

Antti Lehtola

Automatisoidun syväkanavajärjestelmän simulointi Plant Simulationilla ja sekakanavien käyttöönotto

Opinnäytetyö

Syksy 2019

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Antti Lehtola

Työn nimi: Automatisoidun syväkanavajärjestelmän simulointi Plant Simulationilla ja sekakanavien käyttöönotto

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2019

Sivumäärä: 60

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Pesmel Oy. Pesmel on kansainvälinen yritys, jonka tuotteita ovat automatisoidut käsittely-, pakkaus- ja varastointijärjestelmät paperi-, metalli- ja rengasteollisuudelle.

Tällä opinnäytetyöllä oli kaksi tavoitetta. Ensimmäinen tavoite oli selvittää, miten automatisoitu syväkanavajärjestelmä simuloidaan Plant Simulationin ja sen käyttämän varastokirjaston avulla. Toinen tavoite oli selvittää, miten sekakanavat muodostetaan ja otetaan käyttöön syväkanavajärjestelmän simulaatiomallissa.

Teoriakappaleissa tutkittiin automatisoitujen varastointi- ja hakujärjestelmien sekä materiaalivirran ja logistiikan simuloinnin perusteita aihealueiden kirjallisuudesta. Käytännön työstä ei ollut saatavilla teoreettista kirjallisuutta, joten tutkimuskappaleessa tehtiin empiirinen tutkimus automatisoidun syväkanavajärjestelmän simuloinnista Plant Simulationin ja sen käyttämän varastokirjaston avulla sekä sekakanavien käyttöönotosta simulaatiomallissa.

Työn tavoitteet saavutettiin. Tulokset-kappaleessa esitetään työn tulokset tavoitteiden mukaisesti. Opinnäytetyö päätetään työn yhteenvedolla, työn tekijän pohdinnalla työstä sekä jatkotyön tarpeen miettimisellä.

Avainsanat: automaatio, sekakanava, simulointi, syväkanavajärjestelmä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical Automation

Author: Antti Lehtola

Title of thesis: Simulation of an Automated Deep-Channel System with Plant Simulation and the Implementation of Mixed Channels

Supervisor: Jarkko Pakkanen

Year: 2019

Number of pages: 60

The commissioner of this thesis was Pesimal Oy. Pesimal is an international company, whose products are automated processing systems, packing systems and storage systems for paper, metal and tire industries.

This thesis had two goals. The first goal was to find out how an automated deep-channel system is simulated with Plant Simulation and its warehouse library. The second goal was to find out how mixed channels are created and implemented in the deep-channel system's simulation model.

In the theory chapters the basics of automated storage and retrieval systems and the basics of material flow and logistics simulation were studied from literature on the subjects. There was no theoretical literature available on the practical work. Therefore, in the research chapter an empirical research was conducted on the simulation of an automated deep-channel system with Plant Simulation and its warehouse library. An empirical research was also conducted on the implementation of mixed channels in the simulation model.

The goals of this thesis were achieved. In the results chapter the results are presented according to the goals of this thesis. The thesis is concluded with a summary of the work and with the author's reflection on the work. Finally, the need for future work is thought about.

Keywords: automation, deep-channel system, mixed channel, simulation

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	10
1.1 Työn tausta.....	10
1.2 Työn tavoitteet.....	11
1.3 Työn rakenne.....	11
1.4 Pesimal Oy.....	12
2 AUTOMATISOIDUT VARASTOINTI- JA HAKUJÄRJESTELMÄT .	13
2.1 Perusteet.....	13
2.1.1 Yleiskuvaus.....	13
2.1.2 Tyypit.....	14
2.1.3 Rakenne ja toiminta.....	14
2.1.4 Hyödyt ja haitat.....	15
2.2 Yksikkökuormajärjestelmät.....	16
2.2.1 Rakenne ja toimintakuvaus.....	16
2.2.2 Korkeavarastot.....	17
2.2.3 Syväkanavajärjestelmät ja sekakanavat.....	18
3 MATERIAALIVIRRRAN JA LOGISTIIKAN SIMULOINTI.....	21
3.1 Yleistä.....	21
3.2 Määritelmät.....	22
3.3 Aikapohjainen simulointi ja tapahtumapohjainen simulointi.....	23
3.4 Käyttökohteet.....	24
3.5 Simuloinnin vaiheet.....	24
3.5.1 Ongelmien kaaviointi.....	25
3.5.2 Simulaatiokelpoisuuden toteaminen.....	25
3.5.3 Tavoitteiden kaaviointi.....	25
3.5.4 Datankeruu.....	26

3.5.5	Mallintaminen.....	27
3.5.6	Simulaatioajojen toteuttaminen	28
3.5.7	Tulosten analysointi ja tulkinta	28
3.5.8	Dokumentointi	29
3.6	Tecnomatix® Plant Simulation	29
3.6.1	SimTalk.....	30
3.6.2	The Warehousing & Logistics Library	31
4	TUTKIMUS.....	32
4.1	Automatisoidun syväkanavajärjestelmän simulointi	32
4.1.1	Perustietojen hankinta	32
4.1.2	Pää- ja varastosivujen luominen	34
4.1.3	Objektien luominen	35
4.1.4	Layoutin rakentaminen.....	39
4.1.5	Toiminnallisuuden ohjelmointi.....	41
4.1.6	Tuotetietojen lisääminen	44
4.1.7	Alkuvarastotuotteiden ja tilausdatan lisääminen	46
4.1.8	Asetusten määrittäminen ja eheystarkistus	47
4.1.9	Syväkanavajärjestelmän kokeet.....	48
4.2	Sekakanavien muodostaminen ja käyttöönotto	49
4.2.1	Method-objektien hyödyntäminen tilausdatan jäsentelyssä	49
4.2.2	Sekakanaviin varastoitavien tuotteiden merkitseminen method- objektin avulla	50
4.2.3	Koodin tekeminen sekakanavien muodostamista ja käyttöä varten	50
5	TULOKSET	52
5.1	Automatisoidun syväkanavajärjestelmän simulointi	52
5.2	Sekakanavien muodostaminen ja käyttöönotto	55
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	56
6.1	Yhteenveto.....	56
6.2	Pohdinta.....	56
6.3	Jatkotyö.....	57
	Lähteet	59

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Havainnekuva simuloitavasta järjestelmästä	10
Kuva 2. Havainnekuva AS/RS-järjestelmästä	14
Kuva 3. TransRoll-vaunu	17
Kuva 4. Varastohyllykköjen tukema korkeavarastorakennus	18
Kuva 5. Syväkanavajärjestelmän hissi.....	19
Kuva 6. Esimerkkikuva Plant Simulationin ominaisuuksista.....	30
Kuva 7. Warehouse Manager -valikko	34
Kuva 8. Valmis Class Library -lista.....	36
Kuva 9. Warehouse-valikko	39
Kuva 10. Sisääntulo	40
Kuva 11. Ulosmeno.....	41
Kuva 12. SimTalk 2.0 -hallintarakenteet	41
Kuva 13. Osa Master data -taulukon sisällöstä	45
Kuva 14. Osa sekakanaviin varastoitavien tuotteiden merkitsemiskoodista	50
Kuva 15. Osa sekakanavakäytön koodista	51
Kuva 16. Valmis simulaatiomalli käynnissä.....	52
Kuva 17. Täyttöaste-, sisääntulo- ja ulosmenotaulukon sisältöä.....	53
Kuva 18. Käyttöastetaulukon sisältöä	54
Kuvio 1. Pesmelin logo	12

Kuvio 2. Tavallinen syväkanava ja sekakanava	20
Kuvio 3. Simulointiprosessi	22
Kuvio 4. Esimerkki Excel-ohjelmalla tehdystä kuvaajasta	54
Taulukko 1. Datankeruu	27
Taulukko 2. Esimerkki varastopaikan Z.X.Y-koordinaatistosta	42

Käytetyt termit ja lyhenteet

AS/RS	Automated Storage and Retrieval System eli automatisoitu varastointi- ja hakujärjestelmä.
Bufferi	Bufferi on Plant Simulationin sisältämä puskuriobjekti, johon voidaan väliaikaisesti sijoittaa määritelty määrä tuotteita odottamaan esimerkiksi kuljettimen vapautumista.
Crane pick	Plant Simulationissa käytettävän varastokirjaston objekti, jota käytetään sisääntulopuolella. Sisään tulevat kuljettimet siirtävät tuotteet tälle objektille. Sortteri voi sen jälkeen käydä hakemassa tuotteet tältä objektilta.
Crane put	Plant Simulationissa käytettävän varastokirjaston objekti, jota käytetään ulosmenopuolella. Sortteri siirtää varastosta ulospäin meneviä tuotteita tälle objektille, jonka jälkeen ne siirtyvät kuljettimille.
Haarukka	Hissien ja sorterien osa, joka ottaa tuotteet varastosta kyytiin tai siirtää tuotteet varastopaikoille.
Hissi	Hissillä tarkoitetaan tässä työssä laitetta, joka kuljettaa tuotteita sekä vaaka- että pystysuunnassa. Hissit siirtävät tuotteet varastopaikkoihin tai pois niistä.
Kanava	Kanavalla tarkoitetaan varastopaikkojen ja läpivientipaikkojen sisäistä metallikiskoa, jolle tuotteet varastoidaan tai siirretään. Kisko on koko varasto- tai läpivientipaikan pituinen.
Käytävä	Käytävillä tarkoitetaan hissien ja sorterien käytäviä. Laitteet kulkevat määriteltyjä käytäviä pitkin eivätkä voi poistua niiltä.
Layout	Järjestelmän pohjapiirustus. Se sisältää kaikki järjestelmän komponentit, kuten varastopaikat, hissit ja kuljettimet.

Location data	Location data on Plant Simulationissa käytettävän varastokirjaston taulukko, joka sisältää varastopaikkojen tiedot, kuten koordinaatit, kapasiteetit ja varastopaikkojen luomiseen käytettyjen objektien nimet.
Master data	Master data on Plant Simulationissa käytettävän varastokirjaston taulukko, joka sisältää kaikki tuotetiedot, kuten nimet, koot ja tuotteiden varastointialueet.
Method	Method on Plant Simulationin objekti, joka sisältää SimTalk-ohjelmointikielellä tehtyä koodia. Methodien avulla simulaatiomalleihin ohjelmoidaan toiminnallisuus.
Sortteri	Sortteri on tuotteiden jakeluvaunu varastoalueen ja tehtaan muiden alueiden välillä. Sortteri kuljettaa tuotteita vain vaaka-suunnassa.
Tilausdata	Tuotteiden sisään- ja ulossyöttömäärät. Historiallinen tilausdata tarkoittaa aiemman järjestelmän tai simulaation toimintaan perustuvaa dataa. Tilausdata voidaan myös luoda itse.
Varastokirjasto	Lyhenne Plant Simulationissa käytettävän The Warehousing & Logistics Libraryn nimestä. Käytetään tekstin selkeyttämiseksi.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Pesimal Oy. Pesimal tekee muun muassa automatisoituja varastointi- ja hakujärjestelmiä. Yksi järjestelmien tyypeistä on syväkanavajärjestelmä. Syväkanavajärjestelmissä saattaa olla tarve muodostaa sekakanavia, joihin varastoidaan keskenään erilaisia, määrällisesti vähän esiintyviä tuotteita. Tämä mahdollinen tarve tulee ottaa suunnitteluvaiheessa huomioon.

Pesimalin toimintaan kuuluu simulaatiomallien tekeminen projekteista käyttäen Plant Simulationia. Simulaatiomalleja hyödynnetään projektien suunnittelussa ja optimoinnissa. Pesimal tarvitsi tutkimusta siitä, miten automatisoitu syväkanavajärjestelmä simuloidaan Plant Simulationin ja sen käyttämän varastokirjaston avulla, sekä miten sekakanavat muodostetaan ja otetaan käyttöön syväkanavajärjestelmän simulaatiomallissa.



Kuva 1. Havainnekuva simuloitavasta järjestelmästä (Pesimal Oy 2018a, 12).

Kuvassa 1 on 3D-malli tutkimuksen pohjana käytetystä järjestelmästä. Kuva on ulossyötön puolelta. Järjestelmä on todellinen, aktiivinen projekti, josta oli saatavilla runsaasti tietoa simulointia varten.

1.2 Työn tavoitteet

Tällä opinnäytetyöllä oli kaksi tavoitetta. Ensimmäinen tavoite oli selvittää, miten automatisoitu syväkanavajärjestelmä simuloidaan Plant Simulationin ja sen käyttämän varastokirjaston avulla. Toinen tavoite oli selvittää, miten sekakanavat muodostetaan ja otetaan käyttöön syväkanavajärjestelmän simulaatiomallissa.

1.3 Työn rakenne

Luku 1 on jaettu neljään osioon. Osiossa 1 kerrotaan työn taustasta, osiossa 2 työn tavoitteista, osiossa 3 työn rakenteesta ja osiossa 4 esitellään työn toimeksiantaja Pesimal Oy.

Luku 2 on jaettu kahteen osioon. Osiossa 1 esitellään perusteet automatisoiduista varastointi- ja hakujärjestelmistä. Osiossa 2 syvennytään tarkemmin yksikkökuor-
majärjestelmiin, korkeavarastoihin ja tämän työn kannalta oleelliseen varastointijärjestelmätyyppiin syväkanavajärjestelmään ja sen sisäisiin sekakanaviin.

Luku 3 on jaettu kuuteen osioon. Osioissa 1–5 käydään läpi materiaalivirran ja logistiikan simuloinnin perusteet. Osiossa 6 esitellään työssä käytetty ohjelmisto Tecnomatix® Plant Simulation ja sen käyttämä varastokirjasto.

Luku 4 on jaettu kahteen osioon. Osiossa 1 käydään yksityiskohtaisesti läpi automatisoidun syväkanavajärjestelmän simuloinnin kaikki vaiheet. Osiossa 2 käydään läpi sekakanavien muodostaminen ja käyttöönotto.

Luku 5 on jaettu kahteen osioon. Osiossa 1 kerrotaan saadut tulokset automatisoidun syväkanavajärjestelmän simuloinnista. Osiossa 2 kerrotaan saadut tulokset sekakanavien muodostamisesta ja käyttöönotosta.

Luku 6 on jaettu kolmeen osioon. Osiossa 1 tehdään yhteenveto tehdystä työstä. Osiossa 2 on työn tekijän pohdintaa työstä ja sen tekemisestä. Osiossa 3 mietitään jatkotyön tarvetta työn tekemisen aikana nousseiden ajatusten mukaisesti.

1.4 Pesmel Oy

Pesmel Oy on kansainvälinen, vuonna 1978 perustettu materiaalinkäsittelyn asiantuntija, jolla on toimintaa globaalisti. Yrityksen automatisoidut käsittely-, pakkaus- ja varastointijärjestelmät parantavat tehtaiden sisäistä logistiikkaa ja ylläpitävät tuotteiden laatua. Pesmelillä on kolme pääasiallista asiakasryhmää, metalli-, paperi- ja rengasteollisuus. Neljän vuosikymmenen aikana Pesmel on toimittanut yli 400 käsittely- ja pakkausprojektia sekä noin 120 varastointijärjestelmää. (Pesmel Oy 2018b.)

2010-luvun alkupuolella Pesmelin toiminta keskittyi pääosin Aasiaan. Vuonna 2014 75 % liikevaihdosta tuli Intiasta ja Kiinasta. Pesmel on siirtynyt digitalisaation ja ICT-osaamisen ansiosta koneiden ja pienien tuotantolinjojen tekemisestä kattavien järjestelmien toimittamiseen. Tässä on onnistuttu, sillä kaikki resurssit ja osaaminen löytyvät yrityksen sisältä. Vuonna 2017 yrityksen liikevaihto ylitti 50 miljoonaa euroa. (Pesmel Oy 2018a, 10.)

Pesmelin Material Flow How -konseptiin kuuluu simulaatiomallien tekeminen suunniteltavista järjestelmistä. Simulaatiotutkimusten tekeminen on oleellinen osa käytännön järjestelmän arvioimista ja layout-konseptin suunnittelua projektin alkuvaiheissa. Todellinen tilanne simuloidaan todellisten tuotemittojen, kapasiteettien, laitemäärien ja laitteiden sijaintien mukaisesti, että saadaan mahdolliset pullonkaulat selville järjestelmän kokonaiskapasiteetin analysointia varten. Tämän tiedon avulla asiakkaan on mahdollista optimoida järjestelmätilaus, joka tarkoittaa usein suuria säästöjä kustannuksissa. Simulaatiotutkimukset antavat myös ohjelinjoja sen suhteen, minkälaisia järjestelmiä tulisi rakentaa, ja ne auttavat ylemmän tason ohjausjärjestelmien suunnittelussa sekä toteutuksessa. (Pesmel Oy 2016, 2.)



