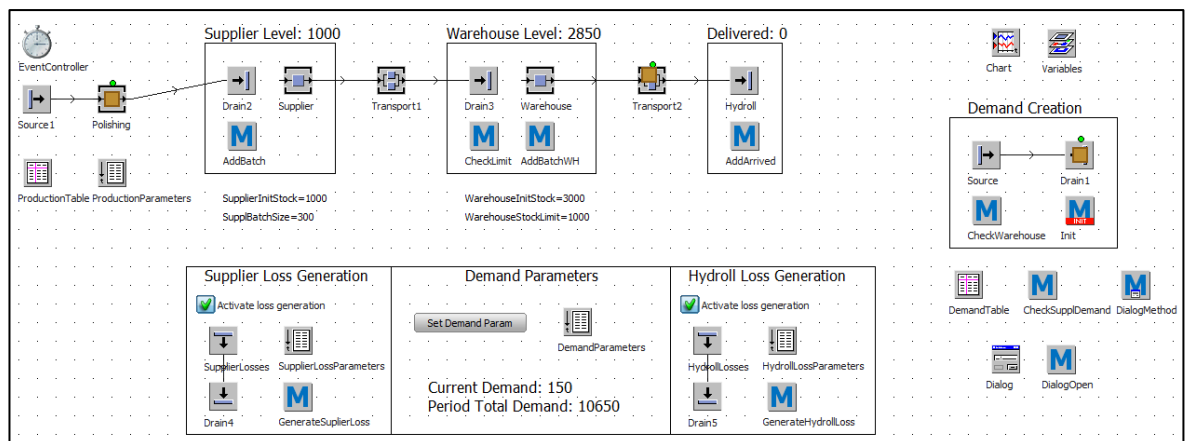
Lopuksi simulointimalliin haluttiin lisätä toimittajan varastoon ja loppuasiakkaalle toimitettuihin materiaaleihin kuvion 25 mukainen hävikkitoiminto. Toiminnon avulla on mahdollista luoda haluttuina ajankohtina halutun suuruisia hävikkejä. Loppuasiakkaalle tehtävä hävikki lisätään tilausjonoon, koska materiaali pitää tilata uudelleen.



Kuvio 25. Hävikin generointitoiminnot.

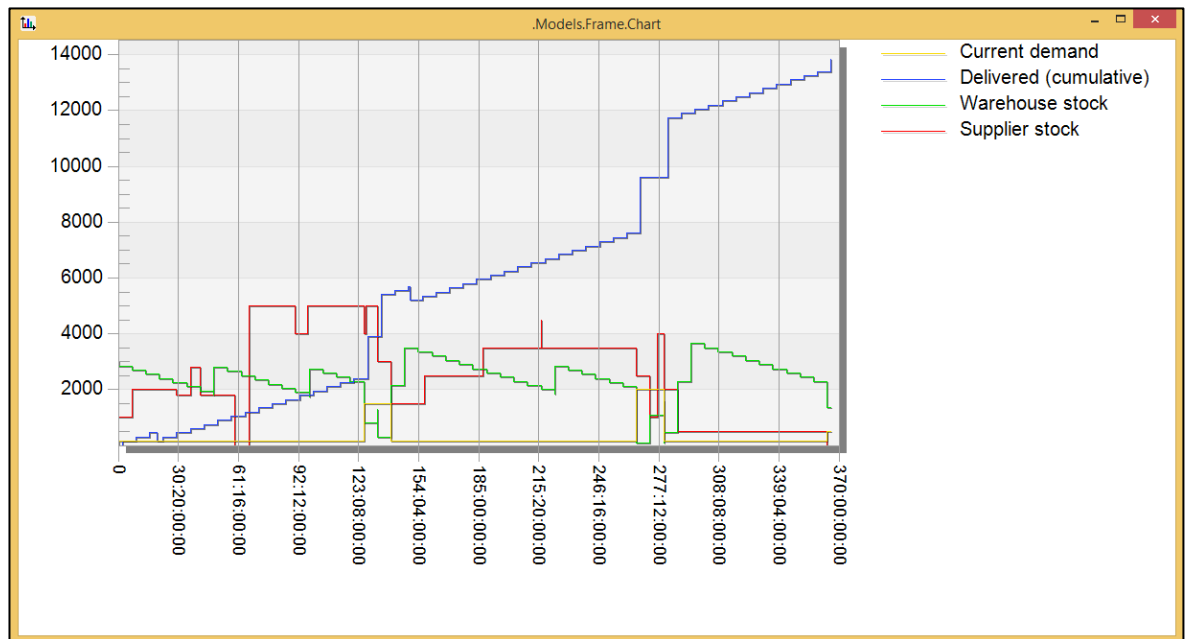
### 8.5 Lopputulokset

Lopputuloksena syntyi kuvion 26 mukainen simulointityökalu, joka mahdollistaa yhden toimitusketjun simuloinnin valituilla parametreilla. Simulointimalli on jaoteltu loogisiin kokonaisuuksiin ja materiaalivirtoja kontrolloidaan pääasiassa erilaisilla metodeilla.



Kuvio 26. Valmis simulointimalli.

Simulointimallin tuloksia on mahdollista tarkkailla mallin numeerisista muuttujista, jotka kuvaavat toimitusketjun eri osioiden tiloja. Lisäksi simuloitun toimitusketjun tilaa on mahdollista tarkkailla kaaviosta, joka näyttää eri muuttujien tilojen muutoksen ajan suhteen kuvion 27 mukaisesti. Kaavioita on mahdollista luoda Plant Simulation -ohjelmiston Chart-työkalulla. Kaaviosta on helpompi nähdä, miten esimerkiksi kysynnän vaihtelut tai toimituseräkoot vaikuttavat varastotasoihin.



Kuvio 27. Kaavio toimitusketjun toimijoiden muuttujista

Hydroll-simulointitapaustutkimus noudatteli suurelta osin samaa polkua, miten Banks ym. (2005, 15) kuvaavat tapahtumapohjaisen simulointitutkimuksen prosessia. Alussa määriteltiin projektin tavoitteet ja reunaehdot. Seuraavaksi kerättiin lähtötiedot, jonka jälkeen mallin kehitystyö alkoi. Mallin kehitystyön aikana mallia jalostettiin osittain yhdessä asiakkaan kanssa, että se vastaisi asetettuja tavoitteita. Lähtötietojen osalta tarvittiin hyvin paljon saman tyyppistä dataa, mitä Campuzano ja Mula (2011, 19) luettelevat tyyppillisen toimitusketjun simulointiprojektin datavaatimuksista.

Simulointimalli luovutettiin Hydrollin käyttöön, että yritys voi itsenäisesti ajaa mallia ja kokeilla eri parametrien vaikutusta simulaation lopputulokseen. Mallin ajamisesta tuotettiin ohje, jonka avulla mallia voi ajaa, vaikka ei olisi kokemusta simulointiohjel-

miston käytöstä. Varastojen osalta simulointimallilla voidaan tutkia varastotasoa tietyn ajanjakson suhteen. Varastotasot ovat kustannusten ja toimitusvarmuuden näkökulmasta keskeinen asia. Liian korkeisiin varastoihin sitoutuu pääomaa, joka on pois muulta liiketoiminnalta. Toisaalta suuremmat varastotasot takaavat hyvän toimitusvarmuuden, jota alhaisilla varastotasoilla voi olla vaikea saavuttaa varsinkin toimitusketjuissa, joissa kysyntä vaihtelee suuresti. Riittävät varastot suojaavat myös toimitusketjun edellisen portaan toimitusvaikeuksilta ja talouden näkökulmasta raaka-aineiden äkillisiltä hinnan nousuilta. Simulointimalliin parametrisoitiin myös toimituseräkoot ja luotiin hävikkitoiminnot, joilla on myös merkittävä vaikutus toimitusvarmuuteen ja kustannuksiin. Chopran ja Meindlin (2016, 15–16) mukaan jokaisen toimitusketjun tarkoitus on maksimoida ketjun tuottama kokonaisarvo, jota luodulla simulointimallilla myös tavoiteltiin, pyrkimällä optimoimaan osaa toimitusketjun toiminnoista.

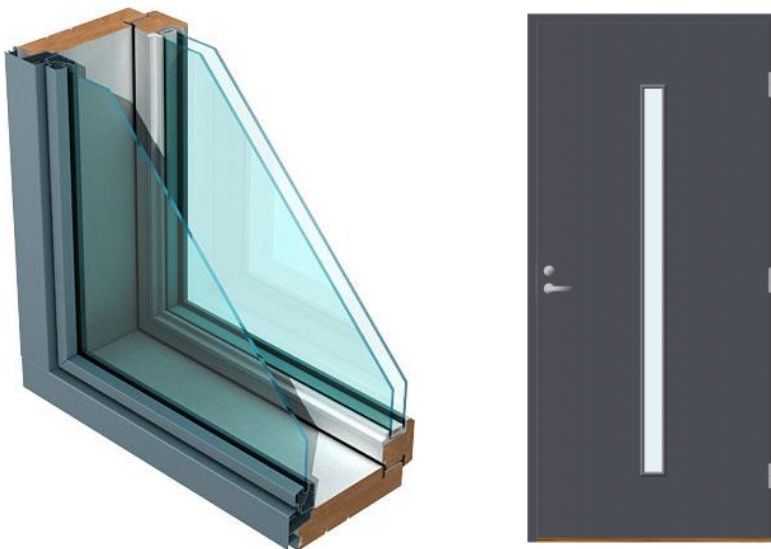
Simulointiteknisesti mallin arkkitehtuuri olisi voitu rakentaa toisin. Nykyisessä toteutuksessa muutamat menetelmät kontrolloivat useampaa eri toimintoa, mikä voi aiheuttaa haasteita, jos mallia myöhemmin jatkokehitetään. Rakenne olisi ollut parempi tehdä niin, että eri yksiköt toimivat itsenäisesti ja esim. tilaukset näille välitetään samanlaisilla objekteilla kuin varsinaiset toimituksetkin.

