

Henry Backman

**Simuloinnin hyödyntäminen keräilyjärjestelmän ja
tuotesijoittelun suunnittelussa**

Insinööri työ 6.5.2009

Ohjaaja: osastopäällikkö Ville Hyvönen
Ohjaava opettaja: lehtori Arto Ekström

Tekijä	Henry Backman
Otsikko	Simuloinnin hyödyntäminen keräilyjärjestelmän ja tuotesijoittelun suunnittelussa
Sivumäärä	43 sivua
Aika	6.5.2009
Koulutusohjelma	tuotantotalous
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	osastopäällikkö Ville Hyvönen
Ohjaava opettaja	lehtori Arto Ekström
<p>Insinööriyössä selvitetään simuloinnin ja simulointiprojektin yleistä teoriaa ja esimerkkinä esitetään EP-Logisticsin tekemä simulointiprojekti. Tässä projektissa arvioitiin asiakkaan keräilyjärjestelmäkonseptin toimivuutta käytännössä ja kehitettiin siihen tuotesijoittelua.</p> <p>Projekti noudatti simulointiprojektin tyypillistä kaavaa, ja sen aikana tuli hyvin esille kuinka projektin aikana usein palataan takaisin edellisiin vaiheisiin muutosten yhteydessä. On hyvin harvinaista että simulointiprojekti kulkee lineaarisesti vaiheidensa läpi vaan muutoksia malliin ja simuloitavaan järjestelmään kehitetään projektin edetessä.</p> <p>Tuotesijoittelun kehitys oli aktiivista koko projektin ajan, mutta sen vaikutukset järjestelmän toimintaan jäivät yllättävän pieniksi. Tämä johtui osaltaan järjestelmän sujumattomasta toiminnasta ja osittain lähtödatan tilausten valmiista osittelusta, jota ei purettu. Koeteltuihin menetelmiin kuuluivat korrelaatioanalyysit, tuoteryhmäsijoittelut ja geneettiset algoritmit.</p> <p>Projektin lopputuloksena keräilyjärjestelmä todettiin keräilyteholtaan odotettua heikommaksi eikä projekti edistynyt implementointivaiheeseen. Keräilyn toteuttamiseksi asiakasyrityksellä on muitakin konsepteja, mutta niitä ei tässä projektissa käsitelty. Projektin katsottiin kuitenkin olleen erittäin hyödyllinen, sillä sen tuloksena pystyttiin sulkemaan pois yksi toimimaton idea keräilyjärjestelmän toteuttamiseksi.</p>	
Hakusanat	simulointi, simulointiprojekti, promodel, tuotesijoittelu

Author	Henry Backman
Title	Usage of simulation in designing a picking system and product placements
Number of Pages	43
Date	6.5.2009
Degree Programme	Industrial Engineering and Management
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Ville Hyvönen, Head of Department
Supervisor	Arto Ekström, Lecturer
<p>This bachelor's thesis is concerned with the well-known theory about simulations and simulation projects. Included is also an example project done by company EP-Logistics. The purpose of that project was to evaluate the client's concept of a planned picking system and develop product placements for the system.</p> <p>The project followed the typical pattern of simulation projects and also showed how projects return back to previous steps when changes are made. Very rarely do simulation projects follow a linear route from start to finish.</p> <p>The project team actively designed and tested new product placements during the whole project. The effects of improvements on the other hand were surprisingly minor. This was partly because the whole system was working inefficiently, but also because the picking blocks were made up of the orders based on the old picking system and they were not broken down into original orders. Methods for finding new product placements included correlation analysis, product group placements and genetic algorithms.</p> <p>The result of the project was that the picking system's productivity was weaker than expected and so with this system the project did not continue to the implementation phase. The client had other system concepts in mind but they were beyond the scope of this project. Overall, the project was valuable because this idea could be discarded, and the focus can now be moved towards other ideas.</p>	
Keywords	simulation, simulation project, promodel, product placement

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	6
2 Simulointi	9
2.1 Simulointiprojektin vaiheet	13
2.1.1 Ongelman määrittely	13
2.1.2 Mallin suunnittelu	13
2.1.3 Tiedon keräys	14
2.1.4 Mallin rakentaminen	14
2.1.5 Mallin validointi	15
2.1.6 Tuloksien analysointi	16
2.1.7 Dokumentointi	17
2.1.8 Implementointi	17
2.2 ProModel-simulointiohjelmisto	18
3 Projektin kulku	19
3.1 Keräilyjärjestelmän määrittely	20
3.2 Keräisyksiköt	21
3.3 Keräilijät	22
4 Tuotesijoittelu	22
4.1 Tuotesijoittelun eteneminen	23
4.2 Tuotesijoittelun luominen geneettisellä algoritmillä	25
5 Simulointimalli	26
5.1 Mallin kuvaus	26
5.1.1 Keräilypaikat	27
5.1.2 Keräilypaikan toiminta	27
5.1.3 Keräys- ja täyttöyksiköt	27
5.1.4 Keräisyksiköiden reittiverkko	28
5.1.5 Täyttöyksiköiden reittiverkko	29
5.1.6 Reittiverkkojen luonti	30
5.2 Simulointimallin verifiointi	32

6 Simuloinnin tulokset	32
6.1 Kuuden käytävän tulokset	33
6.2 Kahdeksan käytävän järjestelmän tulokset	34
6.3 16 käytävän järjestelmän tulokset	39
7 Projektin tulos	40
8 Johtopäätökset	41
Lähteet	43

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä kerrotaan keräilyjärjestelmän tuotesijoittelun suunnittelusta ja suunnitelmien arvioinnista simulointia hyödyntäen. Tämä työ pohjautuu EP-Logistics Oy:n tekemään projektiin, jossa asiakasyrityksen suunnittelema keräilyjärjestelmä simulointiin. Simulointimallin avulla pystyttiin myös testaamaan layoutiin ja tuotesijoitteluun tehtävien muutoksien vaikutukset. Työ koostuu teoriaosuudesta ja tuotesijoittelun suunnittelun ja simuloinnin kuvaamisesta. Teoriaosuudessa kerrotaan simuloinnista ja simulointiprojektin etenemisestä ja sen eri vaiheista.

Osallistuin projektiin pääasiallisesti simuloijana, mutta olin mukana myös tuotesijoittelun laatimisessa. Opinnäytetyö on hyvin käytännönläheinen ja pääsääntöisesti työn pohjana on itse laatimani simulointimalli ja sen ajojen tulokset. Työssä kerrotaan myös tuotesijoittelun kehittamisestä ja sen tuomista tuloksista kyseisessä keräilyjärjestelmässä.

Työssä käsiteltävän projektin tavoitteena oli testata simuloinnin avulla asiakkaan hahmotteleman keräilyjärjestelmän toimivuus käytännössä sekä kehittää siihen liittyvää tuotesijoittelua. Projekti suoritettiin syksyllä 2008, jonka jälkeen tämä työ on kirjoitettu projektin pohjalta.

Käsiteltävää keräilyjärjestelmää ei ole todellisuudessa toteutettu, ja simulointi tehtiinkin vain teoreettisen idean pohjalta. Järjestelmään liittyvät parametrit ja rajoitukset EP-Logisticsin projektitiimi sai asiakkaalta ja näiden pohjalta ideasta laadittiin toimiva simulointimalli. Työn kirjoittaja on osallistunut useampiin muille asiakkaille tehtyihin simulointiprojekteihin jo aikaisemmin, mutta tämä yhteistyöprojekti oli ensimmäinen tämän yrityksen kanssa.

Työ on rajattu koskemaan vain simulointimallin toimintaa ja osittain tuotesijoittelun kehittämistä. Asiakaskohtaisiin yksityiskohtiin ei olla syvennetty, eikä suunniteltua laitteistoa ole simuloinnin kannalta välttämättömän tiedon lisäksi kuvattu. Tämä johtuu siitä, että varmaa tietoa mistään ei vielä ollut, eivätkä ne lisäksi olleet simuloinnin kannalta oleellisia. Simulointimalli ei ota kantaa tässä tapauksessa toimialaan tai

siirreltävien tuotteiden laatuun, vaan tuote-entiteetit kuvaavat vain yleistä ideaa jostakin tuotteesta. Työ on kuitenkin tehty asiakasyrityksen suostumuksella, ja se on tarkastettu myös sen toimesta ennen luovuttamista.

Yritysesittely

EP-Logistics Oy on Suomen suurin logistiikan ja automaattisen materiaalinkäsittelyn suunnitteluun erikoistunut konsultointiyritys. Sen palvelutarjonta ulottuu logistiikkastrategioiden kehittämisestä aina suunniteltujen ratkaisujen käytännön toteutuksen ohjaamiseen. Palveluita tarjotaan teollisuuteen, kauppaan, satamille ja julkiselle sektorille. Yrityksen palveluksessa on tällä hetkellä noin 25 työntekijää. (1.)

EP-Logistics on vuonna 1965 perustetun Esko Poltto Oy:n jatkaja, ja sille on vuosikymmenien kuluessa kertynyt mittava kokemus ja osaaminen logistiikan suunnittelusta ja kehittamisestä. Vuosittain yritys osallistuu noin sataan projektiin. Työkaluina on käytössä muun muassa simulointiohjelmisto, GIS ja CAD. (1.)

Asiakkaina on useita suurimpia suomalaisyrityksiä sekä kattava joukko pienempiäkin yrityksiä. Merkittävä osa Suomessa tällä hetkellä käytössä olevista kaupan ja teollisuuden logistiikkajärjestelmistä, materiaalinkäsittelyratkaisuista, varastoista ja satamista on EP-Logisticsin kehitystyön ja suunnittelun tulosta. (1.)

Case Atria

EP-Logistics on ollut tekemässä lukuisia projekteja Atrialle vuodesta 1995 alkaen (2). Näihin lukeutuu jakelukeskuksen toiminnallinen suunnittelu, hankinta ja toimitusvalvonta (2). EP-Logistics oli keskeisessä osassa mukana suunnittelussa toteutuksessa Atrian Nurmon logistiikkakeskuksen kehitysprojektissa. Uuden logistiikkakeskuksen tuli vastata muuttuvan kaupan haasteisiin. Tilauskoot olivat pienentyneet ja vastaavasti tilauksia oli entistä suurempi määrä. Toiminnan lähtökohtana kuitenkin oli, että asiakas saa tuotteet entistäkin tuoreempina. (3.)

Kun logistiikkakeskus otettiin käyttöön, se poisti trukkiliikenteen ja käsilavauksen tarpeen tuotantotiloissa. Tämä edisti hygieniää ja turvallisuutta ja turhien työvaiheiden

poistumisen kautta vähensi ympäristökuormitusta. Samalla varmistettiin plus kahden asteen kylmäketjun katkeamattomuus läpi koko prosessin.

Uusi logistiikkakeskus mahdollisti varastoinnin ja keräilyn keskittämisen yhdelle paikkakunnalle. Uudessa logistiikkakeskuksessa tuotteet keräillään keräilypisteissä asiakkaan haluamassa hyllyjärjestyksessä ja osaksi reittikohtainen keräily muuttui asiakaskohtaiseksi keräilyksi. Keräilypisteessä voidaan myös toteuttaa asiakaskohtaisia palveluita, kuten hinnoittelua tai vientikarttonointia. (3.)

Uuden logistiikkakeskuksen käyttöönotolla saavutettiin mm. seuraavia hyötyjä (3):

- Tuotteet liikkuvat entistä nopeammin sekä tuoreempina kaupan hyllylle ja kuluttajan pöytään.
- Tuotevalikoimien kasvattaminen ja pakkausvaihtoehtojen lisääminen helpottuu.
- Kiertonopeus kasvaa.

Case Hartwall

Oyj Hartwall Ab on Suomen suurin olut- ja virvoitusjuomayhtiö. Tuotantoa Hartwallilla on kotimaassa Helsingissä, Lahdessa, Karijoella ja Torniossa. Tuotannon ja varastotoimintojen keskittämällä Lahteen yritys saavuttaa aiempaa paremman tuotannon joustavuuden ja kustannustehokkuuden. Uudet tekniset ratkaisut sekä tuotannossa että varastotoiminnoissa mahdollistavat materiaalivirtojen keskittämisen ja säästöt logistiikkakustannuksissa. (4.)