Kuvio 1. Pesmelin logo (Pesmel Oy 2018a, 1).

2 AUTOMATISOIDUT VARASTOINTI- JA HAKUJÄRJESTELMÄT

2.1 Perusteet

Seuraavassa käydään läpi automatisoitujen varastointi- ja hakujärjestelmien perusteita. Ensin kerrotaan yleisiä tietoja kyseisistä järjestelmistä, jonka jälkeen kerrotaan järjestelmien tyypeistä. Sen jälkeen esitellään järjestelmien toimintaa ja rakennetta. Viimeisenä luetellaan järjestelmien käytön hyötyjä ja haittoja.

2.1.1 Yleiskuvaus

Automatisoituja varastointi- ja hakujärjestelmiä, eli AS/RS-järjestelmiä, on käytetty 1950-luvulta lähtien tuotanto- ja jakeluympäristöissä tuotteiden varastointiin sekä tuotteiden noutamiseen varastosta tilausten toteuttamiseksi (Roodbergen & Vis 2009, 2). AS/RS-järjestelmä on yhdistelmä laitteita ja ohjausmenetelmiä, joiden avulla käsitellään, varastoidaan ja haetaan tuotteita varastosta tarpeen mukaan tarkasti ja nopeasti määritellyn automaatiotason mukaisesti. Järjestelmät vaihtelevat pienemmistä automatisoiduista järjestelmistä suuriin tietokoneohjattuihin varastointi- ja hakujärjestelmiin, jotka on täysin integroitu tuotanto- tai jakeluprosessin yhteyteen. Yleisesti ottaen AS/RS-termillä viitataan joukkoon erilaisia tietokoneohjattuja menetelmiä, joiden avulla automaattisesti varastoidaan tai haetaan kuormia määritellyistä varastosijainneista. (MHI 2019.)

Esimerkkejä teollisuudenaloista, joissa AS/RS-järjestelmiä käytetään ovat

- paperiteollisuus
- lääketeollisuus
- ruokateollisuus
- varastointi- ja jakeluteollisuus
- autoteollisuus (MHI 2019).

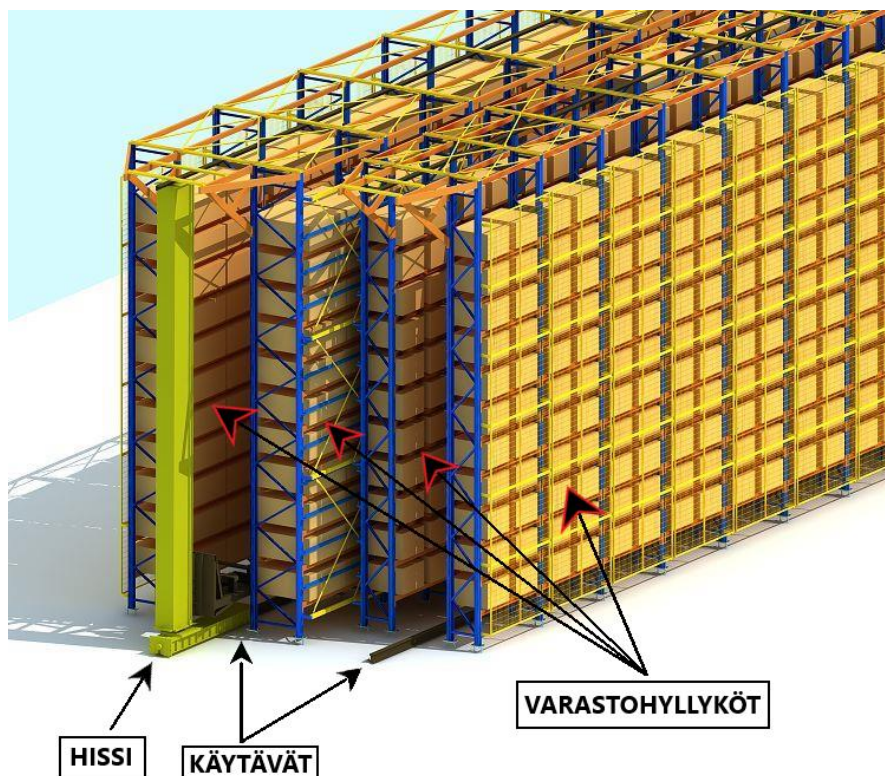
AS/RS-järjestelmien markkina-arvon on arvioitu olevan 7,6 miljardia dollaria vuonna 2019 and sen odotetaan nousevan 11 miljardiin dollariin vuoteen 2024 mennessä.

Yksi iso tekijä AS/RS-järjestelmien markkina-arvon kasvulle on niiden kysyntä autoteollisuudessa. Esimerkiksi Euroopassa lukuisat autoteollisuuden avaintekijät sekä laaja asiakaskanta ajaa AS/RS-markkinoita eteenpäin. (Business Insider 2019.)

2.1.2 Tyypit

AS/RS-järjestelmistä on olemassa monta erilaista variaatiota, mutta ne voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: pienkuormajärjestelmiin ja yksikkökuormajärjestelmiin. Pieniä AS/RS-järjestelmiä kutsutaan pienkuormajärjestelmiksi ja suuria kutsutaan yksikkökuormajärjestelmiksi. Pienkuormajärjestelmissä voidaan käsitellä pieniä, alle 450 kilogramman tuotteita yksittäin. Yksikkökuormajärjestelmissä käsitellään suuria, yli 450 kilogramman tuotteita tyypillisesti kuormalavoittain. (Rogers 2011, 3–4.)

2.1.3 Rakenne ja toiminta



Kuva 2. Havainnekuva AS/RS-järjestelmästä (perustuu Jracking [Viitattu 18.10.2019]).

AS/RS-järjestelmien pääkomponentteja ovat varastohyllyköt, hissit, sortterit, käytävät sekä sisään- ja ulossyöttökohdat (Roodbergen & Vis 2009, 3). Kuvassa 2 on havainnollistettu tyypillinen AS/RS-järjestelmä, josta puuttuu kuitenkin esimerkiksi sortterit sekä sisääntulo- ja ulosmenopositiot.

Varastohyllyköt ovat tyypillisesti metallisia rakennelmia, joihin voidaan varastoida erilaisia kuormia. Hissit ja sortterit ovat täysin automatisoituja varastointi- ja hakulaitteita, jotka voivat autonomisesti liikkua, noutaa kuormia sekä varastoida kuormia. Käytävät muodostetaan varastohyllykköjen väliin jääviin tyhjiin tiloihin, joissa hissit ja sortterit liikkuvat. Sisään- ja ulossyöttökohdat ovat sijainteja, joista noudetaan kuormat kyytiin varastointia varten, tai joihin varastosta noudetut ulospäin menevät tuotteet viedään. (Roodbergen & Vis 2009, 3.)

AS/RS-järjestelmät ovat usein monimutkaisia ja niissä liikkuu paljon laitteita sekä tuotteita samanaikaisesti, joten on tärkeää huomioida sekä mekaaniset että hallinnalliset näkökulmat järjestelmää toteutettaessa. Mekaanisesta näkökulmasta katsottuna järjestelmät tulisi suunnitella niin, että laiterikot vältetään ja varmistutaan laitteiden asianmukaisesta liikkumisesta. Kun mekaaninen suunnittelu on valmis, voidaan aloittaa sähkö- ja automaatio suunnittelu. Järjestelmää ohjaava PLC-ohjelma täytyy suunnitella ja varmentaa niin, että kaikki ohjattavat toiminnot tapahtuvat oikeassa järjestyksessä. Vaikka järjestelmässä tapahtuisi odottamattomia virheitä, ohjelma osaisi käsitellä ne tehokkaasti. (Ko, Park & Chang 2013.)

2.1.4 Hyödyt ja haitat

AS/RS-järjestelmien käytöllä on useita hyötyjä verrattuna ei-automatisoitujen järjestelmien käyttöön. Esimerkkejä hyödyistä ovat säästöt työkustannuksissa, lattiatilan tehokkaampi käyttö, parempi luotettavuus sekä virheiden vähentyminen. (Roodbergen & Vis 2009, 2.)

Edellisten lisäksi AS/RS-järjestelmien hyötyjä ovat

- suurempi läpimenokyky
- tarkkuuden nouseminen yli 99,99 %:iin
- korkeimman mahdollisen varastointitiheyden hyödyntäminen

- jopa yli 85 %:n säästö muuten turhaan käytetystä lattiatilasta
- parantunut tuoteturvallisuus
- reaaliaikainen inventaarion hallinta (MHI 2019).

AS/RS-järjestelmien haitoiksi voidaan luokitella esimerkiksi

- kalliit alkuinvestoinnit
- huoltokulut
- soveltumattomuus vaihtelevien tuotteiden käsittelyyn
- tekniset osaamisvaatimukset ja uudelleen koulutuksen tarve (Conveyco 2019).

2.2 Yksikkökuormajärjestelmät

Tässä alaluvussa esitellään tarkemmin tämän työn kannalta oleelliset AS/RS-järjestelmät, eli yksikkökuormajärjestelmät. Ensin kerrotaan yksikkökuormajärjestelmien rakenteesta ja toiminnasta. Sen jälkeen kerrotaan yleistä tietoa korkeavarastoista. Viimeisenä käydään läpi syväkanavajärjestelmien toimintaa ja rakennetta sekä sekakanavien perusteita.

2.2.1 Rakenne ja toimintakuvaus

Yksikkökuormajärjestelmät on suunniteltu varastoimaan suuria, yli 450 kilogramman kuormia, jotka tyypillisesti varastoidaan kuormalavoille. Erityistapauksissa suuria tuotteita voidaan varastoida yksittäin. (Rogers 2011, 3.)

Yksikkökuormajärjestelmät voivat olla yli 30 metriä korkeita, mutta tyypillisesti ne ovat noin 10 metriä korkeita. Tuotteet varastoidaan automatisoituja järjestelmiä varten suunnitelluille kiskoille. Nämä kiskot ovat kohtisuorassa käytävään nähden. Varastokanavat voidaan määritellä yksipaikkaisiksi, kaksipaikkaisiksi tai syväkanaviksi, joihin voidaan varastoida useita lavoja tai tuotteita peräkkäin. (Rogers 2011, 3.)

Yksikkökuormajärjestelmän kuormankäsittelymekanismi on yleensä teleskooppinen laite, joka ylettyy menemään varastopaikassa olevan tuotteen alle, ja noutamaan sen kuljetinlaitteen eli hissien tai sorterin kyytiin. (Rogers 2011, 3.)



Kuva 3. TransRoll-vaunu (Fahllund 2018, 5).

Kuvassa 3 on esimerkki kuormankäsittelymekanismista. Kuvassa nähdään Pesmelin syväkanavajärjestelmissä käytettävä TransRoll-vaunu todellisessa tilanteessa noutamassa tuotteita varastopaikasta.

2.2.2 Korkeavarastot

Korkeavarastot eroavat monella tapaa tavanomaisista teräskehikkoisista varastoista. Tavallisten varastojen rakenteina käytetään teräskehikkoa ja eristettyjä metallisia seinäpaneeleja. Korkeavarastot ovat tyypillisesti varastohyllykköjen tukemia rakennuksia. Tällaisissa rakennelmissä hyllykköjärjestelmä toimii ensisijaisena tukena laitoksen rakenteille, katolle ja seinille, joita usein kutsutaan laitoksen kuoreksi. (Netting 2010, 2.)



Kuva 4. Varastohyllykköjen tukema korkeavarastorakennus (Jagannathan & Suksi 2014, 3).

Tavanomaisissa varastoissa varastointikorkeus on yleensä 12–18 metriä. Niitä joudutaan laajentamaan leveyssuunnassa ja niissä tuotteita liikutetaan monesti työntekijöiden ja trukkien avulla, mutta niihin voidaan tarvittaessa asentaa AS/RS-järjestelmiä. Korkeavarastot voidaan rakentaa jopa 40 metriä korkeiksi, sen vuoksi tuotteiden varastointitiheys paranee ja tontin pinta-alavaatimukset vähenevät. Myös korkeavarastoihin voidaan asentaa AS/RS-järjestelmiä. Korkeavarastot ovat sen suhteen samanlaisia kuin tavanomaiset varastot, että niitä voidaan käyttää monenlaisen tuotteiden varastointiin. (Netting 2010, 2.)

2.2.3 Syväkanavajärjestelmät ja sekakanavat

Syväkanavajärjestelmissä useita kuormayksiköitä voidaan varastoida peräkkäin varastokanaviin. AS/RS-järjestelmän hissit kuljettavat kuormat oikeiden kanavien kohdalle, jonka jälkeen hissien haarukat tai siirtovaunut siirtävät tuotteet kanavaan. Syväkanavajärjestelmän etu tavalliseen korkeavarastojärjestelmään verrattuna on sen

parempi tilan hyötykäyttö. Syväkanavajärjestelmissä varastoidaan tavallisesti samanlaisia tuotteita samoihin kanaviin, ja syväkanavajärjestelmä onkin tehokas ratkaisu suurten, vähän toisistaan poikkeavien tuotteiden varastointiin. (Klinkhammer [Viitattu 17.10.2019].)

Etenkin paperiteollisuutta varten kehitetyt syväkanavajärjestelmät ovat laajentaneet varastointimahdollisuuksia huomattavasti. Syväkanavajärjestelmissä tuotteet varastoidaan suoraan varastopaikkojen kanavien päälle peräkkäin tavanomaisten ennalta määriteltujen paikkojen sijaan. Paperitehtaissa käsitellään suuria määriä erikokoisia paperirullia, joten syväkanavajärjestelmät mahdollistavat lukemattoman määrän erilaisia varastointivariaatioita. Lisäksi, syväkanavajärjestelmissä käytännössä jokainen kanava voi olla sisään- tai ulossyöttökanava, mikä mahdollistaa vieläkin tehokkaamman järjestelmän toiminnan. (Fahllund 2018, 2.)



Kuva 5. Syväkanavajärjestelmän hissi (Fahllund 2012, 5).

Kuvassa 5 syväkanavajärjestelmän hissi käsittelee useita tuotteita kerrallaan. Useiden tuotteiden käsittely kerrallaan on olennainen osa korkean käsittelykapasiteetin saavuttamista. Hissi jakaa tuotteet automaattisesti oikeisiin kanaviin. Syväkanavajärjestelmän hissit voivat käsitellä jopa 400 tuotetta tunnissa ja ne voivat käsitellä erikokoisia tuotteita ilman rajoitteita. (Fahllund 2012, 5.)

Sekakanava tarkoittaa syväkanavajärjestelmässä olevaa kanavaa, johon varastoidaan keskenään erilaisia ja määrällisesti vähän esiintyviä tuotteita. Sekakanavia muodostetaan ja käytetään silloin, kun varastoitavien tuotteiden määrä varastopaikkojen määrään nähden kasvaa, eikä kaikille samanlaisille tuotteille riitä omia varastopaikkoja. Varastoimalla vähän esiintyviä tuotteita sekakanaviin varaston eheyttä, läpimenokapasiteettia ja täyttöastetta saadaan optimoitua. Sekakanavia muodostetaan tarpeen mukaan optimaalisiin kohtiin kaikkialle varastossa. Kun niiden tarve päättyy, voidaan kanavat palauttaa takaisin tavallisiksi syväkanaviksi. (Anttila 2019.)



Kuvio 2. Tavallinen syväkanava ja sekakanava.

Kuviossa 2 on havainnollistettu tavallisen syväkanavan ja sekakanavan ero. Molemmissa kanavissa on kolme tuotetta. Tavallisessa syväkanavassa jokainen tuote on samankokoinen ja väriltään sininen. Näillä ominaisuuksilla havainnollistetaan tuotteiden identtisyyttä. Sekakanavassa jokainen tuote on kooltaan ja väriltään erilainen. Tavallisiin syväkanaviin varastoidaan samanlaisia tuotteita, sekakanaviin voidaan varastoida useita erilaisia tuotteita.