## 9 CASE: ALAVUS IKKUNAT OY

### 9.1 Yritys

Alavus Ikkunat Oy (myöhemmin Alavus Ikkunat) on vuonna 2003 perustettu, Alavuden Rantatöysässä sijaitseva yritys. Yritys valmistaa ovia ja ikkunoita työllistäen n. 90 henkilöä. Alavus Ikkunat valmistaa vuosittain n. 60000 yksikköä ikkunoita ja n. 10000 yksikköä ovia. Alavus Ikkunat on yksityisomisteinen ja täysin suomalainen yritys. (Alavus Ikkunat Oy 2017.)

Alavus Ikkunoiden energiatehokkaasta mallistosta löytyy kiinteitä ja avattavia puu- ja puualumiini-ikkunoita. Käytännön huoltovapauden ansioista puualumiini-ikkuna on nykyään suosituin ikkuna. Tuoteperheestä löytyvät myös tuloilma-, täysalumiini- ja lämpöikkunat. Ulko-ovimallisto käsittää lähemmäs 50 erilaista ovimallia, joita asiakas voi kustomoida esimerkiksi lasi- ja värivalinnoilla. Kaikki Alavus Ikkunoiden tuotteet ovat CE-merkittyjä. Kuviossa 28 on esimerkkejä Alavus Ikkunoiden tuotteista. (Alavus Ikkunat Oy 2017.)



Kuvio 28. Alavus Ikkunoiden tuotteita (Alavus Ikkunat Oy 2017).



## 9.2 Simulointiprojekti ja tavoite

Tämän simulointiprojektin tavoitteena oli simuloida Alavus Ikkunoiden tuotantoa puitelinjojen osalta. Ikkunan puite on osa, johon lasi kiinnittyy ja puite kiinnittyy edelleen ikkunan karmiin. Puitteita on puisia ja alumiinisia. Tässä tapauksessa simuloitiin alumiinisten puitteiden tuotantoa manuaali- ja automaattilinjojen osalta.

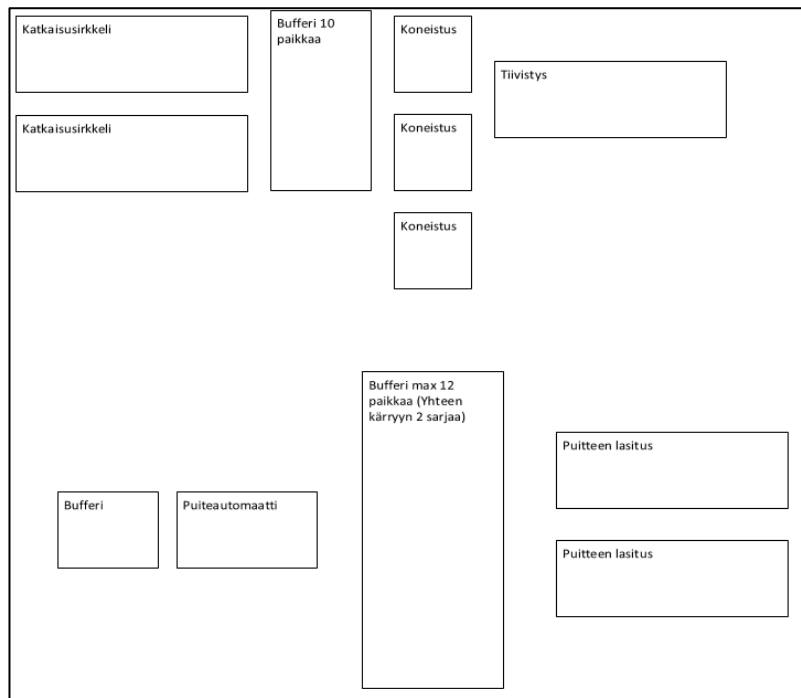
Simuloinnin tavoitteena oli tarkastella tuotannon eri resurssien käyttöasteita, selvittää mahdollisia pullonkauloja sekä tutkia työntekijäresurssin ja työvuorojen vaikutusta läpimenoon. Lisäksi yhtenä tavoitteena oli tutkia keräilyvaiheen vaatiman ajan merkitys läpimenoon.

Simuloinnissa materiaalivirtaa käsiteltiin sarjatasolla, koska tämän yksityiskohtaisempi tarkastelu olisi todennäköisesti lisännyt mallin kehittämiseen vaadittavia resursseja liikaa. Toisaalta tarkempi tarkastelun taso antaa yleensä tarkempia tuloksia ja mahdollisuuksia syvempää analyysiin.

Simuloinnissa oli tavoitteena parametrisoida ainakin resurssien kuluttamat ajat siten, että ne voivat olla satunnaisesti rajatun alueen väliltä, koska työtehtäviin liittyy ihmisen tekemää työtä. Lisäksi linjalla valmistettavien sarjojen generoinnin tuli perustua satunnaisuuteen siten, että tietyistä joukosta valitaan satunnaisesti valmistettava sarja. Materiaalivirta reitittyy sarjan tyyppin mukaan ja sille tehdään sarjan tyyppille määritetyt toimenpiteet.

### 9.3 Lähtötiedot

Lähtötiedoiksi tarvittiin kuvaus tuotantoympäristöstä ja siihen liittyvistä materiaali- ja reitityssääntöineen. Lisäksi tarvittiin sarjakohtaiset parametrit puitelinjan eri resursseille. Tuotantoympäristön kuvaus piirrettiin ylhäältä päin katsottuna kuvion 29 mukaisesti.



Kuvio 29. Kuvaus tuotantolinjoista.

Sarjakohtaiset parametrit eri resursseille kerättiin kuvion 30 mukaiseen taulukkoon. Alavus Ikkunoilla oli kerättyä työvaihekohtaista dataa yrityksen ERP-järjestelmään, josta tieto oli helposti saatavilla.

Sarjat 34.101-117 ja 35.101-103				ie34.101-115 ja ie34.201-205				Marusaaliraja							
Sarja	Automaattilinja		Koneistusaika	Kokoonpano-aika	Sarja	Sahausaika		Koneistus (merkataan numeroilla 1,2,3 mitä koneistuksia sarjalle tehdään ja missä järjestyksessä. Koneistuksil- Tiivistysaika							
	Alaraja	Yläraja				Alaraja	Yläraja	Koneistus-	neistusaika (Alaraja, Yläraja)	Koneistus-	neistusaika (Alaraja, Yläraja)	Alaraja	Yläraja		
Sarja1	5	10	78,4	287,6	Sarja101	5	10	68	1	11,2				53,5	
Sarja2	5	10	126	411,6	Sarja102	5	10	109,6	1	19,6		2	3,6	8,4	67,5
Sarja3	5	10	92,4	376,5	Sarja103	5	10	30,5	1	16,1		2	13,2	30,8	67,2
Sarja4	5	10	114,8	408	Sarja104	5	10	121,5	1	23,8		2	3,6	8,4	79,3
Sarja5	5	10	126	543	Sarja105	5	10	147,3	1	30,1				36,2	
Sarja6	5	10	103,6	385,5	Sarja106	5	10	87,5	1	15,4		2	3,6	8,4	61,1
Sarja7	5	10	89,6	354,5	Sarja107	5	10	107,3	1	21		2	6	14	69,5
Sarja8	5	10	137,2	504,6	Sarja108	5	10	146,2	1	28,7		2	2,4	5,6	86,2
Sarja9	5	10	137,2	496,6	Sarja109	5	10	37,5	1	15,4		2	7,2	16,8	82,3
Sarja10	5	10	114,8	448,7	Sarja110	5	10	98,6	1	17,5		2	7,2	16,8	76,8
Sarja11	5	10	134,4	910,2	Sarja111	5	10	163,2	1	33,6				154,8	
Sarja12	5	10	64,4	297,1	Sarja112	5	10	81,6	1	14				70,5	
Sarja13	5	10	120,4	458,3	Sarja113	5	10	120,7	1	23,1				76	
Sarja14	5	10	86,8	342	Sarja114	5	10	77,3	1	14				56,7	
Sarja15	5	10	117,6	594,5	Sarja115	5	10	94,95	1	16,1				104,6	
Sarja16	5	10	131,8	616,8	Sarja201	5	10	153,8	1	5,6				26	
Sarja17	5	10	44,8	325,4	Sarja202	5	10	54,4	1	16,8				89	
Sarja18	5	10	109,2	477	Sarja203	5	10	96,3	1	12,6				64	
Sarja19	5	10	70	200,5	Sarja204	5	10	72,2	1	13,3				80,2	
Sarja20	5	10	134,4	534	Sarja205	5	10	75			2	15,4		134	

