

TUOTANTOTALOUDEN KOULUTUSOHJELMA

Simulaatiomallien hyödyntäminen varastotoiminnoissa

Utilization of simulation models in warehouse operations

Kandidaatintyö

Tero Kalatie

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Tero Kalatie

Työn nimi: Simulaatiomallin hyödyntäminen varastotoiminnoissa

Title: Utilization of simulation models in warehouse operations

Vuosi: 2016

Paikka: Lappeenranta

Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalous.

34 sivua, 18 kuvaa ja 2 taulukkoa.

Tarkastaja(t): Annastiina Rintala

Hakusanat: simulaatio, diskreetti, agenttipohjainen, systeemidynamiikka

Keywords: simulation, discrete-event, agent-based, system dynamics

Työn päätavoitteena on tutkia simulaatiomallien hyödyntämistä varasto-operaattorin käsittelykustannusten minimoinnissa. Tavoitteena on myös luoda perusteet esimerkkiyritykselle simulaatiotyökalun rakentamista varten.

Teoriaosassa perehdytään simulaatiomallien kolmeen pääsuuntaan ja tutkitaan niiden sovelluskohteita. Lisäksi teoriaosassa tutkitaan milloin simulaatiota kannattaa käyttää. Teoriaosassa tarkastellaan myös yleisimpiä varasto- ja jakelukeskuksiin liittyviä tehokkuushaasteita ja pohditaan simulaatiomallien käyttöä niiden ratkaisemiseksi.

Empiriaosassa tehtiin tilastollinen analyysi varastoitavista nimikkeistä, tavaravirroista ja sen pohjalta arvioitiin simulaatiomallin rakentamisen mielekkyyttä esimerkkiyritykselle sekä siitä saatavia hyötyjä.

Tutkimuksen perusteella voi sanoa, että simulaatiomallien avulla varastotoimintoja on mahdollista optimoida.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
1.1	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet	5
1.2	Työn rajaukset ja rakenne	7
2	VARASTO-OPERAATTORIN TOIMINTAPERIAATTEET	9
2.1	Palvelutarjonta	9
2.2	Tuotto- ja kulurakenteen kehitys	9
3	SIMULAATIOMALLIEN KÄYTTÖ TUTKIMUSMENETELMÄNÄ	11
3.1	Simulaatiomallinnuksen käyttö.....	12
3.2	Simulaatiomallien pääsuunnat	14
3.2.1	Systeemidynamiikka	15
3.2.2	Diskreettien tapahtumien simulointi	16
3.2.3	Agenttipohjainen simulointi	18
4	VARASTON OPTIMOINTIHAASTEET	21
4.1	Kuljetusyksikön sijoittaminen varastoalueelle	21
4.2	Tuotteiden sijoitus varastoalueelle.....	22
4.3	Keräilyn optimointi	23
5	SIMULAATIOMALLIEN HYÖDYNTÄMINEN VARASTON TEHOKKUUSHAASTEISSA	26
5.1	Simulaation hyödyntäminen kuljetusyksikön sijoittamisessa.....	27
5.2	Simulaatiomallien vahvuus keräilyreitien optimoinnissa.....	27
6	CASE: SIMULAATIOMALLIEN SOVELTUVUUS ESIMERKKIYRITYKSEN VARASTOINTIPROSESSEIHIN.....	28
6.1	Yrityksen varastoalueen ominaisuudet	28
6.2	Varastoitavat nimikkeet ja niiden kiertonopeus.....	29
6.3	Saapuvien ja lähtevien yksikköjen koostumus.....	29

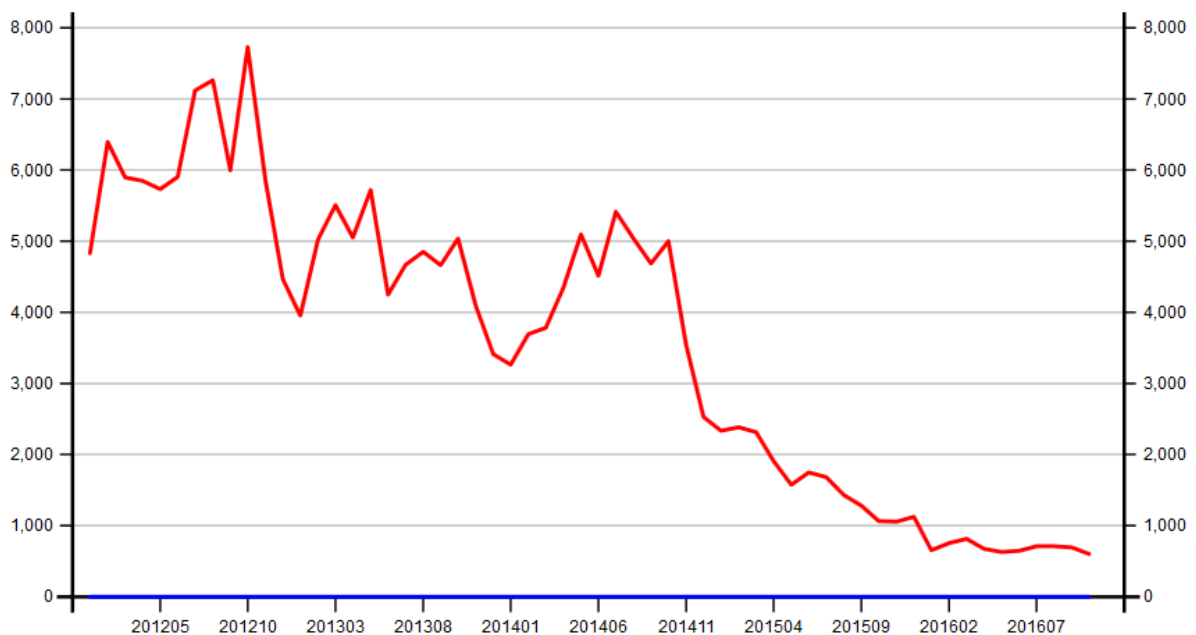
7	Johtopäätökset ja yhteenveto	31
	LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Tämä tutkimustyö tarkastelee simulaatiomallien hyödyntämistä varastointiin liittyvän tavarankäsittelyn optimoinnissa. Työssä pyritään selvittämään mihin varaston tehokkuusongelmiin simulaatiomallinnuksella voitaisiin vastata ja ovatko tarkasteltavan esimerkkiyrityksen lähtökohdat simulaatiomallinnuksen käyttöönotolle otolliset. Aluksi selvitetään tutkimuksen tausta ja varasto-operaattorin liiketoimintamalli, minkä jälkeen esitellään teoriakehyksessä simulaatiomallinnuksen pääsuunnat. Samassa yhteydessä otetaan kantaa siihen, milloin simulaatiomalleja kannattaa käyttää ja milloin ei. Työn viimeisessä vaiheessa tehdään analyysi esimerkkiyrityksen varastotoiminnoista ja käsiteltävistä nimikkeistä.

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Suomen tavaravienti Venäjälle on vähentynyt merkittävästi viime vuosina. Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen huhtikuussa 2016 tekemän tutkimuksen mukaan viennin arvo on supistunut arvoltaan 44 prosenttia vuodesta 2012 vuoteen 2015. Sama käy ilmi tullin maakohtaisista tilastoista (kuva 1).



Kuva 1 Rekkakuormien rajanylitys Venäjälle Nuijamaan raja-aseman kautta vuodesta 2012

Venäläisten kotitalouksien ja yritysten ostovoima erityisesti ulkomaisten tavaroiden ja palvelujen suhteen on heikentynyt öljyn hinnan ja siihen liittyvän ruplan devalvoitumisen johdosta (ETLA 2016). Kuvassa 2 on esitetty öljyn hinnan kehitys välillä 2012-2016.



Kuva 2 Öljyn hinnan (USD/barrel) kehitys 2012-2016 (Bloomberg 2016)

Ruplan kurssi on on heikentynyt huomattavasti viime vuosien aikana. Kuvassa 3 on kuvattu ruplan kurssi yhdysvaltain dollariin suhteen vuodesta 2012.

USD per 1 RUB

4 Oct 2011 00:00 UTC - 2 Oct 2016 19:42 UTC
 RUB/USD close:0.01590 low:0.01215 high:0.03454



Kuva 3 Ruplan arvon kehitys dollariin verrattuna 2012-2016 (Xe.com 2016, viitattu 2.10.2016)

Heikentynyt ostovoima on ajanut venäläiset tuontiyrietykset karsimaan kulujaan. Tällä on vaikutusta suomalaisiin logistiikkayrityksiin, jotka tuottavat palveluja Venäjän tavaratuonnille. Palvelu on tuotettava huomattavasti halvemmallalla kuin ennen, mutta palvelun laadun on säilyttävä korkeana.

Työn ensisijaisena tavoitteena on tutkia simulaatiomallien soveltuvuutta varaston käsittelykustannusten optimointiin. Empiriaosuudessa tutkitaan simulaatiomallinnuksen soveltuvuutta esimerkkirytyksen operatiivisen toiminnan tehostamiseen. Tätä varten tarkastellaan yrityksen varastoalueiden pohjaratkaisuja ja varaston läpi kulkevien nimikkeiden määrää sekä kiertonopeuksia nimikkeittäin.

Tiedot kerätään esimerkkirytyksen operatiivisesta järjestelmästä ja muokataan käyttökelpoiseen muotoon.

