

Susanne Asteljoki

# VARASTON SUUNNITTELUN JA OPTIMOINNIN IT-TYÖKALUT

Selvitys saatavilla olevista ohjelmistoista  
ja palveluista

Opinnäytetyö

Logistiikka

Marraskuu 2016

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Susanne Asteljoki	Insinööri (AMK)	Marraskuu 2016
<b>Opinnäytetyön nimi</b> Varaston suunnittelun ja optimoinnin IT-työkalut. Selvitys saatavilla olevista ohjelmistoista ja palveluista		48 sivua
<b>Toimeksiantaja</b> Digitaidot varastotyössä -hanke		
<b>Ohjaaja</b> Lehtori Juhani Heikkinen		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyön tavoite oli selvittää millaisia IT-palveluja ja ohjelmistoja suomalaisilla yrityksillä on tällä hetkellä saatavilla varaston layout-suunnitteluun ja optimointiin. Työn tarkoitus on tarkastella millaisia mahdollisuuksia digitaalisuus tarjoaa yrityksille varaston suunnittelussa ja optimoinnissa ja tällä tavoin edistää uuden liiketoiminnan syntymistä. Teoreettinen viitekehys muodostuu digitalisaatiosta, varaston suunnittelusta ja optimoinnista sekä simulointi- ja analyysityökalujen käytöstä suunnittelussa.</p> <p>Tutkimuksessa käytettiin kvalitatiivisia metodeja. Varaston suunnitteluun tarjolla olevia IT-palveluja ja ohjelmistoja etsittiin verkkotutkimuksen avulla ja alan asiantuntijoilta kyselemällä. Kun palveluntarjoajat ja ohjelmistojen toimittajat oli kartoitettu, näitä lähestyttiin sähköpostikyselyllä. Palveluntarjoajilta kysyttiin heidän tarjoamistaan varaston suunnittelu- ja optimointipalveluista, IT-työkalujen käytöstä sekä asiakkaalta tarvittavista lähtötiedoista. Muutamassa syventävässä haastattelussa tiedusteltiin lisäksi palveluntarjoajien asettamia odotuksia ohjelmistoille sekä alan tulevaisuuden näkymiä. Ohjelmistoista selvitettiin millaiseen käyttöön ne soveltuvat sekä minkälainen lisenssikäytäntö niillä on. Lisäksi kiinnosti millaisia mahdollisuuksia XAMK:ssa olisi kouluttaa ohjelmistojen käyttöä.</p> <p>Tutkimuksessa selvisi, että Suomessa on tarjolla laaja valikoima IT-palveluja varaston suunnitteluun ja optimointiin alkaen varaston fyysisten ratkaisujen vertailusta ja layoutin suunnittelusta materiaalivirtojen hallintaan ja varaston palvelutason optimointiin sekä varaston toiminnan analysointiin. Vaikka palveluntarjoajien joukko ei ole määrällisesti suuri, vankkaa ammattitaitoa löytyy niin simuloinnin kuin varastologistiikan kehittämisen alueella. Yleisimmin käytössä olevista varastospesifisistä simulointi- ja optimointiohjelmistoista luotiin lista, josta selviää millaisia ohjelmistoja on tällä hetkellä saatavilla varaston layout-suunnitteluun ja optimointiin. Kaikkien ohjelmistojen nykyistä saatavuutta ei kuitenkaan onnistuttu varmentamaan. Tutkimuksen pää-tavoitteet saavutettiin ja opinnäytetyön tuloksena saatiin kooste tarjolla olevista varaston suunnittelupalveluista ja ratkaisuista, josta on hyötyä yritysysteistyön rakentamisessa.</p>		
<b>Asiasanat</b> varasto, layout, optimointi, simulointi, konsulttitoimistot, ohjelmistokehittäjät		