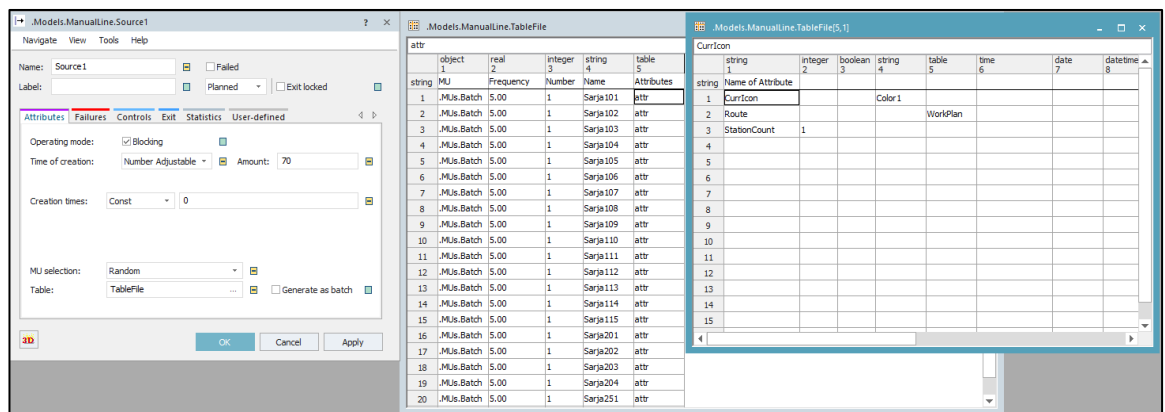
Kuvio 30. Resurssien sarjakohtaiset arvot.

## 9.4 Simulointimallin rakentaminen

Tässä luvussa käydään läpi ainoastaan manuaalilinjan simulointiprosessi, koska siinä sovellettiin simulointityökaluja laajemmin.

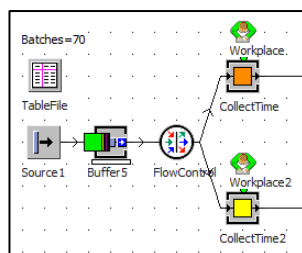
### 9.4.1 Materiaalivirtojen luonti

Simulointimallin rakentaminen aloitettiin tekemällä toiminto, joka luo materiaalivirtaa simulaatioon. Luotava sarja valitaan satunnaisesti 20 sarjan joukosta Source-objektin MU selection -toiminnolla. Toiminto alustaa taulukon, johon voidaan syöttää linjalle syötettävien sarjojen tiedot kuvion 31 mukaisesti.



Kuvio 31. Materiaalivirran generointi.

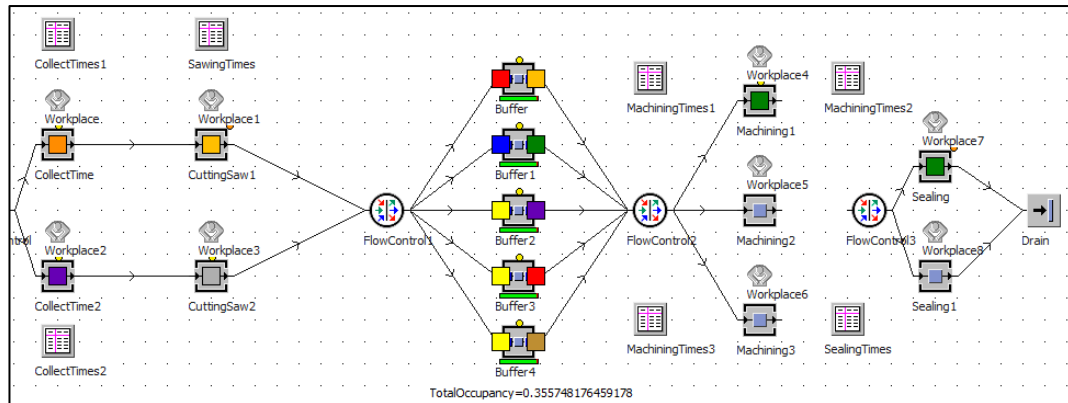
Source-objekti luo kuvion 32 mukaista materiaalivirtaa Buffer-objektille ja edelleen FlowControl-objektille, joka reitittää materiaalivirran tasaisesti molempiin siitä lähteviin haaroihin. Yksittäinen materiaalivirtaobjekti saa oman värin ja sen attribuutteihin kirjoitetaan sarjakohtainen tuotantosuunnitelma.



Kuvio 32. Tuotantolinjan alkupää simulointimallissa.

## 9.4.2 Laiteresurssien mallinnus

Tuotantolinjan loppuosan toiminnot koostuvat keräily-, sahaus-, koneistus-, tiivistys- ja välivarasto-operaatioista kuvion 33 mukaisesti. Välivarastointioperaatiot on toteutettu Buffer-objekteilla ja muut operaatiot SingleProc-objekteilla.



Kuvio 33. Laiteresurssit simulointimallissa.

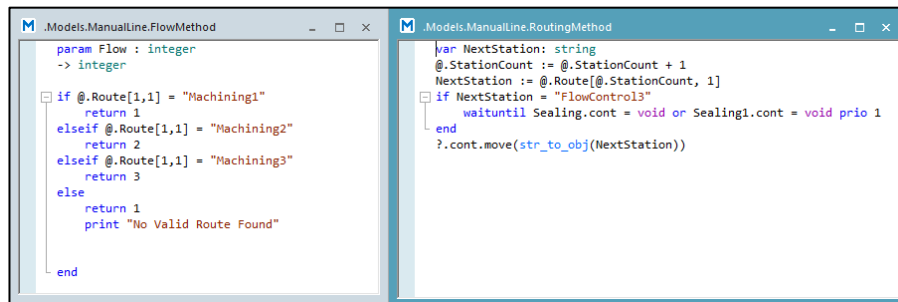
Sarjakohtainen työaika haetaan resurssille taulukosta, johon ajat on syötetty kuvion 34 mukaan. Taulukkoon on syötetty sarjan ajalle ylä- ja alarajat, joiden perusteella aika valitaan satunnaisesti tasaisen jakauman perusteella. Sarjakohtaisen ajan valinta voidaan tehdä SingleProc-objetin asetussdialogissa syöttämällä Processing time -kenttään Formula-tyyppinen arvo: `z_uniform(CollectTimes1[1, @.Name], CollectTimes1[2, @.Name], CollectTimes1[3, @.Name])`. Kun sarja saapuu resurssille, komento tutkii saapuneen sarjan nimen ja valitsee parametrit taulukosta sen mukaisesti.

	string 0	integer 1	time 2	time 3
string	Batch	Stream	Lower Bound	Upper Bound
1	Sarja101	1	5:00.0000	20:00.0000
2	Sarja102	2	5:00.0000	20:00.0000
3	Sarja103	3	5:00.0000	20:00.0000
4	Sarja104	4	5:00.0000	20:00.0000
5	Sarja105	5	5:00.0000	20:00.0000
6	Sarja106	6	5:00.0000	20:00.0000
7	Sarja107	7	5:00.0000	20:00.0000
8	Sarja108	8	5:00.0000	20:00.0000
9	Sarja109	9	5:00.0000	20:00.0000

Kuvio 34. Sarjakohtaiset aikarajat.

Buffer-objekteista määritellään puskurin kapasiteetti. Tässä tapauksessa jokaisen puskurin kapasiteetti on kaksi sarjaa. Materiaalivirta reititetään puskuille FlowControl-objektilla, josta voidaan määritellä erilaisia reitityssääntöjä.

Koneistusresursseille materiaalivirta reititetään puskureilta FlowControl-objektilla, johon on määritelty kuvion 35 vasemmanpuolinen reititysmetodi. Reititysmetodi tutkii sarja-objektin attribuuteista, mikä koneistus sille tehdään ensimmäisenä ja ohjaa objektin sille koneistusresurssille. Ensimmäisen koneistuksen jälkeen kuvion 35 oikeanpuolimmainen metodi tarkistaa sarja-objektin attribuuteista seuraavan työpisteen ja ohjaa materiaalivirran sinne. Koneistuksen jälkeiseen tiivistysvaiheeseen materiaalivirta reititetään tiivistysresurssin ollessa vapaana.



```

.Models.ManualLine.FlowMethod
param Flow : integer
-> integer

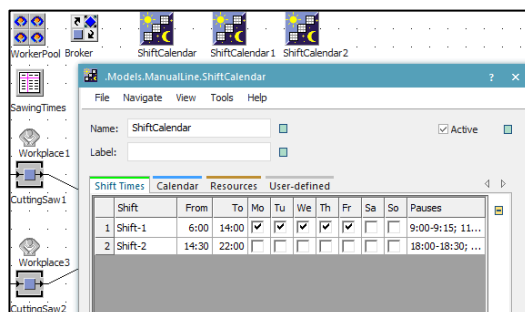
if @.Route[1,1] = "Machining1"
  return 1
elseif @.Route[1,1] = "Machining2"
  return 2
elseif @.Route[1,1] = "Machining3"
  return 3
else
  return 1
  print "No Valid Route Found"
end

.Models.ManualLine.RoutingMethod
var NextStation: string
@.StationCount := @.StationCount + 1
NextStation := @.Route[@.StationCount, 1]
if NextStation = "FlowControl3"
  waituntil Sealing.cont = void or Sealing1.cont = void prio 1
end
?.cont.move(str_to_obj(NextStation))
  
```

Kuvio 35. Materiaalivirran reititysmetodit.