1.2 Työn rajaukset ja rakenne

Tutkimus on rajattu simulaatiomallinnusteorian osalta kolmeen pääsuuntaan (systeemidynamiikka, diskreettien tapahtumien simulointi, agenttipohjainen simulointi) ja varastointitoiminnassa tavarankäsittelyyn sekä tuotteiden siirtämiseen purkupaikalta varastoon ja varastosta keräilypaikalle. Siihen kuluvaan ajan optimointi minimoi työvoimakustannuksia sekä trukin käyttöön liittyviä kustannuksia. Tässä työssä luodaan pohja mallin kehitykselle: analysoidaan ja aggregoidaan yrityksen varastodata, tarkastellaan varastoalueita ja esitellään mallin toimintaperiaatteet.

Työn alussa esitellään tutkimuksen taustat ja varasto-operaattorin toimintaperiaatteet: miten tuotto- ja kulurakenne muodostuu varastointiliiketoiminnassa ja miten taloudellinen toimintaympäristö on muuttunut. Seuraavassa vaiheessa esitellään simulaatiomallinnuksen käyttöä tutkimusmenetelmänä. Simulaatiomallinnuksesta esitellään yleisimmät käyttökohteet ja tutkitaan, milloin sitä kannattaa käyttää, ja milloin ei. Tämän jälkeen esitellään simulaatiomallinnuksen kolme pääsuuntaa: **systeemidynamiikka, diskreettien tapahtumien simulointi** ja **agenttipohjainen simulointi**. Jokaisesta pääsuunnasta käydään läpi toimintaperiaatteet ja ominaispiirteet, sekä suosituimmat käyttökohteet.

Tämän jälkeen esitellään varastotoiminnan yleisimmät tehokkuushaasteet ja tutkitaan simulaatiomallinnuksen soveltuvuutta niiden ratkaisemiseksi. Case-osuudessa tarkastellaan esimerkkiyrityksen varastointihaasteita ja analysoidaan tavaravirtoja, minkä perusteella pohditaan simulaatiomallinnuksen käytön mahdollisuutta tehokkuuden kasvattamiseksi. Lopuksi tehdään johtopäätökset ja yhteenveto tutkimuksen tuloksista.

2 VARASTO-OPERAATTORIN TOIMINTAPERIAATTEET

Kansainvälisen logistiikan parissa toimivat yritykset tarjoavat usein varastointia osana palvelukokonaisuuttaan. Osa logistiikkayrityksistä toimii asiakkaiden jakeluvarastona, jossa tavarat varastoidaan, niihin voidaan kohdistaa lisäarvopalveluja ja tavarat lähetetään tilauskohtaisesti asiakkaan osoittamaan paikkaan.

2.1 Palvelutarjonta

Kansainvälisen logistiikan alan varasto-operaattorit tarjoavat harvoin asiakkailleen pelkkää varastotilaa. Tavaralan luonne on yleensä sellainen, että sen käsittelyyn liittyy kiinteästi huolinta- ja tullauspalveluita. Lisäksi varastoalueilta edellytetään korkeaa turvallisuustasoa ja sen vuoksi ulkopuolisten toimintaa varastoalueella on rajoitettu.

Tämän vuoksi asiakkaille tarjotaan varastoinnin yhteydessä terminaalipalveluita, joita ovat tavaraerän vastaanotto, tilauskohtainen keräily ja lastauspalvelu. Lisäksi tarjotaan lisäarvopalveluja, kuten tavaraerän uudelleenpakkausta, tarkastuksia ja valokuvausta.

2.2 Tuotto- ja kulurakenteen kehitys

Varastotoiminnan suurimmat kuluerät muodostuvat tilojen vuokrasta ja ylläpidosta, sekä työvoima- ja työkonekustannuksista. Vastaavasti tuottopuoli muodostuu varastoinnista ja terminaalipalveluista.

Venäjän taloudellisen kehityksen vuoksi (ETLA 2016, Bloomberg 2016, Xe.com 2016) tavaravienti Venäjälle on pudonnut viime vuosina ja sen seurauksena tyhjää varastotilaa Suomen puolella on saatavilla reilusti. Tämän johdosta venäläinen tuontiyritys voi neuvotella itselleen edullisemman hintatason.

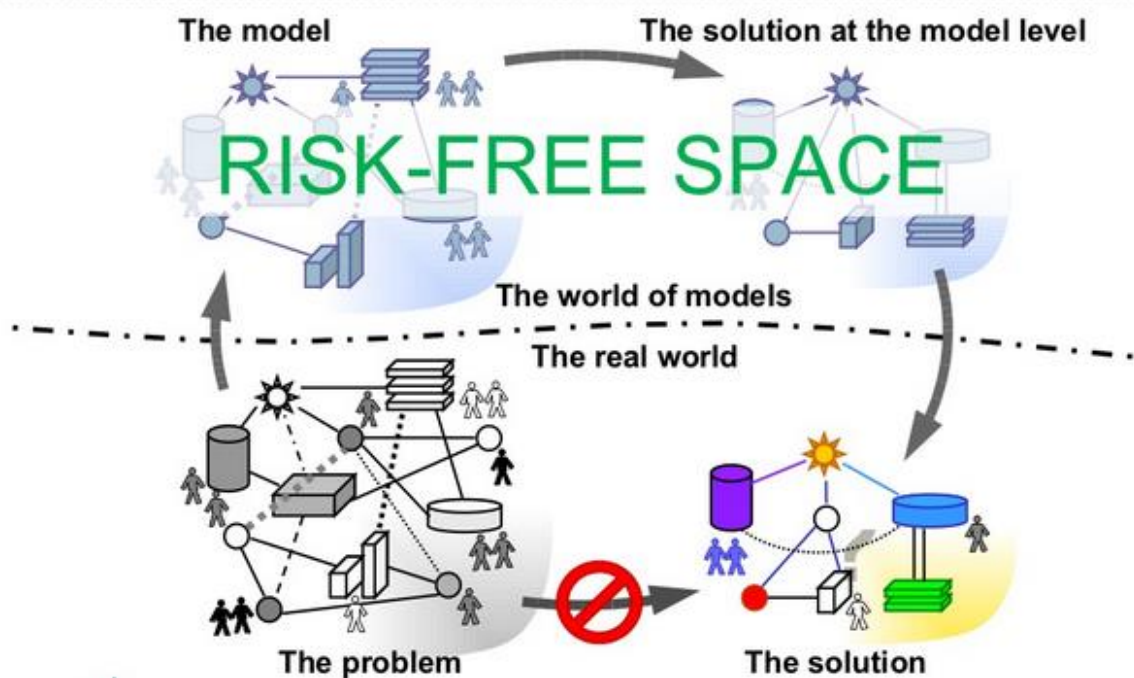
Jotta varasto-operaattori voi toimia kannattavasti alemmalla hintatasolla, on sen pystyttävä tuottamaan palvelut matalammalla kustannustasolla. Varastojen vuokria pyritään alentamaan

neuvottelemalla edullisemmat sopimukset ja varastoimaan tuotteet nykyistä tehokkaammin. Lisäksi varasto-operaattori pyrkii tehostamaan tavarankäsittelyä.

3 SIMULAATIOMALLIEN KÄYTTÖ TUTKIMUSMENETELMÄNÄ

”Simulaatio on tehokas työkalu, jos sen käyttö ymmärretään ja sitä käytetään oikein.” (Ingalls 2009) ”Muutos on nykyajan keskeisin vakio. Kiihtyvä muutos teknologiassa, väestössä ja taloudellisissa aktiviteeteissa muuttavat maailmaamme.” (Serman, 2000)

Simulaation määritelmä Shannonin (1975) mukaan: ”Prosessi, jossa suunnitellaan todellisen systeemin malli. Mallissa tehdään kokeita systeemin ymmärtämiseksi ja/tai erilaisten strategioiden arvioimiseksi systeemissä.” Robinson (2004) määrittelee simulaation tarkoittavan systeemin jäljitelmää, tai tarkennettuna systeemin jäljitelmää, kun se kehittyy ajan kuluessa. Kuvassa 4 on havainnollistettu simulaation ominaispiirrettä.



Kuva 4 Simulaatiomalli vs. todellisuus (XJ Technologies, 2010)

Shannonin (1975) mukaan simulaatio auttaa tarkastelemaan systeemin toimintaa tilanteissa, joissa

- testausta ei voida suorittaa todellisessa systeemissä
- testaukseen kuluva aika todellisessa systeemissä on liian pitkä

- todellista systeemiä ei vielä ole olemassa
- testaus todellisessa systeemissä olisi liian kallista.

Stermanin (2000) mukaan ihmisten kapasiteetti ymmärtää monimutkaisia systeemejä ja syy-seuraussuhteita sekä systeemiin liittyviä viiveitä on rajallinen. Lisäksi ihmisen oppimista ilman simulaation käyttöä hidastavat systeemin viiveet, heikko päättelykyky, muutosvastarinta ja testauksen korkea hinta.