<b>Author (authors)</b> Susanne Asteljoki	<b>Degree</b> Bachelor of Engineering	<b>Time</b> November 2016
<b>Thesis Title</b> IT Tools for Warehouse Planning and Optimization. Study on Available Software and Services		48 pages
<b>Commissioned by</b> Digital Competences at Warehouse Work -Project		
<b>Supervisor</b> Juhani Heikkinen, Senior Lecturer		
<p><b>Abstract</b></p> <p>The objective of the thesis was to find out what kind of IT services and software products there are available to Finnish companies for warehouse optimization and planning. The aim was to find out what opportunities digitalization has created for planning and optimizing warehouses and thus help companies to create new business. The theoretical framework of the study consists of digitalization, warehouse planning and optimization together with using simulation and analysis software in planning.</p> <p>The study was carried out by using qualitative methods. IT services and software products were searched on the internet and by interviewing experts of the field. E-mail enquiries were sent to selected service and software providers. The service providers were asked about their services, how they are using IT tools and what kind of data they need to produce their services. A few further interviews were made to find out about expectations the service providers have on software and how they see future prospects of the field. It was examined what functionalities and which kind of license policy software products have. Possibilities to teach these software products in XAMK were also researched.</p> <p>It was found out in the study that there are a wide selection of IT services in Finland for warehouse planning and optimization from comparing physical solutions of warehouse and layout planning to material flow management, service level optimization and analyzing warehouse functions. Even if there are only a few service providers, strong expertise can be found in both fields: simulation and developing warehouse operations. A list of most used warehouse-specific simulation and optimizing software was created. From the list, it can be seen what kind of software products are available at the moment. However, the current availability of all the listed software could not been confirmed. The main objectives of the thesis were achieved. As a result of the study, a collage of available warehouse planning services and solutions which are useful in developing cooperation between companies were created.</p>		
<p><b>Keywords</b></p> <p>warehouse, layout, optimization, simulation, consultancy, software developers</p>		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TUTKIMUS .....	6
2.1	Tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaus .....	6
2.2	Tutkimusmenetelmät ja työn toteutus .....	7
3	TEORIA .....	9
3.1	Digitalisaatio .....	9
3.2	Varasto .....	11
3.3	Varaston optimointi ja suunnittelu .....	14
3.4	Simulointi .....	20
4	NELI:N JA DIGITAI DOT VARASTOTYÖSSÄ -HANKKEEN ESITTELY .....	22
5	TUTKIMUKSESSA KARTOITETUT OHJELMISTOT .....	23
5.1	Simulointiohjelmistot .....	24
5.2	Muut varaston optimointiin ja suunnitteluun tarkoitetut ohjelmistot .....	29
5.3	Ohjelmistojen käytettävyyden tarkastelua.....	31
6	TUTKIMUKSESSA KARTOITETUT PALVELUNTARJOAJAT .....	34
6.1	Palveluntarjoajat .....	35
6.2	Palveluntarjoajien IT-työkalujen käyttö ja tarvittava master data .....	39
7	TUTKIMUKSEN LUOTETTAVUUSTARKASTELU JA TAVOITTEIDEN SAAVUTTAMINEN .....	41
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	43
	LÄHTEET .....	46

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Digitaidot varastotyössä NELI hanke. NELI eli North European Logistics Institute on Kymenlaakson ammattikorkeakoulun logistiikan kehitysorganisaatio, joka on osa alueellista ja kansainvälistä logistiikan tutkimus- kehitys ja innovointiverkostoa (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2014a). Digitaidot varastotyössä hanke etsii ratkaisuja digitalisaation luomaan uudistumishaasteeseen logistiikassa tavoitteenaan lisätä tietoisuutta digitaalisen liiketoiminnan mahdollisuuksista varastotyössä ja siten edesauttaa uuden liiketoiminnan syntymistä Kymenlaaksoon.

Hankkeessa tutkitaan, miten yritykset ovat vastanneet digitaalisuuden tuomiin muutoksiin varastotoiminnoissa ja kartoitetaan digitaaliseen osaamiseen liittyvää koulutustarvetta Kymenlaaksossa. (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2016.)