3 MATERIAALIVIRRRAN JA LOGISTIIKAN SIMULOINTI

3.1 Yleistä

Useat talouden trendit johtavat lyhyempiin suunnittelusykleihin. Niitä ovat muun muassa

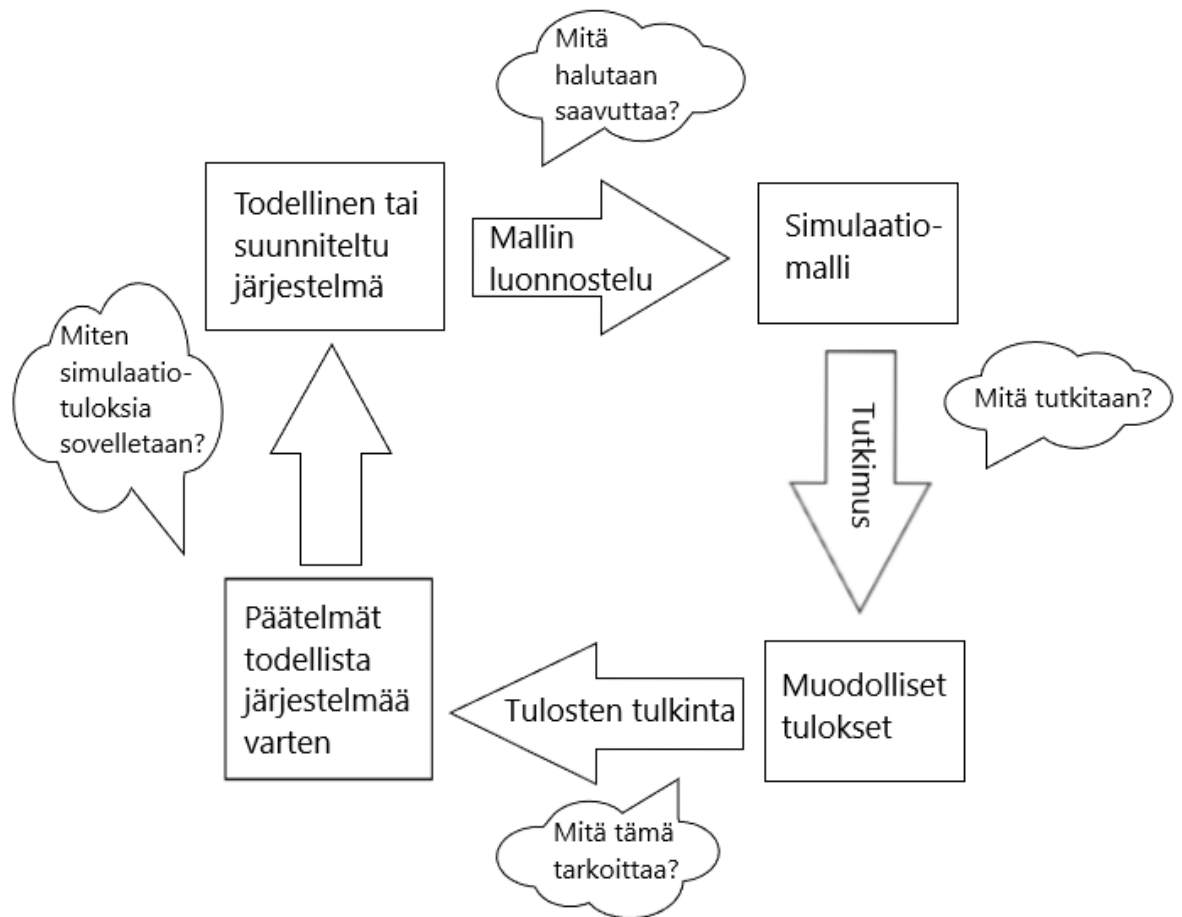
- tuotteiden monimutkaisuuden ja valikoiman lisääntyminen
- laatuvaatimusten lisääntyminen yhdessä kustannuspaineiden kanssa
- joustavuusvaatimusten lisääntyminen
- lyhyemmät tuotteiden elinkaaret
- pienentyneet tonttitilat
- kasvavat kilpailupaineet. (Bangsow 2015, 1.)

Simuloinnin avulla voidaan yllä mainitut asiat ottaa huomioon. Simulointi on tärkeä työkalu suunnitteluun, täytäntöönpanoon sekä monimutkaisten teknisten järjestelmien käyttöön. Simulointia käytetään silloin, kun yksinkertaisemmat tavat, kuten laskennalliset tavat, eivät ole enää riittäviä tarjoamaan hyödyllisiä tuloksia. (Bangsow 2015, 1.)

Mes (2017, 5) kertoo simulaatiomallien kehittämisen olevan syklinen ja kehittyvä prosessi. Tekeminen aloitetaan luonnostelemalla tehtävä malli käyttäen saatavilla olevaa tietoa mallinnettavasta järjestelmästä. Mallin teon edetessä sitä muokataan tarpeen mukaan saatujen simulointiajotulosten perusteella. Lopulta useiden syklien jälkeen saavutetaan valmis simulaatiomalli.

Mes (2017, 5) jatkaa, että simulaatioita tehtäessä seuraavien kysymysten täytyy olla selkeänä mielessä:

1. Mitä simulointitutkimuksella halutaan saavuttaa?
2. Mitä tutkitaan?
3. Mitä johtopäätöksiä saaduista tutkimustuloksista tehdään?
4. Miten saadut tulokset siirretään todelliseen järjestelmään?



Kuvio 3. Simulointiprosessi (perustuu Mes 2017, 6).

3.2 Määritelmät

Simulointi tarkoittaa todellisen järjestelmän ja sen dynaamisten prosessien uudelleenluomista mallissa. Tavoitteena on luoda todellisuuden kanssa yhteensopiva malli. Laajemmin ajateltuna, simulointi tarkoittaa tiettyjen kokeiden valmistelua, täytäntöönpanoa sekä arvioimista simulaatiomallin avulla. (Bangsow 2015, 2.)

Ensimmäinen simuloinnissa käytettävä termi on järjestelmä. Järjestelmä tarkoittaa eri komponenttien kokonaisuutta, jossa kyseiset komponentit ovat yhteydessä toisiinsa (Bangsow 2015, 2).

Järjestelmästä luodaan jäljennös, jota kutsutaan malliksi. Malli on yksinkertaistettu versio suunnitellusta tai todellisesta järjestelmästä, ja se eroaa alkuperäisestä järjestelmästä vain määriteltyjen toleranssitasojen mukaan (Bangsow 2015, 2).

Malliin voidaan määritellä tarvittavat ominaisuudet ja parametrit, jonka jälkeen mallin avulla voidaan tutkia mallinnetun järjestelmän toimintaa. Simulointiajo tarkoittaa mallin ajamista määriteltyjen asetusten mukaisesti tietyn ajan verran (Bangsow 2015, 2).

Koe tarkoittaa kohdennettua empiiristä tutkimusta mallin käyttäytymisestä toistuvien simulaatioajojen kautta käyttäen säännöllisesti vaihtuvia määrittämiä (Bangsow 2015, 2). Kokeiden avulla tutkittavista järjestelmistä saadaan haluttuja, tarkkoja tietoja, ja kokeiden tulosten perusteella voidaan tehdä jatkotoimenpiteitä.

3.3 Aikapohjainen simulointi ja tapahtumapohjainen simulointi

Aikapohjainen simulointi tarkoittaa jatkuvasti etenevää simulaatiota. Todellisessa maailmassa aika etenee jatkuvasti. Esimerkiksi kuljettimella olevan kappaleen liike eteenpäin tapahtuu jatkumona ilman harppauksia ajassa eteenpäin. Se aika, joka kappaleelta kuluu järjestelmän läpimenoon, on jatkuva niin, että kuljetun etäisyyden kuvaaja on suora viiva. (Mes 2017, 6.)

Tapahtumapohjainen simulointi ottaa huomioon vain ne tapahtumat, jotka ovat tärkeitä myöhemmässä simuloinnin vaiheessa. Tällaisia tapahtumia voivat olla esimerkiksi kappaleen siirtyminen työasemalle, siirtyminen pois sieltä tai siirtyminen toiselle laitteelle. Kaikki näiden välissä tapahtuvat liikkeet ovat epäolennaisia simuloinnin kannalta. (Mes 2017, 6.)

Tapahtumapohjaisen simuloinnin etu aikapohjaiseen simulointiin on suorituskyky. Tapahtumapohjainen simulointi mahdollistaa epäolennaisien ajanhetkien ohittamisen ja näin ollen on mahdollista simuloida vuosien tehdastoiminta vain minuuteissa. Se on hyödyllistä varsinkin, kun halutaan simuloida järjestelmän toimintaa käyttäen erilaisia konfiguraatioita ja tehdä useita toistoja jokaiselle konfiguraatiolle. (Mes 2017, 6.)

3.4 Käyttökohteet

Simulointia voidaan käyttää useissa eri tilanteissa ja vaiheissa, kuten suunnitteluvaiheessa, toteutusvaiheessa ja käyttövaiheessa. Mahdollisia käyttökohteita on lueteltu seuraavassa:

Suunnitteluvaiheen käyttökohteita ovat esimerkiksi

- pullonkaulojen toteaminen
- uusien, aiemmin huomaamattomien mahdollisuuksien löytäminen
- minimi- ja maksimikäytön toteaminen
- erilaisten suunnitteluvaihtoehtojen vertailu
- kapasiteetin, ohjauksen tehokkuuden ja läpimenonopeuden testaus
- vaihtoehtoisten suunnitelmien visualisointi päätöksentekoa varten (Bangsow 2015, 1).

Toteutusvaiheen käyttökohteita ovat esimerkiksi

- suorituskykytestaus nykyisillä ja tulevaisuuden vaatimuksilla
- ongelmien analysointi
- poikkeuksellisten järjestelmätilanteiden ja onnettomuuksien simulointi
- järjestelmän alas- ja ylösajon käyttäytymisen simulointi (Bangsow 2015, 1).

Käyttövaiheen käyttökohteita ovat esimerkiksi

- vaihtoehtoisten ohjausmenetelmien testaus
- laadunvalvonnan toteaminen
- tuotteiden toimitusajankohtien määrittely (Bangsow 2015, 2).

3.5 Simuloinnin vaiheet

Bangsow (2015, 2) kertoo, että seuraava lähestymistapa on suositeltu simuloinnin tekemiseen:

1. Ongelmien kaaviointi.
2. Simulaatiokelpoisuuden toteaminen.
3. Tavoitteiden kaaviointi.

4. Datankeruu ja analysointi.
5. Mallintaminen.
6. Simulaatioajojen toteuttaminen.
7. Tulosten analysointi ja tulkinta.
8. Dokumentointi.

3.5.1 Ongelmien kaaviointi

Simulaatioasiantuntijan täytyy yhdessä asiakkaan kanssa kaavioida vaatimukset simulaatiolle. Kaavioitujen ongelmien tuloksena täytyisi olla kirjallinen sopimus, esimerkiksi tekninen spesifikaatio, joka sisältää konkreettiset ongelmat, joita tullaan tutkimaan simulaation avulla. (Bangsow 2015, 3.)

3.5.2 Simulaatiokelpoisuuden toteaminen

Simulaatiokelpoisuuden toteamiseksi voi tarkastella esimerkiksi

- analyttisten matemaattisten mallien puuttumista
- järjestelmän monimutkaisuutta
- epätarkkaa dataa
- vaiheittaista järjestelmän rajoitusten selvittämistä
- toistuvaa simulaatiomallin käyttöä (Bangsow 2015, 3).

3.5.3 Tavoitteiden kaaviointi

Jokaisella yhtiöllä on jokin päätavoite, kuten esimerkiksi kannattavuus, joka jakaantuu useisiin osatavoitteisiin, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Päätavoitteiden määrittely on tärkeä valmisteleva vaihe. Kannattavuuden lisäksi usein toistuvia tavoitteita simulaatioille ovat esimerkiksi prosessiajan minimointi, käyttöasteiden maksimointi, inventaarion minimointi ja toimitusaikojen parantaminen. (Bangsow 2015, 3.)

Kaikki määritellyt tavoitteet tulee kerätä ja analysoida statistisesti simulaatioajojen päätteeksi, minkä vuoksi simulaatiomalleilta vaaditaan tietty yksityiskohtaisuustaso. Näin tavoitteet määrittelevät simulaatiotutkimuksen laajuuden. (Bangsow 2015, 3.)

3.5.4 Datankeruu

Simulaatiotutkimukseen tarvittava data voidaan jäsentää seuraavasti:

1. Järjestelmän kuormitusdata.
2. Hallinnollinen data.
3. Tekninen data. (Bangsow 2015, 3.)

Taulukossa 1 on esitetty esimerkkejä simulaatiotutkimuksissa tarvittavista tiedoista. Data on jaettu kolmeen osaan. Järjestelmän kuormitusdata sisältää tiedot esimerkiksi järjestelmässä liikkuvista tuotteista ja niiden syöttö- ja tilausajankohdista. Hallinnollinen data kattaa esimerkiksi hissien ja sorterien sekä kuljettimien suorittamien tehtävien tiedot. Tekninen data sisältää muun muassa järjestelmän rakenteelliset tiedot, tiedot laitteiden lukumääristä sekä järjestelmän käyttöaikatiedot.

Taulukko 1. Datankeruu (Bangsow 2015, 4).

Tekninen data	
<u>Tehtaan rakenteellinen data</u>	Layout Tuotanto- ja kuljetustavat Kuljetusreitit Alueet Rajoitteet
<u>Tuotantodata</u>	Käyttöaika Suorituskykydata Kapasiteetit
<u>Materiaalivirtadata</u>	Topologia Kuljettimet Kapasiteetit
Hallinnollinen data	
<u>Resurssien jakaminen</u>	Hissit ja sorterit Kuljettimet
<u>Organisaatio</u>	Strategia
Järjestelmän kuormitusdata	
<u>Tuotedata</u>	Tuotetiedot: koot, määrät jne.
<u>Työdata</u>	Tuotanto- ja kuljetustilaukset Päivämäärät

3.5.5 Mallintaminen

Mallintamisvaihe sisältää simulaatiomallin rakentamisen ja testaamisen. Mallintaminen koostuu yleensä kahdesta vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa täytyy luoda yleinen ymmärrys simuloitavasta järjestelmästä. Simuloinnin tavoitteisiin perustuen simuloinnin tarkkuudesta täytyy tehdä päätöksiä. Simulaation tarkkuus määrittää sen, mitä osia mallista yksinkertaistetaan. Ensimmäinen vaihe sisältää kaksi aktiiviteettia: analyysin ja abstraktion. (Bangsow 2015, 4–5.)

Analyysin avulla monimutkainen järjestelmä puretaan alkuperäisten tutkimustavoitteiden mukaisesti pienempiin komponentteihin. Abstraktion avulla tiettyjen järjestel-

määtribuuttien määrää vähennetään sen mukaan, mikä on käytännön kannalta järkevää simulaatiomallin luomiseksi. Tyypillisiä abstraktion metodeja ovat vähentäminen, eli turhan tiedon poistaminen, ja yleistäminen, joka tarkoittaa oleellisten tietojen yksinkertaistamista. (Bangsow 2015, 5.)

Toisessa vaiheessa simulaatiomalli rakennetaan ja testataan. Mallintamisen tulokset täytyy sisällyttää mallin dokumentointiin, jotta myöhemmät muutokset malliin ovat mahdollisia. Käytännössä tuloksien dokumentointi ohitetaan usein. Sen vuoksi malleja ei voida käyttää myöhemmin toiminnallisuuden dokumentoinnin puutteen vuoksi. On siis tärkeää kommentoida malleja ja koodia ohjelmoinnin aikana. Näin varmistutaan siitä, että toiminnallisuuden kuvaukset ovat saatavilla ohjelmoinnin päätyttyäkin. (Bangsow 2015, 5.)

3.5.6 Simulaatioajojen toteuttaminen

Simulointikokeet suoritetaan tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti. Koesuunnitelmissa määritellään yksittäisissä kokeissa käytettävä data, muuttujat sekä odotetut tulokset. On myös tärkeää määritellä aikajakso kokeille testiajojen tuloksiin perustuen. Monta tuntia kestävät tietokoneajot tai useasti toistuvat kokeet ovat tyypillisiä laajan statistisen datan saamiseksi. Jokaisen simulaatiokokeen käytetyt datat ja parametrit on dokumentoitava tulosten hyödyntämistä varten. (Bangsow 2015, 5.)

3.5.7 Tulosten analysointi ja tulkinta

Simulaatioajojen tulokset kerätään talteen. Tulosten oikea tulkinta määrittää simulaatiotutkimuksen onnistumisen. Jos tulokset ovat ristiriidassa oletusten kanssa, on tärkeää analysoida, mitkä tekijät vaikuttavat odottamattomiin tuloksiin. On myös tärkeää huomioida, että monimutkaisilla järjestelmillä on yleensä ylösajovaihe. Tämä vaihe voi käyttäytyä eri tavoin todellisuudessa ja simulaatiossa. Tämän takia, ylösajovaiheen tulokset eivät usein ole siirrettävissä todelliseen järjestelmään ja niillä ei ehkä ole vaikutusta arviointiin. Poikkeuksena tähän on tilanne, jossa ylösajovaihe on mallinnettu tarkasti. (Bangsow 2015, 5.)