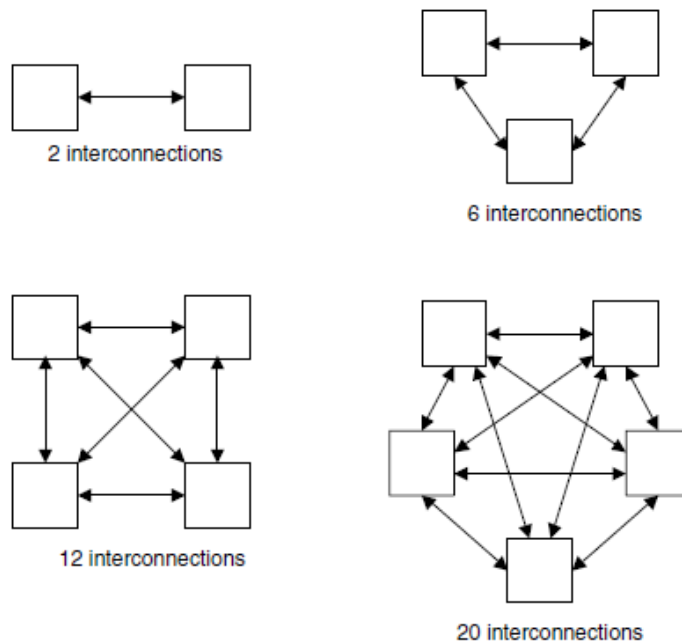
Hyödynnettävissä olevan datan määrä ja tietokoneiden laskentatehon kasvu mahdollistavat simulaation hyödyntämisen tilanteissa, joihin perinteiset taulukkolaskennan työkalut eivät riitä.

3.1 Simulaatiomallinnuksen käyttö

Robinsonin (2004) mukaan simulaatiota kannattaa käyttää, kun

1. Testaus todellisella systeemillä on kallista
2. Käytetty aika todellisella systeemillä on liian pitkä
3. Olosuhteiden kontrollointi todellisessa systeemissä vaikeaa
4. Todellista systeemiä ei ole olemassa

Borshchevin ja Filippovin (2004) mukaan simulointi mahdollistaa systeemien optimoinnin ennen käyttöönottoa. Simulaatiomalli voidaan nähdä sääntöjoukkona, jonka mukaan mallinnettu systeemi muuttuu tulevaisuudessa ottaen huomioon sen nykytilan. Mitä monimutkaisempi systeemi, sitä järkevämpää on käyttää simulaatiomallinnusta. Kuvassa 5 on esitetty monimutkaisuuden lisääntyminen kun keskinäisessä vuorovaikutuksessa olevien toimijoiden määrä kasvaa.



Kuva 5 Toimintojen väliset yhteydet ja kasvava kompleksisuus (Robinson 2004)

Simuloinnin yleisimmät käyttökohteet liittyvät systeemeihin, joissa on jonotusta (Robinson 2004). Näissä itsenäinen toimija etenee vaiheesta toiseen. Jonoja muodostuu, mikäli prosessin vaiheissa on rajoite käsittelykapasiteetissa. Sovellettavia systeemejä ovat mm.

- Tuotantosysteemit
- Julkiset systeemit: terveydenhuolto, armeija, luonnonvarat
- Kuljetussysteemit
- Rakennussysteemit
- Ravintola- ja viihdesysteemit
- Liiketoimintaprosessin mallinnus
- Ruuan prosessointi
- Tietokonejärjestelmän suorituskyky

Simulaatiomallien käyttö on lisääntynyt huomattavasti, ja nykyään sitä käyttävät myös henkilöt, joilla ei ole asiaankuuluvaa kokemusta ja koulutusta (Banks 1997). Tämän vuoksi simulaatiomallinnusta voidaan käyttää väärin, ja simulaatio-ohjelmistoa syyttää vääristä johtopäätöksistä. Banks ja Gibson (1997) listasivat kymmenen tapausta, milloin simulaatiota ei tule käyttää:

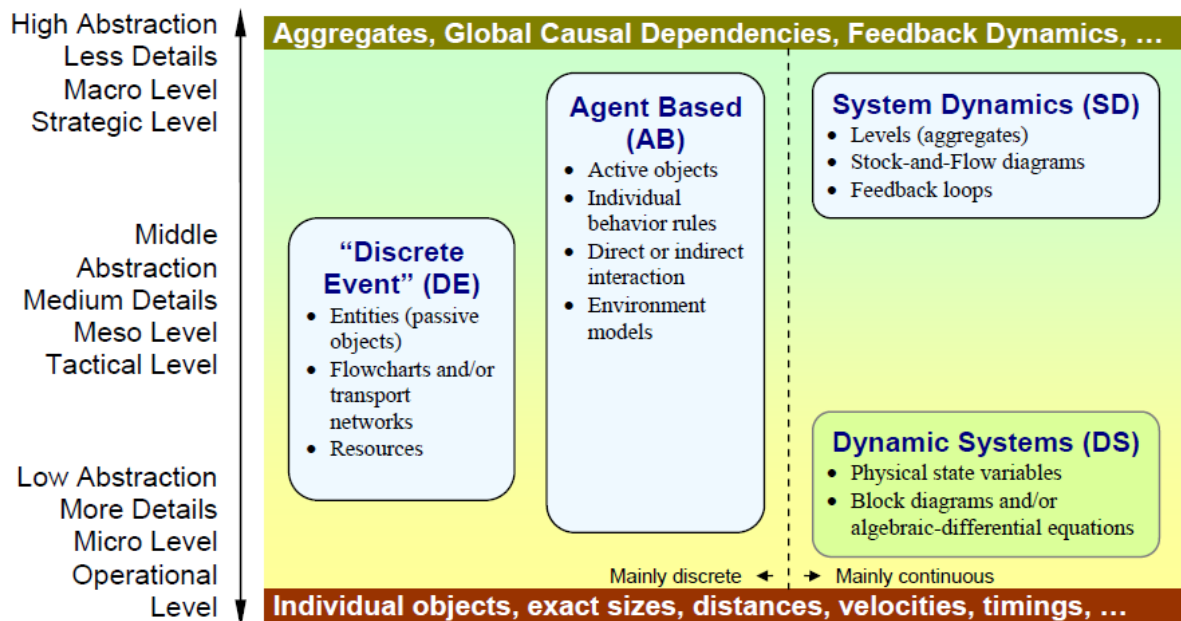
1. Ongelma voidaan ratkaista maalaisjärjellä

2. Ongelma voidaan ratkaista analyttisesti
3. Testaus on helpompi tehdä todellisessa systeemissä
4. Simulaation kustannus on suurempi kuin mahdollinen hyöty
5. Simulaatiota varten ei ole tarpeeksi resursseja
6. Mallin hyödyntämiseen ei ole aikaa
7. Dataa tai arvioita ei ole saatavilla
8. Mallia ei voida validoida tai varmistaa
9. Projektin odotuksia ei voida täyttää
10. Systemi on liian monimutkainen tai ei pystytä määrittelemään

Robinsonin (2004) mukaan simulaation käyttöä tulee harkita tarkoin, sillä simulaatio voi olla kallista, hidasta, data-intensiivistä, osaamisintensiivistä ja harhaanjohtavaa.

3.2 Simulaatiomallien pääsuunnat

Simulaatiomallit jakautuvat kolmeen pääkategoriaan: *systemidynamiikkaan*, *diskreettien tapahtumien simulaatioihin* ja *agenttipohjaisiin malleihin*. Lisäksi voidaan käyttää *hybridimalleja*, jossa yhdistetään systemidynamiikka ja agenttipohjainen mallinnus (Lättilä et al 2010) tai hyödynnetään osittaisoptimointia rajaamaan erittäin suurta vaihtoehtoavaruutta (Yoo et al 2010). Hybridimallit rajataan tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Simulaatiomallien pääsuuntien eroavaisuuksia on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6 Simulaatiomallien soveltuvuus eri käsitteellisyystasoilla (Borshchev & Filippov 2004)

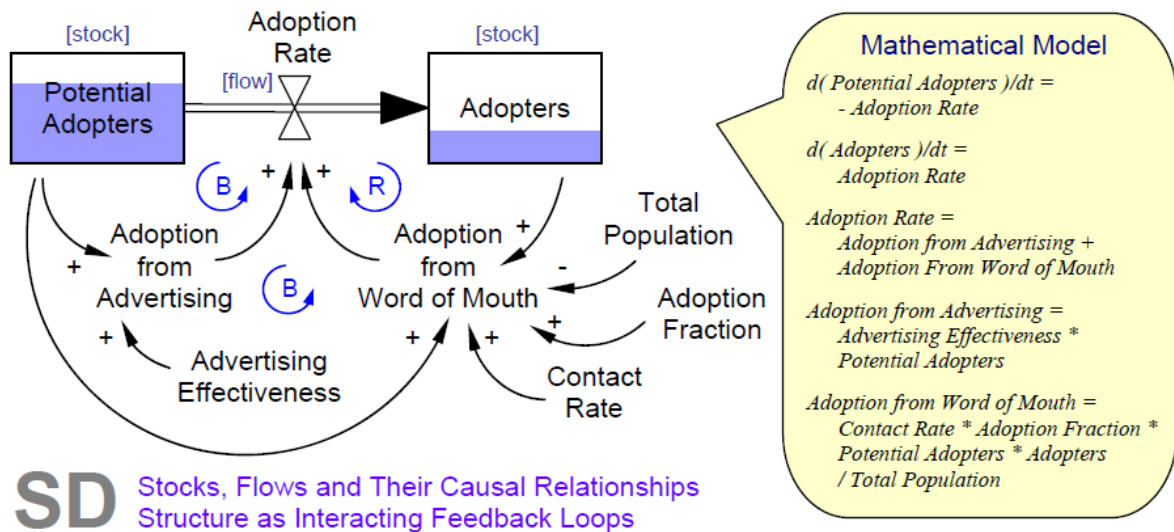
3.2.1 Systeemidynamiikka

Systeemidynamiikka on Jay W. Forresterin 1950-luvulla kehittänyt menetelmä, jossa reaali maailman prosessit kuvataan varastoina ja virtoina (stocks and flows). Menetelmän pääajatuksena on, että systeemin sisäinen kausaalisuus rakenne määrittää systeemin dynaamiset ominaisuudet (Schieritz & Milling 2003). Forrester kehitti sen alun perin mallintamaan toimitusketjuja ja niihin liittyviä rajoitteita.