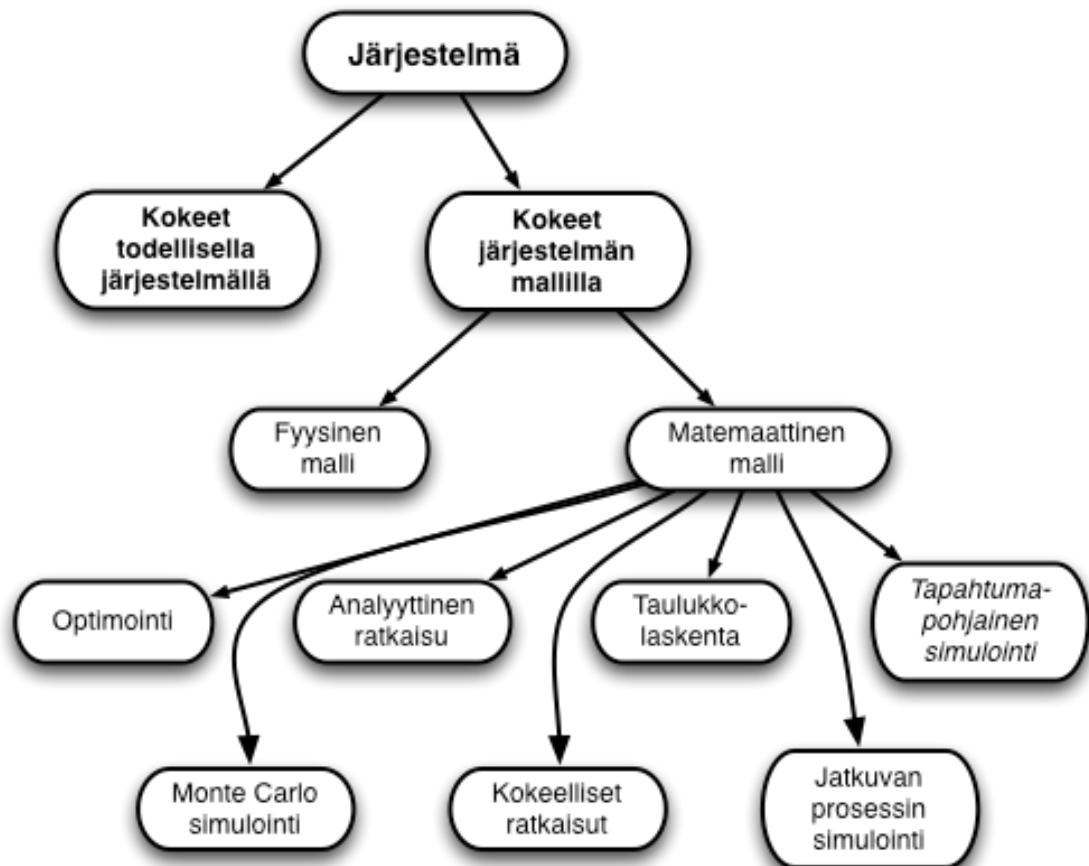
EP-Logistics on toiminut hankkeessa sisälogistiikan suunnittelun, hankinnan ja toteutuksen asiantuntijana. Toimenkuvaan kuuluivat materiaalivirta-analyysit ja järjestelmän mitoitus, järjestelmien toiminta- ja ohjauskuvaukset ja järjestelmien hankinta- ja toimitusvalvonta. Toiminnan suunnittelu ja varmennus suoritettiin simuloimalla. (4.)

Projektista seurasi merkittäviä hyötyjä. Näihin kuului tuotannon keskittämisestä aiheutuvien riskien minimointi, uuden tuotantostrategian toimivuuden varmistaminen, valmistuotevaraston koon minimointi ja materiaalinkäsittelyjärjestelmien toimivuuden varmistaminen. (4.)

2 Simulointi

Simulointi on määritelty Jerry Banksin kirjassa Handbook of simulation seuraavasti: simulointi on todellisen maailman prosessin tai järjestelmän toiminnan mallintamista (5, s. 3). Simulointi on tärkeä työkalu, koska usein suunnitelmien taloudellisuuden ja toimivuuden arviointi on monimutkaista eikä sitä pystytä luotettavasti tekemään yksinkertaisilla laskelmilla. Aikaulottuvuuden huomioon ottamisen vuoksi tavanomaiset kannattavuus- ja kapasiteetilaskelmat eivät riitä. Tähän on ratkaisuksi kehitetty simulointiohjelmistot, joilla pystytään rakentamaan yksinkertaistettu kuvaus tavoitellusta järjestelmästä ja tilanteesta.

Tapahtumapohjainen simulointi ei ole ainoa tapa tutki järjestelmän toimintaa vaan se on vain yksi operaatioanalyysin menetelmistä. Operaatioanalyysissä pyritään tutkimaan todellisten järjestelmien toimintaa ja ratkomaan niissä esiintyviä ongelmia kvantitatiivisia, lähinnä matemaattisia malleja, käyttäen (8, s.1). Kuvassa 1 on esitetty jaottelu erilaisista järjestelmän tutkimisessa käytettävistä menetelmistä.

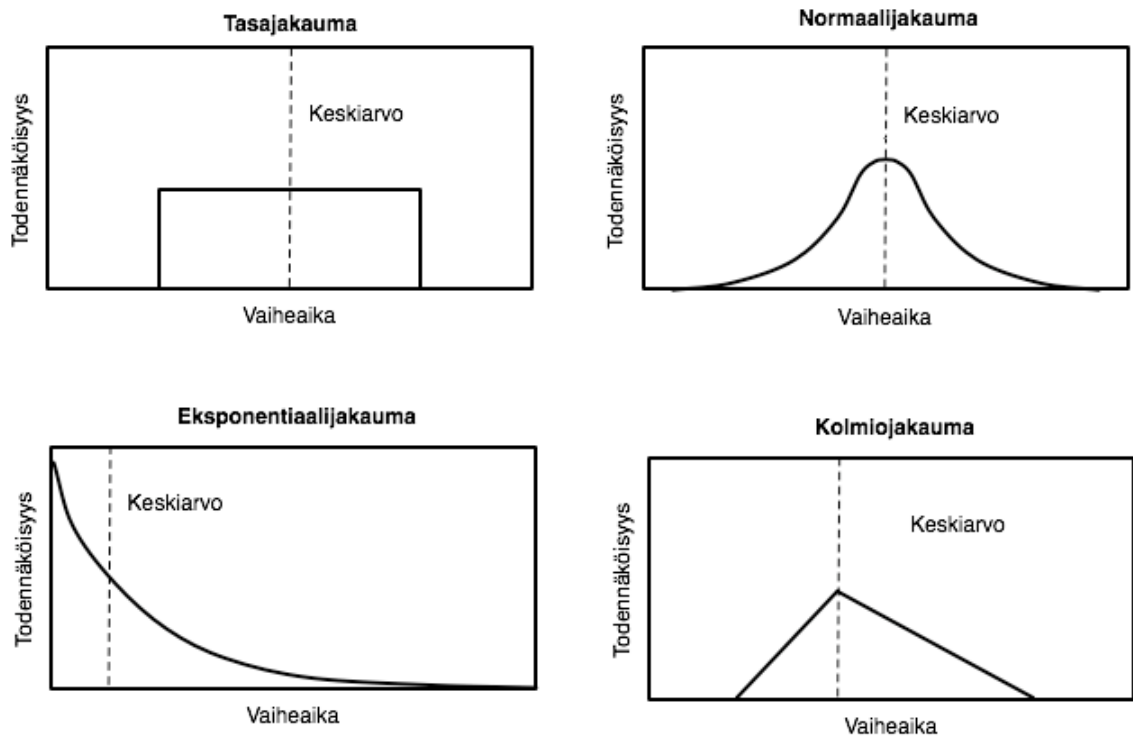


Kuva 1. Järjestelmän tutkimismenetelmiä (9, s. 4)

Tärkeä osa simulointia on olemassaolevan tai suunnitellun tosielämän prosessin yksinkertaistaminen. Tosielämän tilanteita ei ole järkevää mallintaa äärettömän tarkasti, sillä pienet, mutta silti hyvin monimutkaisesti toteutettavat, toiminnot eivät aina vaikuta lopputulokseen mitenkään. Tärkeä osa simulointia onkin erottaa merkittävät ja merkityksettömät toiminnot toisistaan, ja sitä kautta yksinkertaistaa ja kohdistaa huomiota oikein. Sen sijaan monet monimutkaisetkin prosessin osat voidaan mallintaa luotettavasti vain vaiheajojen avulla. Käytännössä siis monimutkaisenkin kokoonpanoprosessi voidaan määrittellä vain tietyn vaiheajan ja todennäköisyysjakauman avulla ja päästä yhtä luotettavaan tulokseen kuin jokaisen yksittäisen komponentin kiinnittämisen ja siirtämisen mallintamisessa.

Vaiheajojen mittaaminen tulisi suorittaa tarpeeksi pitkällä aikavälillä ja järjestelmällisesti. Näytteiden määrän pitää olla suuri, varsinkin jos halutaan kuvastaa todellisuuden mukaisesti vaiheajan todennäköisyysjakaumia. Tyypillisiä simuloinnissa käytettyjä todennäköisyysjakaumia ovat mm. tasajakauma, normaalijakauma,

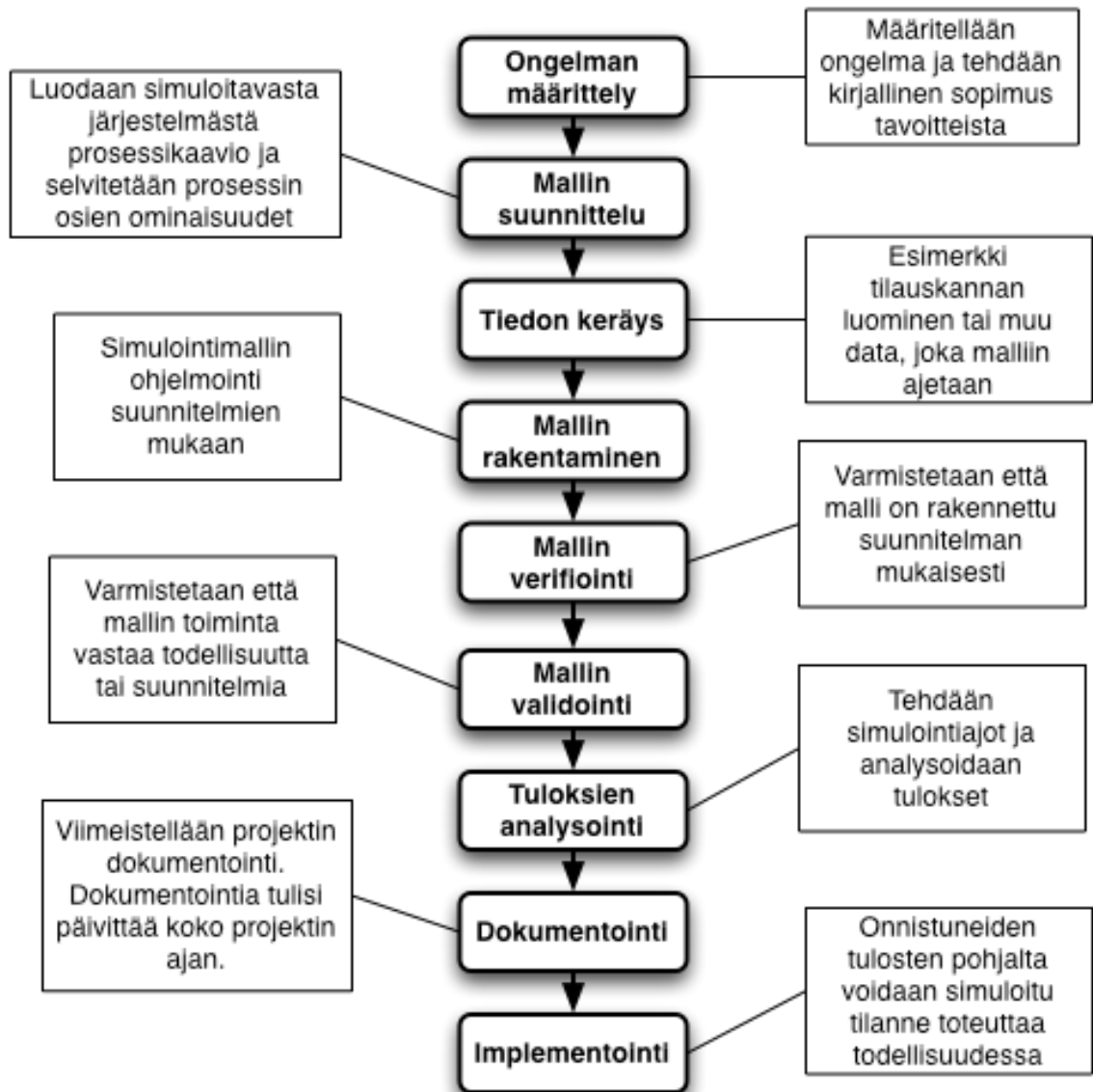
kolmiojakauma ja eksponentiaali-jakauma. (7.) Näiden jakaumien graafiset kuvaukset on esitelty kuvassa 2.



Kuva 2. Esimerkkejä joistakin simuloinnissa usein käytetyistä vaihe-aikojen todennäköisyysjakaumista.

Vaihe-aikejakaumien muotoa merkittävämmäksi nousee kuitenkin usein käytännötoteutuksessa keskiarvo ja hajonta (6). Vaiheajat usein ovat arvioita, ja yksinkertaisin tapa tehdä arvio on selvittää keskiarvon lisäksi minimi ja maksimi. Näillä parametreilla määritetään kolmiojakauma, joka vastaa usein tyydyttävällä tasolla todellisuutta (7).

Simulointiprojektiin kuuluu useita eri vaiheita, joiden kaikkien huolellinen läpikäyminen on edellytys projektin onnistumiselle. Simulointiprojektin kulku on määriteltä useammassa julkaisuissa, esimerkiksi Stewart V. Hoover ja Ronald F. Perry, *Simulation: a problem-solving approach* 1989. Kuvassa 3 on Jerry Banksin kirjasta *Handbook of simulation* peräisin oleva simulointiprojektin kulku.



Kuva 3. Simulointiprojektin kulku (5, s. 722).

Simulointiprojekti kulkee harvoin suoraan kaikkien vaiheiden läpi. Tyypillisesti projektin aikana tulee määrittelyihin muutoksia, jolloin palataan uudestaan edellisiin kohtiin. Simulointiajot tulosten perusteella myös muokataan lähes poikkeuksetta alkuperäistä suunnitelmaa. Jokaisessa projektissa kuitenkin käydään pääsääntöisesti nämä kohdat läpi. (5, s. 722.)

2.1 Simulointiprojektin vaiheet

2.1.1 Ongelman määrittely

Ongelman määrittely on simulointiprojektin tärkein vaihe. Tässä vaiheessa simuloinnin tekävä ja simuloinnin tuloksia odottava taho keskustelevat tarkasti siitä mitä simuloinnilla pyritään ratkaisemaan. Kokenut simulointitiimi esittää avoimia kysymyksiä, eikä pyri millään tavoin ohjailemaan vastauksia. Kuitenkin mielessä täytyy pitää, että kaikki seikat eivät ole merkityksellisiä käsiteltävän ongelman ratkaisemiseksi. Vaikka vastauksia ei tule ohjailla, keskustelun suuntaa ohjataan simulointimalliin liittyviin oleellisiin kysymyksiin. (5, s. 723–727.) Erityisen tärkeää on saada projektin tavoitteet selkeästi kirjattua ylös, sillä hyvin usein pelkässä keskustelussa ilmenee runsaasti olettamuksia ja väärinkäsityksiä. Projektin loppuvaiheessa näitä on paljon vaikeampi käydä läpi, kun mietitään, onko projekti saavuttanut tavoitteensa, ja keskustelun pohjana on vain hataria muistikuvia keskusteluista. Kirjoittamalla tavoitteet ylös voidaan myös varmistua siitä että kaikki osapuolet tietävät mikä ratkaistava ongelma on. Tämä on yllättävän usein hieman epäselvää projektin tilaajallekin. (10. s. 38.)