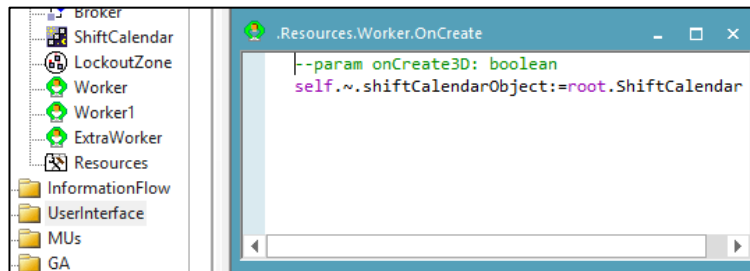
### 9.4.3 Työntekijäresurssin mallinnus

Plant Simulation -ohjelmisto mahdollistaa työntekijäresurssin simuloinnin esimerkiksi työntekijämäärän ja eri työvuorojen mukaan. ShiftCalendar-objektilla voidaan määrittellä kuvion 36 mukaiset vuorot työntekijöille. WorkerPool-objektista voidaan määrittellä vuorokohtaisten työntekijöiden lukumäärä. Broker-objekti toimii tehtävien välittäjänä, sen asetuksia ei tässä tapauksessa tarvinnut muuttaa. Workplace-objekti määrittelee työpisteen.



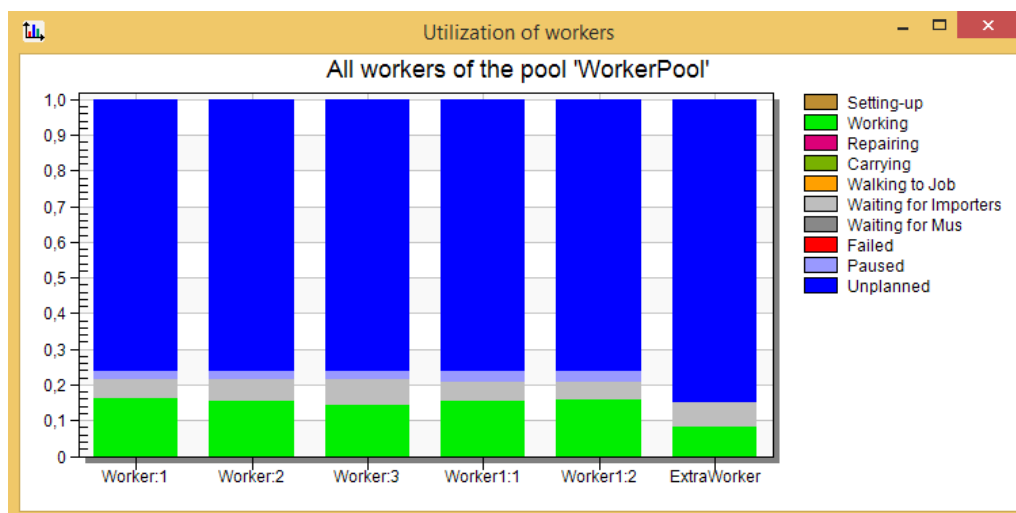
Kuvio 36. Työvuorokalenterityökalun asetusikkuna.

Simulaatiossa haluttiin käyttää erityyppisiä työntekijäresursseja samassa WorkerPool-työkalussa, ja jokaiselle työntekijäresurssille piti olla mahdollisuus asettaa erillinen työvuorokalenteri. Tämä järjestely mahdollistaa myöhemmin esitellyn testauksen automatisoinnin halutulla tavalla. Lisäksi statistiikka voidaan kerätä samasta WorkerPool-objektista. Järjestely toteutettiin luomalla eri tyyppiset työntekijäresurssiluokat ja lisäämällä jokaiselle OnCreate-metodi kuvion 37 mukaisesti. Metodi asettaa työvuorokalenterin työntekijäobjektille, kun se luodaan.



Kuvio 37. Työvuorokalenterin asettaminen työntekijäresurssille.

Lisäämällä simulaation WorkerChart-työkalu ja määrittelemällä sen asetuksiin haluttu WorkerPool-objekti saadaan visualisoitua työntekijäresursseihin liittyvä statistiikka kuvion 38 tavalla. Kaavio kertoo yksittäisen työntekijäresurssin eri tilojen osuudet simulaatioajan aikana.

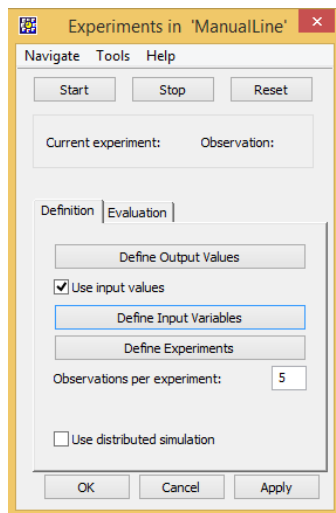


Kuvio 38. Työntekijäresurssien tilat simulointiajan aikana.

#### 9.4.4 Testauksen automatisointi

Simulointimallilla tehtävien testausajojen toteuttaminen voi olla aikaa vievää, koska jokaista ajoa varten täytyy muuttaa simulointimallin parametreit ja kerätä ajojen tulokset talteen. Lisäksi täytyy ottaa huomioon satunnaismuuttujien vaikutus lopputuloksiin ja tästä syystä ajaa useampi ajo samoilla parametreilla.

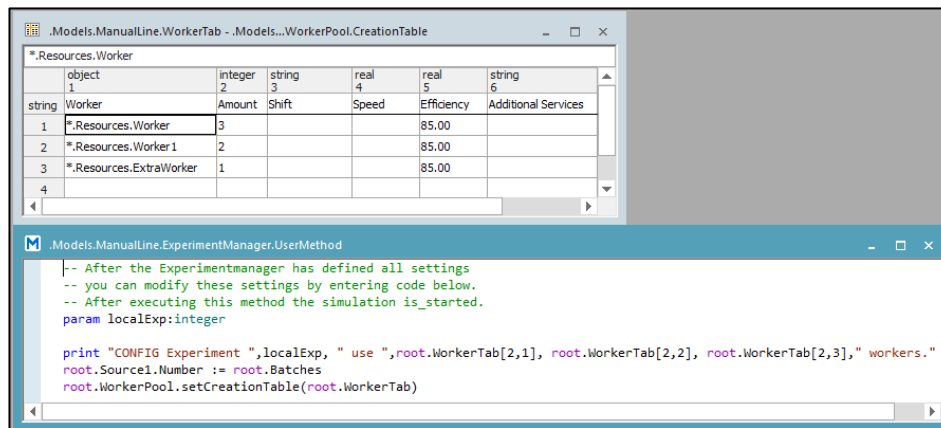
Plant Simulation -ohjelmistossa testausta voidaan automatisoida ExperimentManager-työkalulla, joka mahdollistaa testiajojen suorittamisen asetettujen reunaehtojen mukaisesti. Työkalulla voidaan ajaa lyhyessä ajassa tuhansia simulointiajoja eri parametreilla. Yksinkertaisimmillaan työkalulle annetaan parametrit, joiden arvoa muutetaan ajojen välissä. Lisäksi työkalulle annetaan ulostuloparametri, tämä on siis se muuttuja, jonka tuloksia seurataan, ja lopuksi määritellään suoritettavat ajot. Työkalu muodostaa testauksen päätteeksi testiajoista raportin, josta voidaan nähdä eri ajojen tulokset. Kuviossa 39 on ExperimentManager-työkalun asetusikkuna, josta useimmat määrittelyt voidaan tehdä.



Kuvio 39. ExperimentManager-työkalun asetusikkuna.

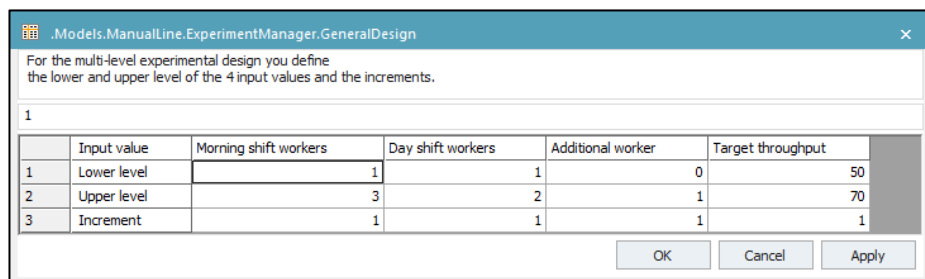
Tässä tutkimuksessa testauksen automatisointi haluttiin toteuttaa niin, että työntekijöiden määrää haluttiin varioida eri vuoroissa. Lisäksi haluttiin varioida linjalle syötettävien sarjojen määrää, ja ulostulona seurata valmistuneita sarjoja ja työntekijöiden kuormitusastetta. Tämä mahdollistaa kuormituksen tarkastelun simuloidulla ajanjaksolla.