Opinnäytetyön toimeksiantona on selvittää Digitaidot varastotyössä -hankkeelle, millaisia IT-työkaluja on saatavilla varaston optimointiin ja layout-suunnitteluun sekä selvittää tärkeimmät näitä työkaluja hyväkseen käyttävät varaston suunnittelu- ja optimointipalveluja tarjoavat tahot Suomessa. Työn tarkoitus on lisäksi selvittää, millä tavoin IT-työkaluja hyödynnetään varaston suunnittelussa ja optimoinnissa sekä millaista master dataa siihen tarvitaan ja miten dataa kerätään tähän tarkoitukseen. Tavoitteena on myös ottaa selville, miten varaston suunnittelun IT-työkaluja olisi mahdollista kouluttaa XAMK:ssa.

IT-teknologiaa on saatavilla helpommin ja edullisemmin kuin koskaan ja digitalisaatio muokkaa yritysten toimintaympäristöä vauhdilla. Markkinoiden murros voisi olla mahdollisuus suomalaisille yrityksille, mutta sen esteenä on, ettei usein ymmärretä, mihin teknologiaa voisi käyttää. (Ilmarinen & Koskela 2015, 46, 49.) Lehti, Rouvinen & Ylä-Anttila (2012, 14) huomauttavat *Suuri hämmennys: Työ ja tuotanto digitaalisessa murroksessa* -tutkimuksessaan, ettei liiketoiminnan uudistumisen ja tehostumisen tavoitteita ole saavutettu digitalisaation avulla, koska uutta tieto- ja viestintäteknologiaa on tuotu vanhoihin organisaatioihin ilman toimintatapojen uudistamista ja digitaalisilla välineillä on yritetty korvata paperiin perustuvaa tiedon keruuta ja välitystä sellaisenaan. Myöskään henkilöstölle ei ole annettu riittävästi koulutusta. Ilmarisen & Koskelan (2015, 11–12) mukaan suomalaiset yritykset ovat jäämässä jälkeen digitalisoitumisen suhteen ja joidenkin yritysten passiivisuus on jopa hätkähdyttä-

vää, sillä kilpailussa mukana pysyminen edellyttää yrityksiltä uudistumista ja digitaalisten mahdollisuuksien hyödyntämistä. Digitaidot varastotyössä hankkeen tarkoitus on herätellä yrityksiä huomaamaan digitaalisuuden mahdollisuuksia (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2016).

Yritykset voisivat hyödyntää digitalisaatiota pääoman käytön tehostamiseen esimerkiksi optimoimalla varastoja datan, analytiikan ja kysyntäennusteiden avulla (Ilmarinen & Koskela 2015, 26). Nykypäivän nopeasti muuttuvat markkinat ja kova kilpailu asettavat vaatimuksia myös varaston suunnitteluun, sillä varastojen pitää kehittyä entistä tehokkaammiksi mutta myös joustavammiksi, jotta ne voivat mukautua tuleviin muutoksiin helposti. Useat konsultit tarjoavat suunnittelupalveluja yrityksille, jotka haluavat luoda mahdollisimman tehokkaan varastolayoutin, ottaen huomioon käytettävissä olevan tilan, yritystoiminnan vaatimukset sekä budjetin. Saatavilla on lisäksi simulointiohjelmistoja, joiden avulla varasto voidaan rakentaa tietokoneeseen ja testata simuloimalla, millainen varastolayout on tehokkain yrityksen operaatioihin. (Richards 2014, 203–204.) Tämän opinnäytetyön tarkoitus ottaa selville millaisia ratkaisuja suomalaisille ja kymenlaaksolaisille yrityksille on tarjolla näihin tarkoituksiin, jotta niitä voidaan tuoda yritysten tietoisuuteen. Opinnäytetyön tulokset ovat siis suoraan yrityselämän hyödynnettävissä.