Projektin alussa on mielekästä myös ennustaa lopputulosta. Yhdessä tehdään yksinkertaisilla laskelmilla jonkinlainen arvio siitä, mikä projektin lopputulos voisi olla. Näin osapuolet keskittyvät enemmän käsillä olevaan ongelmaan, ja itse simulointi pääsee siirtymään taka-alalle. Tämä on tärkeää, sillä hyvin usein mielenkiinto keskittyy simulointimallin ympärille eikä niinkään käsillä olevan ongelman ratkaisemiseen. (5. s. 727.)

2.1.2 Mallin suunnittelu

Ongelman määrittelyn jälkeen suunnitellaan simulointimalli, jolla ongelmaa voidaan lähteä ratkaisemaan. Ongelma määrittelee, kuinka tarkasti simulointimallin pitää kuvastaa todellista maailmaa (5. s. 727). Esimerkiksi tässä työssä käsitellyssä projektissa tavoitteena oli selvittää koko keräilyjärjestelmän toiminta, jolloin

yksittäisten keräilytapahtumien yksityiskohtainen mallintaminen ei ollut oleellista, vaan se voitiin hoitaa vaiheajoin.

Simulointimallin toiminta suunnitellaan yleensä prosessikaavioilla, jotka muodostetaan sille tarkkuudelle kuin ne halutaan mallintaa. Tiettyjä simulointimallissa ajettavia datankäsittelyalgoritmeja hahmotellaan mahdollisesti erikseen, ellei niitä pystytä tekemään mallin ulkopuolella. Esimerkki tällaisesta voi olla dynaaminen keräilykuormien luonti, jolloin tilauskannasta luodaan keräilykuormia riippuen keräilyn tilanteesta.

2.1.3 Tiedon keräys

Mallin käyttöön on tärkeää saada paikkaansa pitävää ja mahdollisimman tuoretta tietoa siitä ympäristössä, johon mallinnettu järjestelmä sijoittuu. Yleensä ongelmana kuitenkin on, että saatava tieto on väärässä muodossa tai vanhentunutta (10, s. 39). Tärkeää on myös kyseenalaistaa tieto ensin ja tehdä tarkistuksia sen oikeellisuudesta (5, s. 730–731). Uusia järjestelmiä suunniteltaessa ja simuloitaessa olemassa olevista järjestelmistä kerätyt tiedot voivat olla muokattuja niin, etteivät ne vastaa uuden järjestelmän toimintaa. Esimerkiksi vaiheaikoihin saattaa sisältyä piilotettuja toimenpiteitä, joita ei välttämättä ilmene uudessa järjestelmässä, ja näin simulointiin syntyy systemaattista virhettä. Tiedon keräys voi osoittautua yllättävänkin haasteelliseksi ja ongelmalliseksi, ja tästä syystä suositeltavaa onkin varautua, että siihen menee moninkerroin enemmän aikaa kuin on alunperin kaavailtu (10, s. 39). Tiedon keräys on selkeästi projektin kriittisellä polulla, joten sen suorittamiseen tulee kiinnittää runsaasti huomiota (5, s. 731).

2.1.4 Mallin rakentaminen

Mallin suunnittelun jälkeen voidaan aloittaa mallin rakentaminen, vaikka kaikkia tarvittavia tietoja ei olisi vielä saatu kerättyä. Mallin rakentaminen on nykyajan ohjelmistoilla pääosin suhteellisen yksinkertaista, ja siitä syystä siihen ei yleensä varata tarpeeksi aikaa.

Yleinen uskomus on että simulointiprojekti noudattaa aikajakaumaltaan 40–20–40 -sääntöä, jossa itse mallin rakentaminen ei vie niin paljoa aikaa kuin sen suunnittelu ja tulosten analysointi ja ajot. Tosiasiassa usein huomataan projektien noudattavan 40–40–40 -sääntöä, missä mallin rakentamiseen kuluu kaksinverroin aikaa kuin on etukäteen ajateltu, tai jopa enemmän. Vaikka simulointiohjelmit helpottavat joidenkin osien luomista merkittävästi, osa mallista joudutaan ohjelmoimaan käsin ja hyvin vahvasti simulointiohjelmiston ominaisuuksien rajoissa. (10, s. 39.)

Mallin rakentamisessa onkin hyvä asettaa välitavoitteita, jotta edistymistä voidaan tarkemmin seurata. Sen lisäksi hyvä periaate on lisätä yksityiskohtia, ei aloittaa niistä. Mallista rakennetaan ensin hyvin yksinkertaistettu versio, jonka jälkeen yksittäisiä osia tarkennetaan tavoitellulle tasolle. (5, s. 733.)

2.1.5 Mallin validointi

Simulointimallin validointia edeltää verifiointi. Kun malli on verifioitu, eli sen todetaan toimivan kuten mallin suunnittelussa on määritelty, voidaan se vasta validoida. Validoinnissa varmistetaan, että mallin suunnittelu on tehty oikein ja simulointimalli vastaa toiminnaltaa haluttua järjestelmää. (5, s. 734.) Hyvin usein termit sekoitetaan toisiinsa, mikä on ymmärrettävää, sillä projektissa nämä nivoutuvat hyvin tiukasti toisiinsa. Yksinkertaistettuna voidaankin asia käsittää vain simulointimallin oikeellisuuden varmistamisena.

Simulointimallin verifiointiin käytetään pääsääntöisesti kolmea menetelmää. Ensimmäinen menetelmä on simulointimallin toimintojen kuvaaminen aikajärjestyksessä, jolloin voidaan varmistua siitä, että malli toteuttaa prosessia, kuten se on kuvattu, ja todellisuudessa toimii. Toisella menetelmällä tarkistetaan simulointiajosta eri toimintoihin kuluneita aikoja ja niiden suhdetta toisiinsa. Näin voidaan varmistua, että prosessit ovat toimineet oikein koko simulointiajon ajan. Kolmas menetelmä on toimintaraporttien tarkastelu, eli seurataan esimerkiksi tiettyä yksittäistä resurssia tai entiteettiä mallin sisällä ja varmistutaan että se käyttäytyy, kuten sen järjestelmässä kuuluukin. Kaikkia näitä menetelmiä käytetään rinnakkain ja sillä tavoin varmistutaan simulointimallin toimivuudesta. (11, s. 483.)

Mallin validointia voidaan tehdä myös analysoimalla tarkemmin laadittua suunnitelmaa simulointimallista ja näin yleensä tehdäänkin. Lopullinen validointi kuitenkin onnistuu vasta valmiilla verifioidulla simulointimallilla. Hyvin luotettava validointitapa on ajaa simulointimalliin historiadataa järjestelmästä, eli esimerkiksi aikaisemmin toteutuneita tilauksia, ja verrata simuloinnin tuottamia tuloksia todellisen järjestelmän toimintaan (6). Tämä onnistuu tosin vain jos simuloitava järjestelmä on olemassa ja siitä on tarvittavaa dataa tarjolla. Validointi voidaan tehdä myös asiantuntijoiden avulla. Järjestelmän ja prosessien tuntijat voivat hyvin nopeasti päätellä animoinnista ja tuloksista, vastaako mallin toiminta todellisuutta.

Voidaan myös puhua Black-box- ja White-box-validoinnista. Black-box-validoinnissa testataan koko järjestelmän toimintaa. Käytännössä siis järjestelmän tulee samoilla lähtötiedoilla saavuttaa samat tulokset kokonaisuutena kuin mallinnettava järjestelmä. White-box-validoinnissa tutkitaan, kuinka yksittäiset prosessin osat toimivat. On tärkeää käyttää molempia validointeja, sillä voi olla, että tietyillä arvoilla koko järjestelmä antaa samoja tuloksia, mutta järjestelmän sisäiset prosessit saattavat toimia virheellisesti ja antaa vääriä tuloksia, kun käytetään muita lähtöarvoja. (7.)

2.1.6 Tuloksien analysointi

Simulointiajot ja niiden tuloksien analysointi aiheuttaa projektille vielä runsaasti töitä. Ei voida ajatella, että kun simulointimalli on valmis, sillä tehdään ajo ja sitten projekti on valmis. Poikkeuksetta simulointiajojen jälkeen projektiryhmä kehittää muutoksia parametreihin ja mallin toimintaan. Tämä nimenomaan on tarkoituskin, sillä jos ensimmäinen versio olisi lopullinen, ei simuloiminen olisi auttanut ongelmanratkaisua lainkaan, vaan olisi vain todentanut jo tehdyn ratkaisun toimivuuden.

Simulointiajoja tehdessä ja niitä analysoitaessa täytyy kuitenkin pysyä kohtuullisuudessa. Simulointimalli ei koskaan kuvasta täydellisesti todellisuutta ja stokastisissa malleissa satunnaisuus näyttää omaa osaansa tuloksissa. Stokastisilla malleilla, eli malleilla joissa käytetään todennäköisyysjakaumia esimerkiksi vaiheajoissa, onkin hyvä ajaa useampia ajoja samoilla parametreilla, mutta eri satunnaisluvuilla, jotta voidaan minimoida satunnaisuuden merkitys lopullisissa

tuloksissa. (10, s. 40.) Toinen vaihtoehto on ajaa riittävän pitkä ajo, jossa tapahtuu tarvittava määrä satunnaistapahtumia luotettavien tulosten aikaansaamiseksi (6).

Muutoksiakaan ei ole tarvetta tehdä loputtomiin, vaan täytyy ymmärtää lopettaa. Jossain vaiheessa mallin hienosäätöön käytetty aika nousee merkittävämmäksi kuin siitä saatu hyöty. Tässäkin täytyy pitää mielessä, että simulointimalli on vain yksinkertaistettu kuvaus todellisuudesta. (5, s. 736–737.)

Simulointimallin tuloksia analysoitaessa tulee painopisteen olla järjestelmän ymmärtämisessä eikä pelkästään luvuissa. Saadut luvut ja tulokset ovat merkityksettömiä, jos simulointimallin tai kuvattavana olevan järjestelmän toimintaa ei ymmärretä. Pienillä parametrien hienosäädöillä voidaan saada selkeitäkin muutoksia aikaan, mutta jos ei tiedetä, mihin tämä tulosten parantuminen perustui, ei tällä löydöksellä ole merkitystä. Se voi hyvinkin olla stokastisen mallin yksittäinen ajo, jossa satunnaisluvut ovat sattuneet kohdalleen riippumatta mallin parametreista. (10, s. 40.)

2.1.7 Dokumentointi

Osa simulointimalleista tehdään nopeasti tiettyä hyvin selkeästi rajattua ongelmaa varten ja silloin dokumentointi ei ole kovin merkityksellistä. Hyvin usein kuitenkin on käynyt niin, että tällöinen projekti onkin jatkunut pidempään tai siihen on palattu jopa vuosien kuluttua. Tällöin dokumentoimaton simulointimalli on äärimmäisen hankala muokattava tai uudelleen verifioitava. Samoin jos projektin jälkeen tulee erimielisyyksiä projektin kulusta tai tuloksista tehdyistä johtopäätöksistä, on kattavaan projektidokumentointiin parempi turvautua kuin jokaisen omiin muistikuviiin. (5, s. 738, 10, s. 40.)

2.1.8 Implementointi

Simulointiprojektin voidaan katsoa onnistuneen jos sen tuloksien pohjalta implementoidaan simuloinnin avulla löydetyt ratkaisut. Toisaalta, on myös projekteja, joissa tarkastellaan vielä suunnitteluvaiheessa olevien järjestelmien toimivuutta, ja

tällöin voidaan pitää projektia onnistuneena, vaikka tuloksena on, että suunniteltu järjestelmä ei toimi.

Implementointivaiheessa tiimityön ja luottamuksen merkitys korostuu. Simulointiin turvauduttaessa on kyse usein hyvin merkittävistä investoinneista ja tästä syystä luottamus simulointimalliin on oltava korkea. Tätä edesauttaa koko projektin aikainen kiinteä yhteistyö ja suositeltavaa on, että simulointitiimi on tiiviissä yhteistyössä implementoinnissakin. On todennäköistä, että implementointivaiheessa eteen tulee valintatilanteita, joissa voidaan poiketa simulointimallissa käytetyistä ratkaisuista ja tällöin on tärkeää, että mallin toiminnan tarkasti tuntevat henkilöt ovat mukana asiantuntijoina. Tietysti tässä vaiheessa voidaan myös kokeilla ratkaisujen toimintaa vielä erikseen simulointimallissakin. (5, s. 739–742.)

Harmillisen usein simulointia hyödynnetään liian myöhäisessä vaiheessa toiminnankehitysprojektia, ja joitakin päätöksiä ollaan tehty ja tehdään jatkuvasti, vaikka simuloinnin tuloksia ei ole vielä saatavillakaan. Tämä kertoo siitä, että kehitysprojektiin ei ole osattu varata aikaa simuloinnille, vaan se on keksitty jälkikäteen ottaa mukaan. Jos simuloinnin tuloksilla ei ole vaikutuksia lopulliseen toteutukseen, on sitä käytetty vain henkilökohtaisista varmistelusyistä eikä oikeasti merkittävänä osana päätöksentekoa. (10, s. 40.)