Koska WorkerPool-objektin CreationTable-taulukon kenttiä ei ole mahdollista suoraan määrittellä ExperimentManager-työkalun Input-parametreiksi, on tehtävä samassa muodossa oleva aputaulukko ja asetettava aputaulukon kentät Input-parametreiksi kuvion 40 mukaan. Aputaulukko asetetaan ExperimentManager-työkalun configuration-metodilla WorkerPool-objektin CreationTable-taulukoksi jokaisen simulointiajon jälkeen, kun aputaulukon arvoja on muutettu testausohjelman mukaan.



Kuvio 40. Vuorokohtaisen työntekijäresurssin määrittely ExperimentManager-työkalua varten.

Varsinaiset testausajot voidaan määrittellä Multi-level Experimental Desing -työkalulla, johon eri Input-parametrien rajat ja niiden inkrementit voidaan määrittellä. Työkalu luo matriisin, jossa kaikki mahdolliset skenaariot käydään läpi kuvion 41 parametreilla. Kuvion 41 mukaisilla parametreilla tulee 252 erilaista simulointiajoa. Jos jokaisilla parametreilla ajetaan viisi ajoa satunnaismuuttujien takia, ajoja tulee yhteensä 1260. Ohjelmisto suoritti testiajot tehokannettavalla tietokoneella noin 40 sekunnissa. Ajoraporttia esitellään luvussa 9.5.

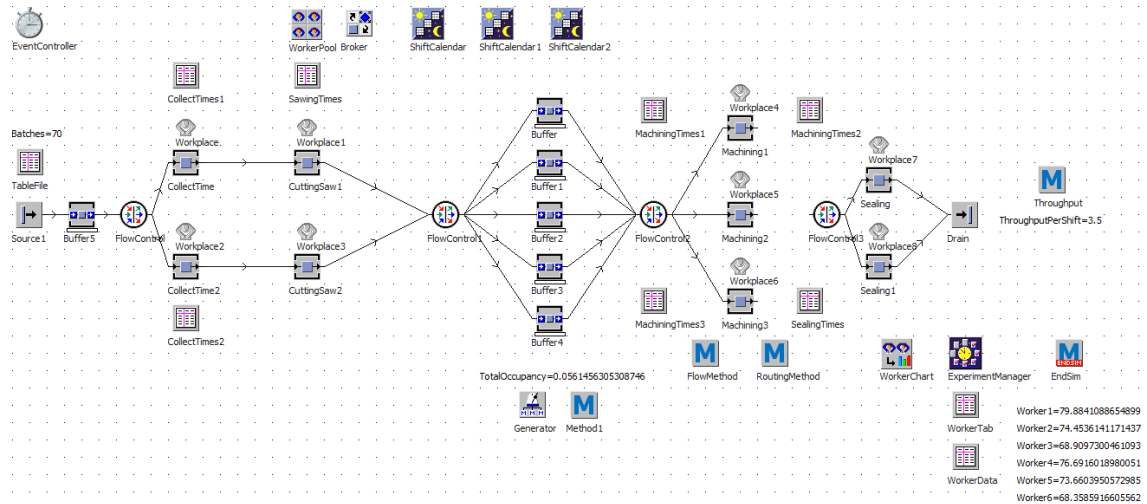


Kuvio 41. Testausajojen raja-arvojen määrittely.



## 9.5 Lopputulokset

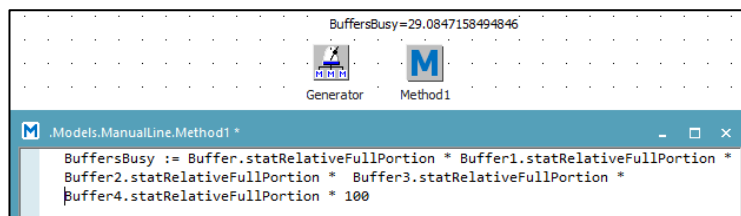
Lopputuloksena syntyi kuvion 42 mukainen simulointimalli, joka mahdollistaa tuotannon simuloimisen halutulla ajanjaksolla. Simulointimallissa keskityttiin enimmäkseen työntekijäresurssin simulointiin ja testauksen automatisointiin.



Kuvio 42. Valmis simulointimalli.

Valmiista simulointimallista voidaan kerätä erityyppistä tietoa simuloinnin aikana. Näistä tiedoista voidaan analysoida kokonaisuuden toimintaa ja pyrkiä optimoimaan sitä. Tiedonkeräysmenetelmiä esitellään seuraavissa kappaleissa.

Puskureiden kokonaistäyttöastetta haluttiin laskea simuloitun ajanjakson aikana. Laskenta toteutettiin Generator-työkalulla, joka kutsuu minuutin välein kuvion 43 laskentametodia. Puskureiden kokonaistäyttöaste kirjoitetaan BuffersBusy-muuttujaan.



Kuvio 43. Puskureiden kokonaiskäyttöaste.

Keskimäärin yhden vuoron aikana valmistuneiden sarjojen määrä haluttiin esittää myös numeerisena arvona mallissa. Laskenta toteutettiin kuvion 44 metodissa, jota kutsutaan aina, kun sarja-objekti saavuttaa simuloinnissa linjan loppupään Drain-objektin. Drain-objektin Controls-välilehdeltä määritellään kutsuttava metodi Entrance-kenttään.

```

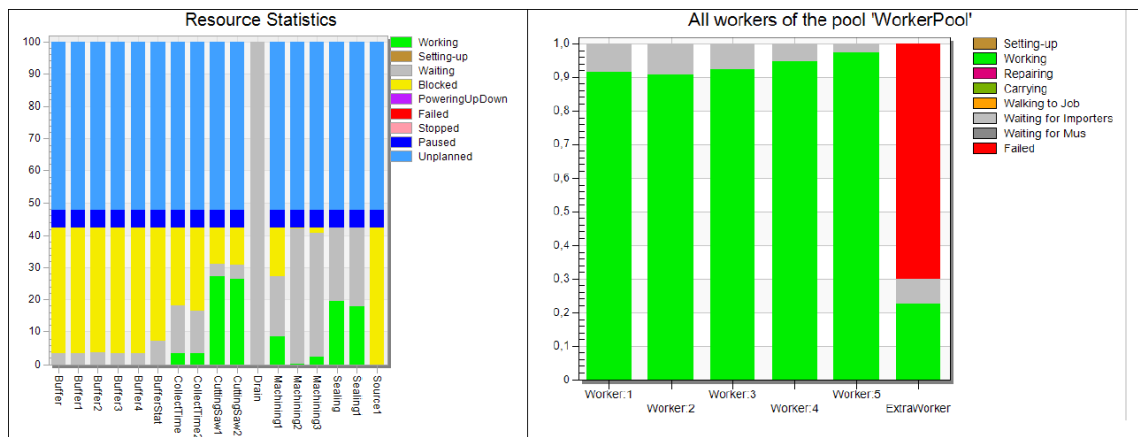
M .Models.ManualLine.Throughput
var TotalPeriod : string
var TotalPeriodInt : integer

TotalPeriod := time_to_str(EventController.End)
TotalPeriodInt := str_to_num(copy(TotalPeriod,0,3))
ThroughputPerShift := (Drain.statNumIn/(TotalPeriodInt/7*5))/2
  
```

Drain ThroughputPerShift=1.8

Kuvio 44. Vuorokohtainen sarjalaskuri.

Eri työntekijä- ja laiteresurssien tiloja haluttiin seurata simuloinnin aikana visuaalisesti. Statistiikan keruu toteutettiin Chart-työkalulla, joka näyttää siihen määriteltyjen resurssien tilat kuvion 45 mukaisesti.



Kuvio 45. Resurssien tilat.

Testauksen automatisointiin käytetyn ExperimentManager-työkalun tuottama raportti kertoo tavoitesarjamäärän, valmistuneiden sarjojen määrän, työntekijä- ja vuorokonfiguraation ja työntekijäkohtaisen kuormituksen. Kuvioon 46 on koottu raportista muutamia rivejä, jotka kuvaavat tilannetta asetetuilla parametreilla.

Overview											
Overview of all executed experiments, their parametrizations and the mean values of the target values.											
	Morning shift workers	Day shift workers	Additional worker	Target throughput	Throughput	Worker 1 activity	Worker 2 activity	Worker 3 activity	Worker 4 activity	Worker 5 activity	Worker 6 activity
Exp 001	1	1	0	50	25.2	100	100	0	0	0	0
Exp 002	1	1	0	51	25.2	100	100	0	0	0	0
Exp 003	1	1	0	52	25.2	100	100	0	0	0	0
Exp 062	1	2	0	69	41	100	95.4889519796961	94.9282066814347	0	0	0
Exp 063	1	2	0	70	41	100	95.4889519796961	94.9282066814347	0	0	0
Exp 064	1	2	1	50	50	87.8819564433017	78.3572099155513	76.3134572603802	78.4150366097662	0	0
Exp 065	1	2	1	51	51	88.3590735883111	80.9552571888346	78.0398049943744	79.5257426351673	0	0
Exp 250	3	2	1	68	68	71.3492463248874	70.9457814730454	67.9956667701442	72.6151098422929	71.6557033826312	62.8920412063592
Exp 251	3	2	1	69	69	73.5385197307001	71.0527706227127	67.5399489416858	74.0943390003036	72.7850019121461	65.1059318263221
Exp 252	3	2	1	70	70	74.7103250443747	72.9742431395245	67.9868714713184	75.4537600560957	72.5648628033108	67.2253678645591

Simulation effort: 252 experiments with 1260 simulation runs

Kuvio 46. Osia ExperimentManager-työkalun raportista.