3.5.8 Dokumentointi

Suosittelava tapa simulaatiotutkimuksen dokumentointiin on projektiraportti. Dokumentaation tulisi sisältää yleiskuvaus tutkimuksen ajoituksesta ja tehdystä työstä. Raportin rungon tulisi olla esitelmä simulaatiotuloksista asiakkaan vaatimiin spesifikaatioihin perustuen. Tuloksiin perustuen on järkevää myös ehdottaa jatkotoimista järjestelmään liittyen. Lopuksi, on suositeltavaa kuvailla simulaatiomallin rakennetta ja toimintaa. (Bangsow 2015, 6.)

3.6 Tecnomatix® Plant Simulation

Tecnomatix® Plant Simulation on Siemensin kehittämä ohjelmisto, joka mahdollistaa tuotantojärjestelmien ja logistiikkaprosessien simuloinnin, visualisoinnin, analysoinnin sekä optimoinnin. Plant Simulationin avulla materiaalivirta, resurssien käyttöaste sekä logistiikan toiminta saadaan optimoitua kaikissa suunnittelutasoissa niin globaaleissa tuotantolaitoksissa, paikallisissa tehtaissa kuin yksittäisissä tuotantolinjoissakin. (Siemens 2014, 1.)

Plant Simulationilla luodut digitaaliset mallit auttavat käyttäjää tekemään erilaisia kokeita järjestelmistä ilman, että todellisen tuotantojärjestelmän toiminta häiriintyy. Sitä voidaan kuitenkin käyttää myös suunnitteluprosessissa kauan ennen kuin oikea järjestelmä on asennettu. Kattavat analysointityökalut auttavat käyttäjää arvioimaan erilaisia tuotantotilanteita ja tekemään nopeita sekä luotettavia päätöksiä tuotantosuunnittelun alkuvaiheissa. Plant Simulationin avulla voidaan mallintaa aikapohjaisia ja tapahtumapohjaisia prosesseja. (Siemens 2014, 1.)

Plant Simulationin käytön hyötyjä ovat

- olemassa olevien tuotantolaitosten tuottavuuden parantaminen
- kustannusten vähentäminen uusia laitoksia suunniteltaessa
- läpimenoaikojen nopeuttaminen
- järjestelmän mittasuhteiden optimointi
- pienempi investointiriski aikaisen todentamisen myötä
- tuotantoresurssien käytön maksimointi (Siemens 2014, 1).



Kuva 6. Esimerkkikuva Plant Simulationin ominaisuuksista (Siemens 2014, 2).

Kuvassa 6 on esitetty esimerkkejä erilaisista Plant Simulationin sisältämistä työkaluista ja ikkunoista, joiden avulla käyttäjälle avautuu helposti ymmärrettäviä tietoja mallinnettavista järjestelmistä. Hyödyllisiä työkaluja ovat esimerkiksi taulukot ja kuvaajat, joiden avulla simulointimallin tuloksia voidaan havainnollistaa.

3.6.1 SimTalk

SimTalk on Plant Simulationin käyttämä ohjelmointikieli. Sen avulla käyttäjä voi tehdä laajempia ja tarkempia simulaatiomalleja. Kaikilla Plant Simulationin sisältämällä objekteilla on sisäisiä toimintoja, joiden avulla käyttäjä pystyy luomaan yksinkertaisia malleja käyttämättä SimTalk-ohjelmointikieltä. Vaativimmissa ja monimutkaisemmissa simulaatiomalleissa on usein tarpeen luoda omaa koodia, jolla saadaan malliin haluttu toiminnallisuus. (Siemens 2017.)

SimTalk-koodi tehdään method-objektin sisälle (Bangsow 2015, 17). SimTalk 2.0 on viimeisin versio SimTalk-ohjelmointikielestä. Sen avulla käyttäjä voi tehdä entistäkin nopeammin ja helpommin ohjelmointia simulaatiomalleihin. (Siemens 2017.)

3.6.2 The Warehousing & Logistics Library

The Warehousing & Logistics Library on hollantilaisen Cards PLM Solutionsin kehittämä varastokirjasto Plant Simulationiin. Sen avulla käyttäjä voi luoda nopeasti realistisia simulaatiomalleja dynaamisista varastointi- ja logistiikkaprosesseista. (Cards PLM Solutions 2019.)

Kirjasto tarjoaa toiminnallisuudet kaikkien varaston osa-alueiden simulointiin. Kirjasto sisältää perustoiminnot, kuten varastopaikkojen luomisen ja layoutien tekemisen, mutta myös esimerkiksi toimintoja tuotteiden noutamiseen ja logistiikan parantamiseen. Kaikkien objektien toiminta vastaa todellisuutta: Simuloinnissa otetaan huomioon muun muassa vaihteleva kysyntä, resurssien vikaantumiset sekä vaihtelevat tilausajat. Näin kirjasto mahdollistaa ennennäkemätöntä realismia aiempiin laskentaan perustuviin tapoihin verrattuna. (Cards PLM Solutions 2019.)

Kirjaston käytön hyötyjä ovat

- ajansäästö suunnittelussa
- resurssien käytön optimointi
- suurempi kapasiteetti
- nopeammat läpimenoajat
- paremmat tuotot (Cards PLM Solutions 2019).

Kirjastoa voidaan laajentaa tietyillä, tarkoilla objekteilla tai käyttäjäkohtaisilla monitorointistrategioilla. Kirjasto voidaan yhdistää yleisesti käytettyihin sovelluksiin, kuten todellisiin varastohallintajärjestelmiin, ja niistä voidaan siirtää dataa kirjaston analysoitavaksi. Kirjasto sisältää laajan työkalusarjan erilaisten skenaarioiden ja suunnitelmien testaamiseen sekä optimointiin. Suorituskykymittaukset esitetään helposti ymmärrettävinä raporteina. (Cards PLM Solutions 2019.)

4 TUTKIMUS

4.1 Automatisoidun syväkanavajärjestelmän simulointi

Tässä alaluvussa käydään yksityiskohtaisesti läpi jokainen syväkanavajärjestelmän simuloinnin vaihe. Simulointi tehtiin Plant Simulation -ohjelman ja sen käyttämän varastokirjaston avulla. Simulointi toteutettiin empiirisenä tutkimuksena, sillä aiheesta ei ollut saatavilla aiempaa teoreettista kirjallisuutta. Simuloinnin toteuttamisen vaiheet on esitetty omien alaotsikkojen alla kronologisessa järjestyksessä.

4.1.1 Perustietojen hankinta

Simulaatiomallin suunnittelu alkoi järjestelmän perustietojen hankkimisella. Perustietojen hankintalähteitä olivat layout-piirustukset, toimintakuvaukset, asiakkaan vaatimukset sekä aihealueen asiantuntijat. Oli tärkeää saada tarkat lähtötiedot simulaatiomallin rakentamiselle, sillä simulaatiomallien täytyy vastata tarkasti todellisen järjestelmän toimintaa.

Huomioitavia asioita simuloitavaan järjestelmään perehtymisessä olivat:

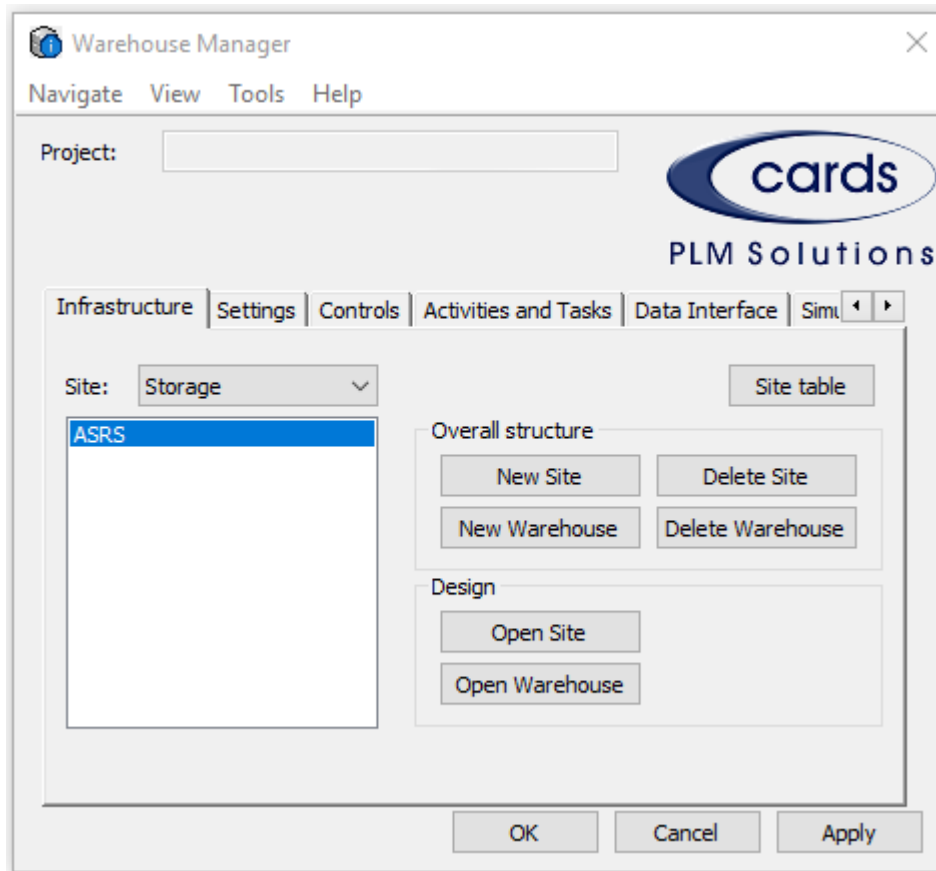
1. Järjestelmän komponenttien sijoittelu: varastopaikat, kuljettimet, käytävät, sortterit, hissit, sisääntulot ja ulosmenot.
2. Järjestelmän koko: pituus, leveys ja korkeus.
3. Varastopaikkojen sekä tuotteiden koot.
4. Hissien, sortterien sekä kuljettimien nopeudet.
5. Tilausdata: sisään- ja ulossyöttömäärät.
6. Kapasiteetti.

Suurin osa järjestelmän komponenttien sijoitteluun ja kokoon liittyvistä tiedoista saatiin layout-kuvista. Layout-kuvien lukuohjelman avulla tarvittavat tiedot sai vaivattomasti kerättyä. Lukuohjelmat sisältävät hyödyllisiä työkaluja tietojen keräämiseen, kuten mittaustyökalun, jonka avulla jokaisen objektin koot saatiin selville.

Toimintakuvaukset olivat hyödyllisiä tietolähteitä selvitettäessä hissien, sortterien sekä kuljettimien nopeuksia ja toimintaa. Myös asiantuntijoiden tarjoama tieto oli hyödyllistä laitteiden toiminnan selvittämisessä. Esimerkiksi nopeudet saatiin tätä työtä varten käyttäen apuna ulkopuolista asiantuntijuutta. Työn tekijällä ei ollut kokemusta nopeuksien määrittämisestä ja laskemisesta, joten ulkopuolista apua tarvittiin.

Pesmel määrittelee yhteistyössä asiakkaan kanssa, miten järjestelmän tulee toimia ja paljonko tuotteita tulee liikkua varastossa. Nämä vaatimukset huomioidaan suunnittelussa. Historiallista tilaus- ja tuotantodataa voidaan käyttää hyödyksi uusia simulaatiomalleja tehtäessä. Tässä työssä käytetty historiallinen tilaus- ja tuotantodata ja tavoiteltu kapasiteetti saatiin työssä pohjana käytetyn järjestelmän omistajalta, joka on Pesmelin asiakas. Jos historiallista tilausdataa ei ole saatavilla, tilausdata luodaan itse mallia varten määritellyn kapasiteetin mukaisesti.

4.1.2 Pää- ja varastosivujen luominen



Kuva 7. Warehouse Manager -valikko.

Kuvassa 7 on varastokirjaston päähallintavalikko. Sen kautta hallitaan mallin yleisiä ominaisuuksia, kuten mallissa käytettävien pää- ja varastosivujen nimiä sekä resurssien aktiviteettien prioriteetteja. Kuvassa auki olevan sivun kautta annettiin varastolle nimi. Valikkoa käytettiin myöhemmässäkin simuloinnin vaiheessa esimerkiksi eheystarkistuksen tekemiseen, josta kerrotaan työn myöhemmässä vaiheessa lisää.

Simulaatiomalli sisälsi kolme erilaista näkymää, joihin eri osia mallista luotiin. Pääsivulla oli simulaatiomallin yleisnäkymä. Pääsivulle luotiin myöhemmässä vaiheessa jakelu- ja kuluttajaobjektit, yleisimmin käytetyt method-objektit ja taulukot sekä erilaisia muuttujia. Jakelu- ja kuluttajaobjektit yhdistettiin pääsivulla varastosivuun myöhemmin luotujen objektien kautta. Varaston yleisnäkymäsivu sisälsi vain pääsivun ja varastosivun yhdistämistä varten luodut interface-objektit. Varastosivu sisälsi

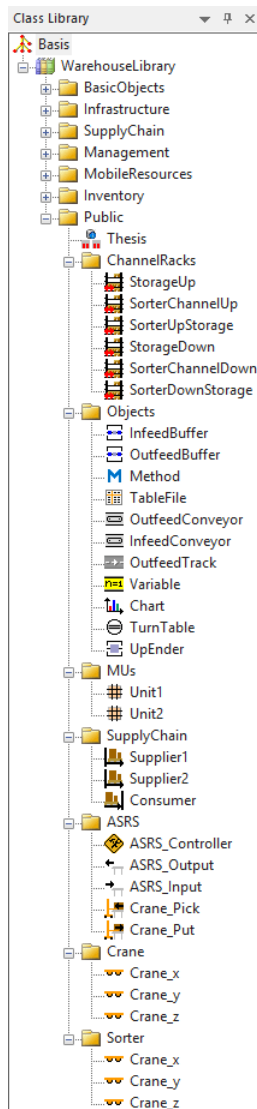
layoutin varastointijärjestelmästä. Varastosivulle luotiin varsinainen syväkanavajärjestelmän simulointimalli. Kun tarvittavat sivut oli luotu, voitiin simulaatiomallin rakentaminen aloittaa objektien luomisella.

4.1.3 Objektien luominen

Simulaatiomallin rakentaminen alkoi perusobjektien luomisella. Layout-kuvista sekä muista perustietolähteistä saaduilla tiedoilla ja mitoilla mallia varten voitiin luoda kaikki tarvittavat objektit, jotka vastasivat tarkasti todellisuutta. Objektien luominen tapahtui käyttäen Plant Simulationin vakio-objekteja tai varastokirjaston tarjoamia erityisobjekteja, kuten varastohyllyobjekteja. Varastokirjasto sisälsi myös valmiita perusobjekteja, joita ei erikseen tarvinnut luoda.

Tarvittavat objektit mallin luomista varten olivat

- varastohyllyobjektit
- hissit ja sortterit
- kuljettimet
- sisään- ja ulossyöttöobjektit
- crane pick- ja crane put -objektit
- kääntöpöydät
- jakelu- ja kuluttajaobjektit
- method-objektit
- taulukko-objektit
- tuoteobjektit
- varastokirjaston perusobjektit.



Kuva 8. Valmis Class Library -lista.

Class Library sisältää mallissa käytettävät objektit. Kuvassa 8 on esitetty valmis Class Library -lista, jossa on näkyvillä suurin osa työssä käytetyistä objekteista. Kaikkia työssä käytettyjä objekteja, kuten interface-objekteja, ei tarvinnut lisätä omiin kansioihin, vaan niitä voitiin käyttää suoraan alkuperäisistä lähteistä.

Varastohyllyobjektit ovat varastokirjaston tarjoamia objekteja. Objekteina käytettiin channel rack -objekteja eli kanavaobjekteja. Niiden avulla saatiin syväkanavat mallia varten käyttöön. Niille määriteltiin mitat aiemmin saatujen tietojen perusteella. Näitä tietoja olivat pituus, leveys, korkeus, montako kerrosta kyseinen objekti sisälsi ja mitkä kerrokset objektista olivat käytössä. Varaston erilaisille alueille luotiin omat objektit. Se oli tärkeää, sillä objektien korkeusmitat alkavat lattiatasosta. Rakennusvaiheessa objekteja joudutaan sijoittamaan päällekkäin. Tällöin objektien määrittelyt,

kuten koot ja kerrosten lukumäärät määrittävät sen, miten objekti käyttäytyy mallissa. Fyysisesti päällekkäin voi olla useitakin objekteja, mutta niiden sisäiset ominaisuudet määrittävät niiden toiminnan, eikä esimerkiksi törmäystä pääse tapahtumaan.