2.2 ProModel-simulointiohjelmisto

Simuloinnissa käytetty ohjelmisto oli Promodel 7. ProModel on erityisesti suunniteltu tuotantojärjestelmien ja logististen järjestelmien mallintamiseen. ProModel toimii Windows-alustalla. Yksinkertaisten mallien luonti onnistuu ProModelilla valmiita elementtejä ja parametrejä käyttäen, ja monimutkaisempiin prosesseihin voidaan käyttää ProModelin omaa ohjelmointikieltä tai muilla ohjelmointikielillä ohjelmoituja rutiineja. ProModelia voidaan ohjata myös muun muassa Excelin kautta Active-X-rajapinnan avulla. Simulointimalliin voidaan syöttää tietoja teksti- ja Excel-tiedostoina, ja ProModel osaa myös kirjoittaa näihin tiedostomuotoihin. (12; 13.)

Simulointiajoista ProModel kerää tilastotietoa mallinnetuista elementeistä ja suureista ja haluttaessa näyttää myös animaatiota järjestelmän toiminnasta. Simulointiajojen tuloksia voidaan tarkastella erillisellä ohjelmistoon kuuluvalla analysointiohjelmalla, joka koostaa ajon tuloksista tärkeimmät tunnusluvut ja tarjoaa datan helposti siirrettäväksi esimerkiksi Exceliin. Analysointiohjelma myös tarjoaa mahdollisuuden vertailla yhtä aikaa useamman simulointajon tuloksia. (12; 13.)

3 Projektin kulku

Projekti alkoi 22.9.2008 aloituspalaverilla. Asiakas esitteli ideansa keräilyjärjestelmästä ja kertoi toiveensa projektin tuloksista. Palaverissa käytiin keskustelua simuloinnin rajoituksista ja järjestelmän osista, jotka mallinnetaan. Mallinnetut järjestelmän osat olivat:

- keräilijät
- keräisyksiköt
- täyttöyksiköt
- kuljettimet keräilyalueelta pois
- keräilypaikat
- syöttökuljetin varastosta.

Layoutista asiakkaalla oli valmis hahmotelma, jonka EP-Logistics sovitti suunnitellun rakennuksen rakenteisiin. Erityisesti tukipilarit tuli ottaa huomioon sijoitettaessa keräilypaikkoja.

Simulointiajot sovittiin tehtävän kahden vuorokauden tilausten pohjalta. Tilausdata oli kerätty asiakkaan toiminnassa olevasta keräilystä. Tilaukset oli valmiiksi jaettu suuremmiksi kokonaisuuksiksi vanhan järjestelmän keräilyn perusteella. Näitä kokonaisuuksia ei purettu, vaan ne säilyivät alkuperäisinä myös simuloitavassa järjestelmässä. Mallista jätettiin pois yöt ja tauot. Keräily on suunniteltu tehtävän kahdessa vuorossa. Yhden vuoron aikana työntekijä suorittaa keräilyä 6 tuntia, joten kahdessa vuorokaudessa keräilyaika on 24 tuntia. Simuloinnin tavoitteeksi sovittiin, että järjestelmällä pystytään keräämään kahden vuorokauden tilaukset 30 tunnissa.

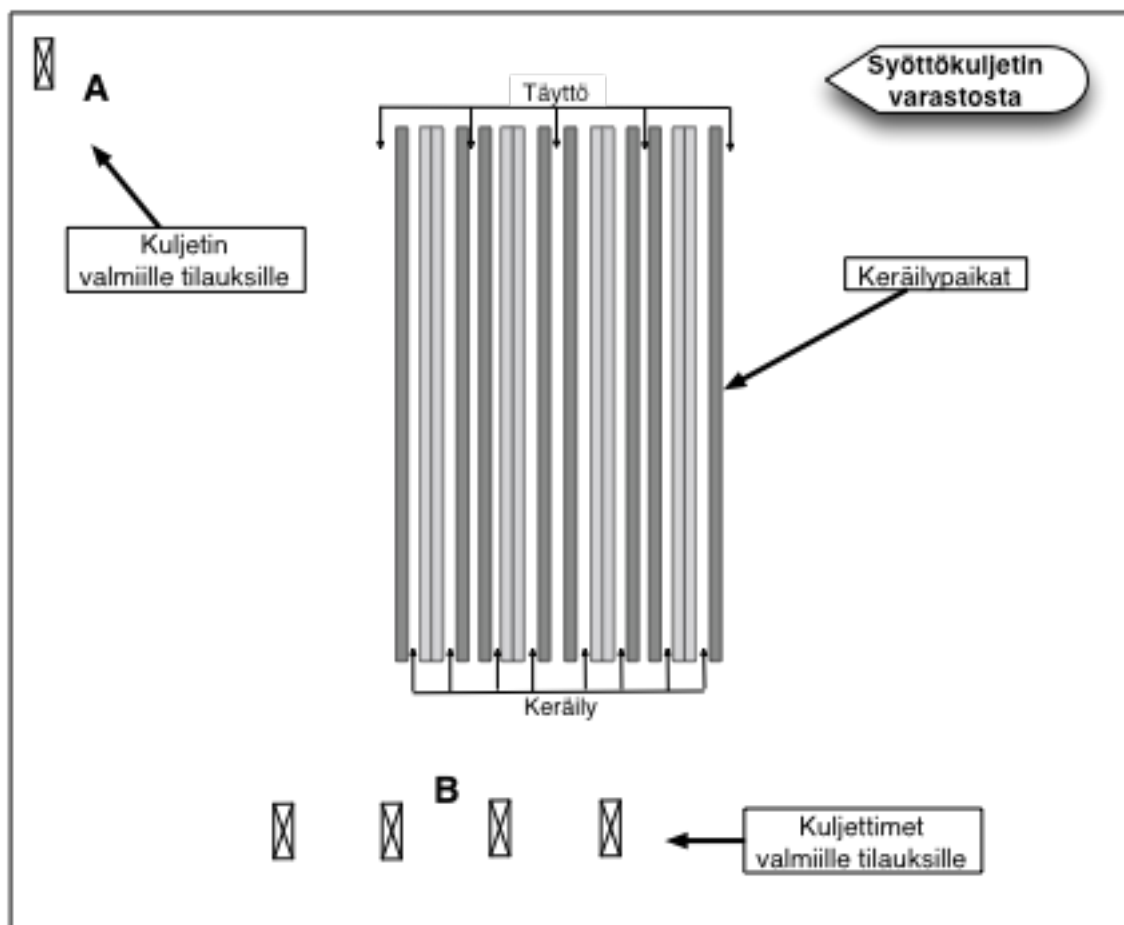
Simulointiajoissa siis keräilyä suoritetaan tauotta ja seurataan, kuinka nopeasti annetut tilaukset on saatu kerättyä.

EP-Logistics antoi oman ehdotuksensa projektin kulusta ja aikataulusta, joka yhteisesti hyväksyttiin. Sovittiin seuraavien palaverien päivämäärät ja alustavasti asiasisällöt. Lähtötiedot asiakas oli kerännyt jo valmiiksi, joten EP-Logisticsille jäi niiden käsittely ja muokkaus. Näin voitiin ensimmäisen kokoontumisen jälkeen jo aloittaa mallin suunnittelu ja rakentaminen.

3.1 Keräilyjärjestelmän määrittely

Suunnitellussa keräilyssä on noin 450 tuotetta. Nämä kaikki on sijoitettu kuormalavoille lattiatasolle. Ensimmäinen ehdotelma keräilypaikkojen järjestelystä oli kuuden keräilykäytävän layout, joka kuitenkin pikaisesti laajennettiin kahdeksankäytäväiseksi (kuva 4), jossa on erikseen täyttökäytävät suurimman volyymin tuotteille. Tuoterivit, joille ei ole pääsyä täyttökäytävältä, suunniteltiin täytettävän öisin, jolloin keräilyä ei tehdä. Tällöin voidaan myös vaihtaa nimikkeiden varastopaikkoja tarvittaessa. Tämä jätettiin pois simulointimallista, sillä oletus oli, että tuotesijoittelua ei vaihdeta kovinkaan usein, ja mahdolliset muutokset tehdään öisin eikä keräilyn aikaan.

Kerätyt tuotekuormat viedään keräyksen valmistuttua joko nurkassa sijaitsevalle kuljettimelle (A) tai jollekin alareunassa oleville kuljettimille (B). Tämä valinta määritettiin tilausdatassa. Keräilykuormat muodostettiin siten, että koko kuorma pystyttiin jättämään kerralla, eli kaikki kuormassa olevat tilaukset päätyivät samaan jättöpaikkaan.



Kuva 4. Kahdeksan käytävän keräilyjärjestelmän layout

Tummemmalla merkityt tuotepaikkajonot ovat suuremman menekin tuotteita. Näitä päästään täyttämään keräyksen aikana keräyskäytäviä pitkin. Vaaleammalla merkityt tuotepaikat täytetään varsinaisen keräilyajan ulkopuolella, eikä näitä täyttöjä sisällytetty simulointimalliin.

Keräilykäytävät on numeroitu oikealta vasemmalle. Tämä johtuu myöhemmin esiteltävien keräisyksikköverkkojen liikenteen suunnasta (sivu 28).

3.2 Keräisyksiköt

Keräisyksiköt pystyvät keräämään enimmillään neljää tai kolmea eri tilausta, riippuen keräisyksikön tyypistä. Tilaukset olivat valmiiksi jaettu suuremmiksi kokonaisuuksiksi, joita keräisyksiköiden kerättäväksi sitten sijoitettiin. Keräisyksiköitä oli kahdenlaisia johtuen tilausten tyypeistä. Tilauskohtaisesti määrittyi se kummanlaisella keräys-

4.1 Tuotesijoittelun eteneminen

Ensimmäiseksi tehtiin yksinkertainen korrelaatioanalyysi. Siinä verrattiin tilauksissa esiintyviä tuotteita toisiinsa ja kartoitettiin sellaisia tuotteita, jotka esiintyivät useimmiten samassa tilauksessa. Tuloksista pystyi selkeästi huomaamaan, että vain suurimman menekin tuotteet korreloivat toisten suuren menekin tuotteiden kanssa. Harvinaisemmista tuotteista löydettiin heikommin korrelaatiota. Näin selvisi, ettei tältä pohjalta pelkästään pystytä luomaan tavoiteltua tuotesijoittelua.

Seuraavaksi päätettiin tehdä tuotesijoittelu pääosin käsin tuoteryhmittäin, sillä tuoteryhmien huomattiin korreloivan hieman selkeämmin. Pyrittiin sijoittamaan tuoteryhmä kokonaisuudessaan yhdelle käytävälle, ja samalla jakaa tilausmääristä laskettua keräilykuormaa tasaisesti jokaiselle käytävälle.

Tuotteet jaettiin kolmeen luokkaan ABC-laskennan avulla. ABC-luokitus tehtiin indeksiluvun mukaan, joka muodostettiin summaamalla nimikkeeseen kohdistuvat rivit ja tilattujen myyntiyksiköiden määrä. ABC-luokituksen jako selviää tarkemmin oheisesta taulukosta.

Taulukko 1. Tuotteiden ABC-jaon suhteelliset osuudet nimikkeistä ja kokonaisvolyymista

Ryhmä	Nimikkeistä	Volyymista
A	20 %	65 %
B	29 %	28 %
C	51 %	8 %

C-luokan tuotteet sijoitettiin keräilypaikoille, joille ei ollut täyttööä keräilyn aikana. A- ja B-luokan tuotteet sijoitettiin keräilypaikoille, joita pystyttiin täydentämään täyttöyksiköillä keräilyn aikana. Suurivolyymisimpia A-luokan tuotteita kahdennettiin, eli niille tehtiin kahdelle eri käytävälle keräilypaikka. Tämä antoi enemmän valinnanvaraa, kun pyrittiin minimoimaan keräilyreitien pituutta.

Käytävien sisällä tasattiin kuormitusta hienosäätämällä tuotesijoittelua erilaisin periaattein:

- Tuotteiden satunnainen sijoittelu käytävälle, jolla saavutetaan vertailupohja muille periaatteille.

- Tuotteiden sijoittaminen keräilykuorman suuruusjärjestyksen mukaan käytävän lopusta alkaen. Tällä saavutetaan se, että keräily-yksiköiden jonottaminen tapahtuisi useimmiten käytävillä eikä niiden ulkopuolella tukkimassa muuta liikennettä.
- Sama periaate kuin edellä, mutta käytävä jaettuna kolmeen lohkokon, joista jokaisessa on perällä suurikuormaisia tuotteita. Näin saadaan aikaan, että käytävällä kolme keräilijää saisivat tasaisemmin työtehtäviä.
- Suurikuormaisimpien tuotteiden sijoittaminen keskelle käytävää ja pienemmät päätyihin. Kun keräilijöiden sallittiin vaihtaa käytävältä toiselle, näin lyhennettiin kävelyyn kuluvaa aikaa.

Vaihtoehtojen välillä ei kuitenkaan havaittu merkittävää eroa keräilyn kokonaiskestossa. Tämä oletettavasti johtuu siitä, että useimmissa tilauksissa on tuotteita, joiden kokonaiskuormat ovat hyvin eritasoisia. Kun keräisyksikkö saapuu käytävälle, se useimmiten ottaa kyytiin suurikuormaisten tuotteiden lisäksi jotain harvinaisempia tuotteita, ja näin keräilijät seuraavat joka tapauksessa keräisyksiköitä koko käytävän pituudelta. Korrelaatioanalyysin jälkeen todettiin, että mitään merkittävästi tuotesijoittelua ohjaavia korrelaatioita ei tuotetasolla löytynyt, joten senkään pohjalta ei voitu rakentaa käytävän sisäistä tuotesijoittelua.