## 2 TUTKIMUS

Tässä luvussa selvitetään tutkimuksen tavoite ja tarkennetaan tutkimuskysymykset sekä tutkimuksen rajaus. Lisäksi kerrotaan valituista tutkimusmenetelmistä ja tutkimuksen toteutuksesta.

### 2.1 Tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaus

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia millaisia IT-palveluja ja ohjelmistoja suomalaisilla yrityksillä on tällä hetkellä saatavilla varastolayoutin suunnitteluun ja varaston optimointiin, vertailla niitä sekä tutkia mitä käytännön hyötyä niistä yrityksille on. Tärkeimmät tutkimuskysymykset ovat, millaisia ohjelmistoratkaisuja on tarjolla varaston optimointiin ja suunnitteluun sekä mitkä ovat tärkeimmät näitä palveluja tarjoavat ja toiminnassaan IT-työkaluja hyödyntävät tahot

Suomessa. Tutkimuksessa kiinnostaa myös, miten IT-työkaluja käytetään varaston suunnittelussa ja optimoinnissa, millaista dataa tähän tarvitaan ja kuinka sitä kerätään.

Lisäksi selvitetään yritysten kokemuksia IT-työkalujen käytöstä varaston suunnittelussa ja optimoinnissa. Täydellistä ohjelmistoa tähän tarkoitukseen tuskin on vielä luotu, sillä sellainen olisi jo kaikkien käytössä, joten tutkimuksessa oletetaan, että saatavissa olevilla ohjelmistoilla on omat rajoitteensa, joihin tutkimuksessa myös perehdytään. Ohjelmistoihin tutustuesssa otetaan selvää, onko niistä ilmaisversioita tai akateemisia lisenssejä, jolloin lisäarvona saadaan tietoa ohjelmistojen kouluttamisen mahdollisuuksista XAMK:ssa.

Aihe rajataan varaston suunnitteluun ja kehittämiseen tarkoitettuihin ohjelmistoihin, eli varaston operatiivisia toimintoja ohjaavat ja tukevat IT-sovellukset, kuten varastohallintajärjestelmät ja tuotannonohjausjärjestelmät, jäävät tarkastelun ulkopuolelle. Varaston suunnittelu- ja optimointipalveluja tarjoavien konsulttitoimistojen sekä muiden palveluntarjoajien kartoitus rajataan Suomessa toimiviin yrityksiin.

## 2.2 Tutkimusmenetelmät ja työn toteutus

Tutkimuksessa käytetään sekä laadullisen että määrällisen tutkimuksen menetelmiä ja aineistonkeruutapoja. Käytössä on siis aineisto- ja menetelmätriangulaatio. Triangulaatiolla tarkoitetaan kolmen toisistaan riippumattoman, mutta tutkimusta vahvistavan asian yhdistämistä tutkimuksessa ja sitä voidaan soveltaa monella eri tavalla (Eskelinen 2014, 70).

Laadullisen tutkimuksen tavoitteena on ilmiön kuvaaminen, ymmärtäminen ja tulkitseminen (Kananen 2014, 18). Koska tutkimuksen tarkoitus on kuvata, millaisia IT-työkaluja varaston suunnitteluun ja optimointiin on saatavilla sekä ymmärtää, miten niitä käytetään ja mitä hyötyjä niistä saadaan, on tarkoituksenmukaista kerätä ja analysoida aineistoa pääasiassa laadullisin menetelmin. Laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmiä ovat esimerkiksi haastattelu, kysely, havainnointi ja dokumentteihin perustuva tieto, joita voidaan käyttää rinnakkain, yhdisteltynä tai valita vain yksi menetelmä (Tuomi & Sarajärvi 2009, 71). Kananen (2014, 90) mukaan kaikkea kirjallista aineistoa,

kuten sähköposteja, verkkosivuja ja raportteja voi käyttää laadullisen tutkimuksen tiedonkeruulähteinä.