Hissit ja sortterit olivat myös varastokirjaston valmiita objekteja. Niille määriteltiin mitat, nopeudet ja lastaustapa. Tässä työssä sortterit ja hissit pyrkivät hakemaan aina täysiä kuormia. Hisseille ja sorttereille on varastokirjaston vakioasetuksena määritelty lastaustavaksi varasto, joka tarkoittaa sitä, että laitteet voivat ottaa kyytiin sen verran tuotteita, mitä niiden asetuksiin on määritelty kapasiteetin integer-arvoksi. Jos esimerkiksi kapasiteetin arvoksi on määritelty viisi, laite voi ottaa kyytiin viisi tuotetta riippumatta tuotteiden koosta ja siitä, onko laitteilla todellista tilaa niille tuotteille. Muuttamalla lastaustavan varastosta kuljettimeksi saatiin todellisuutta vastaava toiminta. Kuljetin-lastauksella tarkoitetaan, että tuotteet siirretään hisseihin ja sorttereihin peräkkäin ja niiden väliin jätetään asetuksissa määritelty etäisyys, esimerkiksi 100 millimetriä. Lastaustavan ollessa määriteltynä kuljettimeksi, laitteet eivät voi ottaa todellista kokoaan enempää tuotteita kyytiin.

Kuljettimet ovat liukuhihnaobjekteja. Ne kuljettavat tuotteita paikasta toiseen. Plant Simulation sisältää valmiita kuljetinobjekteja, joita voitiin käyttää tässä työssä. Kuljettimille määriteltiin mitat, nopeudet sekä lukuisia erilaisia toimintoja, kuten tuotteiden kerääntyminen kuljettimille ja tuotteiden väliset etäisyydet toisistaan.

Sisääntulojärjestelmää varten käytettiin neljää erilaista objektiä: interface-objektia, bufferia, kuljetinta sekä crane pick -objektia. Järjestelmässä oli kaksi sisääntuloa, jotka olivat identtisiä keskenään. Interface-objekti on Plant Simulationin perusobjekti, eikä sille tarvinnut erikseen määrittellä asetuksia. Interface-objektit yhdistettiin pääsivun jakeluobjekteihin. Bufferi ja kuljetinobjekti ovat myös vakio-objekteja. Buffereille täytyi määrittellä vain kapasiteetti, kuljettimille määriteltiin mitat ja tarvittavat asetukset. Crane pick on varastokirjaston objekti, jolle täytyi määrittää oikeat asetukset, kuten missä kohdassa käytävää sijaitsee objektin sensori sortteria varten.

Ulosmenojärjestelmässä käytettiin myös neljää erilaista objektiä: crane put -objektia, kääntöpöytää, kuljettimia ja interface-objekteja. Ulosmenon interface-objektit olivat yhteydessä pääsivun kuluttajaobjekteihin.

Kääntöpöytiä käytettiin ulosmenojärjestelmässä siirtämään tuotteet crane put -objekteilta kuljettimille sekä luomaan visuaalisuutta työhön. Todellisessa järjestelmässä myös kääntöpöydät kuljettavat kokonaisia kuormia, mutta tässä työssä päädyttiin käyttämään Plant Simulationin sisältämiä kääntöpöytäobjekteja, jotka voivat kuljettaa vain yhtä tuotetta kerrallaan.

Jakelu- ja kuluttajaobjektit ovat varastokirjaston objekteja. Niille syötettiin simulaatiomallin tilausdata. Jakeluobjekti syöttää tuotteita varastoon määritellyn datan mukaisesti ja kuluttajaobjekti tilaa tuotteita varastosta.

Method-objekteja sekä erilaisia taulukoita käytetään mallin toiminnallisuuden luomiseen. Method-objektit sisältävät SimTalk-ohjelmointikielellä tehdyn koodin, jota Plant Simulation käyttää eri toimintojen suorittamiseen. Taulukot sisältävät dataa, jota voidaan hyödyntää simulaation toteutuksessa.

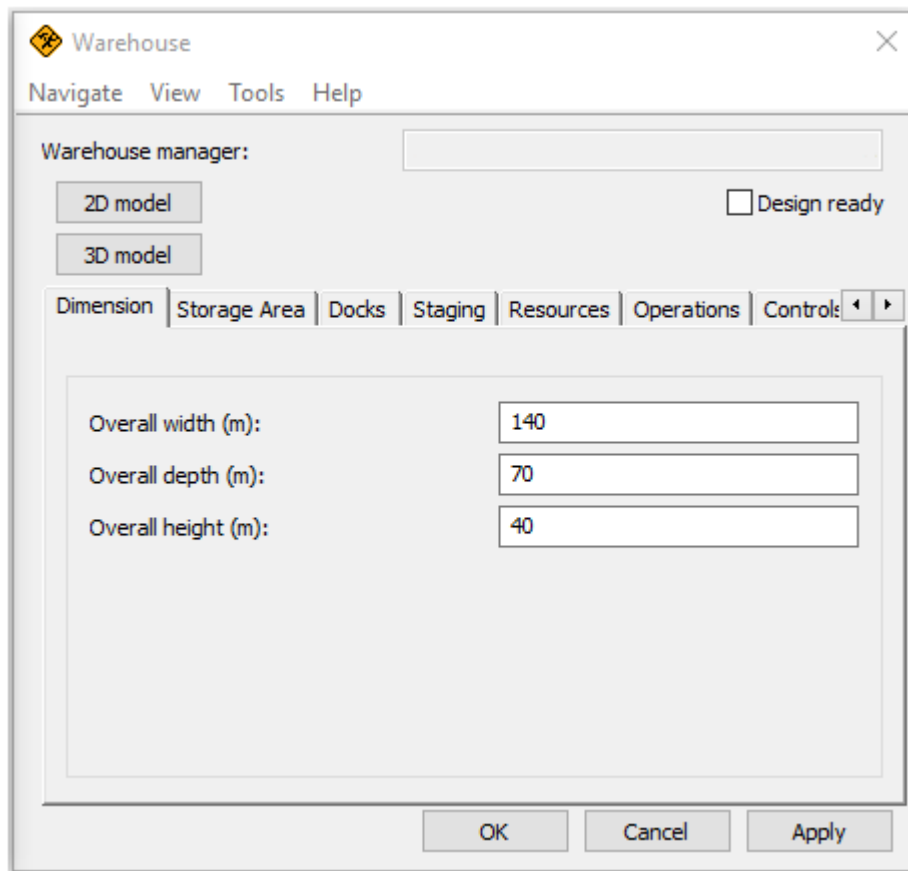
Varastokirjasto sisältää useita method-objekteja ja taulukoita. Varastokirjaston method-objektit ovat pääsääntöisesti salattuja, eikä käyttäjä pääse näkemään niiden sisältöä. Ne sisältävät lähinnä varastokirjaston perustoimintoja, joiden avulla varastokirjasto kommunikoi Plant Simulationin ja varastokirjaston muiden toimintojen kanssa. Varastokirjaston sisältämät taulukot ovat puolestaan käyttäjän nähtävissä ja muokattavissa. Nämä taulukot sisältävät runsaasti mallin kannalta oleellista tietoa, kuten varastopaikkojen tietoa, tuotteiden tietoa sekä tilaustietoa. Simuloinnin edetessä käyttäjän täytyy usein lukea ja muokata niitä.

Työtä varten täytyi tehdä uusia, omia method-objekteja ja taulukoita, joiden avulla malliin saatiin haluttu toiminnallisuus. Ohjelmoinnista kerrotaan lisää osiossa Toiminnallisuuden ohjelmointi.

Tuoteobjektit ovat objekteja, jotka kuvaavat todellisia järjestelmässä liikkuvia tuotteita. Niistä kerrotaan lisää osiossa Tuotetietojen lisääminen.

Varastokirjaston perusobjektit ovat valmiita objekteja, jotka ovat oleellisia osia simulaation toiminnan kannalta. Nämä sisältävät erilaisia asetuksia, joita käyttäjän tulee muokata ja käyttää saadakseen simulaatiomallit toimimaan. Niihin syötetään esimerkiksi jokaisessa tilanteessa käytettävät method-objektit, minkälaiset prioriteetit laitteilla on tai mitkä varasto-objektit toimivat sisään- ja ulossyötöissä.

4.1.4 Layoutin rakentaminen



Kuva 9. Warehouse-valikko.

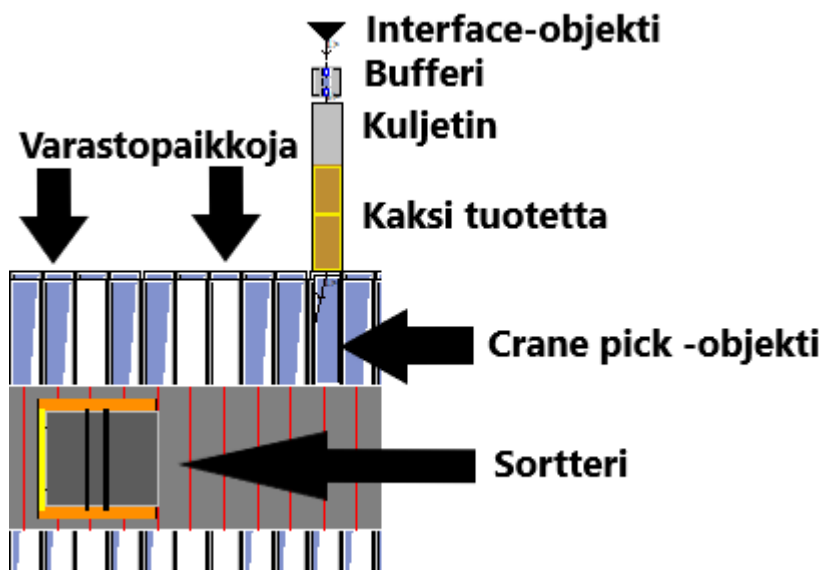
Kuvassa 9 on varaston hallintaikkuna. Kuvassa auki olevan valikon kautta määriteltiin layoutille koko. Layoutin rakentamisvaiheessa Storage Area -välilehden kautta luotiin varastoalueet. Myöhemmässä simuloinnin vaiheessa Warehouse-valikkoa käytettiin esimerkiksi varastointistrategioiden valitsemiseen.

Layout suunniteltiin niin, että mallin yläosassa oli tuotteiden sisääntulokuljettimet ja alaosassa oli tuotteiden ulosmenokuljettimet. Niiden välissä oli varasto x-akselin suuntaisesti. Tämä on yleinen tapa luoda malleja, jos yhdestä suunnasta tulee tuotteita sisään, tuotteita menee ulos yhteen suuntaan, ja järjestelmän pituus on suurempi kuin leveys, kuten tässä työssä pohjana käytetyssä järjestelmässä. Tällainen asettelu parantaa mallin havainnollistamista.

Varastokirjaston avulla layoutin rakentaminen sujui vaivattomasti. Sen avulla kaikkiin layoutiin tehtäviin kohteisiin voitiin käyttää yhtä alkuperäistä objektia, ja tarvittaessa yksittäisiä kohteita voitiin erikseen muokata.

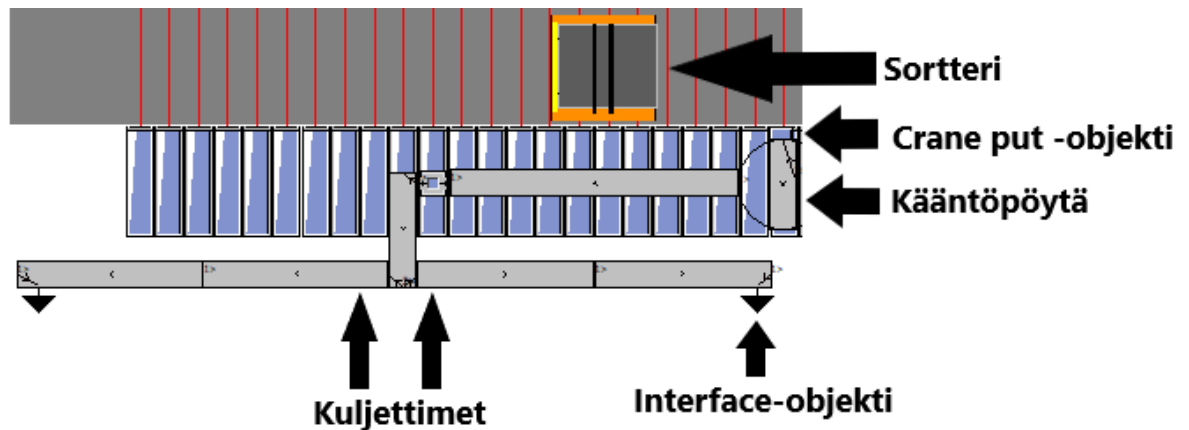
Aluksi layoutille annettiin mitat, minkä jälkeen varastokirjasto loi halutun kokoisen layoutin mallin tekemistä varten. Seuraavaksi layoutiin alettiin rakentaa varsinaista varastointijärjestelmää käyttäen aiemmin luotuja objekteja.

Ensimmäisenä rakennettiin varastopaikat. Järjestelmän mittojen mukaisesti layoutiin luotiin varastopaikat ja niiden ympärille hissi- ja sortterikäytävät. Käyttäen aiemmin luotuja varastohyllyobjekteja varaston eri alueet ja niiden ympäröivät käytävät saatiin rakennettua tarkasti ja nopeasti.



Kuva 10. Sisääntulo.

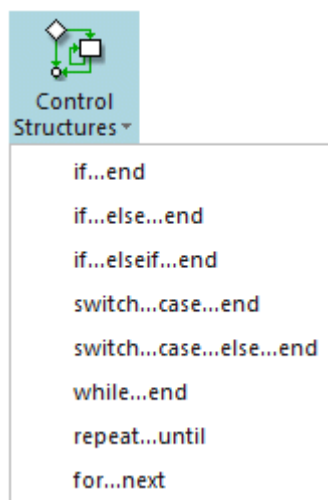
Seuraava vaihe oli rakentaa sisääntulo- ja ulosmenojärjestelmät. Sisääntulon toteuttaminen oli helpompi toteuttaa kuin ulosmenon, sillä sisääntulo oli samankaltainen kuin aiemmissa työn tekijän tekemissä simulaatiomalleissa. Sisääntulot koostuivat neljästä eri objektista: interface-objektista, bufferista, kuljettimesta sekä crane pick -objektista. Interface-objektin avulla varastosivu yhdistettiin jakeluobjekteihin pääsivulla. Bufferia käytettiin interface-objektin ja kuljettimen välissä. Sen tarkoitus oli varastoida tuotteita väliaikaisesti, jos edessä olevalla kuljettimella ei ollut tilaa. Bufferin jälkeen kuljettimen tehtävä oli siirtää tuotteet crane pick -objektille. Tehdyssä mallissa oli kaksi erillistä sisääntuloa, jotka molemmat rakennettiin edellä mainitulla tavalla.



Kuva 11. Ulosmeno.

Ulosmenossa täytyi rakentaa monimutkaisemmat kuljetinjärjestelmät. Ulosmenojärjestelmät rakennettiin käyttäen crane put -objekteja, kääntöpöytiä, useita kuljettimia, buffereita sekä interface-objekteja. Järjestelmässä oli kaksi ulosmenojärjestelmää. Crane put -objekteilta tuotteet siirtyivät kääntöpöydille. Kääntöpöydät siirsivät tuotteet oikeille kuljettimille sen mukaan, mikä kuluttajaobjekti tuotteen oli tilannut. Pitkien kuljetinjärjestelmien jälkeen tuotteet siirtyivät interface-objektien kautta ulos mallista kuluttajaobjekteille.

4.1.5 Toiminnallisuuden ohjelmointi



Kuva 12. SimTalk 2.0 -hallintarakenteet (Siemens 2017).

Kuvassa 12 on esitetty SimTalk 2.0:n käyttämät hallintarakenteet. Niiden avulla luodaan perusrakenteet tehtävälle koodille. Eniten tässä työssä käytetyt rakenteet olivat if- ja for-rakenteet, mutta myös muiden avulla luotiin tarvittavia rakenteita.

Varastokirjasto sisältää ison määrän koodia, jota käyttäjä ei pääse näkemään tai muokkaamaan. Nämä ovat lähinnä varastokirjaston ja Plant Simulationin välisiä perustoimintoja, jotka eivät ole olennaisia suunnittelutyötä tekevän käyttäjän kannalta. Näiden olemassaolo nopeuttaa työskentelyä ja käyttäjä voi keskittyä varsinaisen simulaatiomallin rakentamiseen ja toiminnallisuuden luomiseen.