Haasteelliseksi myös osoittautui edellä mainitun ideaalitulanteen toteuttaminen. Vaikka yksittäinen tilaus saataisiin kerättyä vain kahdelta käytävältä, ja vieläpä kahdelta erisuuntaiselta käytävältä, tulisi vielä sen lisäksi käytävät olla oikeassa järjestyksessä. Keräisyksiköiden liikenteen suunnan vuoksi alhaalta lähtevän keräisyksikön ensimmäinen käytävä tuli olla ylöspäin ja sitten seuraavan alaspäin. Käytävien ollessa toisinpäin seuraa siitä neljä edestakaista matkaa kahden sijaan.

Ongelmassa on useita eri ulottuvuuksia ja rajoituksia. Keräilijöiden käyttöastetta voidaan nostaa vapauttamalla niitä suuremmalle alueelle. Tämä toisaalta taas pidentää kävelymatkoja ja sitä kautta myös keräisyksiköiden odotusaikaa keräyspaikalla. Tehtävien välisiä matkoja pystytään pienentämään kehittämällä tuotesijoittelua siten, että suurivolyyymiset tuotteet ovat lähellä toisiaan. Tämä tosin aiheuttaa

keräisyksiköiden ruuhkaantumista yksikaistaisessa verkossa, ja aikaa menee jonottamiseen.

4.2 Tuotesijoittelun luominen geneettisellä algoritmilla

Kun korrelaatioanalyysien pohjalta ei pystytty luomaan tavoitteita vastaavaa tuotesijoittelua, ohjelmoitiin geneettinen algoritmi, joka pyrki minimoimaan keräilyreittien keräilykäytävien määrän. Algoritmille annettiin varsin vapaat käden luoda tuotesijoittelu, päätavoitteena oli siis vain, että keräisyksiköiden tarvitsisi käydä enimmillään kahdella käytävällä.

Algoritmiin syötettiin ensin tuotesijoittelu, jossa tuotteet olivat satunnaisessa järjestyksessä. Tämän jälkeen se laski lähtödatan avulla, kuinka monella käytävällä keräisyksiköt joutuvat käymään keskimäärin keräilykierroksillaan. Tuloksen tultua algoritmi vaihtoi kahden satunnaisen tuotteen paikkaa ja teki saman laskennan uudelleen. Jos keskiarvo oli pienempi, tallennettiin saatu tuotesijoittelu seuraavan vaihdon pohjaksi. Keskiarvon ollessa pienempi palautettiin edellinen tuotesijoittelu ja vaihdettiin seuraavat satunnaiset tuotteet keskenään. (14.)

Geneettistä algoritmiä ajettiin PC:llä kaksi vuorokautta, jonka jälkeen todettiin siinä vaiheessa tulevien parannusten olevan niin marginaalisia, että ajo lopetettiin. Lopullinen tuotesijoittelu oli yli sadan kehitysaskelen tulos. Tähän ei laskettu niitä vaihdoksia joissa parannusta ei tullut. (14.)

Tämänkaltaisessa optimoinnissa tulee ottaa huomioon paikallisten optimien mahdollisuus. Paikallisella optimilla tässä tilanteessa tarkoitetaan tuotesijoittelua, joka ei parane mitään kahta tuotetta vaihtamalla, mutta se ei silti ole paras mahdollinen ratkaisu. Paikallisten optimien ongelmaa vältettiin ajamalla optimointialgoritmiä useammilla satunnaisilla lähtötilanteilla, jolloin lopputulokseen päädyttiin useampaa eri kehitysreittiä pitkin.

Lopputuloksena oli tuotesijoittelu, jossa keskimääräinen keräysreitin keräilykäytävien määrä keräisyksiköille laski aikaisemmasta 2,43:sta 1,89:ään. Tämä tuli kuitenkin sillä kustannuksella, että kuorman tasausta ei juurikaan ollut ja suurivolyymiset tuotteet

painottuivat tietyille käytäville, harvinaisempien tuotteiden jäädessä muille käytäville. Vaikka keräisyksiköiden keräilyreitien pituus saatiin näin selvästi lyhyemmäksi, se kuitenkin pahensi ruuhkautumisesta johtuvaa heikkoa käyttöastetta eivätkä lopulliset tulokset olleet sen parempia kuin aikaisemmissakaan tuotesijoitteluissa.

5 Simulointimalli

Asiakkaan kanssa käytyjen kokousten perusteella oli määritelty mallinnettavat järjestelmät osat ja niiden toiminta. Näiden pohjalta laadittiin malli suunnitellusta keräilyjärjestelmästä.

5.1 Mallin kuvaus

Simulointimallin luominen aloitettiin suunnittelemalla toimintomallit, joilla keräisyksiköiden toiminta mallissa olisi mahdollisimman tarkasti todellisuutta kuvaava ja samalla toteutettavissa simulointiohjelmalla. Päädyttiin kuvaamaan kokonaista keräilykuormaa yhdellä entiteetillä, jolle annettiin attribuutteina tiedot kyseisestä kuormasta.

Kävi kuitenkin ilmi, että keräilykuorma pitää sisällään hyvin paljon tietoa, jota tarvitaan keräilytehtävää suoritettaessa. Näin ollen vain koko kuormalle yhteiset tiedot tallennettiin attribuutteina:

- identiteettinumero
- keräilykuormataulukon rivinumero
- jättöpaikka
- kerättävien tuotteiden lukumäärä.

Loput tiedot tallennettiin mallin ulkopuolisesta tiedostosta keräilykuormataulukkoon, josta ne saadaan haettua, kun niitä tarvitaan.

5.1.1 Keräilypaikat

Keräilyalueella tuotepaikkoja on yhteensä 880. Ne on järjestetty 55 lavapaikan jonoihin, joita on yhteensä 16 (kuva 4, sivu 21). Jonoissa tuotepaikat ovat viiden lavapaikan ryppäissä, joiden välissä on tilaa keräilijöiden läpikulkuun.

Lisäksi pohdittiin, millä tarkkuudella keräilypaikat mallinnetaan. Tässä päädyttiin luomaan malliin jokainen keräilypaikka omana lokaationa.

5.1.2 Keräilypaikan toiminta

Jokainen keräilypaikka on oma lokaationsa. Keräisyksikön tuodessa keräilykuormaentiteetin keräilypaikalle siitä luetaan tiedot kerättävästä tuotteesta. Keräysaika riippuu myyntiyksiköiden määrästä ja kerättävän määrän kokonaisuudesta. Näiden lisäksi jokaisella keräystehtävällä ja keräysrivillä on oma kiinteä aikansa.

5.1.3 Keräys- ja täyttöyksiköt

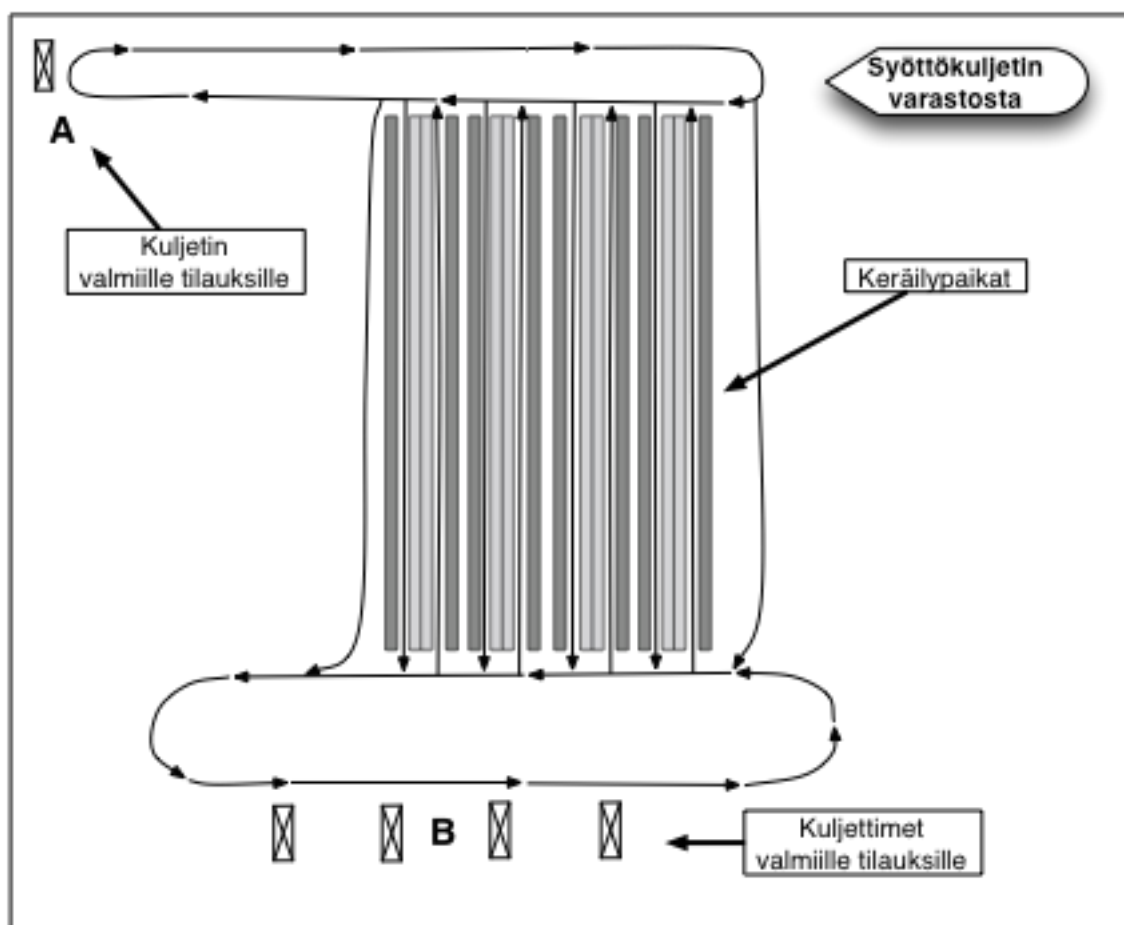
Keräisyksiköt pitävät mukanaan yhtä keräilykuormaentiteettiä. Tämä yksi entiteetti pitää mukanaan tiedot kaikista keräisyksikön kyydissä olevista tilauksista. Todellisuudessa keräisyksikön kyydissä on jokainen tilaus erillisenä yksikkönä, johon tuotteet kerätään. Simulointimallissa näitä ei kuitenkaan ole tarvetta käsitellä erillisinä, sillä tuotteet kerätään reitin varrella välittämättä siitä, mihin tilaukseen tuote kuuluu, ja kuorma puretaan kuljettimille vasta kun kaikki tilaukset on kerättyjä. Tällaiset yksinkertaistukset ovat simuloinnissa yleisiä ja varsin tarpeellisia. Niillä pystytään yksinkertaistamaan mallintamista merkittävästi vaikeuttavat prosessit vaikuttamatta kuitenkaan lopputulosten todenmukaisuuteen.

Molemmille keräisyksikkötyypeille ja täyttöyksikölle määritettiin seuraavat parametrit:

- nopeus m/s
- kiihtyvyys ja hidastuvuus m/s²
- liikkeellelähtö vaiheaika s
- kuorman otto- ja jättöaika s

5.1.4 Keräysyksiköiden reittiverkko

Keräysyksiköille rakennettiin malliin reittiverkko, joka on simulointiohjelman edellytyksille, että resurssien liikettä pystytään kuvaamaan. Verkkoon sitomaton resurssi siirtyy lokaatiosta toiseen ilman viivettä, eikä siis noudata lainkaan kiihtyvyyksiä, nopeuksia tai väistele esteitä. Tilauksia kerääville yksiköille rakennettiin oma verkko (kuva 5) ja täyttöä hoitavalle yksikölle omansa (kuva 6).



Kuva 5. Hahmotelma keräysyksiköille laaditusta reitistä. Nuolet kuvaavat liikenteen suuntaa.

Huomioitavaa kuvassa 5 on, että liikenne on kaikkialla yksisuuntaista ja keräyskäytävät ovat joka toinen ylöspäin ja joka toinen alaspäin. Jos keräiltävät tuotteet sijaitsevat käytävillä 1, 2 ja 4 ja keräily alkaa B kuljettimilta, on keräysyksikön kulkema reitti seuraava:

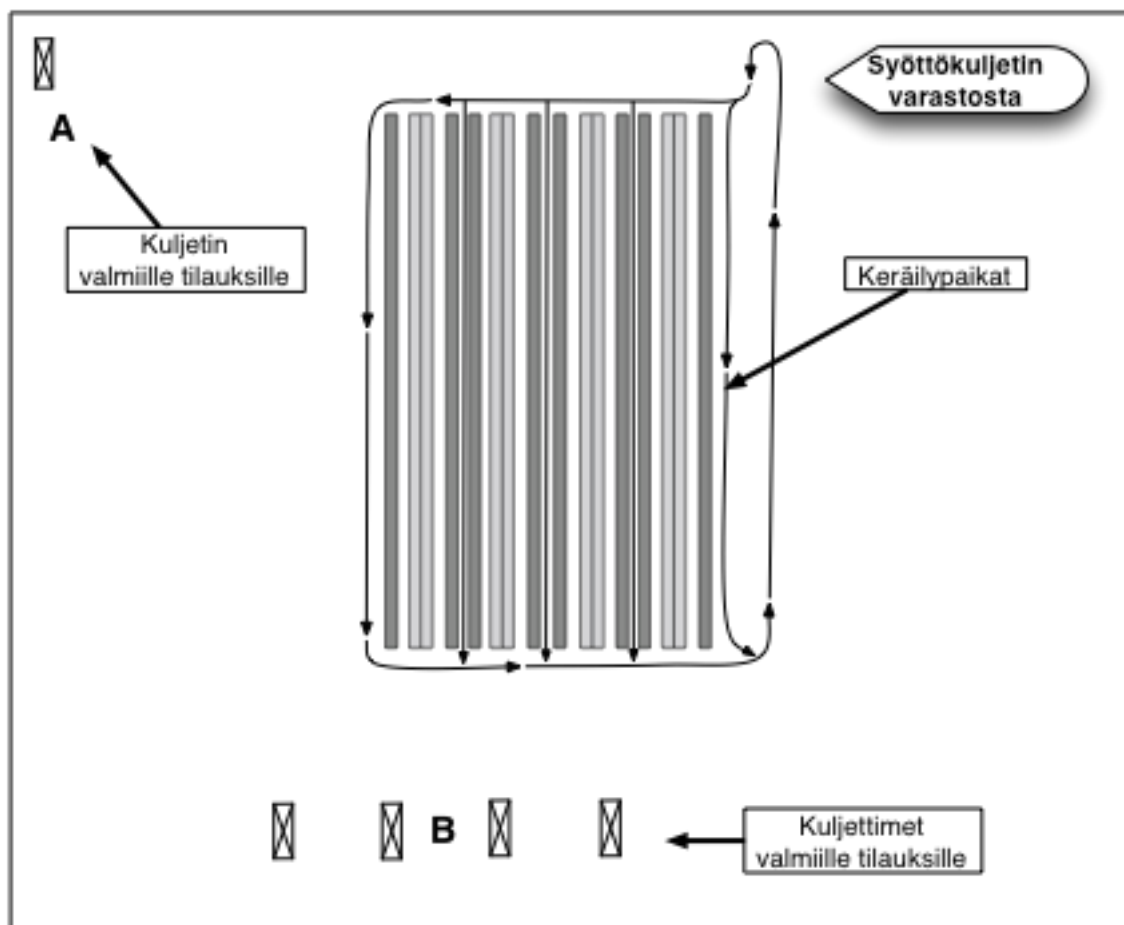
1. ensimmäinen käytävä ylös

2. toinen käytävä alas
3. kolmas käytävä ylös (koska neljännen käytävän liikenne on ylhäältä alas)
4. neljäs käytävä alas
5. kulku jättöpaikalle.