Keräilyajan muutoksen merkitys kokonaisläpimenoaikoihin oli simulointimallin perusteella hyvin pieni, koska sen viemä aika on prosentuaalisesti hyvin pieni kokonaisuuden kannalta, toisaalta tuotannossa voi muodostua pullonkauloja muualla. Simuloidun kokonaisuuden ollessa tuotannon alkupäässä on tärkeää, että se ylittää tiettyyn kapasiteettiin, jotta lopputuotanto ei joudu odottamaan alkupään tuotantoa.

Tuotannon ollessa merkittävästi työntekijäresurssista riippuvainen sen tarkastelua korostettiin myös simuloinnissa. ExperimentManager-työkalulla saatiin seurattua työntekijäresurssin kuormittumista eri tavoiteläpimenoilla. Tämä mahdollistaa työntekijöiden resursoinnin työntekijöiden määrän ja vuorojen suhteen. Ylimääräinen resursointi näkyy kuvion 46 taulukossa siten, että tavoiteläpimeno on vastaa todellista läpimenoa, mutta työntekijöiden aktiivisuusaste alkaa laskea. Aliresursointi ilmenee taulukosta siten, että tietty tavoiteläpimeno jää suuremmaksi, kuin toteutunut läpimeno. Taulukkoa tulkitsemalla voitiin löytää sopivat työntekijäresurssit aamu- ja iltavuoroihin. Lisäksi voitiin määrittellä osittaisen lisäresurssin tarve.

Tuotannon simulointitapauksessa sovellettiin Plant Simulation -ohjelmiston simulointityökaluja melko laajasti. Keskeisiä työkaluja olivat työntekijänresursseihin liittyvät työkalut ja testauksen automatisoinnin mahdollista ExperimentManager-työkalu. Projektissa saavuttiin asetetut tavoitteet, mutta simuloinnin tarkkuuden taso olisi voinut olla parempi, jotta tulokset olisivat olleet luotettavimpia ja niitä olisi voitu hyödyntää enemmän. Banksin ym. (2005, 4) mukaan systeemin toiminnan ollessa liian monimutkaista tai määrittelemätöntä, simulointia ei tule käyttää. Tässä simulointitapauksessa itse tuotantoprosessi ei ollut liian monimutkainen, mutta materiaalivirran purkaminen tarpeeksi pieniin yksiköihin olisi todennäköisesti lisännyt simuloinnin luotettavuutta ja hyödyntämispotentiaalia. Tämän projektin puitteissa materiaalivirran avaamista yksityiskohtaisemmaksi ei kuitenkaan enää ehditty toteuttamaan rajallisen aikaresurssin vuoksi.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 10.1 Simuloinnin hyödyllisyys

Kuten Banks ym. (2005, 4) kuvaavat tilanteita, joihin tapahtumapohjainen simulointi soveltuu ja joihin ei, niin tämänkin työn puitteissa oli tarpeen arvioida simuloinnin soveltuvuutta ja sen tuottamaa hyötyä yrityksille. Oli kysymyksessä sitten toimitusketjun tai tuotannon tarkastelu simuloinnin avulla, simuloinnin soveltuvuus ja sillä saavutetut hyödyt ovat aina tapauskohtaisia. Simulointiprojektin alkuvaiheessa on tärkeää pystyä määrittelemään se tarkastelun taso, jolla simuloinnin tuloksia voidaan pitää luotettavina, tai vastaavasti projektiin on oltava tarpeeksi aikaa, että simulointimallia voidaan jalostaa tarpeeksi tarkaksi. Tätä tukee myös Banksin ym. (2005, 4) esittämä väite, että simulointiprojektia ei tule aloittaa, jos siihen ei ole sen tarvitsemia resursseja (aika, raha) tarpeeksi käytettävissä.

Simulointimallin rakentaminen edellyttää simulointiohjelmiston tuntemusta ja menetelmien hallintaa. Tässä tutkimuksessa Hydrollin simulointiprojekti oli tekijälle käytännössä ensimmäinen uudella ohjelmistolla. Vaikka tekijällä olikin aiempaa kokemusta simuloinnista, niin uuden ohjelmiston ominaisuuksien täysimääräisen hyödyntäminen vaatii pidempää kokemusta. Hydrollin simulointimalli oli toimiva kokonaisuus, mutta sen arkkitehtuuri olisi voitu rakentaa joustavammaksi toisenlaisella tavalla. Alavus Ikkunoiden simulointiprojektissa ei taas ollut enää niin paljon teknisiä haasteita, mutta materiaalivirran tarkastelun taso nousi esiin lopputuloksia arvioi-  
dessa. Simulointiosaaminen tarkoittaa siis ohjelmisto-osaamista ja usein jonkin ohjelmisto kohtaisen skriptikielen hallintaa, mutta sen lisäksi on hallittava kokonaisnäkemys, miten simulointimalli kannattaa rakentaa ja miten sen arkkitehtuuri rakentuu. Banks ym. (2005, 6) toteavatkin simuloinnista, että se on taidetta, joka opitaan ajan ja kokemuksen myötä.

Riippumatta simuloinnin tuloksista, simulointiprojektin läpivienti itsessään avaa yleensä tutkittavan kokonaisuuden toimintaa myös asiakasyritykselle. Simuloitava kokonaisuus käydään projektin aikana läpi hyvin yksityiskohtaisesti ja monella tasolla. Tämä työ itsessään voi herättää jo ajatuksia tarkasteltavan kohteen suorituskyvystä ja sen optimoinnista.

## 10.2 Simulointiprosessi

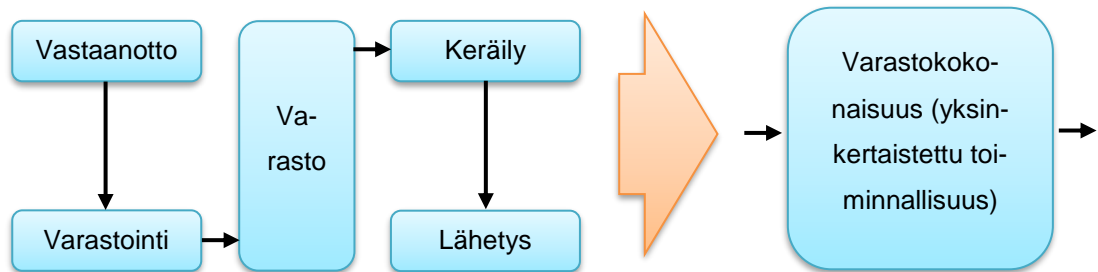
Verrattaessa simulointiprosessin näkökulmasta tuotannon simulointia toimitusketjutason simulointiin voidaan todeta niiden olevan tämän tutkimuksen kohdalla hyvin samanlaisia. Molemmissa tutkimustapauksissa simulointiprojekti aloitetaan luomalla yleinen kuvaus simuloitavassa kohteessa ja määritellään tavoitteet simuloinnille. Lisäksi määritellään mitä lähtötietoja tarvitaan ja mistä/keneltä niitä saa. Simulointimallia kehittävän henkilön on erityisen tärkeää ymmärtää simuloitavan kokonaisuuden toiminta yksityiskohtaisesti.

Molemmat tutkimuksen projektit jaksottuivat siten, että projektin aikana pidettiin 3–4 palaveria ja niiden välissä tehtiin simulointimallin kehitystyötä. On tärkeää pitää simulointiprojektin aikana välikatselmuksia, että asiakas voi osallistua mallin kehittämiseen, ja varmistetaan työn oikea suunta. Simulointimallin kehittämisen aikana voi tulla mieleen alkuperäisiin tavoitteisiin nähden uusia ajatuksia, joita kannattaa arvioida kriittisesti, ettei simulointityö laajene liikaa ja päädytä tilanteeseen, jossa ei saavuteta mitään tavoitteita.

Lähtötietojen saatavuus voi vaihdella johtuen siitä, kumman tyyppisestä simuloinnista on kyse. Toimitusketjutason simuloinnissa osa tiedoista voi olla saatavilla ainoastaan toimitusketjun jollakin muulla toimijalla kuin simuloinnin kohdeyrityksellä. Tässä tutkimuksessa toimitusketjun kaikkien toimijoiden tarkkoja tietoja ei ollut saatavilla, joten niiden osalta jouduttiin tekemään oletuksia. Lisäksi epävarmat tiedot parametrisoitiin simulaatioon niin, että niiden muutosten vaikutusta lopputulokseen on helppo testata.