Käyttäjälle jääviä syväkanavajärjestelmän ohjelmointitehtäviä olivat

- varastopaikkojen sijainnin määrittely (Z.X.Y -koordinaatisto)
- varastopaikkojen satunnaistaminen
- varastointistrategioiden määrittely
- ulosmenostrategian määrittely
- resurssien eli hissien ja sorterien valinta jokaisessa tilanteessa
- aktiviteettien jakaminen resursseille
- vapaiden ja täysien varastopaikkojen seuranta
- kuljettimien toiminta sisään- ja ulossyötössä
- suorituskykyraportointi.

Varastopaikkojen sijainti määriteltiin käyttäen Z-, X- ja Y-koordinaatistoa. Määrittely tehtiin sitä varten luodussa method-objektissa. Jokaisella varastopaikalla täytyi olla omat koordinaatit, muuten simulointi ei toimisi. Kun tuotteita varastoitiin tai noudettiin varastosta, mallin täytyi tietää, että jokainen varastopaikka oli määritelty omana koordinaattinaan. Z-koordinaatti määritteli, mikä varaston alue oli kyseessä. X-koordinaatti määritteli varastopaikan sijainnin leveyssuunnassa. Y-koordinaatti määritteli varastopaikan kerroksen. Lopullinen sijaintikoordinaatti ilmoitettiin muodossa Z.X.Y.

Taulukko 2. Esimerkki varastopaikan Z.X.Y-koordinaatistosta.

Z	X	Y	Z.X.Y
3	24	7	3.24.7

Taulukon 2 esimerkissä varastopaikka sijaitsee alueella, joka on määritelty arvolla 3. Leveyssuunnassa varastopaikka on järjestyksessään 24. laskettuna vasemmasta reunasta. Varastopaikka on seitsemännessä kerroksessa.

Varastopaikkojen satunnaistaminen toteutettiin method-objektissa, joka antoi jokaiselle varastopaikalle satunnaisluvun. Tämän jälkeen Location data -taulukko järjestettiin saman method-objektin avulla annettujen satunnaislukujen mukaan. Satunnaistamista käytettiin etenkin alkuvaraston luonnissa. Alkuvarasto luodaan varastokirjastossa niin, että ohjelma lukee Location Data -taulukosta järjestyksessä varastopaikkojen tiedot ja määrittää sen jälkeen, voiko tuote mennä kyseiseen varastopaikkaan. Satunnaistamisen avulla saatiin tasainen jakauma alkuvarastotuotteille.

Varastointistrategiat määrittivät, mihin varastopaikkoihin mitäkin tuotetta varastoitettiin. Sisään tulevat tuotteet aktivoivat varastointistrategian method-objektin, jossa määriteltiin kyseisille tuotteille varastointisijainti. Määritellyn varastosijainnin perusteella ja muiden strategioiden perusteella sorterit ja hissit osasivat kuljettaa tuotteet paikoilleen.

Ulosmenostrategiassa määriteltiin, mille crane put -objektille tuotteet ulossyötössä vietiin. Sen ja muiden strategioiden, kuten resurssinvalintastrategian, avulla saatiin oikea toiminta varastosta ulospäin meneville tuotteille. Oikea hissi haki tuotteet varastopaikasta ja siirsi ne oikeisiin läpimenokanaviin. Sen jälkeen sorterit haki ne läpimenopaikoista ja vei ne lopulta crane put -objekteille.

Resurssien valinta eri tilanteissa toteutettiin resurssinvalintakoodin sisältävän method-objektin avulla. Jokaiselle varastointitilanteelle täytyi olla jokin resurssi määriteltynä, muuten toimintoa ei voitu suorittaa. Oli myös huomioitava, että hissit tai sorterit eivät törmäisi keskenään, ja määritykset oli tehtävä sen mukaisesti. Varastokirjasto sisältää väistämistoiminnon: Jos laitteet kulkevat määritellyn etäisyyden päähän toisistaan, ne osaavat väistää toisiaan. Joissakin vaikeissa tilanteissa käyttäjän täytyy tehdä kuitenkin itse koodi väistämisille.

Aktiviteettien jakaminen voitiin toteuttaa joko kirjaston sisäisillä toiminnoilla tai käyttäjän oman koodin perusteella. Yleensä, jos simulaatiomalli on monimutkainen, omasta koodista on hyötyä, sillä sen avulla voidaan paljon yksityiskohtaisemmin määritellä, milloin ja miten aktiviteetteja jaetaan. Tässä työssä oli tärkeää tehdä oma koodi aktiviteettien jakamiselle. Sen avulla hissit ja sorterit osasivat muun muassa siirtyä seuraavaan tehtävään, jos edellistä ei voitu suorittaa täynnä olevan läpivientikanavan vuoksi.

Vapaiden ja täysien varastopaikkojen seuranta toteutettiin omassa method-objektissa, jonka sisällä luettiin useita muita method-objekteja. Seuranta tehtiin jatkuvasti tuotteiden liikkua sisään tai ulos. Tämän seurannan myötä, simulaatiomallitietä, mihin tuotteita voitiin varastoida tai siirtää.

Kuljettimien toiminnalle täytyi tehdä paljon omaa koodia, sillä kuljettimien vakioasetukset eivät olleet riittäviä mallin tarkkuusvaatimusten kannalta. Sisääntulossa täytyi tehdä koodi, joka seurasi kuljettimilla olevien tuotteiden määrää ja kokoa. Tämän tiedon perusteella sorterit osasivat hakea oikean määrän tuotteita, eli mahdollisimman täysinäisiä kuormia crane pick -objekteilta. Ulosmenokuljettimille tarvittiin myös samankaltaista koodia. Ulosmenokuljettimissa sen tarkoitus oli kerätä oikea määrä tuotteita tietylle kuljettimelle, jonka jälkeen ne päästettiin kaikki kerralla ulos mallista simuloitavan järjestelmän toiminnan mukaisesti.

Suorituskykyraportoinnille tehtiin omat method-objektit ja taulukot. Method-objekteihin kirjoitettiin koodit, joiden avulla mallista voitiin kerätä kaikki tarvittavat suorituskykytiedot. Mallista kerätyn datan avulla saatiin selville, mitkä olivat hissien ja sorterien käyttöasteet, mikä oli varaston täyttöaste, ja paljonko tuotteita liikkui sisään tai ulos. Kerätty data siirrettiin samojen method-objektien avulla niitä varten luotuihin taulukoihin, joista ne voitiin edelleen siirtää Plant Simulationin export-toiminnolla Excel-tiedostoihin. Excelin ominaisuuksia hyödyntäen datasta voitiin luoda havainnollistavia kuvaajia, jotka auttoivat suorituskykytietojen ymmärtämisessä.

4.1.6 Tuotetietojen lisääminen

Ensimmäinen vaihe tuotetietojen käsittelyssä oli lisätä tarvittavat tuotetiedot Master data -taulukon. Asiakkaalta saatu tilausdata oli Excel-muodossa. Se sisälsi kahden kuukauden tiedot ja yli 60 000 sisään tulevaa ja tilattua tuotetta. Tilausdata saatiin kolmessa tiedostossa jaoteltuina alkuvarastotuotteisiin, sisään tuleviin tuotteisiin ja ulos meneviin tuotteisiin. Alkuvarastotuotteet tarkoittavat tuotteita, jotka ovat simuloinnin alussa valmiiksi varastossa.

Tilausdata sisälsi mallissa tarvittavia tietoja, kuten

- tuotteiden nimet

- syöttö- ja tilausajankohdat
- miltä tuotantolaitteelta tuote oli tullut varastoon.

Tilausdatasta tarvittiin tuotetietojen lisäämistä varten tuotteiden nimet ja tieto, miltä tuotantolaitteelta tuote oli tullut varastoon. Tuotteiden nimet koostuivat kyseisen tuotteen kokotiedoista. Tällainen nimeämistapa helpottaa tuotteiden käsittelyä, sillä jo nimestä nähdään, minkä kokoinen tuote on. Tilausdatasta täytyi selvittää, montako erilaista tuotetta data sisälsi, sillä Master data -taulukoon tuli lisätä jokainen yksittäinen tuote vain kerran. Excel-toimintoja käyttäen datasta saatiin jäsennettyä kaikki erilaiset tuotteet, jonka jälkeen tiedot voitiin siirtää Master data -taulukoon. Erilaisia tuotteita oli lähes 2 900.

Se, miltä tuotantolaitteelta tuote oli oikeassa järjestelmässä tullut, määrittä mallia varten, kummasta sisääntulosta tuote tuli, ja mille alueelle tuote varastoitettiin. Tietyt tuotteet sijoitettiin vasemmalle puolelle varastoa, muut oikealle puolelle. Määrittäys lisättiin Master data -taulukoon.

Master data -taulukon alitaulukoihin täytyi lisätä esimerkiksi kokotietoja varastokirjaston toimintaa varten. Näitä tietoja ei suoraan saanut alkuperäisestä tilausdatasta ja ne täytyi itse muodostaa. Tätä varten luotiin oma method-objekti, joka luki tuotteiden nimitietoja, jäsensi niistä tarvittavat osat ja kirjoitti ne oikeisiin Master data -taulukon alitaulukoihin tuotteiden kokotiedoiksi.

	string 0	string 1	string 2	string 3	table 4	string 5	string 6
string	Article number	Name	Product group	Work area	Order variant	Storage type	Inbound order type
764	13_85_140_223	13_85_140_223	Unit1		table4764	Unit1	Unit1
765	13_85_140_222	13_85_140_222	Unit1		table4765	Unit1	Unit1
766	13_85_140_221.5	13_85_140_221.5	Unit1		table4766	Unit1	Unit1
767	13_85_140_221	13_85_140_221	Unit1		table4767	Unit1	Unit1
768	13_85_140_220.5	13_85_140_220.5	Unit1		table4768	Unit1	Unit1
769	13_85_140_220	13_85_140_220	Unit1		table4769	Unit1	Unit1
770	13_85_140_219.5	13_85_140_219.5	Unit1		table4770	Unit1	Unit1
771	13_85_140_219	13_85_140_219	Unit1		table4771	Unit1	Unit1
772	13_85_140_218	13_85_140_218	Unit1		table4772	Unit1	Unit1
773	13_85_140_215.5	13_85_140_215.5	Unit1		table4773	Unit1	Unit1

Kuva 13. Osa Master data -taulukon sisällöstä.

Kuvassa 13 on pieni otos Master data -taulukon sisällöstä. Article number -sarakeissa ovat tuotteet, ja Name -sarakeissa on tuotteiden niminä käytetty Article

number -sarakkeen tietoja. Order variant -sarakkeen alitaulukoihin lisättiin tuotetietoja. Unit1-arvoa eri sarakkeissa käytettiin määrittelyyn siitä, kummasta sisään-
tuloista tuote tuotiin varastoon, ja mihin osaan varastoa tuote tuli varastoida.

Tuoteobjektit ovat valmiita objekteja, joille täytyy määritellä vain kokotiedot. Tuoteobjektien käytössä on se ongelma, että niiden kokoja ei voida muuttaa suoraan niiden asetuksista simuloinnin edetessä. Kun käsitellään lukuisia erilaisia tuotteita, tuoteobjektien kokoja täytyy kuitenkin muuttaa usein.

Master Data -taulukon alitaulukkojen kokotietojen lukemista varten varastointistrategiaan tehtiin koodi, joka aktivoitui alkuvarastotuotteita luodessa, ja tuotteiden siirtymässä sisään-
tulokuljettimille. Näin jokainen varastoon tuleva tuote oli oikeankokoinen ja niitä käsiteltiin loppuun asti oikeankokoisina. Tuoteobjektien asetuksissa määriteltävät kokotiedot olivat perusarvoja, joiden mukaan tuotteet toimisivat, ellei kokotietoja muuteta koodin avulla simuloinnin edetessä. Simuloitavassa järjestelmässä oli tuhansia erikokoisia tuotteita, joten tuoteobjektien kokotietoja täytyi muuttaa usein tehdyn koodin avulla.

4.1.7 Alkuvarastotuotteiden ja tilausdatan lisääminen

Mallin alkuvarastotuotteita varten tarvittiin tuotteiden nimet, tuotteiden lukumäärä alkuvarastossa sekä tieto siitä, miltä tuotantolaitteelta tuote oli alun perin tullut. Varastokirjaston alkuvarastotaulukossa ilmoitetaan jokainen tuote kerran ja erillisessä sarakkeessa ilmoitetaan kyseisen tuotteen lukumäärä. Alkuperäisessä datassa oli jokainen tuotteiden esiintymä ilmoitettu erillisillä riveillä. Aiemmassa vaiheessa muodostetut tiedot erilaisista tuotteista ja niiden tuotantolaitteista otettiin käyttöön myös alkuvarastoa varten. Dataa erilaisista tuotteista verrattiin Excel-ohjelman avulla alkuperäiseen tilausdataan. Vertailun perusteella saatiin selville jokaisen tuotteen lukumäärä alkuvarastossa.

Sisääntulo- ja ulosmenodatasta tarvittiin mallia varten tuotteiden nimet, syöttö- ja tilausajankohdat sekä tuotteiden tuotantolaitte. Syöttö- ja tilausajankohdat ilmoitettiin tilausdatassa päivämäärän ja kellonajan mukaisesti. Ne olivat todellisia ajankohtia alkuperäisessä järjestelmässä, jolloin tuotteita oli tuotu varastoon tai tilattu pois

sieltä. Myös sisään- ja ulossyöttödataa jouduttiin muokkaamaan mallia varten. Jakelu- ja kuluttajaobjektit sisältävät taulukoita, joihin voidaan laittaa historiallista tilausdataa. Plant Simulationin ja näiden taulukoiden käyttämä dataformaatti poikkesi hieman alkuperäisten taulukoiden formaatista, joten Excelin muokkaustoimintoja käytettiin muuttamaan alkuperäinen data malliin sopivaksi. Kun syöttö- ja tilausajoille, tuotteiden nimille ja tuotetyypeille oli saatu oikea formaatti, voitiin data siirtää jakelu- ja kuluttajaobjektien taulukoihin.

Kun kaikki tarvittavat tiedot oli siirretty oikeisiin taulukoihin, piti ne ottaa käyttöön. Varastokirjaston perusasetuksista voidaan valita yhdellä valitsimella, luodaanko alkuvarasto simuloinnin alussa vai ei. Tässä työssä tarvittiin alkuvarastotuotteita, joten asetus laitettiin päälle. Jakelu- ja kuluttajaobjektien asetusikkunoissa määritellään, minkä perusteella tilaukset toimivat. Tässä työssä ne määriteltiin käyttämään historiallista dataa, joka edellisessä vaiheessa lisättiin taulukoihin.

4.1.8 Asetusten määrittelemine ja eheystarkistus

Viimeisenä vaiheena mallin tekemisessä oli asetusten määrittäminen varastokirjaston objekteihin, jotka hallitsevat simulaation toimintaa. Kaikki oikeat varastointistrategiat, method-objektit resurssinvalintaa varten ja muut simulaation toiminnan kannalta tärkeät asetukset määriteltiin oikeisiin kohtiin. Ilman asianmukaisia määrittämiä mallia ei voi käyttää ollenkaan tai se ei toimisi halutulla tavalla.

Varastokirjasto sisältää eheystarkistuksen. Tarkistus on tehtävä aina, kun malliin on tehty tiettyjä muutoksia, kuten muutoksia Location Data -taulukkoon, tai jos edellisellä tarkistuskerralla on löytynyt virheitä. Muuten simulaatiota ei voida käynnistää. Tarkistuksessa etsitään virheitä mallista liittyen esimerkiksi objekteihin tai määrittämiin. Tarkistuksen tuloksena täytyy olla nolla virhettä, että simulaatio voidaan käynnistää. Jos virheitä löytyy, täytyy ne korjata ennen kuin työtä voi jatkaa.

4.1.9 Syväkanavajärjestelmän kokeet

Simuloinnin perusteiden mukaan järjestelmän kokeita tulisi tehdä järjestelmän toiminnan varmistamiseksi. Aiemmissa vaiheissa luodut simulaatiomallin komponentit testattiin erilaisilla kokeilla.

Tämän vaiheen ajaksi aiemmin luotu tilausdata kopioitiin talteen, ja uudeksi tilausdataksi syötettiin yksinkertaiset tuotetiedot. Käytännössä se tarkoitti sitä, että malliin syötettiin yhdenkokoista tuotetta. Sen avulla saatiin selville, toimivatko mallin perustoiminnot halutulla tavalla.

Kohdennettuja kokeita olivat seuraavat:

1. Sisääntulon toiminnan toteaminen.
2. Hissien ja sorterien toiminnan toteaminen.
3. Kanavien toiminnan toteaminen.
4. Ulosmenon toiminnan toteaminen.