Keräily ei välttämättä ala ja lopu samaan paikkaan. 80 prosenttia tilauksista viedään B-kuljettimille, mutta niiltä voi alkaa keräyksiä, joiden jättöpaikka on A-kuljettimella. Tilanteessa, jossa edellisen esimerkkikeräilyn jättöpaikka olisi ollu A-kuljettimella, olisi keräisyksikkö noussut 5. käytävää ylös ja siitä kuljettimelle. Toisaalta jos keräily olisi alkanut A-kuljettimelta, olisi keräisyksikkö tullut ensin alas keräilyalueen oikealta puolelta ja aloittanut keräilynsä siitä.

5.1.5 Täyttöyksiköiden reittiverkko

Täyttöyksiköille tehtiin erillinen reitti, vaikka ne käytännössä kulkisivat keräisyksiköiden kanssa osittain samoja reittejä pitkin. Erillinen reitti oli kuitenkin tarpeellinen, sillä näin pystyttiin rajoittamaan liikennettä tietyille poluille. Keräisyksiköiden ei haluttu ajautuvan täyttökäytävillä ja toisinpäin.



Kuva 6. Hahmotelma täyttöyksiköiden reitistä. Nuolet kuvaavat liikenteen suuntaa.

Täyttötehtävän alkaessa yksi täyttöyksikkö lähtee hakemaan tyhjää tuotelavaa keräilyalueelta. Saatuaan tyhjän tuotelavan kyytiin, täyttöyksikkö palaa varaston syöttökuljettimen vierelle ja jättää tyhjän tuotelavan. Tuotelavan saavuttua varastosta toinen täyttöyksikkö ottaa sen kyytiin ja vie tyhjennetylle keräilypaikalle. Tämän jälkeen sekin palaa takaisin syöttökuljettimen vierelle odottamaan seuraavaa täyttötehtävää.

5.1.6 Reittiverkkojen luonti

ProModel-simulointiohjelmassa reittiverkot luodaan solmujen (node) ja reittien (path) avulla. Keräys- ja täyttöyksiköiden reittiverkot tehtiin sellaisiksi, ettei niillä pääse ohittamaan. Tämä toteutettiin määrittelemällä jokaisen solmukohdan kapasiteetiksi yksi kappale. Tämä estää solmuun siirtymisen jos siinä on jo yksikkö. Resurssit eivät siirry

reitillä eteenpäin, ellei seuraavana vuorossa oleva solmu ole valmis ottamaan resurssia vastaan. Määrittelemällä solmujen väliset reitit yhtä pitkiksi kuin suunniteltu jonotustiheys on, saatiin mallinnettua yksiköiden liikehdintä todellisuutta vastaavaksi.

Keräilijöiden reittiverkossa solmuja oli yhdellä käytävällä 55 kappaletta, eli yksi aina jokaisen tuotepaikkaparin välissä. Toisin kuin keräys- ja täyttöyksiköiden verkoissa, keräilyverkossa ei ollut rajoitettuja solmujen kapasiteetteja ja reittejä pystyi kulkemaan kumpaankin suuntaan. Tämä vastaa parhaiten todellista keräilijöiden liikettä.

Keräys- ja täyttöyksiköiden reittiverkkojen solmujen välisten reittien lyhyys aiheutti solmujen erittäin suuren lukumäärän. Näiden lisäksi on keräilyverkon solmut. Yhteensä solmuja malliin tuli siis noin tuhat kappaletta. Kaikkien verkkojen solmumäärät on lueteltu seuraavassa listassa.

- Keräisyksikköverkko noin 230 solmua
- Täyttöyksikköverkko noin 340 solmua
- Keräilijäverkko noin 450 solmua

Täyttöyksikköverkon suurempi solmumäärä johtuu täyttökäytävien tiheämmästä solmujaosta. Keräisyksikköverkossa on yksi solmu viittä vierekkäistä tuotepaikkaa kohden, kun taas täyttöyksikköverkossa jokaisen tuotepaikan edessä on solmu.

Keräisyksiköille haluttiin mallintaa aidonlainen jonotustilanne myös keräyskäytävillä ja siitä johtuen väljempi jako. Täyttöyksiköillä ei uskottu jonotusta tapahtuvan ja siksi tehtiin tarkemmin oikeaa sijaintia kuvaava solmujako, eli täyttöyksikkö on täsmälleen täytettävän tuotepaikan edessä täyttöä tehdessään.

Reitteihin määritellään myös, mikä solmu on yhteydessä mihinkin lokaatioon.

Jokaiselle keräilypaikalle tulee olla yhteys kaikista kolmesta reitistä ja näiden lisäksi täyttöyksiköiden reittiverkosta tulee olla yhteys varaston syöttökuljettimelle ja keräisyksiköiden verkosta on oltava yhteys A- ja B-kuljettimille. Keräilypaikkojen suuren määrän vuoksi määriteltäviä yhteyksiä tulee yhteensä yli 2 600 kappaletta.

5.2 Simulointimallin verifiointi

Simulointimallia verifioitiin jatkuvasti sen ohjelmoinnin yhteydessä. Simulointimallista rakennettiin ensin yksinkertaistettu versio, jossa suurin osa toiminnoista oli äärimmäisen pelkistettyjä. Tässä vaiheessa myös määriteltiin, millaisessa muodossa simulointimalliin voidaan syöttää dataa, ja ohjelmoitiin algoritmit, joilla simulointimalli tämän datan käsittelee. Tavoitteena oli luoda mahdollisimman helposti muokattava ja pitkälle modularisoitu simulointimalli, jossa pääosin onnistuttiinkin.

Hankalimmaksi muutettavaksi osoittautui layoutin muuttaminen, sillä se vaati hyvin suuren määrän manuaalista työtä keräilypaikkojen ja resurssiverkkojen uudelleen sijoittamiseksi. Tuotesijoittelujen laatiminen oli myös hidasta, sillä analyyseissä tuotesijoittelut laadittiin käytävätasolla ja eikä malli tästä osannut itsenäisesti luoda paikkatason tuotesijoittelua, joka tehtiin myös manuaalisesti tai ohjelmoimalla sijoittelualgoritmit halutun sijoitteluperiaatteen mukaisesti.

Toiminnallisesti malli oli kuitenkin määritelmien mukainen ja tehdyt tarkistukset (ks. s. 15, Mallin validointi) osoittivat tuloksien olevan luotettavia. Erinäisin tarkistuslaskennoin voitiin mallista kerättävästä tiedosta varmistaa, että kaikki toimii kokonaisuutena kuten on tarkoituskin. Tapahtumahistoriaa tutkimalla voitiin seurata yksittäisten resurssien ja entiteettien kulkua mallissa ja varmistua, että sekin vastaa määritelmää.

6 Simuloinnin tulokset

Projektin aikana simuloitiin kahdesta neljään eri ratkaisua, riippuen laskentatavasta. Ensimmäisessä versiossa keräyskäytäviä oli kuusi ja käytävät yksikaistaisia. Seuraavaksi tehtiin kahdeksan keräyskäytävän versio. Kahdeksan käytävän versiota muokattiin lisäksi lisäämällä keräysyksiköille ohitusmahdollisuus keräyskäytävillä. Neljäs vaihtoehto oli 16-käytäväinen järjestelmä, jossa jokainen keräilypaikka oli kerättävissä molemmilta puolilta. Tuotesijoittelua kehitettiin projektin aikana layout-suunnittelun rinnalla.

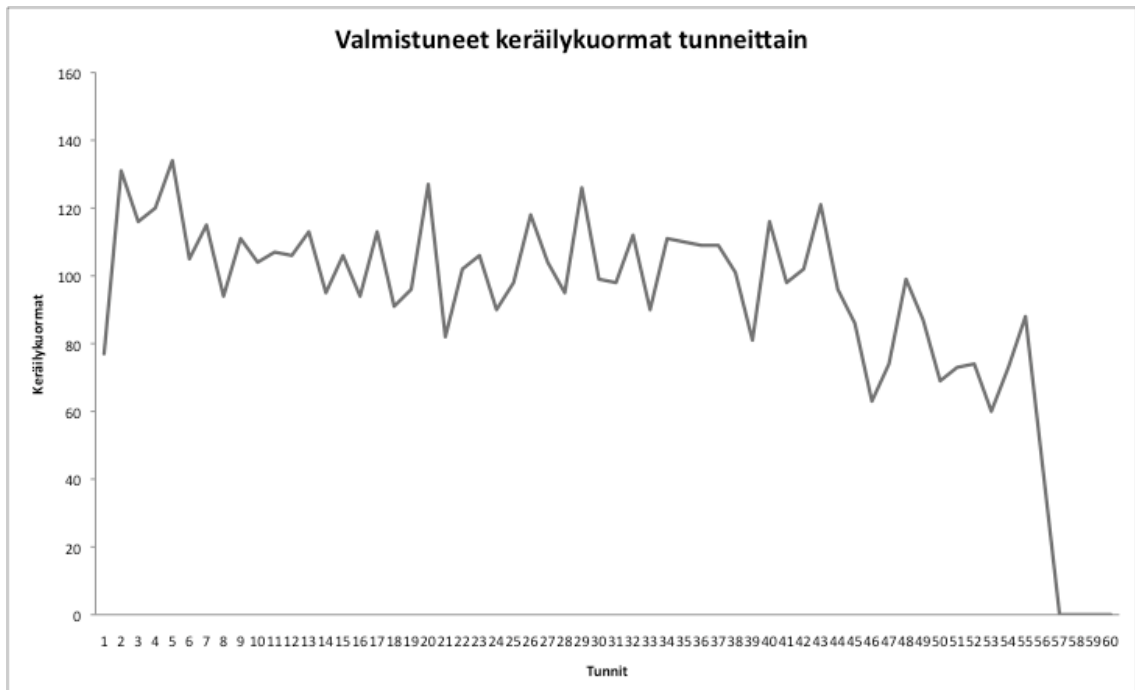
6.1 Kuuden käytävän tulokset

Ensimmäisissä ajoissa keräysyksiköitä oli yhteensä 50 ja keräilijöitä 18. Keräilijät oli rajoitettu omille keräilysektoreilleen tasaisesti koko keräilyalueelle. Keräilyn kokonaiskesto näillä parametreilla oli 56 tuntia, mikä jäi selvästi tavoitellusta noin 30 tunnista. Resurssien käyttöasteet jäivät hyvin alhaisiksi kauttaaltaan. Keräysyksiköt joutuivat seisomaan jonossa noin puolet ajastaan ja keräilijöiden käyttöaste oli 48 prosenttia. Taulukossa 2 on esitetty tulokset.

Taulukko 2. Kuuden käytävän järjestelmällä ajatun simulointiajon tulokset

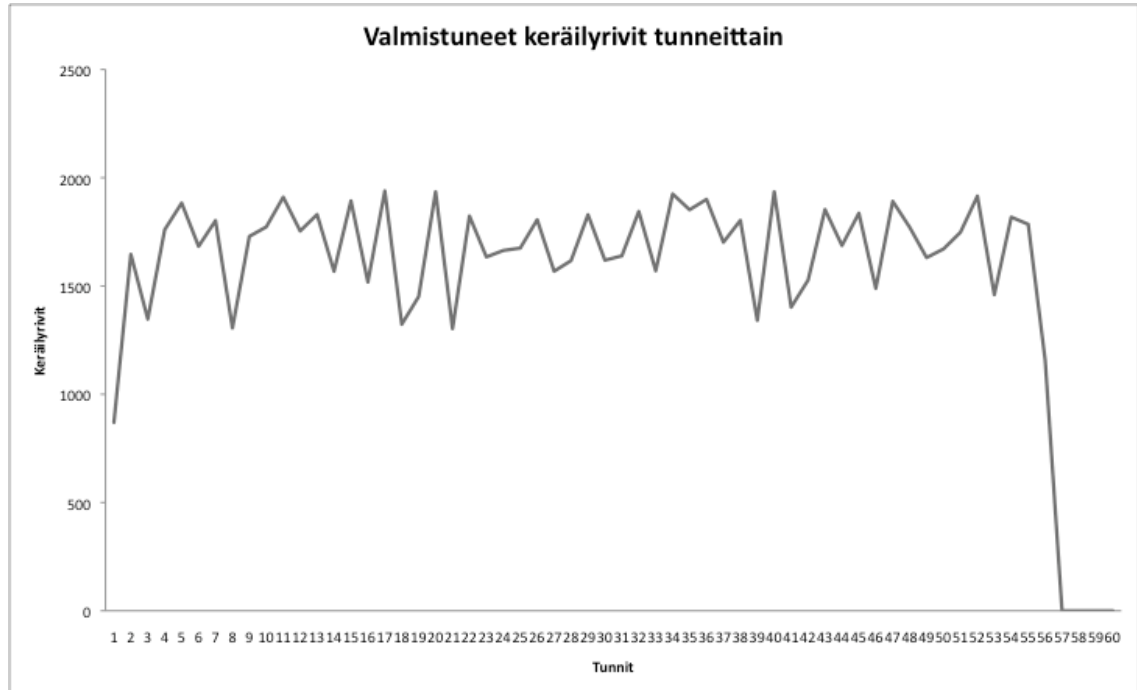
Keräilijät	Keräilijöiden ohjaus	Keräilijöiden käyttö	Keräysyksiköt	Keräysyksiköt jonossa	Keräilyn kesto
18	kiinteät sektorit / vanhin tehtävä	48 %	50	50 %	56 h

Kuvan 7 kuvaajassa on esitetty keräilytehon muutokset keräilyn aikana. Siitä huomaa selvästi, että keräilytehossa on merkittäviä eroja eikä järjestelmä toimi tasaisesti.