Systeemidynamiikka mallit käyttävät yksittäisten tapahtumien sijaan koostettua tietoa. Systeemi koostuu keskenään vuorovaikutuksessa olevista palautesilmukoista (feedback loops), jossa ulostulovirta toimii syötteenä toiselle vaiheelle. Palautesilmukat koostuvat kahdentyyppisistä muuttujista:

- Tasoista, jotka kuvaavat systeemin tilaa
- Nopeuksista, jotka muuttavat systeemin tilaa.

Kuvassa 7 on esimerkki systeemidynamiikan tavasta mallintaa uuden tuotteen tai teknologian omaksumisnopeutta.



Kuva 7 Systeemidynaaminen diffuusiomalli (Borshchev & Filippov 2004)

Palautesilmukat voivat olla rajoittavia tai vahvistavia. Lisäksi systeemeissä on usein viiveitä, jotka aiheuttavat heilahtelua tavoitetilan ympärillä.

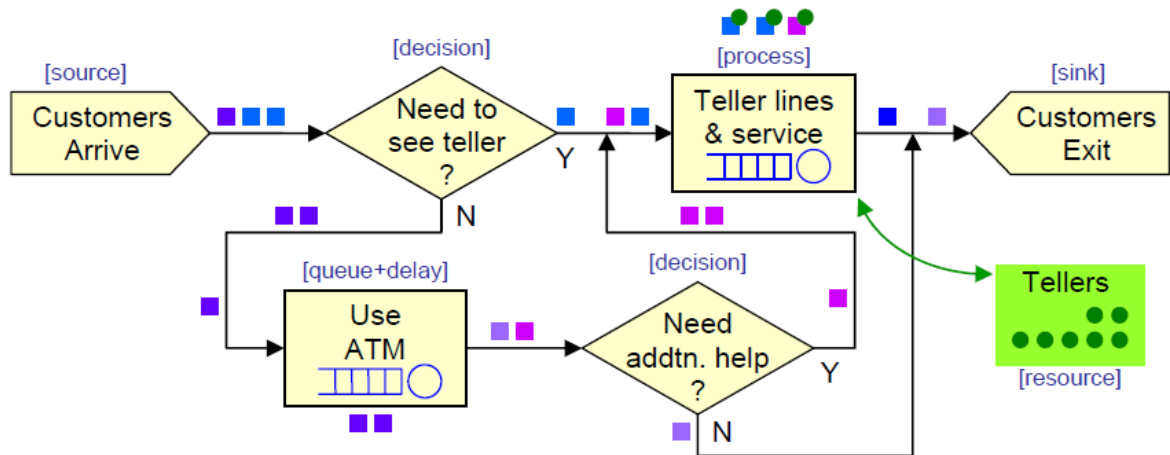
Systeemidynamiikkaa käytetään pääasiassa jatkuviin prosesseihin. Borshchev & Filippov (2004) listaavat sovelluskohteiksi mm. kaupunkisuunnittelun, sosiaaliset systeemit ja ekologiset systeemit. Sterman (2000) esittelee sovellutuksia kokonaisille markkinoille ja tuotantolaitoksille.

3.2.2 Diskreettien tapahtumien simulointi

Diskreettien tapahtumien malli perustuu entiteeteille, resursseille ja virtauskaavioille, joka määrittää entiteettien liikkeitä ja resurssien käytön (Borshchev & Filippov 2004). Ingalls (2009) listaa diskreettien mallien simuloinnin komponenteiksi entiteetit, aktiviteetit ja tapahtumat, resurssit, globaalit muuttujat, satunnaismuuttujageneraattorin, kalenterin, systeemin tilan muuttujat ja tilastollisen datan kerääjät.

Mallin erityispiirteenä on ajan käsite. Mallissa aika siirtyy tapahtumien ja niiden ajoitusten perusteella seuraavaan vaiheeseen (Ingalls 2009). Entiteetit ovat passiivisia objekteja, jotka kuvaavat ihmisiä, osia, dokumentteja, tehtäviä, viestejä jne. Ne liikkuvat virtauskaavion eri vaiheiden läpi, joissa ne ovat jonossa, viivästyvät, prosessoituvat, varaavat ja vapauttavat

resursseja (Borshchev & Filippov 2004). Kuvassa 8 on havainnollistettu yksinkertainen diskreettien tapahtumien malli pankin palvelujärjestelmästä.

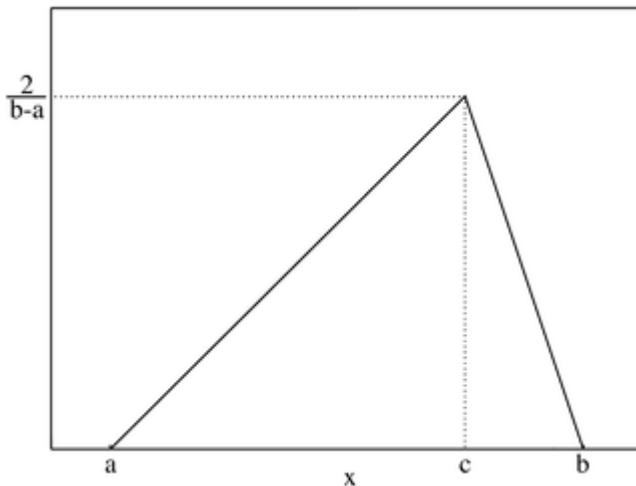


DE Entities and Resources (Passive Objects)
Flowchart Blocks (Queues, Delays, etc.) drive the model

Kuva 8 Diskreettien tapahtumien malli: pankkiautomaatti ja pankkivirkailija (Borshchev & Filippov 2004)

Prosessi alkaa, kun asiakas saapuu pankkiin. Asiakas menee joko automaatille tai tiskille riippuen siitä, tarvitseeko hän henkilökohtaista palvelua. Kummallakin prosessipisteellä on viive-elementti (jono). Tiskille on lisäksi määritetty työvoimaresurssi, joka vaikuttaa siihen montako asiakasta voidaan palvella samanaikaisesti. Lopulta asiakas poistuu prosessista. Simulointi mahdollistaa useiden eri muutosten vaikutusten arvioinnin: työvoimaresurssia voidaan muuttaa, asiakkaiden jakautumista automaatinkäyttäjien ja tiskille menijöiden suhteen voidaan vaihdella, jonotus- ja käsittelyaikojen parametreja voidaan muuttaa.

Entiteeteille voidaan määrittää yksilöllisiä ominaisuuksia, kuten nimi, tärkeysaste, eräpäivä, numero ja vaiva. Näitä voidaan käyttää ohjaamaan yksittäistä entiteettiä (Shannon 1998). Entiteetin ohjaukseen voidaan käyttää myös erilaisia jakaumia, kuten kolmiojakaumaa.



Kuva 9 Kolmiomallinen todennäköisyysjakauma

Bangsowin (2012) mukaan diskreettien tapahtumien mallinnuksen käytännön sovellutukset ovat aina ohjelmistopohjaisia ja tehdään kehitysympäristössä. Bangsow esittelee useita käytännön esimerkkejä: tuotantolaitosten toiminta, puhelinpalvelukeskusten toiminta, terminaalien tavaravirtojen hallinta, energiankulutuksen hallinta ja materiaalivirtojen mallinnus tehtaalla.

3.2.3 Agenttipohjainen simulointi

Agenttipohjainen simulointimalli koostuu yksilöllisistä, itsenäisistä ja systeemin kanssa vuorovaikutuksessa olevista agenteista. Agenttipohjainen mallinnus tarjoaa helpomman tavan mallintaa yksilöllistä käyttäytymistä ja sitä, kuinka se vaikuttaa muihin (Macal & North 2014). Agentin ominaisuuksia voivat olla ennakoitokyky, reagoitokyky, tilan hahmottamiskyky, kyky oppia, sosiaalinen kyvykyys ja äly (Borshchev & Filippov 2004).

Kuhn et al (2010) kuvailevat agenttipohjaisen simulaation olevan luonteeltaan stokastista. Sillä on ainutlaatuinen kyky tutkia epälineaarisia ja mukautuvia vuorovaikutuksia. Säännöt määritellään mikrotasolla ja makrotason rakenteet määräytyvät näiden käyttäytymissäntöjen perusteella.

Toisin kuin systeemidynaamisissa ja diskreettien tapahtumien malleissa, agenttipohjaisessa mallissa ei määritellä koko systeemin dynamiikkaa. Mallinnus määritellään agenttitasolla ja

koko systeemin dynamiikka syntyy agenttien toiminnan seurauksena. Agentit voivat olla ihmisiä, liiketoimintayksiköitä, eläimiä, ajoneuvoja, tai muita joille voidaan määrittää yksilöllisiä käyttäytymismalleja (Borshchev & Filippov 2004).