Opinnäytetyöhön aineistoa kerätään tutkimalla kotimaisten varaston suunnittelua ja optimointipalveluja tarjoavien konsulttitoimistojen verkkosivuja sekä lähestymällä näitä sähköpostitse ja tiedustelemalla millaisia palveluja ja IT-työkaluja heillä on käytössään sekä miten niitä käytetään. Yhteistyöhalukkailta konsulttitoimistoilta voidaan hankkia lisätietoja vielä teemahaastatteluilla. Kananen (2014, 76) mukaan teemahaastattelu sopii tiedonkeruumenetelmäksi silloin kun ilmiötä ei tunneta ja siitä halutaan saada ymmärrys, joten se on hyvä menetelmä kerätä saatavilla olevista ohjelmistoista ja palveluista syvällisempää tietoa. Lisäksi otetaan yhteyttä palveluntarjoajilla käytössä olevien ohjelmistojen toimittajiin, sillä he voivat antaa ohjelmistoista tietoa eri näkökulmasta kuin niitä käyttävät palveluntarjoajat. Aineistoa kerätään myös tutustumalla ohjelmistontarjoajien verkkosivuihin ja portfolioihin. Kerätyn laadullisen aineiston sisältö analysoidaan ja se luokitellaan saatavilla olevien palveluiden ja ohjelmistojen sekä niiden ominaisuuksien listaamiseksi.

Yritysten kiinnostusta IT-työkalujen käyttöön varaston suunnittelussa ja kehittämisessä tai kokemuksia siitä selvitetään osana Digitaidot varastotyössä -hankkeen laajempaa kyselytutkimusta yrityksille. Koska yritysten käyttökokemuksia IT-työkalujen käytöstä varaston suunnittelussa ja optimoinnissa selvitetään kyselytutkimuksella, joka antaa määrällisiä tuloksia, ne käsitellään kvalitatiivisen analyysin avulla. Tällä tavoin saadaan määrällistä tietoa kuinka suuri osa yrityksistä on käyttänyt tutkimuksen kohteena olevia IT-työkaluja ja kuinka hyödyllisiksi ne on koettu. Tarvittaessa yritysten kokemuksia IT-työkalujen käytöstä varaston suunnittelu- ja kehitysprojekteissa voidaan selvittää myös konsulttitoimistojen referenssien kautta.

Triangulaatio on sopiva tutkimusstrategia ilmiön ymmärtämisen avartamiseen ja se voi lisätä tutkimuksen luotettavuutta. Siinä käytetään hyväksi useita eri tiedonlähteitä ja menetelmiä, jolloin tutkittavaa ilmiötä tarkastellaan useasta eri näkökulmasta. Etuina tällöin on, että yhdellä menetelmällä hankitun tiedon aukkoja voidaan täydentää toisella ja eri näkökulmista voidaan saada vahvistusta saaduille tuloksille, mikä lisää tutkimuksen validiteettia. Toisaalta triangulaation vaarana voi olla saatujen tulosten ristiriitaisuus. (Kananen 2014, 120–121.) Toinen sudenkuoppa voi olla, että tehdään vastoin tarkoitusta kolme eri



tutkimusta. Tällöin menetelmä vain lisää työmäärää ilman selvää merkitystä. Triangulaation käyttö on kuitenkin perusteltua silloin kun se auttaa tutkimusongelman ratkaisussa ja lisää tutkimuksen luotettavuutta. (Eskelinen 2014, 70.)