Sisääntulon toiminnan toteamisen tarkoituksen oli selvittää, toimiko tuotteiden jakelu malliin. Tuotteiden täytyi lähteä jakeluobjekteilta, siirtyä varastosivulle ja kulkea kuljetinta pitkin crane pick -objektille. Hissien ja sorterien toiminnan toteamisella haluttiin varmistua, että ne osasivat hakea tuotteita oikeista paikoista oikean määrän verran sekä kuljettaa tuotteet eteenpäin seuraaviin kanaviin. Kanavien toiminnan toteamisen tarkoitus oli selvittää, varastoituvatko hissien ja sorterien tuomat tuotteet tarkoituksenmukaisesti kanaviin. Se tarkoitti sitä, että tuotteet varastoituivat oikein päin, oikean etäisyyden päähän toisistaan ja että tuotteita meni kanaviin kanavien kapasiteetin mukainen määrä. Ulosmenon toiminnan toteamisella haluttiin varmistua, että ulospäin menevät kuljetinjärjestelmät toimivat loppuun asti. Tuotteiden täytyi liikkua crane put -objekteilta kääntöpöydille, siitä eteenpäin kuljettimille ja lopulta ulos varastosivulta kuluttajaobjektille.

Kaikkien kohdennettujen kokeiden jälkeen oikea tilausdata voitiin palauttaa malliin. Palauttamisen jälkeen voitiin siirtyä sekakanavien muodostamiseen ja käyttöönottoon.

4.2 Sekakanavien muodostaminen ja käyttöönotto

Tässä alaluvussa käydään läpi jokainen sekakanavien muodostamisen ja käyttöönoton vaihe. Aluksi kerrotaan, miten method-objekteja käytettiin hyödyksi tilausdatan jäsentelyssä. Sen jälkeen kerrotaan, miten sekakanaviin menevät tuotteet merkittiin simulaatiomallissa. Viimeisenä kerrotaan, miten sekakanavien muodostamista ja käyttöä varten tehtiin koodi.

4.2.1 Method-objektien hyödyntäminen tilausdatan jäsentelyssä

Ensimmäinen vaihe sekakanavien muodostamisessa ja käyttöönotossa oli määrittellä, paljonko tuotteita kokonaisuudessaan esiintyy varastossa. Sitä varten tehtiin uusi method-objekti ja taulukko. Method-objektiin tehtiin koodi, joka luki malliin syötetyn tilausdatan ja muodosti siitä jokaiselle tuotteelle esiintymismäärät varastossa. Tämän jälkeen saman method-objektin avulla siirrettiin muodostettu data esiintymismääristä sitä varten luotuun taulukkoon järjestettynä tuotteiden alkuvarasto-, sisääntulo- ja ulosmenomääriin. Taulukkoon muodostettiin vielä kaksi saraketta lisää: tuotteiden yhteenlasketut esiintymismäärät alkuvarasto-, sisääntulo- ja ulosmenomääristä sekä yhteenlasketut esiintymismäärät pelkästään sisääntulosta ja ulosmenosta. Seuraavaksi taulukko järjestettiin laskevan järjestyksen mukaisesti siitä sarakkeesta, joka sisälsi kaikkien kolmen datan yhteenlasketut määrät. Lopuksi taulukko järjestettiin vielä laskevan järjestyksen mukaisesti sarakkeesta, joka sisälsi vain sisääntulo- ja ulosmenomäärät yhteenlaskettuna. Näin saatiin tuotteet jaettua kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa oli tuotteet, joita esiintyi kaikissa kolmessa datassa. Toisessa osassa oli tuotteet, joita esiintyi pelkästään alkuvarastossa.

Sekakanavien muodostaminen tapahtui valmiissa method-objektissa, eikä sitä varten tarvinnut tehdä uutta method-objektia. Sekakanaviin varastoitavien tuotteiden merkitsemistä varten luotiin uusi method-objekti. Aikaisemmin luotua tuotteiden liikukumismääriä sisältävää taulukkoa luettiin tämän uuden method-objektin avulla ja luettujen tietojen perusteella voitiin oikeat tuotteet merkitä sekakanaviin varastoitaviksi.

4.2.2 Sekakanaviin varastoitavien tuotteiden merkitseminen method-objektin avulla

```

1  var articleNumber : string
2  var mixedPercent : real
3  var articletable, masterdata : object
4  var productAmountInAndOut, productAmountOther, mixedProductAmountInAndOut, mixedProductAmountOther : integer
5
6  articleTable := .WarehouseLibrary.Public.Thesis.TotalArticleMovement
7  masterdata := .WarehouseLibrary.Public.Thesis.WarehouseManager.MasterData
8
9  // This is used to define how many percent of the products are stored in mixed channels.
10 // Use a value between 0.1 and 0.9
11 mixedPercent := 0.3
12
13 // Define how many products are used, products that have In and Out
14 for var i := 1 to articleTable.YDim
15     -- Check how many of the products have in and out
16     if articleTable["In + out", i+1] = 0
17         productAmountInAndOut := i
18         exitloop
19     end
20 next
21
22 // Define how many products are stored in mixed channels, products that have In and Out
23 mixedProductAmountInAndOut := productAmountInAndOut * mixedPercent

```

Kuva 14. Osa sekakanaviin varastoitavien tuotteiden merkitsemiskoodista.

Kuvassa 14 on osa sekakanaviin varastoitavien tuotteiden merkitsemistä varten luodun method-objektin sisällöstä. Method-objektiin tehtiin koodi, jonka avulla määriteltiin jokaiselle tuotteelle Boolean-arvo Master data -taulukkoon siitä, onko tuote varastoitava sekakanaviin. Koodissa käytettiin muuttujaa, joka määritteli, kuinka monta prosenttia tuotteista varastoitaisiin sekakanaviin. Muuttujalle voitiin asettaa arvo 0,1 ja 0,9 väliltä. Muuttuja lisättiin osaksi funktiota, joka luki aiemmin tehdyn tuotteiden liikkumismääriä sisältävän taulukon tietoja ja kirjoitti sen mukaisesti Master data -taulukkoon oikean tuotteen kohdalle Boolean-arvon tuotteen varastoimisesta sekakanaviin. Tiedot luettiin edellisessä vaiheessa taulukkoon tehdyn järjestyksen mukaan. Sekakanaviin oli tarkoitus varastoida vähiten liikkuvat tuotteet, ja muuttujan määrittelemä prosenttiosuus tuotteista luettiin molempien järjestettyjen osien vähiten esiintyvistä tuotteista ylöspäin.

4.2.3 Koodin tekeminen sekakanavien muodostamista ja käyttöä varten

Simuloinnissa käytetään method-objektia, joka etsii vapaita varastointipaikkoja. Sitä kutsutaan aina, kun tuotteelle etsitään varastointi- tai läpivientipaikkaa, eli käytännössä simulaation alussa, kun luodaan alkuvarastotuotteet sekä aina, kun tuotteita siirretään varastointi- tai läpivientipaikasta toiseen. Tämän method-objektin sisällä

luetaan toista method-objektia, jota käytetään tarkistuksessa siitä, onko tuote oikeanlainen kyseisellä hetkellä tarkastelussa olevaan kanavaan. Tavallisissa syväkanavajärjestelmissä oikeanlainen tuote on esimerkiksi täysin samanlainen kuin jo kanavassa valmiiksi oleva tuote. Tässä työssä käytettiin sekakanavia, ja oikeanlainen tuote oli esimerkiksi sellainen, jonka määrittely sekakanaviin varastoinnista vastasi sen hetkisen tarkastelussa olevan kanavan määrittelyä varastointitavasta.

```

17 // This is used when storing a product that is going to a mixed channel
18 if masterdata["Mixed channel storage", articleno] = true
19
20     -- True if pallets are not allocated to the location
21     if loctable["Allocated # pallets", temploc] = 0
22         -- Write to loctable, that this channel is now a mixed channel
23         loctable["Mixed channel", temploc] := true
24         return true
25     -- If location is empty, return false
26     elseif loctable["Current Inventory", temploc].YDim = 0
27         return false
28
29     -- Check if the channel is a mixed channel
30     elseif loctable["Mixed channel", temploc] = true
31         return true
32     else
33         return false
34     end
35
36 // This is used when storing other products
37 elseif masterdata["Mixed channel storage", articleno] = VOID

```

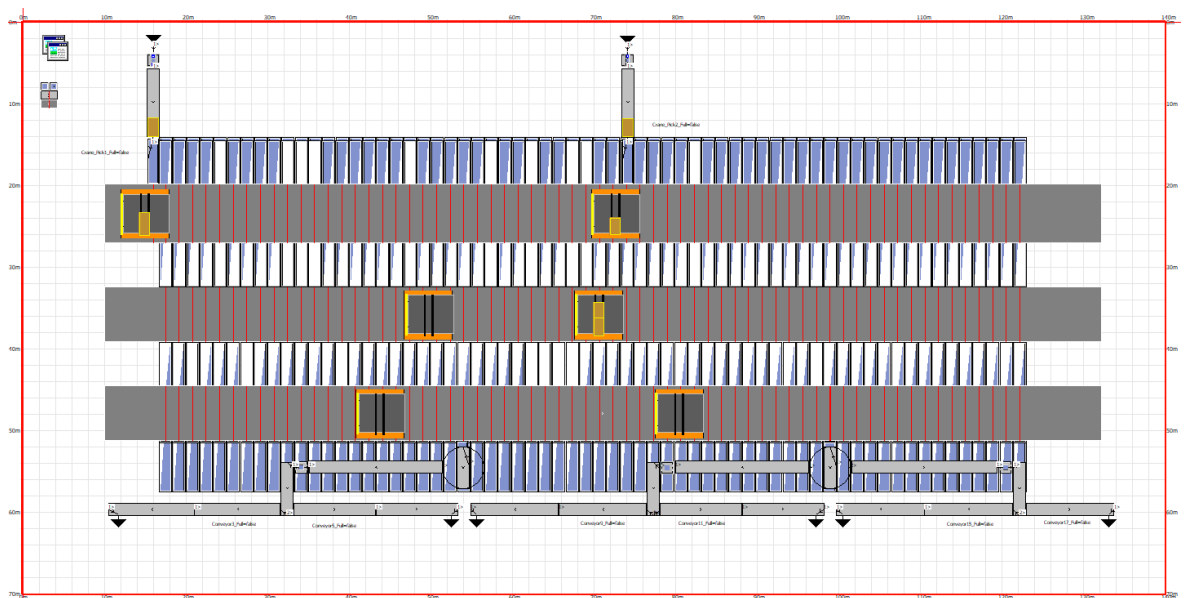
Kuva 15. Osa sekakanavakäytön koodista.

Tuotteiden oikeanlaisuuden tarkistavan method-objektin sisälle tehtiin koodi, jonka mukaan määriteltiin, sallitaanko tuotteen siirto tai varastointi tarkastelussa olevaan kanavaan. Kuvassa 15 on osa tehdystä koodista. Koodi perustui tuotteille määritellyn Boolean-arvoon siitä, onko tuote varastoitava tavallisiin kanaviin vai sekakanaviin. Tämän arvon perusteella tuotteet, joille etsittiin läpivienti- tai varastopaikkaa, siirrettiin oikeaan osaan koodia ja määriteltiin sen mukaisesti voiko tuote mennä kanavaan. Aina kun tyhjä kanava löytyi ja tuote oli määritelty sekakanaviin varastoitavaksi, Location data -taulukon kirjoitettiin kyseisen kanavan kohdalle sen olevan siitä hetkestä eteenpäin sekakanava. Sama periaate toimi tavallisille tuotteille: Kun tyhjä kanava löytyi ja tuote oli määritelty tavallisiin kanaviin varastoitavaksi, kanavan tietoihin merkittiin sen olevan tavallinen kanava. Tämä tieto kirjoitettiin aina uudelleen Location data -taulukon, kun kanava oli tyhjä ja sinne varastoitiin tai siirrettiin uusia tuotteita.

5 TULOKSET

5.1 Automatisoidun syväkanavajärjestelmän simulointi

Automatisoitu syväkanavajärjestelmä onnistuttiin simuloimaan Plant Simulationin ja sen käyttämän varastokirjaston avulla. Kaikki syväkanavajärjestelmän toimintaan vaadittavat komponentit saatiin luotua ja niiden toiminta varmistettua. Kohdenne- tuilla testeillä ja käyttäen yksinkertaista tuotantodataa varmistettiin materiaalivirran toiminta mallissa.



Kuva 16. Valmis simulaatiomalli käynnissä.

Kuvassa 16 on valmiin mallin simulaatioajo käynnissä. Ylhäällä kuvassa on kaksi sisääntuloa, alhaalla on ulosmenokuljettimet. Keskellä näkyvät leveät käytävät ovat sorterien ja hissien käytäviä. Käytävien päällä näkyvät laitteet ovat sorttereita ja hissejä, joista osa on kuljettamassa kuvanottohetkellä tuotteita. Ylimmäinen ja alimmainen käytävä ovat sorterikäytäviä, keskimmäinen on hissikäytävä. Hissikäytävä on maan tasalla, sorterikäytävät kulkevat todellisuudessa varastohyllykköjen välissä. Mallissa sorterikäytävät on graafisesti nostettu päällimmäiseksi havainnollistamisen helpottamiseksi. Käytävien ympärillä nähtävät siniset ja valkoiset objektit ovat varastohyllyobjekteja. Sininen väri kuvaa sitä, että kyseisessä varastopaikassa on tuotteita, täysin valkoinen objekti tarkoittaa varastopaikan olevan tyhjä.

Yksinkertaisen tuotantodatan avulla varmistuttiin koko järjestelmän toiminnasta alusta loppuun asti. Alkuvaraston luominen onnistui ilman virheitä: Jokaiselle tuotteelle löytyi varastointipaikka, ja vapaita paikkoja etsivä method-objekti toimi moitteettomasti. Sisään tulevat tuotteet lähtivät jakeluobjekteilta ja liikkuvat interface-objektien kautta pääsivulta varastosivulle. Lopulta ne liikkuvat sisään tulevia kuljettimia pitkin crane pick -objekteille, josta sorterit noutivat ne, ja veivät sen jälkeen läpivientipaikoille. Hissit noutivat sisään tulevat tuotteet läpivientipaikoilta ja varastoivat ne oikeisiin, varastointistrategioiden avulla tuotteille määritelyihin varastopaikkoihin. Hissit osasivat myös hakea ulosmenevät tuotteet varastopaikoista ja viedä ne ulosmeneville läpivientipaikoille. Ulosmenopuolen sorterit hakivat tuotteet ulosmenevistä läpivientipaikoista ja veivät ne lopulta crane put -objekteille, joista ne liikkuvat rakennettua kuljetinjärjestelmää pitkin ulos varastosivulta kuluttajaobjekteille.

Suorituskykyraportointi toimi odotetulla tavalla. Järjestelmän täyttöasteesta, hissien ja sorterien käyttöasteista sekä läpimenokapasiteetista saatiin kerättyä tarkoituksenmukaiset tiedot. Tiedoista saatiin muodostettua taulukoita ja havainnollistavia kuvaajia.

datetime	integer	integer	integer	integer	integer	integer	integer
1	2	3	4	5	6	7	8
string	Fill Rate Total	Fill Rate Left	Fill Rate Right	Infeed left	Infeed right	Outfeed left	Outfeed right
1 01.04.2018 06:30:00.0000	31	40	22	6	18	0	0
2 01.04.2018 07:30:00.0000	30	39	22	21	38	0	0
3 01.04.2018 08:30:00.0000	30	39	22	21	20	0	0
4 01.04.2018 09:30:00.0000	30	39	21	13	40	0	0
5 01.04.2018 10:30:00.0000	29	38	21	21	22	0	0
6 01.04.2018 11:30:00.0000	29	38	21	17	21	0	0
7 01.04.2018 12:30:00.0000	29	38	21	24	18	0	0
8 01.04.2018 13:30:00.0000	29	38	20	24	18	0	0
9 01.04.2018 14:30:00.0000	28	37	20	35	21	0	0

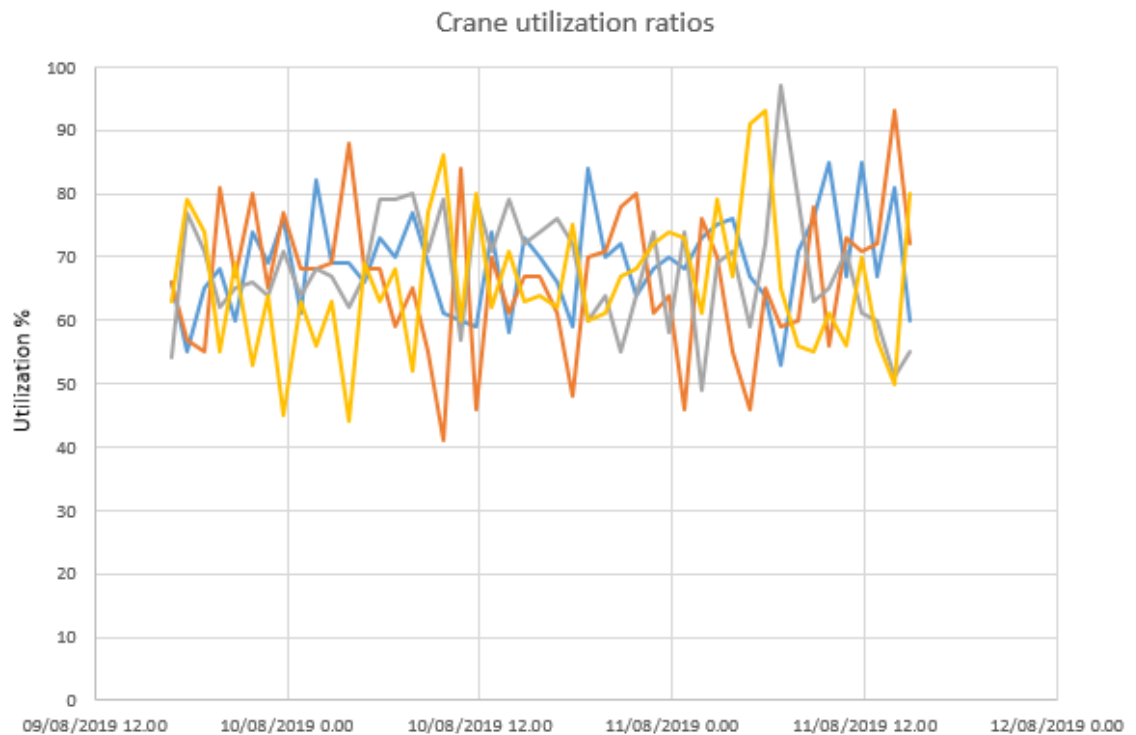
Kuva 17. Täyttöaste-, sisääntulo- ja ulosmenotaulukon sisältöä.