Kuvassa 10 agentteina ovat yksittäiset linnut. Jokaiselle on annettu kolme sääntöä:

- Yhtenäisyys: jokainen agentti kääntyy kohti lähimpien agenttien keskimääräistä sijaintia
- Erottautuminen: jokainen agentti pyrkii välttämään törmäystä lähellä oleviin agentteihin
- Kohdistaminen: jokainen agentti kääntää suuntaansa parven keskimääräistä suuntaa



a) Sattumanvarainen alkutilanne



b) 500 päivityskierrosta

Kuva 10 Lintuparven käyttäytymismalli (Macal & North 2006)

Agenttipohjaisen simulaatiomallinnuksen käyttökohteet voidaan jakaa neljään kategoriaan (Bonabeau, 2002): virtauksen simulointi, organisaation simulointi, markkinasimulaatio ja diffuusion simulointi. Macal ja North (2006) ovat jakaneet agenttipohjaisen simulaatiomallinnuksen käyttökohteet seitsemään kategoriaan:

- Liiketoiminta ja organisaatiot (valmistus, toimitusketjut, kuluttajamarkkinat, vakuutusala)
- Talous (keinotekoiset finanssimarkkinat, kaupankäyntiverkostot)
- Infrastrukturi (sähkömarkkinat, liikenne)
- Ihmisoukot (jalankulkijoiden mallinnus, evakuointisimulaatiot)

- Yhteisöt ja kulttuuri (muinaiset kansat, kansalaistottelemattomuus, terrorismin vaikuttavat tekijät)
- Asevoimat (komentoketjut ja hallinta, voimankäytön vaikutukset)
- Biologia (väestö, ekologiset verkot, eläinten ryhmäkäytös, solujen mallinnus)

Agenttipohjaisten mallien suosio on kasvanut voimakkaasti viime vuosina. Macal & North (2006) listaavat neljä tärkeintä syytä:

1. Mallinnettavat systeemit ovat monimutkaisempia ja niiden sisällä on useita keskenään vuorovaikutuksessa olevia tekijöitä, joiden kokonaisvaikutusta on vaikea hahmottaa.
2. Jotkut systeemit ovat vain liian vaikeita mallinnettavaksi perinteisillä menetelmillä.
3. Datan laatu ja tarkkuus on parantunut: mikrotason dataa voidaan käyttää mikrosimulaatioissa.
4. Tietokoneiden laskentateho on kasvanut räjähdysmäisesti, mikä mahdollistaa laajempien simulaatioiden rakentamisen.

4 VARASTON OPTIMOINTIHAASTEET

Varastohallinnan tehokkuushaasteet voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan (Gu et al 2006): *varaston suunnitteluun ja varastotoimintoihin*. Varaston suunnitteluhaasteina ovat rakenteen määrittely, optimaalinen koko, pohjaratkaisun suunnitteleminen, varustuksen taso ja operatiivinen strategia. Operatiivisella strategialla tarkoitetaan tavaroiden varastoonsijoittamisperiaatteita.

Varastotoimintojen osalta tehokkuutta pyritään nostamaan optimoimalla nimikkeiden varastointia, tilauksen keräilymatkaa ja kuljetusyksikön sijoituspaikkaa varastoalueella. Tässä yhteydessä tarkastellaan varaston tehokkuushaasteita *kuljetusyksikön sijoittamisessa, tuotteiden sijoittamisessa varastoalueelle ja keräilyn optimoinnissa*.

4.1 Kuljetusyksikön sijoittaminen varastoalueelle

Jotta kuljetusyksikön optimaalinen sijainti voidaan määrittää, tulee tietää (Gu et al 2006):

- kuljetusyksiköiden saapumisaika ja sisältö
- Kysyntätieto ja oletettu toimitusaika
- Varaston pohjakartta ja käytettävät resurssit

Mikäli näitä ei ole tiedossa, voidaan historiatiedon perusteella tehdä oletuksia kuljetusyksiköiden saapumisajoista sekä sisällöistä ja käyttää simulaatiomallinnusta ohjausparametrien määrittämiseen.

Tarkoituksena on määrittää Gu et al (2006) mukaan kuljetusyksiköiden purku- ja lastauspaikat sisäisten materiaalivirtojen määrittämiseksi, purku- ja lastausajankohta työnsuunnittelua varten sekä työ- ja tavarankäsittelyresurssien oikea kohdentaminen.

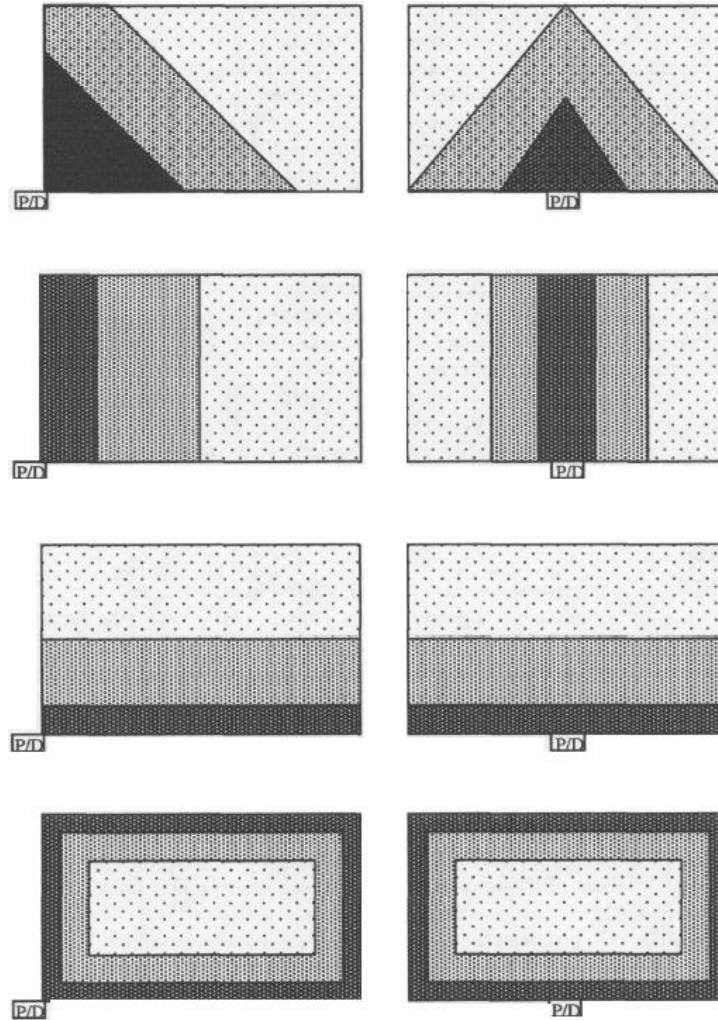
4.2 Tuotteiden sijoitus varastoalueelle

Keräilyprosessin nopeuttamiseksi on usein järkevää erottaa massavarasto (bulk stock) keräilyvarastosta (pick stock). Keräilyvaraston pienentyessä keskimääräinen keräilyyn kuluva aika pienenee. Viisi yleisintä menetelmää tuotteiden sijoittamiseksi varastoon on esitetty taulukossa 1 (de Koster 2007)

Taulukko 1 Yleisimmät varastoonsijoitusmenetelmät ja niiden ominaispiirteet

Menetelmä	Ominaispiirteet	Hyödyt ja haitat
Sattumanvarainen sijoittaminen	Sijoitetaan tuotteet yhtä suurilla todennäköisyyksillä sattumanvaraisesti.	+ Korkea varaston käyttöaste (-) Pitkät keräilymatkat
Lähimpään vapaaseen paikkaan sijoittaminen	Varastotyöntekijä sijoittaa tuotteet lähimpään vapaanaolevaan paikkaan.	+ Lähellä olevien varastopaikkojen korkea täyttöaste (-) Matala varaston käyttöaste
Korvamerkittyjen paikkojen käyttö	Jokaisella tuotteella on kiinteä varastopaikka riippumatta tuotteen varastosaldosta.	+ Varastotyöntekijä tietää tuotteiden sijainnin (-) Matala varaston käyttöaste
Liikevaihdon mukainen järjestys	Sijoitetaan korkean liikevaihdon tuotteet lähimmille varastopaikoille.	+ Korkeimman kysynnän tuotteet lähellä (-) Kysynnän vaihtelu ja sen aiheuttamat varastosiirrot
Luokkaperusteinen sijoittaminen	Tuotteet jaetaan niiden kiertonopeuksien mukaan luokkiin, ja sijoitetaan nopeimmin kiertävät lähimpiin varastopaikkoihin.	+ Korkeimman kiertonopeuden tuotteet nopeimmin kerättävillä paikoilla

Luokkaperusteisen sijoittamisen tapauksessa varastoalue jaetaan vastaaviin luokkiin kuin tuotteet. Riippuen keräilyn lähtöpisteestä alueet voivat olla esimerkiksi (Petersen 1999):