Kuva 7. Järjestelmässä valmistuneet keräilykuormat tunneittain ensimmäisissä ajoissa

Osa vaihteluista voidaan olettaa johtuvan siitä, että tietyille tunneille on sattunut keräilykuormia, joissa on ollut enemmän rivejä. Samoja notkahduksia kuitenkin löytyy myös, kun mitataan kerättyjä rivejä tunnissa.



Kuva 8. Järjestelmässä valmistuneet keräilyrivit tunneittain ensimmäisissä ajoissa

Näiden tulosten pohjalta tehtiin kokeiluja tilanteen parantamiseksi. Yksi näistä oli minimoida käytävierailujen määrä geneettisen algoritmin tuottamalla tuotesijoittelulla. Tästä kuitenkin seurasi huomattavasti pahempaa ruuhkautumista, vaikka keräysyksiköiden keräilymatka lyheni merkittävästi.

Taulukko 3. Kuuden käytävän järjestelmällä ajetun simulointiajon tulokset, kun tuotesijoittelu oli tehty keräysyksiköiden keräysmatkan minimointi prioriteettina

Keräilijät	Keräilijöiden ohjaus	Keräilijöiden käyttö	Keräysyksiköt	Keräysyksiköt jonossa	Keräilyn kesto
18	kiinteät sektorit / vanhin tehtävä	30 %	50	68 %	93 h

6.2 Kahdeksan käytävän järjestelmän tulokset

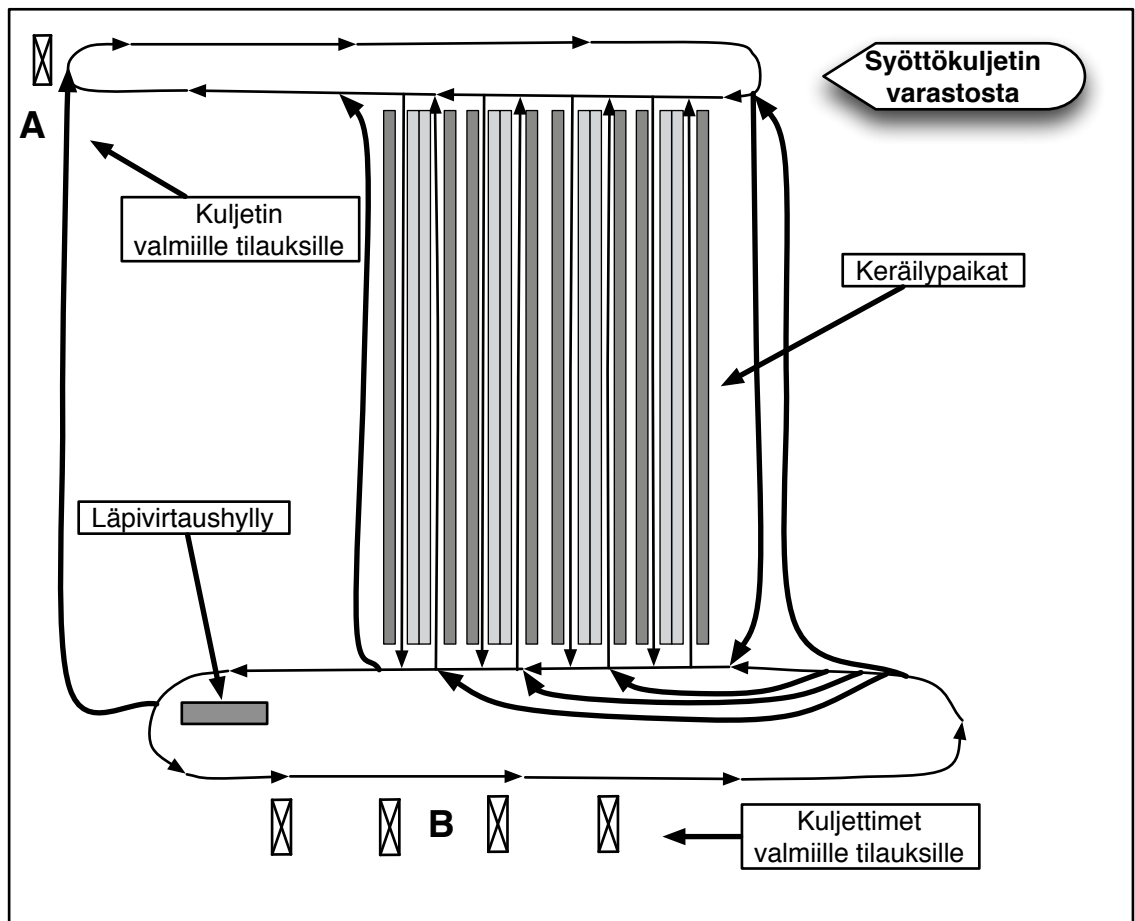
Kuuden käytävän järjestelmä oli todettu toimimattomaksi ja layoutin keräilykäytävien määrä päätettiin nostaa kahdeksaan. Tällä pystyttiin luomaan useammille tuotteille useampia keräilypaikkoja. Sen ansiosta pystytään tuotesijoittelun avulla lyhentämään

keräysyksiköiden keräilyreitien pituutta, kun ne pystyvät suorittamaan keräilytehtävän käymällä pienemmällä määrällä käytäviä.

Keräysyksiköiden reittiä parannettiin niin, että pystyttiin vielä ennestään lyhentämään keräilyreitien pituutta ja hallitsemaan jonotustilanteita. Reittiin tehtiin ohituksia, joilla keräysyksiköt pääsivät keräilyalueen toiselle puolelle kulkematta keräilykäytävien kautta ja sen lisäksi keräilyreitien alkuun tehtiin erillisiä kaistoja, joilla pyrittiin hallitsemaan jonoja, niin että ne tukkisivat mahdollisimman vähän muuta liikennettä.

Jonotusongelman poistamiseksi tehtiin myös muutos keräilykäytävälle, jolla sallittiin keräysyksiköiden ohittaa toisiaan.

Layoutiin lisättiin myös uusi keräilypaikka, läpivirtaushylly, johon voitaisiin sijoittaa kaikista pienimmän volyymin tuotteet. Tämä sijoitettiin niin, että keräysyksiköt pääsevät käymään siinä keräilyreitinsä päätteeksi. Tämä ja muut muutokset on esitetty kuvassa 9.



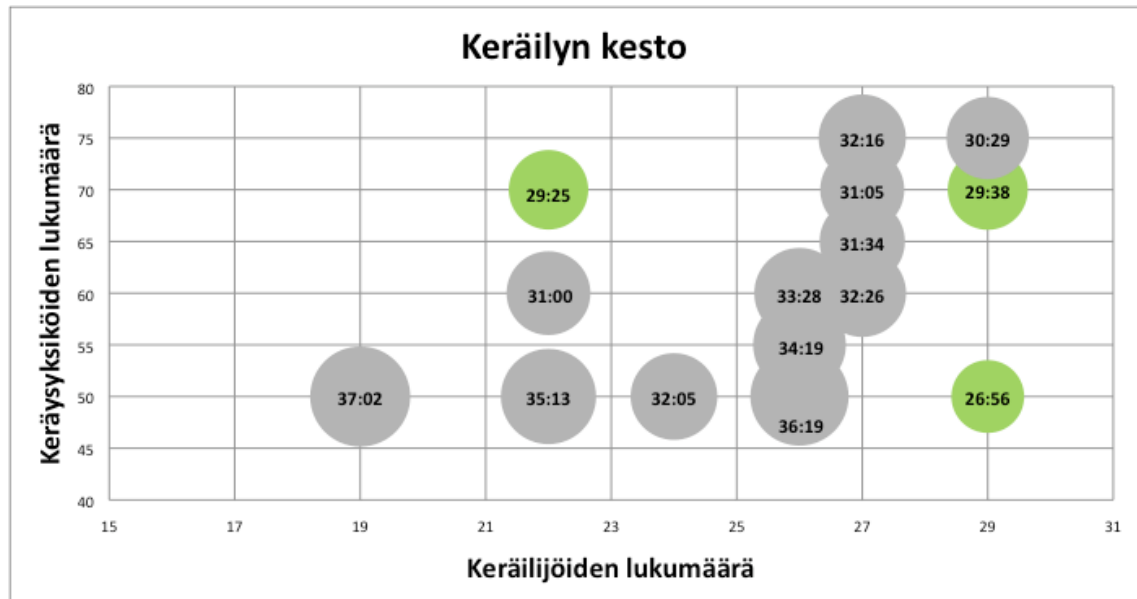
Kuva 9. Keräilyjärjestelmän layout reittimuutosten ja läpivirtaushyllyn lisäämisen jälkeen. Reittiin tehdyt muutokset merkattu paksummilla nuolilla.

Näiden muutosten jälkeen ajettiin useita ajoja, joilla kokeiltiin kuinka järjestelmä toimii erilaisin keräilijä ja keräysyksikkö määrin. Tämän lisäksi annettiin keräilijöille enemmän liikkumavapautta. Keräilijöiden yhtenä ohjausparametrinä oli joko käytävärajoitus tai vapaa liikkuvuus. Vapaa liikkuvuus salli kaikkien keräilijöiden kerätä koko keräilyalueelta. Käytävärajoitus asetti jokaiselle käytävälle käytävän kuormasta riippuen 3–5 keräilijää. Toinen keräilijöiden ohjausparametri oli tehtävien suoritusjärjestys. Keräilijä pystyttiin ohjaamaan suorittamaan joko lähin tehtävä tai sitten pisimpään keräilijää odottanut tehtävä. Näiden parametrien yhdistelmien pohjalta tehtiin ajosuunnitelma ja sen mukaiset ajot, joiden tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Simulointiajojen tuloksia kahdeksan käytävän järjestelmässä eri resurssimäärillä ja ohjausparametreilla.

Ajo	Keräilijät	Keräilijöiden ohjaus	Keräilijöiden käyttö	Keräilijöiden kävely	Keräysyksiköt	Keräysyksiköt jonossa	Keräilyn kesto
1	24	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	33 %	24 %	50	22 %	40 h
2	26	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	33 %	24 %	50	20 %	36 h
3	26	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	35 %	27 %	55	23 %	34 h
4	26	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	36 %	29 %	60	27 %	33 h
5	27	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	36 %	28 %	60	26 %	32 h
6	27	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	37 %	30 %	65	29 %	32 h
7	27	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	38 %	32 %	70	30 %	31 h
8	27	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	36 %	31 %	75	32 %	32 h
9	29	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	36 %	29 %	75	33 %	30 h
10	29	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	37 %	29 %	70	31 %	30 h
11	29	käytävärajoitus / vanhin tehtävä	40 %	21 %	50	13 %	27 h
12	19	vapaa liikkuvuus / lähin tehtävä	45 %	53 %	50	10 %	37 h
13	19	vapaa liikkuvuus / vanhin tehtävä	29 %	70 %	50	13 %	57 h
14	24	vapaa liikkuvuus / vanhin tehtävä	35 %	54 %	50	11 %	38 h
15	24	vapaa liikkuvuus / lähin tehtävä	41 %	44 %	50	12 %	32 h
16	22	vapaa liikkuvuus / lähin tehtävä	41 %	52 %	50	11 %	35 h
17	22	vapaa liikkuvuus / lähin tehtävä	46 %	51 %	60	16 %	31 h
18	22	vapaa liikkuvuus / lähin tehtävä	52 %	46 %	70	23 %	29 h

Kun tulokset esitetään graafisesti (kuva 10), havaitaan, että pienemmällä keräilijämäärillä vaaditaan huomattavasti enemmän keräysyksiköitä tavoitteeseen pääsyyn, kun vastaavasti useammilla keräilijöillä on parempi, jos keräysyksiköitä on kohtuullisesti. Tämä johtuu siitä että mitä suurempi on keräysyksiköiden lukumäärä järjestelmässä, sitä suuremmaksi muodostuu jonotusongelma. Suuri keräilijämäärä pystyy suoriutumaan työtehtävistä nopeasti ja keräysyksiköiden lisääminen vain hidastaa järjestelmän toimintaa.



Kuva 10. Simulointiajojen tulokset kahdeksan käytävän järjestelmässä esitettynä graafisesti. Vihreällä merkityt ovat tehokkuustavoitteen saavuttaneita ajoja.

Näitä tuloksia verrattiin myös ajoihin, joissa keräysyksiköillä ei ollut mahdollisuutta ohittaa toisiaan keräilykäytävillä. Näiden ajojen tulokset ovat taulukossa 5.