### 3 TEORIA

Vaikka teorioiden käyttö laadullisessa tutkimuksessa on ongelmallista, sillä laadullisen tutkimuksen tarkoitus on luoda pohjaa teorioille, tutkimusta ei voi tehdä ilman ennakkotietoa tutkimuksen kohteesta (Kananen 2014, 57). Teoria, eli se mitä tutkimuksen kohteesta jo tiedetään, muodostaa tutkimuksen viitekehyksen (Tuomi & Sarajärvi 2009, 18–19). Tämän opinnäytetyön teoreettinen viitekehys muodostuu digitalisaatiosta, varaston suunnittelusta ja optimoinnista sekä simulointi- ja analyysityökalujen käytöstä suunnittelussa. Teorian tarkoituksena on ohjata tutkimuksen tiedonhankintaa ja aineiston tulkintaa (Kananen 2014.57).

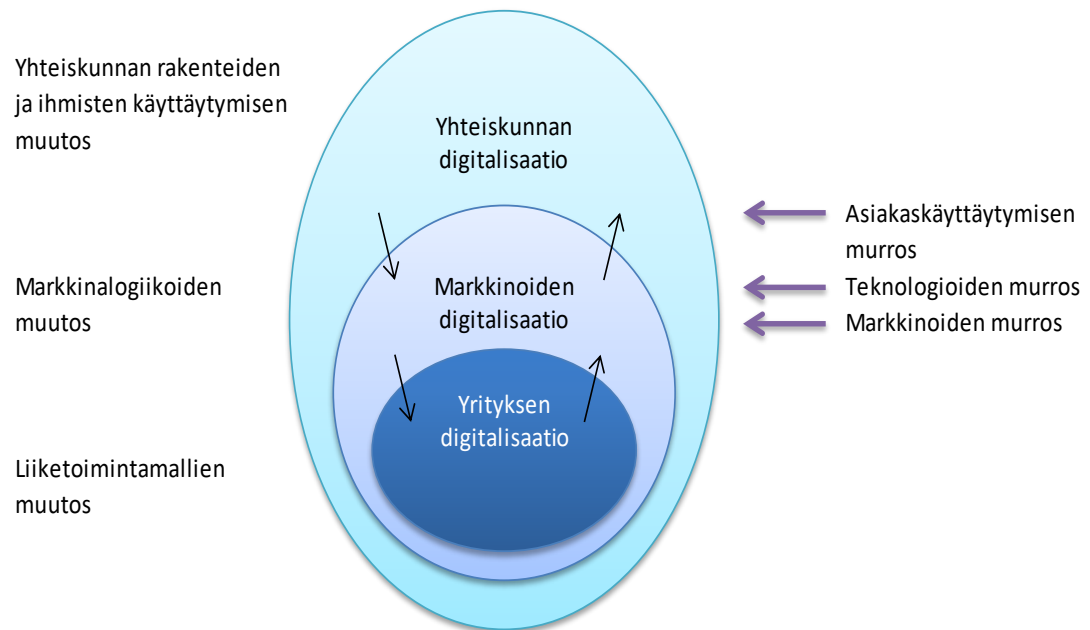
#### 3.1 Digitalisaatio

Yksi kolmesta Sitran vuonna 2016 määrittämästä megatrendistä on teknologian kehitys, joka muuttaa kaiken. Meneillään on nopeasti etenevä teknologian murroskausi, jota teknologian kehitysmuodoista voimakkaimmin määrittelee digitalisaatio. Tähän teolliseen vallankumoukseen tai sähköön käyttöönottoon verrattavissa olevaan siirtymäaikaan liittyy sekä sopeutumisvaikeuksia että huikeita mahdollisuuksia. (Kiiski Kataja 2016, 9.) Tutkimustiedon mukaan informaatio- ja viestintäteknologian kehittyminen on muuttamassa taloutta ja yhteiskuntaa jopa nopeammin kuin sähköön käyttöönotto (Lehti ym. 2012, 9).