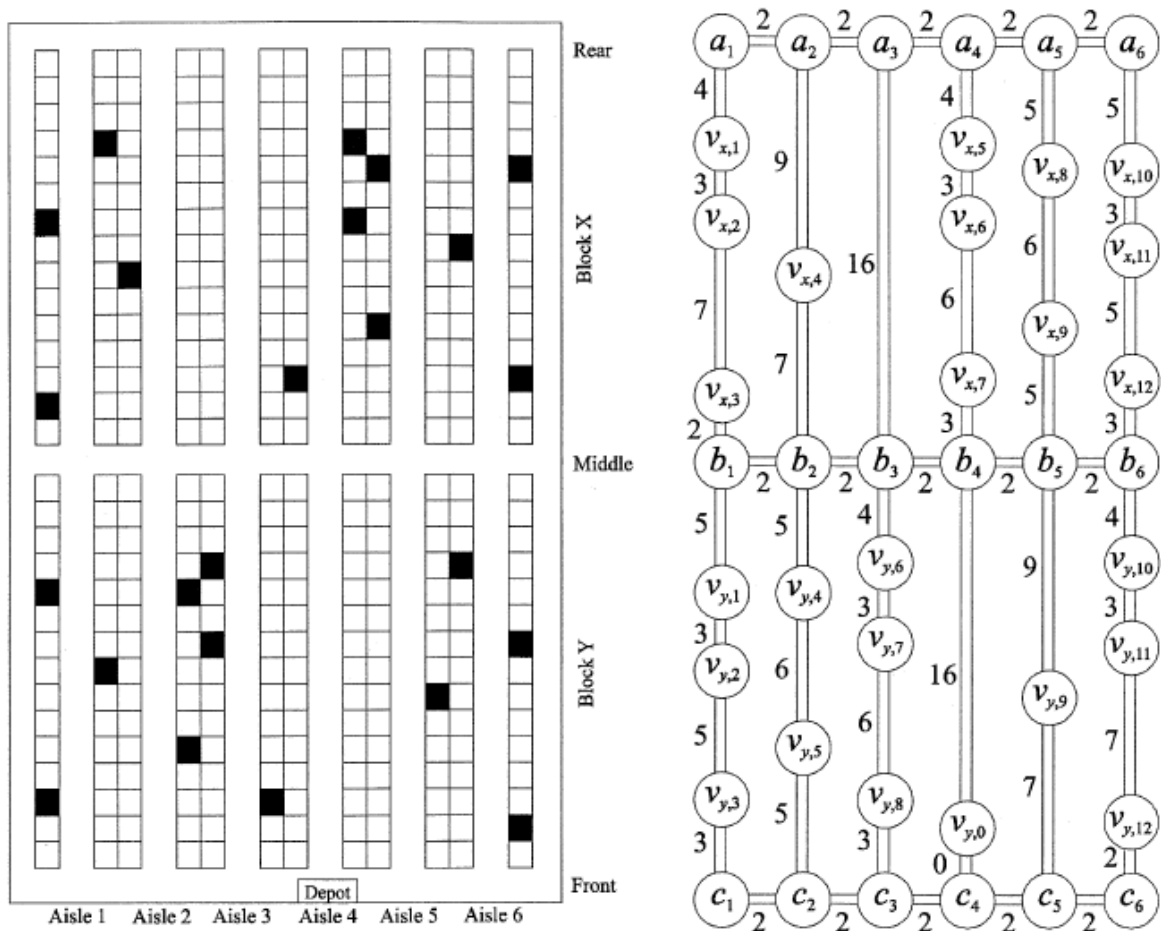
Kuva 11 Erilaisia varastoaluejakoja luokkaperusteisessa mallissa (Petersen 1999)

Kuvassa 11 on kuvattu eri varastoluokituksia siten, että tummin kuvaa korkeimman luokituksen varastopaikkoja ja P/D keräily pistettä (pick-up/drop-off).

4.3 Keräilyn optimointi

Varastoissa ja jakelukeskuksissa tuotteet noudetaan nimetyiltä varastopaikoilta asiakastilausten perusteella. Tuotteiden keräily on usein työläin vaihe varasto-operaatioissa (Roodbergen & de

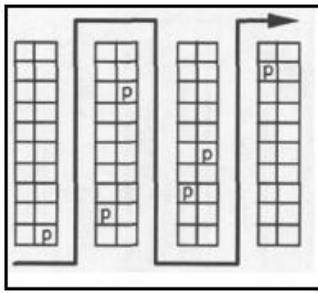
Koster 2001). Yleensä pyritään ratkaisemaan keräilyjärjestys, jotta voidaan minimoida kuljettua matkaa. Kuvassa 12 on esitetty säännönmukaisen varaston keräilyongelma, joka voidaan ratkaista analyttisesti.



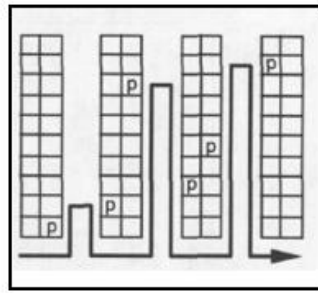
Kuva 7 Esimerkki tilausten keräilyongelmasta (Roodbergen & de Koster 2001)

Kuvassa 12 tummennetut ruudut kuvaavat keräiltävien tuotteiden paikkoja ja oikealla puolella on esitetty sama optimoitavien funktioiden avulla.

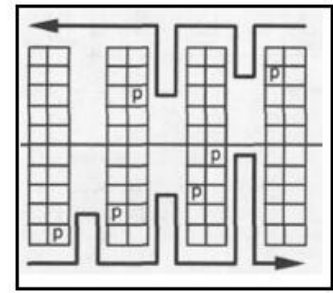
Keräilyreitien määrittämiseen käytetään useita eri strategioita. Petersenin ja Schemmerin (1999) mukaan yleisimpiä strategioita ovat **transversaali malli**, **paluunetelmämalli**, **puoliväliperiaate**, **suurimman välin malli** ja **komposiittimalli**. Kuvassa 13 esitellään yleisimmät keräilystrategiat.



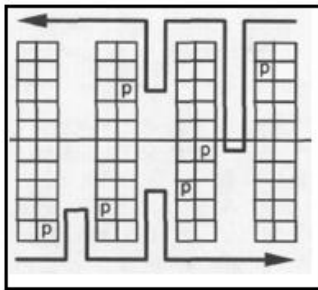
Transversaali: keräilijä menee hyllyväliin toisesta päästä ja poistuu toisesta



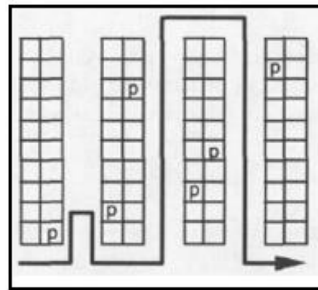
Paluumenetelmä: keräilijä menee aina samasta päästä hyllyväliin ja palaa takaisin samaa reittiä.



Puolivälistrategia: tuotteet kerätään käytävän puolivälin määrittämältä puolelta



Suurimman välin strategia: kahden keräilypisteen välimatkan ollessa pienempi kuin reunasta lähdeäessä, noudetaan myös seuraava



Komposiitti: yhdistelmä transversaalista ja paluumenetelmästä keräilymatkaa minimoiden

Kuva 13 Yleisimmät keräilystrategiat varastoissa ja jakelukeskuksissa (Petersen & Schemmer 1999)

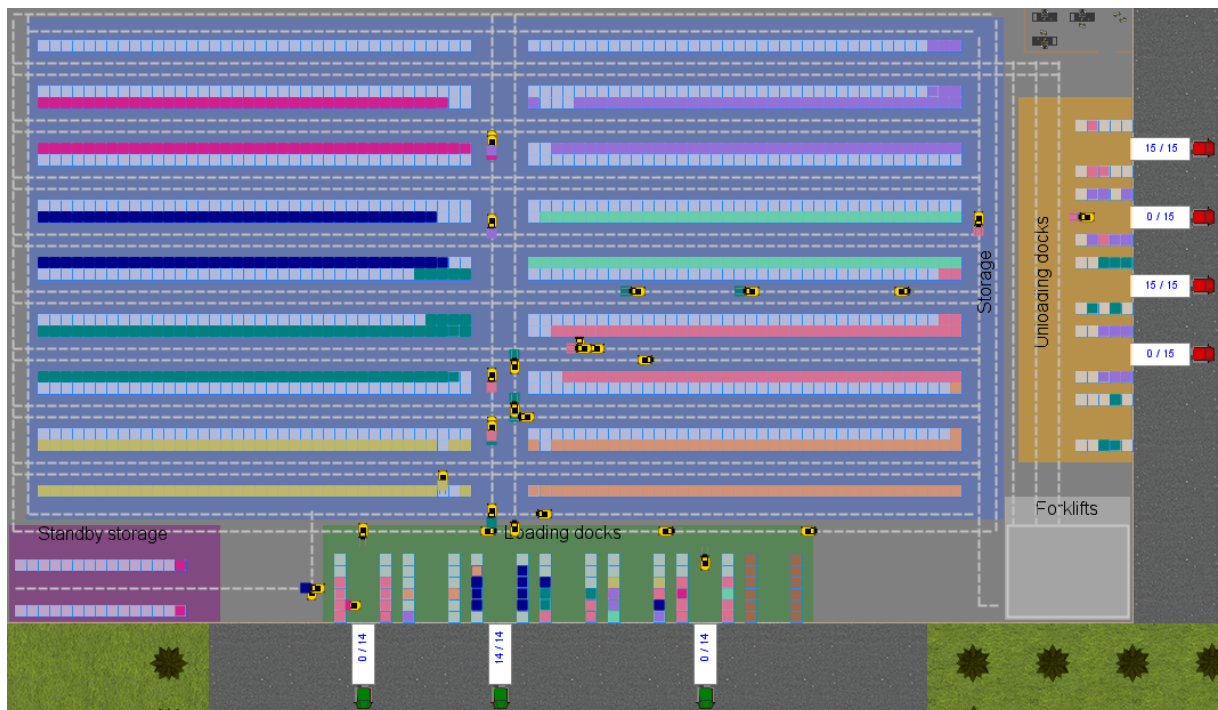
Optimaalinen reitti on usein hybridimalli, joka perustuu transversaaliin ja suurimman välin strategiaan.

5 SIMULAATIOMALLIEN HYÖDYNTÄMINEN VARASTON TEHOKKUUSHAASTEISSA

Varasto-operaatioiden tehokkuutta voidaan parantaa perinteisillä optimointialgoritmeilla:

- Kuljetusyksikön sijoittaminen voidaan määrittää, kun tiedetään varastopaikkojen saldo, yksikön sisältämät tavarat ja käytössä olevat resurssit
- Tuotteiden sijoittaminen varastopaikoille voidaan määrittää käyttäen liikevaihtoon tai muuhun perustuvaa alueluokitusta
- Lyhin keräilyreitti voidaan laskea käyttäen yksinkertaisia algoritmeja.