Taulukko 5. Simulointiajojen tuloksia kahdeksan käytävän järjestelmässä ilman ohitusmahdollisuutta.

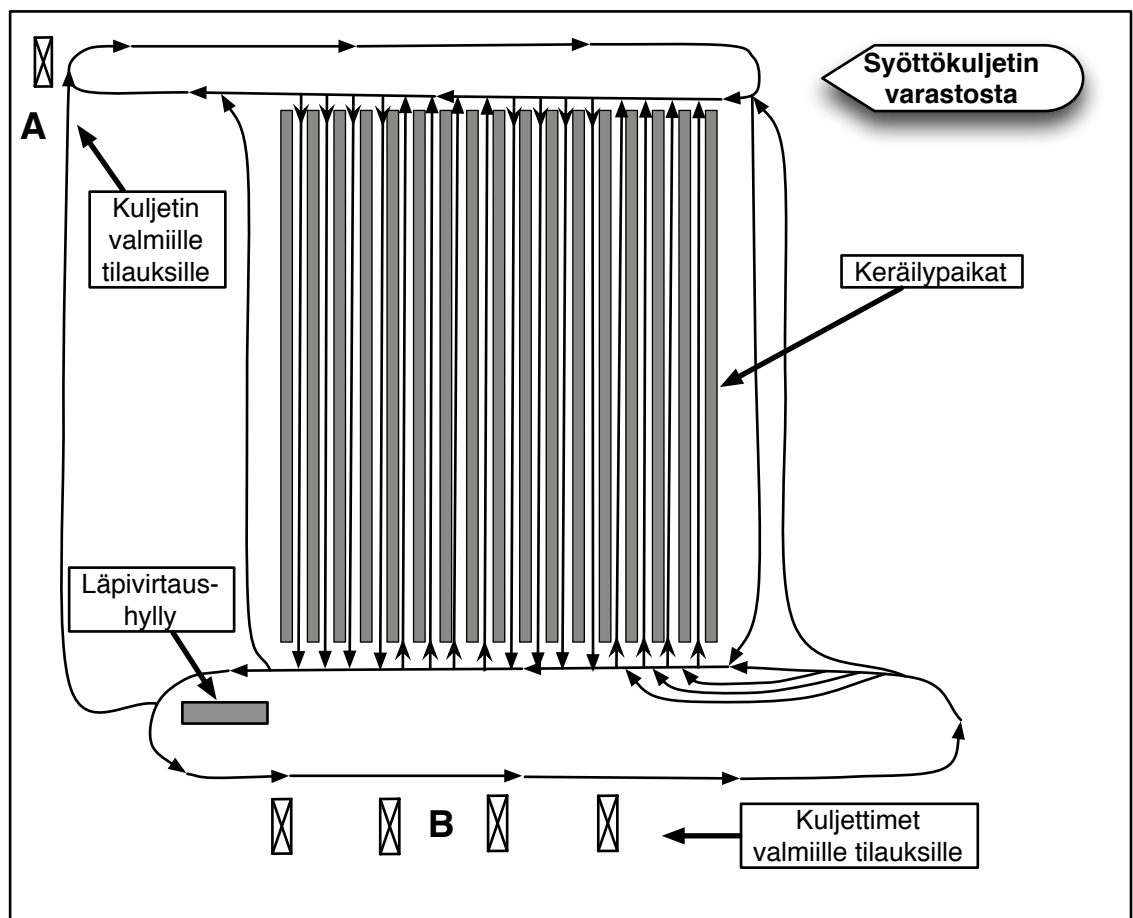
Keräilijät	Keräilijöiden ohjaus	Keräilijöiden käyttö	Keräysyksiköt	Keräysyksiköt jonossa	Keräilyn kesto
24	käytävä rajoitus / vanhin tehtävä	26 %	50	49 %	51 h
24	vapaa liikkuvuus / lähin tehtävä	38 %	50	35 %	37 h

Verrattaessa ohitusmahdollisuudella tehtyihin ajoihin vastaavilla parametreillä, ajot 1 ja 14, on selkeästi havaittavissa, että ohitusmahdollisuus tuo selkeän parannuksen keräilyn kokonaiskestoan. Käytävärajoituksella ja vanhimman tehtävän parametreillä ero on 11 tuntia, eli noin 20 prosenttia nopeammin pystytään keräily hoitamaan ohitusmahdollisuudella. Keräilijöiden vapaan liikkuvuuden ja lähimmän tehtävän parametreillä ero on pienempi, noin 5 tuntia, mutta silti merkittävä.

Ohitusmahdollisuuden toteuttamisessa käytännössä on kuitenkin ongelmia, ja sen vuoksi katsottiin, että tutkitaan, saadaanko erilaisella layoutilla järjestelmä toimimaan tarvittavalla tehokkuudella ilman ohitusta.

6.3 16 käytävän järjestelmän tulokset

Seuraavaksi kokeiltava layout oli 16 käytävän järjestelmä. 16 käytävällä järjestelmän toiminta muuttui merkittävästi, sillä keräilypaikoilta pystyttiin keräämään molemmilta puolilta. Erillisiä täyttökäytäviä ei enää ollut, vaan täyttö hoidettiin samoilta käytäviltä kuin keräilykin. Keräilykäytävien kulkusuunnat vaihdettiin myös siten, että neljä vierekkäistä käytävää olivat yhden suuntaisia ja neljä seuraavaa vastakkaisuuntaisia. Tämä on esitelty kuvassa 11.



Kuva 11. 16 keräilykäytävän layout.

Ajojen tuloksista kävi kuitenkin selväksi, että järjestelmä ei toimi tällä layoutilla. Pahin ongelma aikaisemmissa järjestelmissä, eli keräilyjoiden ja keräisyksiköiden heikko käyttöaste, ei parantunut vaan järjestelmä ruuhkautui pahasti. Osa ajoista on esitetty taulukossa 6, josta ilmenee hyvin, ettei tavoitteisiin päästy.

Taulukko 6. Simulointiajojen tuloksia 16 käytävän järjestelmällä ilman ohitusmahdollisuutta.

Keräilijät	Keräilijöiden ohjaus	Keräilijöiden käyttö	Keräysyksiköt	Keräysyksiköt jonossa	Keräilyn kesto
20	käytävä rajoitus / vanhin tehtävä	34 %	40	12 %	54 h
20	vapaa liikkuvuus / lähin tehtävä	36 %	45	15 %	51 h
20	vapaa liikkuvuus / lähin tehtävä	38 %	50	17 %	49 h

7 Projektin tulos

Projektin tavoitteina oli rakentaa suunnitellusta keräilyjärjestelmästä simulointimalli ja selvittää sen avulla järjestelmän resurssivaatimukset ja ohjausperiaatteet vaaditun keräilytehon saavuttamiseksi. Tavoitteet saavutettiin, ja projekti oli siten onnistunut.

Simulointimalliin mallinnettiin sovitut järjestelmän osat ja sillä tehtiin ajosuunnitelmien mukaiset ajot onnistuneesti. Näillä pystyttiin selvittämään järjestelmän kehitysideoiden toimivuus ja resurssitarpeet. Ajojen perusteella huomattiin, että järjestelmä vaatii huomattavan määrän resursseja saavuttaakseen tarvittavan tehon. Erityisenä ongelmana on keräilijöiden ja keräysyksiköiden heikoksi jäävä käyttöaste. Keräilijöiden kuormituksen nostamiseksi keräysyksiköitä tarvitaan niin paljon, että ruuhkautuminen ja laiteinvestointikustannukset kasvavat liian suuriksi. Toisaalta siedettävällä keräysyksiköiden lukumäärällä tarvittavan keräilytehon saavuttamiseksi tarvitaan niin monta keräilijää että järjestelmä ei ole kustannustehokas.

Tilanne pyrittiin parantamaan projektin ajan tuotesijoittelulla ja katsottiin tavoitteeksi lyhentää keräysyksiköiden keräilyreittien pituutta minimoimalla kierroksen aikana tarvittavien keräilykäytävien määrä. Tässä törmättiin kuitenkin ruuhkautumisongelmiin, joita resurssien suuri määrä aiheutti, ja näin keräilykierrokseen kuluva ajasta merkittävä osa kului jonottamiseen.

Ohitusmahdollisuus simulointiajojen perusteella toi merkittävän parannuksen jonottamisongelmaan ja sillä saatiin määritettyä resurssivaatimukset riittävän keräilytehon saavuttamiseksi. Vaaditut resurssit todettiin kuitenkin olevan liian suuret, jotta järjestelmää voitaisiin harkita toteutettavaksi.

Taulukko 7. Kokeiltujen järjestelmien lyhimät keräilyajat simulointiajoista

Järjestelmä	6 käytävää	8 käytävää	8 käytävää (ohitus)	16 käytävää
Paras ajettu tulos	56 h	37 h	27 h	49 h
Keräilijät	18 kpl	24 kpl	29 kpl	20 kpl
Keräysyksiköt	50 kpl	50 kpl	50 kpl	50 kpl
Jonotus	50 %	35 %	13 %	17 %
Keräilijöiden käyttö	48 %	38 %	40 %	38 %

Oheisessa taulukossa on yhteenvedona kokeiltujen järjestelmävariaatioiden tulokset. Paras keräilijöiden käyttöaste saatiin kuuden käytävän mallilla, mutta tulos kärsi pahasti keräysyksiköiden jonottamisesta. Kahdeksan käytävän ajoissa parhaat tulokset saatiin vasta hyvin suurilla resurssimäärillä, sillä käyttöasteita ei saatu näissä järjestelmissä kohotettua tarpeeksi. 16 käytävän järjestelmässä päätettiin tehdä ajoja vain pienemmillä resurssimäärillä ja todettiin että, niillä ei keräilyteho ole riittävä. Suuremman keräilyalueen ansiosta ruuhkautuminen ei ollut niin suuri ongelma, mutta keräilijät eivät pystyneet suoriutumaan työkuormasta tarpeeksi nopeasti.

8 Johtopäätökset

Järjestelmän konsepti oli erittäin mielenkiintoinen ja selvästi tutkimisen arvoinen. Simulointimallin valmistuttua ja ensimmäisten ajojen jälkeen kävi kuitenkin selväksi, että järjestelmä ei ole kuitenkaan käytännössä niin hyvin toimiva kuin ajatuksissa oli. Siitä ei saatu tavoiteltua keräilytehoa irti realistisilla resurssimäärillä, sillä käyttöasteet jäivät alhaisiksi.

Tuotesijoittelua tehtiin usein eri metodein, mutta mikään ei tuonut todellista parannusta järjestelmän toimintaan vaan niiden vaikutukset jäivät hyvin rajallisiksi. Tuotesijoittelua myös rajoitti se, että ei pystytty käsittelemään tilauksia alkuperäisinä, vaan tilaukset olivat jo olemassa olevan järjestelmän keräilyjen pohjalta jaettu osiksi. Näitä osia ei pystytty purkamaan, vaan simuloinneissa ne jouduttiin keräämään samoina kokonaisuuksina. Siten tuotesijoittelu jouduttiin suunnittelemaan näiden valmiiden kokonaisuuksien pohjalta eikä kokonaisten tilausten pohjalta.

Kokonaisuutena projekti seurasi hyvin tarkasti simulointiprojektin tyypillistä kulkua (kuva 3). Vaikka projektin tuloksena olikin järjestelmän toimimattomuus, oli sen

selvittäminen aikaisessa vaiheessa hyvin kannattavaa. Simulointiprojektin kustannukset ovat erittäin pienet verrattuna toimimattoman järjestelmän pystyttämiseen ja jälkikäteen korjaamiseen.

Lähteet

- 1 Yritys. (WWW-dokumentti.) EP-Logistics Oy. <www.ep-logistics.fi/eplogistics/sivut/yritys.php>. 2008. Luettu 12.2.2009.
- 2 Referenssit. (WWW-dokumentti.) EP-Logistics Oy. <<http://www.ep-logistics.fi/eplogistics/sivut/referenssit.php>>. 2008. Luettu 29.3.2009.
- 3 Atria. (WWW-dokumentti.) EP-Logistics Oy. <<http://www.ep-logistics.fi/eplogistics/sivut/caseatria.php>>. 2008. Luettu 29.3.2009.
- 4 Hartwall. (WWW-dokumentti.) EP-Logistics Oy. <<http://www.ep-logistics.fi/eplogistics/sivut/casehartwall.php>>. 2008. Luettu 29.3.2009.
- 5 Banks, Jerry. Handbook of simulation. USA: A Wiley-Interscience publication, 1998.
- 6 Hyvönen, Ville. Osastopäällikkö, EP-Logistics Oy, Helsinki. Keskustelu 30.3.2009.
- 7 Paju, Vesa, 2008. Simulointi, luentomoniste. Espoo.
- 8 Hannus, Seppo & Louhenkilpi, Timo. Simulointi. Espoo: OtaData, 1981.
- 9 Law, Averill M. & Kelton, David W. Simulation modelling and analysis. Second Edition. USA: McGraw-Hill, Inc., 1991.
- 10 Banks, Jerry & Gibson, Randall. Simulating in the real world. IIE Solutions Huhtikuu 2001 Nro. 33, s. 38–40.
- 11 Shi, Jonathan Jingsheng. Three methods for verifying and validating the simulation of a construction operation. Construction Management & Economics Syyskuu 2002 Nro. 6, s. 483–492.
- 12 Price, Rochelle N. & Harrel Charles R. Simulation and optimisation using promodel. Teoksessa: Farrington P., Nembhard H., Sturrock D. & Evans, G. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. Phoenix, Arizona, USA December 5-8. USA: Omnipress, 1999.
- 13 Promodel Corporation. (WWW-dokumentti.) ProModel. <<http://www.promodel.com>>. 2009. Luettu 30.3.2009.
- 14 Niemi, Petri. Konsultti, EP-Logistics Oy, Helsinki. Keskustelu 8.4.2009.