Järjestelmän täyttöasteen, sisääntulomäärät ja ulosmenomäärät sisältävästä taulukosta on esimerkki kuvassa 17. Tiedot päivitettiin taulukkoon simulaatioajassa mitattuna tunnin välein. Sarakkeessa 1 on simulaatiomallin aika, jolloin kyseisen rivin tieto on tallennettu. Sarakkeissa 2–4 esitetään prosenttilukuina järjestelmän täyttöasteet kyseisellä hetkellä. Sarakkeissa 5 ja 6 on esitetty lukumäärät sisään tulevista tuotteista vasemmasta ja oikeasta sisääntulosta edellisen tunnin aikana. Sarakkeissa 7 ja 8 on ulosmenomäärät vasemmasta ja oikeasta ulosmenojärjestelmästä, mutta kuvanottohetkellä tuotteita ei liikkunut mallissa ulospäin, joten lukumääriksi oli kirjattu 0.

datetime 1	integer 2	integer 3	integer 4	integer 5	integer 6	integer 7	
string Time	SorterUp1	SorterUp2	SorterDown1	SorterDown2	Crane1	Crane2	
1	01.04.2018 07:00:00.0000	41	64	0	0	36	69
2	01.04.2018 08:00:00.0000	32	45	0	0	37	50
3	01.04.2018 09:00:00.0000	41	60	0	0	39	72
4	01.04.2018 10:00:00.0000	33	63	0	0	31	79
5	01.04.2018 11:00:00.0000	36	42	0	0	39	46
6	01.04.2018 12:00:00.0000	50	37	0	0	59	36
7	01.04.2018 13:00:00.0000	41	34	0	0	36	26
8	01.04.2018 14:00:00.0000	46	42	0	0	53	38

Kuva 18. Käyttöastetaulukon sisältöä.

Hissien ja sorterien käyttöasteet sisältävästä taulukosta on esimerkki kuvassa 18. Käyttöasteet on ilmoitettu prosentteina ja tiedot päivitettiin simulaatioajassa mitattuna tunnin välein. Sarakkeessa 1 on tietojen lisäämisaika. Sarakkeissa 2 ja 3 on sisääntulupuolen sorttereiden käyttöasteet. Sarakkeissa 4 ja 5 on ulosmenupuolen sorttereiden käyttöasteet, mutta kuvanottohetkellä niillä ei ollut tehtäviä, joten käyttöasteet on ilmoitettu nolliina. Sarakkeissa 6 ja 7 on hissien käyttöasteet.



Kuvio 4. Esimerkki Excel-ohjelmalla tehdystä kuvaajasta.

Plant Simulationin export-ominaisuuden avulla saadut numeeriset tiedot oli helppo siirtää Excel-ohjelmaan. Excelin avulla numeerisesta datasta voitiin muodostaa tarkoituksenmukaisia kuvaajia, joita voitiin hyödyntää tulosten havainnollistamisessa. Kuviossa 4 on esitetty esimerkki Excelillä muodostetusta kuvaajasta. Y-akselille voidaan syöttää esimerkiksi käyttöasteet, x-akselille ajankohdat. Kuvion 4 kuvaajassa käytetty data on esimerkkitietoa.

5.2 Sekakanavien muodostaminen ja käyttöönotto

Sekakanavien muodostaminen ja käyttöönotto onnistuivat. Tilausdatan jäsentämistä varten luotiin method-objekti, jonka avulla saatiin sekakanavia ja niihin varastoitavia tuotteita varten kerättyä tarvittavat tiedot. Sekakanaviin varastoitaville tuotteille määriteltiin omassa method-objektissa Boolean-arvo siitä, oliko tuote varastoitava sekakanaviin. Sekakanavat muodostettiin ja otettiin käyttöön method-objektissa, joka tarkistaa simulaation edetessä, onko tuote oikeanlainen sen hetkisessä tarkastelussa olevaan kanavaan. Tarkastelu perustui sille, vastasiko tuotteille määritelty Boolean-arvo sekakanaviin varastoinnista kanavalle määriteltyä arvoa varastointitavasta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Pesmel Oy:n toimeksiannosta. Opinnäytetyön tavoitteina oli selvittää, miten automatisoitu syväkanavajärjestelmä simuloidaan Plant Simulationin ja sen käyttämän varastokirjaston avulla sekä miten sekakanavat muodostetaan ja otetaan käyttöön syväkanavajärjestelmän simulaatiomallissa.

Työn teoriaosuudessa kerrottiin automatisoitujen varastointi- ja hakujärjestelmien sekä simuloinnin teoriaa. Myös Plant Simulationin ja sen käyttämän varastokirjaston perusteet esiteltiin teoriaosuudessa. Tutkimusosuudessa kerrottiin yksityiskohtaisesti automatisoidun syväkanavajärjestelmän simuloinnin, sekakanavien muodostamisen ja niiden käyttöönoton eri vaiheista.

Työn tavoitteet saavutettiin. Syväkanavajärjestelmä onnistuttiin simuloimaan Plant Simulationin ja varastokirjaston avulla. Kaikki syväkanavajärjestelmän toiminnot testattiin kohdennetuilla kokeilla ja jokainen testi suoritettiin onnistuneesti. Sekakanaviin varastoitavat tuotteet määriteltiin niiden esiintymismäärien perusteella. Sekakanavat muodostettiin ja otettiin käyttöön onnistuneesti tehdyn koodin avulla.

6.2 Pohdinta

Työn tekijällä ei ollut aiempaa kokemusta automatisoidun syväkanavajärjestelmän simuloinnista. Tekijä oli aiemmin tehnyt vain simulaatiomalleja, joissa esiintyi vain yhdenlaisia tuotteita ja joissa varastokanavat olivat yksipaikkaisia. Aiemmat simuloinnit kuitenkin antoivat hyvän pohjan lähteä ratkaisemaan tämän työn simulointiongelmia, sillä perusteet olivat samat aiempien töiden kanssa.

Syväkanavajärjestelmän simulaatiomallin rakentaminen sujui ilman suurempia ongelmia. Varasto-objektien luominen, layoutin rakentaminen, hissien ja sorterien nopeuksien määrittäminen sekä muiden simulaatiomallin peruselementtien luominen oli vaivatonta, sillä niiden tekeminen tapahtui samoin kuin aiemmissa simulaatiomalleissa.

Suurin haaste simulaatiomallin luomisessa oli toiminnallisuuden ohjelmointi. Aiemista malleista sai otettua käyttöön tähän työhön soveltuvia method-objekteja, mutta tämä työ toi lukuisia uusia ohjelmointihaasteita, joita täytyi ratkaista. Uusia ohjelmointihaasteita olivat muun muassa erikokoisten tuotteiden käsittely ja hallinta, täysien kuormien nouto ja varastointi yksittäisten tuotteiden sijaan, historiallisen tuotantodatan käyttäminen sisään tulevissa ja ulos menevissä tilauksissa sekä sekakanavien muodostaminen ja käyttäminen. Monimutkaisten ohjelmointiongelmien ratkaiseminen oli aikaa vievää, joten tämä vaihe oli myös ajallisesti pisin.

Vaativien ongelmien ratkaiseminen opettaa paljon, joten työtä tehdessä kokemus simulaatiomallien tekemisestä lisääntyi huomattavasti. Työtä tehdessä karttuneet taidot ovat jatkossa tarpeen työelämän todellisia simulaatioprojekteja tehtäessä.

6.3 Jatkotyö

Syväkanavajärjestelmän simuloinnissa yksinkertaistettiin joitain elementtejä, sillä opinnäytetyön tekemisen aika oli rajallinen ja nämä elementit olivat sellaisia, jotka eivät vaikuttaneet työn tavoitteiden saavuttamiseen. Yksinkertaistettuja kohteita olivat esimerkiksi kääntöpöytien toiminta ja kuljetinjärjestelmien toiminta. Myöhemmissä töissä näihin yksinkertaistettuihin kohteisiin voidaan syventyä tarkemmin, jolloin simulaatiomalleista saadaan entistä tarkempia ja ne vastaisivat paremmin todellisen työelämän vaatimuksia.

Tässä työssä saatiin muodostettua sekakanavat ja otettua ne käyttöön. Kuitenkin niiden syvälinen käyttäminen osana laajaa järjestelmää vaatii vielä lisätyötä. Kymmenien tuhansien tuotteiden liikkuminen järjestelmässä vaatii, että jokainen simuloinnin osa-alue saadaan mallinnettua tarkalleen oikein. Pienikin ohjelmointivirhe voi kaataa koko simuloinnin. Varastokirjasto ei sisällä valmiita elementtejä sekakanavien käyttöön. Kaikki siihen liittyvä ohjelmointi on tällä hetkellä käyttäjän vastuulla ja käyttäjältä vaaditaan syvällistä ohjelmointiosaamista sekä varastokirjaston toimintojen hallintaa. Yhteistyössä Cards PLM Solutionsin kanssa käyttäjä voisi kehittää sekakanavien käyttömahdollisuuksia kirjastoon.

Sekakanavien käyttömahdollisuuksien kehittämisen jälkeen seuraava iso jatkotyö olisi toteuttaa simuloinnin avulla tehtävä tutkimus sekakanavakäytön optimoinnista. Tutkimuksen avulla todellisista järjestelmistä voitaisiin saada selville, mitkä tuotteet kannattaisi sijoittaa sekakanaviin järjestelmän eheyden, läpimenokapasiteetin ja täyttöasteen kannalta. Plant Simulationin ja varastokirjaston avulla tehtävästä sekakanavakäytön optimoinnista ei ole olemassa ennakkomateriaalia, joten jatkotyön tekijältä vaaditaan syvällistä Plant Simulationin, varastokirjaston ja ohjelmoinnin osaamista sekä kykyä tehdä yhteistyötä asiantuntijatahojen kanssa liittyen tehtävään työhön ja käytettyihin työkaluihin.

Lähteet

Anttila, E. 2019. Asiantuntija. Pesimal Oy. Kirjallinen tiedonanto 25.10.2019.

Bangsow, S. 2015. Tecnomatix plant simulation: modeling and programming by means of examples. [Verkkokirja]. Cham: Springer International Publishing. [Viitattu 22.8.2019]. Saatavana Ebsco online resources -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Business Insider. 2019. Automated Storage and Retrieval System (ASRS) Market Worth \$11.0 Billion by 2024 - Exclusive Report by MarketsandMarkets™. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.10.2019]. Saatavana: <https://markets.businessinsider.com/news/stocks/automated-storage-and-retrieval-system-asrs-market-worth-11-0-billion-by-2024-exclusive-report-by-marketsandmarkets-1028133572>

Cards PLM Solutions. 2019. Plant Simulation - Warehousing & Logistics Library. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.8.2019]. Saatavana: <https://www.cardsplmsolutions.com/nl/producten/tecomatix/plant-simulation-warehousing-logistics-library/>

Conveyco. 2019. Pros and Cons of AS/RS for Warehouse Automation. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.10.2019]. Saatavana: <https://www.conveyco.com/pros-cons-asrs-warehouse-automation/>

Fahllund, K. 2012. Operational efficiency and cost savings with Pesimal TransRoll Storing. [Verkkojulkaisu]. Pesimal Oy. [Viitattu 25.10.2019]. Saatavana: https://www.pesimal.com/sites/default/files/articles/P_TransRoll_storing.pdf

Fahllund, K. 2018. Automated roll warehouse case study: Stora Enso Imatra. [Verkkojulkaisu]. World Pulp & Paper 2018. [Viitattu 20.10.2019]. Saatavana: <https://www.pesimal.com/sites/default/files/articles/WP%26P%2018%20StoraEnso.pdf>

Jagannathan, R. & Suksi, J. 2014. Merits of rack supported, automated and safe steel warehouse. [Verkkojulkaisu]. Pesimal Oy. [Viitattu 24.10.2019]. Saatavana: https://www.pesimal.com/sites/default/files/articles/M_Merits_of_rack_supported_warehouse.pdf

Jracking. Ei päiväystä. [Kuva]. [Viitattu 18.10.2019]. Saatavana: <https://www.jracking.com/compact-pallet-rack/automatic-storage-and-retrieval-system-asrs.html>

Klinkhammer. Ei päiväystä. High-bay warehouse design types. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.10.2019]. Saatavana: <https://www.klinkhammer.com/en/warehouse-systems/high-bay-warehouse/>

- Ko, M., Park, S.C. & Chang, M. 2013. Control level simulation of an automatic storage and retrieval system in the automotive industry. [Verkkolehtiartikkeli]. Concurrent Engineering 21 (1), 13-25. [Viitattu 28.8.2019]. Saatavana Sage Journals -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Mes, M. 2017. Simulation Modelling using Practical Examples: A Plant Simulation Tutorial. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 11.10.2019]. Saatavana: <https://www.utwente.nl/en/bms/iebis/staff/mes/plantsimulation/tutorialplantsimulation13-v20171227.pdf>
- MHI. 2019. Automated Storage and Retrieval Systems. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.10.2019]. Saatavana: <http://www.mhi.org/fundamentals/automated-storage>
- Netting, M. 2010. The Sky's The Limit. [Verkkolehtiartikkeli]. Food Logistics 125, 28,30-31. [Viitattu 17.10.2019]. Saatavana ProQuest-tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Pesmel Oy. 2016. Pesmel Material Flow How - tailored solutions for paper mills and converting plants. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.10.2019]. Saatavana: https://www.pesmel.com/sites/default/files/content_body_images/downloads/NewsFlow_Paper_2016_MaterialFlowHow.pdf
- Pesmel Oy. 2018a. NewsFlow 2018. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.10.2019]. Saatavana: https://www.pesmel.com/sites/default/files/content_body_images/downloads/Pesmel_NewsFlow_Paper_2018_lores.pdf
- Pesmel Oy. 2018b. Pesmel in Brief. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.8.2019]. Saatavana: https://www.pesmel.com/pesmel_in_brief
- Rogers, L. 2011. How AS/RS works. [Verkkolehtiartikkeli]. Modern Materials Handling 66 (3), 36-38,40,42. [Viitattu 15.10.2019]. Saatavana ProQuest-tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Roodbergen, K.J. & Vis, I.F.A. 2009. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. [Verkkojulkaisu]. European Journal of Operational Research 194 (2), 343-362. [Viitattu 27.8.2019]. Saatavana: <http://www.roodbergen.com/publications/EJOR2009.pdf>
- Siemens. 2014. Tecnomatix Plant Simulation. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.8.2019]. Saatavana: https://siemens.mindsphere.io/content/dam/plm/plant_simulation_fact_sheet.pdf
- Siemens. 2017. Tecnomatix Plant Simulation Help. [Ohjetiedosto]. Siemens AG. [Viitattu 22.10.2019]. Saatavana: vain ohjelmalienssillä.