Simulaatiomallien vahvuus perinteiseen optimointilaskentaan nähden korostuu tilanteiden monimutkaistuesssa ja eri vaihtoehtojen vertailussa. Systemin eri osille voidaan määritellä ominaisuudet ja käyttäytymismallit, minkä perusteella koko systeemin dynamiikka määräytyy. Kuvassa 14 on AnyLogic –simulaatiomallinnusohjelmalla tehty jakeluterminaalimalli, jossa agentteina ovat kuljetusyksiköt, trukit ja varastopaikat.



Kuva 14 AnyLogic –simulaatio-ohjelmalla tehty jakelukeskuksen mallinnus

5.1 Simulaation hyödyntäminen kuljetusyksikön sijoittamisessa

Perinteinen algoritmeihin perustuva laskenta on hyvä lähtökohta. Simulaatiomallinnuksella voidaan tehostaa ohjausparametrien määrittystä. Kysyntätietoja voidaan simuloida, kun historiatietoa ei ole saatavilla. Lisäksi voidaan helposti analysoida sijoitusalgoritmien toimivuutta erilaisilla tulo- ja lähtöskenaarioilla. Lisäksi simulaatiomallinnuksella voidaan huomioida poikkeustilanteita: resurssien muuttuessa ei tarvitse muuttaa yhtälöitä, vähentää vain yhden resurssiyksikön mallista. Tai jos joku varastoalue on jostain syystä pois käytöstä, mukautuu simulaatiomalli nopeasti uuteen tilanteeseen.

5.2 Simulaatiomallien vahvuus keräilyreitien optimoinnissa

Keräilyreitien optimointi on suhteellisen yksinkertaista kappaleessa 4.3 esitetyn kaltaisissa varastoissa, joissa varastopisteiden väliset etäisyydet ja siirtymään kuluva aika on helposti hahmotettavissa. Todellisessa ympäristössä monimutkaisuus kasvaa kuitenkin nopeasti: keräily-yksikön täytyessä kerätyt tuotteet pitääkin viedä keräilypisteelle ennen seuraavan noutamista, varastoalue ei välttämättä ole säännönmukainen, mikä vaikeuttaa laskentaa tai käytettävissä olevien resurssien määrä muuttuu.

Taulukko 2 Simulaatiomallin ratkaisu perinteisen laskennan haasteisiin

Perinteisen laskennan haaste	Simulaatiomallin ratkaisu
Keräily-yksikkö täyttyy ja se joudutaan tyhjentämään ennen seuraavan tuotteen keräämistä	Määritetään keräily-yksikölle kapasiteetti
Varastoalue on monimutkainen ja välimatkojen hahmottaminen vaikeaa	Määritetään pohjapiirroksen kulkureitit ja keräily-yksikölle nopeus ja optimoidaan kokonaisaikaa
Keräilyyn käytettävissä useampi kuin yksi keräilijä tai alueella työskentelee muita keräilijöitä.	Määritetään keräilijälle toimintaohjeita ja jaetaan kerättävät tuotteet siten, että kokonaisaika minimoituu.
Hyllyvarastossa korkeammalta hyllyltä kerääminen on hitaampaa	Määritetään keräilypaikoille viiveet.

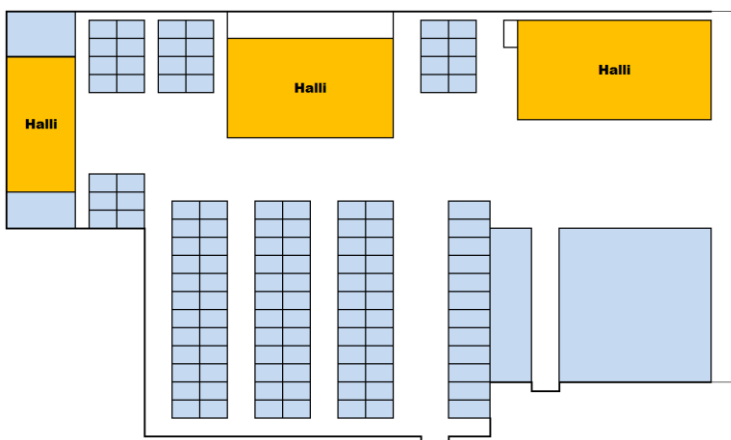
6 CASE: SIMULAATIOMALLIEN SOVELTUVUUS ESIMERKKIYRITYKSEN VARASTOINTIPROSESSEIHIN

Tutkimuksen kohteena oleva yritys toimii kansainvälisen logistiikan alalla. Yrityksen varastotoiminnan kulurakenteesta merkittävä osa koostuu tavarankäsittelyyn liittyvistä toiminnoista. Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää voitaisiinko simulaatiomallinnusta hyödyntää tilausten keräilyssä, kuljetusyksikön sijoittamisessa ja tuotteiden varastopaikkojen määräämisessä.

Yrityksellä on käytössään asiakkaan antama karkea kysyntäennuste, jossa on esitetty tuotekohtaisesti saapuvat määrät. Saapuvista tavaraeristä saadaan tietoa noin kuukausi ennen tavarantoimitusta varastolle.

6.1 Yrityksen varastoalueen ominaisuudet

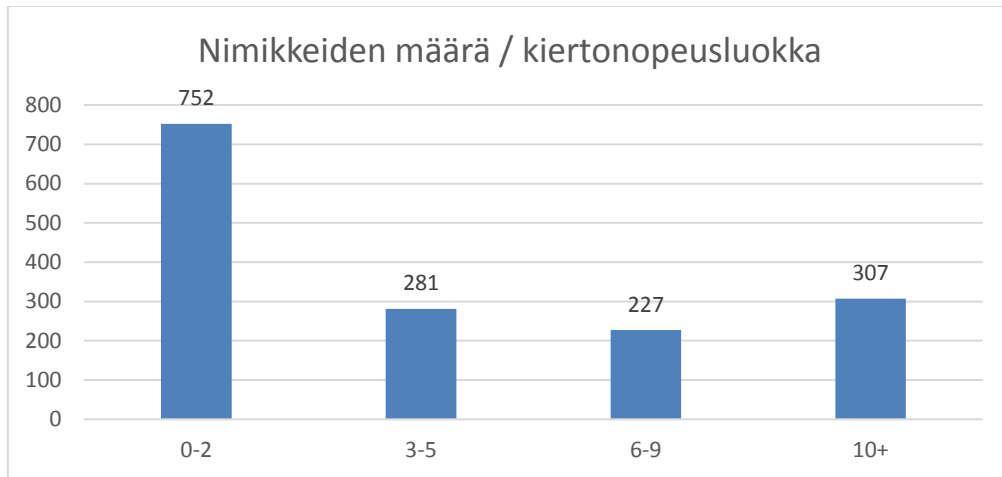
Yrityksen varastoalue on hyvin laaja ja hajautunut. Varastoalue käsittää niin sisä- ja ulkovarastoja, ja lisäksi osassa varastoalueista on sekä hylly- että lattiapaikkoja. Varastopaikkojen määrä on erittäin suuri ja varastopaikkojen kapasiteetti vaihtelee suuresti. Kuljetusyksiköt voidaan sijoittaa melko joustavasti varastoalueelle. Kuvassa 15 on esitetty yrityksen varastoalueen yksi osa.



Kuva 15 Osa yrityksen varastoalueesta

6.2 Varastoitavat nimikkeet ja niiden kierto nopeus

Tarkastelujakson aikana vuonna 2015 käsiteltävien nimikkeiden määrä oli 1567. Tuotteiden keskimääräinen kierto nopeus oli 8,3. Kuvassa 16 on esitetty nimikkeiden määrä eri kierto nopeusluokkiin jaettuna.

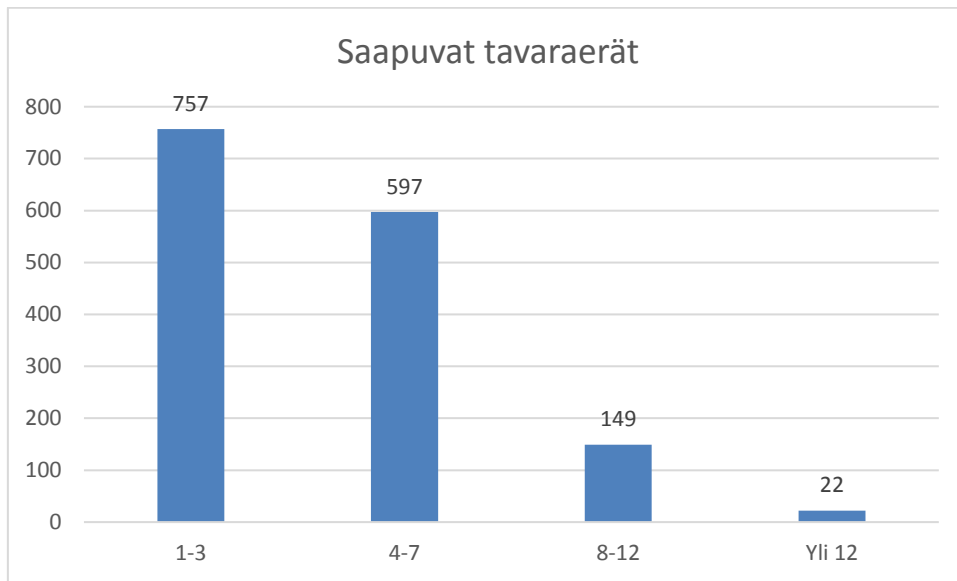


Kuva 16 Yrityksen varastoitavien nimikkeiden kierto nopeudet

Nimikkeiden kierto nopeuksien perusteella voisi olla järkevää jakaa varastoalueet ja nimikkeet luokkiin, jolloin keskimääräinen tavaran siirtämiseen kuluva aika vähenisi.