Mallinnuksen tarkkuuden tasoa määriteltäessä, on simuloinnissa usein syytä yksinkertaistaa materiaalivirtoja tai muun toiminnon toimintalogiikkaa. Oleellista on kuitenkin säilyttää se tarkkuuden taso, millä tulokset ovat luotettavia ja kuvaavat simuloitavan kokonaisuuden toimintaa tarpeeksi tarkalla tasolla. Simuloitavasta kohteesta voidaan rajata jokin looginen osa, esim. varasto, ja mallintaa se simulaatioon kuvion 47 mukaan siten, että kokonaisuudella on vain sisään- ja ulostulot ja yksinkertaistettu toiminnallisuus. Esimerkiksi varaston sisäisiä logistisia tai muita tarkempia toimintoja ei mallinneta, koska yksinkertaistettu toiminnallisuus antaa riittävän

tarkan tuloksen simulaation kannalta. Erityisesti toimitusketjujen simuloinnissa simuloitava kokonaisuus voi olla niin laaja kaikkine toimijoineen ja toimintoineen, että osaa niistä pitää simuloinnissa yksinkertaistaa.



Kuvio 47. Toimitusketjun toiminnon yksinkertaistaminen.

Tuotannon simuloinnissa simuloitava kokonaisuus on usein rajatumpi ja siihen liittyvät tiedot ovat paremmin saatavilla. Tästä syystä eri toimintojen yksinkertaistaminen simuloinnissa ei ole niin usein tarpeen. Materiaalivirran monimuotoisuus, kuten useat tuotevariantit, eri tuotteet, eri eräkoot jne., lisää simulointimallin monimutkaisuutta ja edelleen simulointityön määrää molemmissa tapauksissa. Tästä syystä myös materiaalivirran yksinkertaistaminen on usein tarpeen simulointia rakennettaessa. Materiaalivirtaa voidaan yksinkertaistaa rajaamalla pois harvemmin valmistettavia tai toimitettavia tuotteita, joilla ei juuri ole merkitystä kokonaisuuden kannalta. Lisäksi voidaan ottaa mukaan vain tuotannon yleisimmät tuotteet tai pyrkiä löytämään geneeriset parametrit muutamille tuotteille, jotka kattavat mahdollisimman suuren osa oikeasta tuotannosta.

### 10.3 Simulointitekniset erityispiirteet

Toimitusketjun ja tuotannon simuloinnin rakentamiseen liittyviä erityispiirteitä voidaan arvioida tehtyjen simulointitapausten perusteella. Plant Simulation -ohjelmiston ollessa ensisijaisesti tuotannon simulointiohjelmisto, ovat sen sisältämät työkalut soveltuvampia tuotannollisten ympäristöjen simulointia varten. Toimitusketjujen simulointia varten jouduttiin laajentamaan valmiiden työkalujen toiminnallisuutta SimTalk-ohjelmistokielellä merkittävästi tuotannon simulointia enemmän. Suurelta osin tähän vaikutti toimitusketjun ohjaustapa, joka on toteutettu imuohjauksena. Tilauksiin perustuva imuohjaus oli haastavampi toteuttaa kuin työntöohjattu tuotannon simulointi.

Plant Simulation -ohjelmistossa on joitakin valmiita työkaluja imuohjauksen toteuttamiseen, mutta ne soveltuvat pääsääntöisesti kappaletavaroihin perustuvien materiaalivirtojen simulointiin. Toimitusketjun simulointitapauksessa materiaalivirran määrää käsiteltiin metreinä, jolloin em. työkalut eivät soveltuneet sen simulointiin. Metreinä käsiteltävä materiaalivirta voidaan jakaa kappaletavaraobjekteiksi siten, että yksi objekti vastaa jotakin tiettyä metrimäärää. Tässä tapauksessa toimitusketjun materiaalivirta jaettiin siten, että yksi objekti simuloinnissa vastasi yhtä toimituserää ja sen attribuutteihin kirjoitettiin toimituserän tiedot.

Toimitusketjuihin liittyvät yleensä tilausvirrat eri portailta toisille materiaalivirtojen lisäksi. Tämä kannattaa ottaa huomioon suunniteltaessa simuloinnin rakentamista ja arkkitehtuuria. Tämän tutkimuksen toimitusketjun simuloinnissa tilaukset hoidettiin pelkästään erilaisilla metodeilla, mutta parempi tapa voisi olla lähettää simulaatiossa tilaus samanlaisella objektilla kuin varsinainen toimitus. Tämä tekisi simulaatiosta helpommin luettavan ja samalla sen ohjauksen rakentaminen tulisi helpommaksi. Tätä ratkaisua kokeiltiin varsinaisen simulaation rakentamisen jälkeen yksinkertaisen esimerkin avulla ja se osoittautui hyväksi tavaksi toteuttaa tilaus-toimitustoiminto.

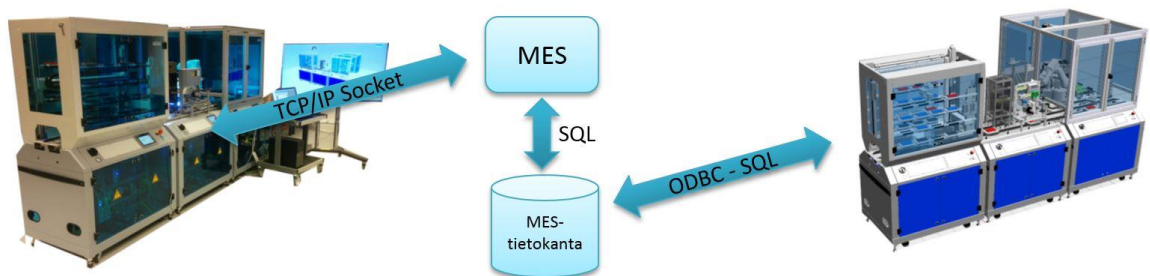
Lopulta ei ole suurta merkitystä tapahtumapohjaisen simuloinnin rakentamisen näkökulmasta, onko kyseessä jokin tuotanto vai laajempi kokonaisuus, kuten toimitusketju. Simulointien rakentaminen on aina tapauskohtaista, jokaisessa tapauksessa on omat erityispiirteensä.



## 10.4 Jatkokehitys

Simulointimalleihin tulee usein syöttää paljon erilaista dataa liittyen simuloitavaan prosessiin. Datan syöttäminen voi olla työlästä, varsinkin jos sitä on paljon ja se muuttuu koko ajan. Toimitusketjuihin liittyvä tieto (tilaukset, toimituseräkoot, toimitukset jne.) muuttuu koko ajan, jolloin simulointimallia tulisi päivittää koko ajan. Jatkokehityksenä simulointimalliin kokeiltiin rakentaa dataintegraatio tuotantojärjestelmän MES-ohjelmiston tietokantaan, josta tietoa voi hakea simulointimalliin automaattisesti ennen simulointiajon käynnistämistä.

Demoalustana käytettiin Seinäjoen Ammattikorkeakoululla olevaa Teollisen internetin laboratoriota ja siitä Plant Simulation -ohjelmistolla rakennettua simulointimallia. Kuviossa 48 esitetään testausjärjestelyn kuvaus, jossa MES-ohjelmiston tietokannasta haetaan varaston sisältöön liittyvä tieto, ja simulointimallissa varasto päivittyy automaattisesti haetun tiedon perusteella.



Kuvio 48. Tiedonhaun testausjärjestely.

Plant Simulation -ohjelmistossa tietokantayhteys luotiin ODBC-rajapintatyökalun avulla, jolla on mahdollista lukea MES-tietokannan tauluista tietoa ja tallentaa se Plant Simulation -ohjelmiston omiin taulukoihin talteen. Kun yhteys on muodostettu, voidaan tietoa hakea SQL-kyselyillä kuvion 49 mukaisesti. Kuvion 49 SQL-kyselyillä haettiin tuotantojärjestelmän varastojen sisältöihin liittyvät tiedot, kuten tuotenumero, tuotteen nimi ja varastopaikka.

```

.Models.Labra.ReadMESDB
ODBC.login("Mes4DB","","")
ODBC.sql(StorageCont, "SELECT tblBufferPos.BufPos, tblBufferPos.PNo, tblParts.Description FROM tblParts INNER JOIN tblBufferPos
ON tblParts.PNo = tblBufferPos.PNo WHERE (((tblBufferPos.ResourceId)=61)) ORDER BY tblBufferPos.BufPos;")
ODBC.sql(PCBBoxCont, "SELECT tblBoxPos.BoxPos, tblBoxPos.PNo, tblParts.Description FROM tblParts
INNER JOIN tblBoxPos ON tblParts.PNo = tblBoxPos.PNo ORDER BY tblBoxPos.BoxPos;")
ODBC.logout

```

Kuvio 49. SQL-tietokantakysely

Kun data on haettu tietokannasta, se voidaan tallentaa Plant Simulation -ohjelmiston omiin taulukkoihin kuvion 50 mukaisesti ja sitä voidaan taulukoissa myös jäsenellä ja editoida tarpeen vaatiessa. Kuviossa 50 on esitetty kahden eri varastopaikan sisältöihin liittyvät tiedot aina kolmessa eri sarakkeessa.

integer 1	integer 2	string 3
BufPos	PNo	Description
1	310	Front Cover Blue
2	210	Front Cover Black
3	410	Front Cover Grey
4	210	Front Cover Black
5	410	Front Cover Grey
6	310	Front Cover Blue
7	410	Front Cover Grey
8	510	Front Cover Red
9	310	Front Cover Blue
10	310	Front Cover Blue
11	310	Front Cover Blue

integer 1	integer 2	string 3
BoxPos	PNo	Description
1	120	PCB Green
2	122	PCB Red
3	120	PCB Green
4	121	PCB Blue
5	120	PCB Green
6	122	PCB Red
7	122	PCB Red
8	121	PCB Blue
9	121	PCB Blue
10	121	PCB Blue
11	122	PCB Red

Kuvio 50. Tietokannasta haetut tiedot Plant Simulation -ohjelmiston taulukoissa.