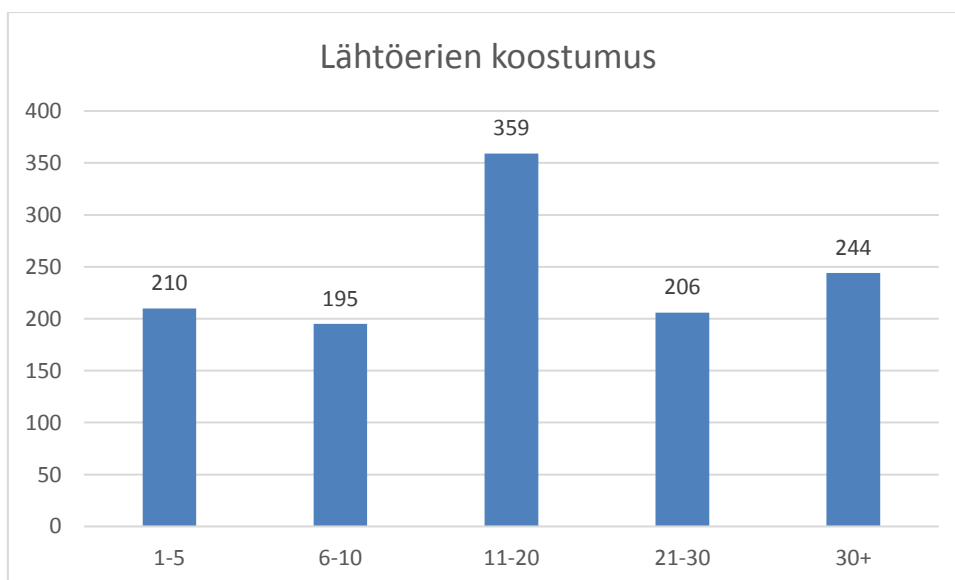
6.3 Saapuvien ja lähtevien yksikköjen koostumus

Saapuvat kuljetusyksiköt sisältävät pääsääntöisesti vain vähän eri tuotenimikkeitä, mutta suuriakin määriä on. Eri tuotteita ei voida varastoida samalla varastopaikalla, joten suurempi nimikemäärä lisää purkusunnittelun haastetta. Kuvassa 17 on esitetty saapuvien tavaraerien keskimääräinen koostumus.



Kuva 17 Saapuvien yksiköiden nimikejakaumat

Lähtevät erät ovat määrältään noin 10% saapuvia eriä suurempia, ja sisältävät suuremman määrän eri nimikkeitä. Tarkastelujaksolla lähteviä tavaraeriä oli 1214. Tarkempi erittely kuvassa 18.



Kuva 18 Lähtevien yksiköiden nimikejakaumat

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Esimerkkiyrityksen varastoalueet ovat erittäin laajat ja optimaalisen keräilyreitien suunnittelu perinteisiä algoritmeja käyttäen voi osoittautua hankalaksi. Simulaatiomallin käyttö mahdollistaisi optimaalisen keräilyreitien suunnittelun. Mallinnuksessa tulisi piirtää liikkumareitit varastoalueilla ja määrittää eri varastopaikoille käsittelyviiveet, jotka johtuvat esimerkiksi hyllyvaraston ylemmistä kerroksista poimimisen aiheuttamaan viiveeseen.

Varastoitavien nimikkeiden jakauma mahdollistaa luokittelujakauman käyttöönoton. Varastoalueet tulisi jakaa kolmeen tai neljään luokkaan, ja varastoida tuotteet kiertonopeuksien mukaisesti. Historiallisesti katsottuna esimerkkiyrityksen kysyntä vaihtelee vuosittain suuresti, joten simulaatiomallilla voitaisiin tarkastella eri skenaarioita, joissa nimikkeiden kiertonopeudet vaihtelevat ennustetusta.

Työn tavoitteena oli tarkastella simulaatiomallien soveltuvuutta varaston käsittelyajan optimointiin. Simulaatiomalleista esiteltiin kolme yleisintä ja niiden soveltuvuus eri tilanteissa, minkä jälkeen tarkasteltiin varastotoiminnan tehokkuushaasteita ja simulaation hyödyntämistä niiden ratkaisemiseksi.

Case-osuudessa tarkasteltiin esimerkkiyrityksen varastoa, nimikkeitä ja tavaravirtojen koostumuksia. Havaittiin, että suuri määrä nimikkeitä voitaisiin jakaa kiertonopeuksiensa perusteella luokkiin ja ottaa käyttöön luokkapohjainen varastointimalli. Lisäksi todettiin, että yrityksen varastoalue on hyvin laaja ja sisältää useita keskenään erityyppisiä varastopaikkoja. Tämän vuoksi keräilyreitien optimointia on hyvin hankala laskea perinteisillä algoritmeilla, mutta simulaatiomallinnuksen avulla voitaisiin vastata haasteeseen.

LÄHTEET

Balci, O. (2003). Verification, validation and certification of modelling and simulation applications. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation conference*, s. 150-158.

Bangsow, S. (2012). Use cases of discrete-event simulation. Germany, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Banks, J. & Gibson, R. (1997). 10 rules for determining when simulation is not appropriate”. IIE Solutions, s. 30-32.

Beamon, B.M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55, s. 281-294.

Bonabeau, E. (2002). Agent-based modelling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 99, s. 7280-7287.

Borshchev, A. & Filippov, A. (2004). From system dynamics and discrete event to practical agent based modelling: reasons, techniques, tools. *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*.

D’Amours et al. (2007). Agent based supply chain planning in the forest products industry. *International Federation for Information Processing*. Vol. 220, s. 17-26.

Gu et al (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research* vol. 177, s. 1–21.

Henesey et al. (2009). Agent based simulation architecture for evaluating operational policies in transshipping containers. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. Vol 18, s. 220-238.

Ingalls, R. (2009). Introduction to simulation. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, s. 17-26.

Jenkins, C.M. & Rice, S.V. (2009). Resource modeling in discrete-event simulation environments: a fifty-year perspective. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, s. 755-766.

de Koster et al (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research* vol. 182, s 481-501.

Kuhn Jr. et al. (2010). Agent-based analysis and simulation of the consumer airline market share for Frontier Airlines. *Knowledge-Based Systems*, nro 23, s. 875-882.

Macal, C.M. & North, M.J. (2014). Tutorial on agent-based modeling and simulation. *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, s. 6-20.

Macal, C.M. & North, M.J. (2006). Tutorial on agent-based modeling and simulation. Part 2: How to model with agents. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, s. 73-83.

Mahdavi et al. (2010). Development of a simulation-based decision support system for controlling stochastic flexible job shop manufacturing systems. *Simulation modeling practice and theory*, nro 18, s. 768-786.

Petersen, C.G. & Schmenner, R.W. (1999). An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. *Decision Sciences spring 1999*, vol. 30, s. 481-501.

Schieritz, N. & Milling, P.M. (2003). Modeling the forest of modeling the trees: a comparison of system dynamics and agent-based simulation. *The proceeding of the 21th International Conference of the System Dynamics Society*.

Shannon, R. (1975). *Systems simulation: the art and science*. USA, Prentice-Hall.

Shannon, R. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, s. 7-14.

Sterman, J.D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. USA, McGraw-Hill.

Robinson, S. (2004). *Simulation: The practice of model development and use*. England, John Wiley & Sons.

Roodbergen, K.J. & de Koster (2001). Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research*, vol. 133, s. 32-43.

Ujvari, S. & Hilmola, O-P. (2006). Advanced manufacturing simulations – minor system details can be major issues in the real world. *Industrial Management & Data systems*, nro 106, ss. 1166-1186.

Yoo et al. (2010). Hybrid algorithm for discrete event simulation based supply chain optimization. *Expert Systems with Applications*, nro 37, s. 2354-2361.

Berg-Andersson, B. & Kotilainen, M. 14.4.2016. Pakotteiden vaikutus Suomen vientiin Venäjälle. [WWW-dokumentti]. [viitattu 5.10.2016]. Saatavissa: <http://pub.etla.fi/ETLA-Muistio-Brief-45.pdf>.

Tulli, 2016. Uljas-tietokannan vientiraportti tavaraliikenteestä Venäjälle. [viitattu 5.10.2016]. Saatavissa:

http://uljas.tulli.fi/graph/GraphPage.aspx?ssid=1612161814581&lang=1&matrix=ULJAS_RAJALIIKENNE&timeid=16121618145811481905105881&root=../DATABASE/02*;LOGIS_TIIKKATILASTOT/09*;RAJALIIKENNE/&case=db#top

AnyLogic 7 Personal Learning Edition. XJ Technologies 2016. Saatavissa: <http://www.anylogic.com/>

XJ Techonologies (2010). *An introduction to AnyLogic: Business Process Simulation Software*. [WWW-dokumentti]. [viitattu 5.10.2016]. Saatavissa:

http://www.slideshare.net/George_Rivas/any-logic-business-process-simulation-software