Kun data on saatu haettua Plant Simulation -ohjelmistoon, sen perusteella pystyttiin päivittämään simulointimallin varastojen sisällöt vastaamaan oikean järjestelmän varastojen sisältöjä.

Tämän perusteella voidaan todeta, että datankeruu esimerkiksi toiminnanohjausjärjestelmästä suoraan simulointimalliin on mahdollista, ja se on mahdollista rakentaa automaattiseksi. Tämä mahdollistaa sen, että simulointimallia voidaan ajaa samoilla tiedoilla, mitä oikeassa prosessissakin on. Tällöin simuloinnin tuloksista on eniten hyötyä. Plant Simulation -ohjelmistossa on useita eri rajapintatyökaluja erilaisiin tietojärjestelmiin liittymiseksi.

## 11 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tapahtumapohjaisen simulointiohjelmiston soveltuvuutta toimitusketjujen simulointiin ja pyrittiin tuomaan esiin sen erityispiirteitä perinteisempään tuotannon simulointiin nähden. Tutkimus toteutettiin viemällä läpi kaksi eri tyyppistä simulointiprojektia eri yrityksille. Näiden perusteella voitiin arvioida asetettuja tavoitteita. Tuotannon simulointi toteutettiin Alavus Ikkunat Oy:lle ja toimitusketjun simulointi Hydroll Oy:lle.

Tuotannon simuloinnissa keskeisessä osassa oli työntekijäresurssin mallintaminen siihen soveltuvilla työkaluilla. Simulointiin lisättiin testauksen automatisoinnin mahdollistava toiminto, jolla voitiin tarkastella mm. työntekijäresurssin kuormitusta eri tuotantomäärillä. Testauksen automatisointi mahdollisti useiden satojen simulointiajajojen suorittamisen eri parametreilla hyvin lyhyessä ajassa. Toimitusketjun simuloinnissa pyrittiin mallintamaan toimitusketjun ohjaus imuohjauksena ja parametrisoimaan simuloinnissa tärkeimpiä toimintoja. Simulointiin luotiin tilausgeneraattori, jolla voidaan generoida tilausjonoa toimitusketjuun. Myös hävikin generointia varten tehtiin omat työkalut. Toimitusketjun tilanseurainta varten tehtiin kuvaaja, joka näyttää eri toimijoiden tiloja ajan suhteen.

Toimitusketjut ja tuotannot käsittävät usein hyvin saman tyyppisiä toimintoja, mutta ne ovat eri mittakaavassa. Niihin sisältyy varastointia, kuljetuksia, tilauksia, työvaiheita jne. Tuotanto voi olla yksi osa toimitusketjua, mutta se on myös eräänlainen toimitusketju pienoiskoossa. Kun tuotantoa simuloidaan, tarkastelun taso on huomattavasti yksityiskohtaisempi kuin kokonainen toimitusketju kaikkine toimijoineen. Tästä syystä toimitusketjua simuloitaessa ei voida tarkastella koko ketjun toimintoja samalla tarkkuudella kuin yksittäisen tuotannon simuloinnissa. Liian tarkka mallinnus lisää simulointityötä liiaksi, ja tuloksia ei välttämättä saada. Tapahtumapohjainen simulointi soveltuu hyvin myös toimitusketjujen simulointiin, lopulta siinä ei simuloinnin näkökulmasta ole huomattavia eroja. Simuloinnit ovat muutenkin aina tapauskohtaisia ja yksittäisen projektin piirteet määrittävät sen mukaan.

## LÄHTEET

- Alavus Ikkunat Oy. 2017. Alavus ikkunat ja ovet. [Verkkosivu]. Alavus Ikkunat Osa-  
keyhtiö. [Viitattu 5.3.2017]. Saatavana: <http://www.alavusikkunat.fi/fi/>
- Altiok, T. & Melamed, B. 2007. Simulation Modeling and Analysis with Arena.  
[Verkkokirja]. Burlington: Academic Press. [Viitattu 11.12.2016]. Saatavana:  
ProQuest ebrary -e-kirjakokoelmasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Banks, J., Carson II, J., Nelson, B. & Nicol, D. 2005. Discrete-Event System Simu-  
lation. 4. uud. p. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Brailsford, S., Churilov, L. & Dangerfield, B. 2014. Discrete-Event Simulation and  
System Dynamics for Management Decision Making. [Verkkokirja]. Chichester:  
John Wiley & Sons. [Viitattu 26.12.2016]. Saatavana: ProQuest ebrary -e-kirja-  
kokoelmasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Campuzano, F. & Mula, J. 2011. Supply Chain Simulation: A System Dynamics  
Approach for Improving Performance. Lontoo: Springer.
- Carranza Torres, O. & Villegas Morán, F. 2006. The Bullwhip Effect in Supply  
Chains. Houndmills: Palgrave Macmillan.
- Chang, Y. & Makatsoris, H. 2001. Supply Chain Modelling Using Simulation.  
[Verkkojulkaisu]. Cambridge: Institute for Manufacturing, University of Cam-  
bridge. [Viitattu 5.2.2017]. Saatavana: <http://ijssst.info/Vol-02/No-1/Chang.pdf>
- Choi, B. & Kang, D. 2013. Modeling and Simulation of Discrete Event Systems.  
[Verkkokirja]. Hoboken: John Wiley & Sons. [Viitattu 26.11.2016]. Saatavana:  
ProQuest ebrary -e-kirjakokoelmasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Chopra, S. & Meindl, P. 2016. Supply Chain Management: Strategy, Planning and  
Operation. 6. uud. p. Harlow: Pearson Education.
- Harrison, A., Hoek, R. & Skipworth, H. 2014. Logistics Management and Strategy:  
Competing through the supply chain. 5. uud. p. Harlow: Pearson Education.
- Hydroll. 2012. Hydroll The Piston Accumulator Company. [Verkkosivu]. Hydroll  
Osakeyhtiö. [Viitattu 5.3.2017]. Saatavana: <http://www.hydroll.fi/fi/>
- Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammatti-  
korkeakoulu.

- Laine, M., Bamberg, J. & Jokinen, P. 2007. Tapaustutkimuksen taito. [Verkkokirja]. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press. [Viitattu 15.2.2017]. Saatavana: Ellibs-e-kirjakokoelmasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Ross, D. 2011. Introduction to Supply Chain Management Technologies. 2. uud. p. Boca Raton: CRC Press.
- Rushton, A., Croucher, P. & Baker, P. 2010. The Handbook of Logistics and Distribution Management. 4. uud. p. Lontoo: Kogan Page Limited.
- Saarinen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2009. Menetelmäopetuksen tietovaranto KvaliMOTV. [Verkkokirja]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, Tampereen Yliopisto. [Viitattu 14.2.2017]. Saatavana: [http://www.fsd.uta.fi/fi/julkaisut/motv\\_pdf/KvaliMOTV.pdf](http://www.fsd.uta.fi/fi/julkaisut/motv_pdf/KvaliMOTV.pdf)
- Siebers, P., Macal, C., Garnett, J., Buxton, D. & Pidd, M. 2010. Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!. [Verkkojulkaisu]. Palgrave Macmillan UK. [Viitattu 5.2.2017]. Saatavana: <http://link.springer.com/article/10.1057/jos.2010.14>
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E. 2000. Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies. Boston: Irwin McGraw-Hill Companies.
- Swain, J. 2015. Simulation Software Survey. [Verkkojulkaisu]. Catonsville: INFORMS OR/MS Today. [Viitattu 26.12.2016]. Saatavana: <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation.html>
- Tecnomatix Plant Simulation. 2014. Tecnomatix Plant Simulation. [WWW-dokumentti]. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. [Viitattu 28.12.2016]. Saatavana: [https://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml#lightview%26url=/en\\_us/Images/7541\\_tcm1023-4957.pdf%26title=Tecnomatix Plant Simulation%26description=Simulate, visualize, analyze and optimize production systems and logistics processes%26docType=pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml#lightview%26url=/en_us/Images/7541_tcm1023-4957.pdf%26title=Tecnomatix%20Plant%20Simulation%26description=Simulate,%20visualize,%20analyze%20and%20optimize%20production%20systems%20and%20logistics%20processes%26docType=pdf)
- Thierry, C., Thomas, A. & Bel, G. 2008. Simulation for Supply Chain Management. Lontoo: ISTE, Hoboken: Wiley.
- Wang, Q. & Ingham, N. 2008. A Discrete Event Approach for Supply Chain Simulation. [Verkkojulkaisu]. Durham: School of Engineering, Durham University. [Viitattu 5.2.2017]. Saatavana: [http://ijsimm.com/Full\\_Papers/Fulltext2008/text7-3\\_124-134.pdf](http://ijsimm.com/Full_Papers/Fulltext2008/text7-3_124-134.pdf)
- Waters, D. 2009. Supply Chain Management: An Introduction to Logistics. 2. uud. p. Houndmills: Palgrave Macmillan.