Digitalisaatio on melko uusi termi, jolle ei ole vielä virallista määritelmää. Sillä viitataan esimerkiksi verkkoliiketoiminnan vaikutuksiin liike-elämässä, uusien teknologioiden tuomiin mullistuksiin, teollisen internetin mahdollisuuksiin tai yhteiskunnan ja teollisuuden rakenteiden muuttumiseen. Digitalisaation taustalla on digitalisoituminen, eli asioiden, esineiden tai prosessien muuntaminen digitaaliseen muotoon joko osittain tai kokonaan. Digitalisaatiosta aletaan puhua, kun digitalisoituminen alkaa muuttaa yhteiskunnan rakenteita, ihmisten

käyttäytymistä, markkinoiden dynamiikkaa sekä yritysten ydinprosesseja. (Ilmarinen & Koskela 2015, 17–18.)

Digitalisaatiota voidaan tarkastella makrotasolla, eli koko yhteiskunnan ja markkinoiden dynamiikan tasolla, tai mikrotasolla, eli yksittäisten toimijoiden kannalta. Mikro- ja makrotasot vaikuttavat toisiinsa, sillä yritysten toimet muokkaavat markkinoita ja yhteiskunta voi vaikuttaa markkinoihin esimerkiksi sääntelyn avulla. (Ilmarinen & Koskela 2015, 18.) Kuvassa 1 on havainnollistettu digitalisaation tasoja ja niiden vaikutuksia toisiinsa. Tässä opinnäytetyössä digitalisaatiota tarkastellaan mikrotasolla, eli yksittäisten yritysten näkökulmasta.



Kuva 1. Digitalisaation tasot (Ilmarinen & Koskela 2015, 18)

Talouskriisi vaikuttaa teknologiseen kehitykseen siten, että eniten kriisistä kärsivät maat investoivat aiempaa vähemmän uuteen teknologiaan, koulutukseen ja tutkimukseen (Lehti ym. 2012, 24). Suomikin, digitalisaation entinen edelläkävijä, on tippumassa kehityksen kärryiltä monella osa-alueella. Yritysjohtajien pitäisi oppia näkemään digitalisaatio välineenä, jonka avulla liiketoimintaa voidaan parantaa liikevaihtoa kasvattamalla, alentamalla kustannuksia, tehosta-

malla pääoman käyttöä sekä transformoimalla liiketoimintaa. (Ilmarinen & Koskela 2015, 11, 25.)

### 3.2 Varasto

Varastolla tarkoitetaan joko yrityksen vaihto-omaisuuden materiaaliolosuutusta tai teknisessä mielessä sitä fyysistä tilaa, jossa vaihto-omaisuutta säilytetään (Hokkanen & Karhunen 2014, 125). Varastotoimintoja on mukana lähes kaikissa tuotannollisissa ja kaupallisissa toiminnoissa, myös palveluliiketoiminnassa. Monet yritykset ovat ulkoistaneet varastotoimintojaan yrityksille, joiden liiketoiminta perustuu varastointiin. (Hokkanen & Virtanen 2013, 9.) Tässä opinnäytetyössä varastolla tarkoitetaan ensisijaisesti materiaalien säilyttämiseen tarkoitettua fyysistä tilaa.

Varastointiin on olemassa useita syitä, joita ovat esimerkiksi materiaalin saatavuuden kausivaihtelut, halutun palveluasteen ylläpitäminen, kuljetuskustannusten alentaminen, tuotantokustannusten alentaminen, suurten hankintaerien edullisuus ja valuuttakurssien vaihtelu. Varastointi ei tavallisesti lisää tuotteen arvoa, vaan aiheuttaa kustannuksia ja lisää epäkuranttiusriskiä. (Hokkanen & Karhunen 2014, 125; Hokkanen & Virtanen 2013, 10–14.)

Lähes puolet suomalaisten yritysten logistiikkakustannuksista muodostuu varastoinnin kustannuksista, jotka koostuvat enimmäkseen pääomakuluista ja varastoinnin toimenpiteistä (Sakki 2014, 72). Varastoja onkin pidetty huonosti toimivien organisaatioiden ja toimitusketjujen puutteellisen yhteistyön seurauksina (Hokkanen & Karhunen 2014, 126). Nykyisin kuitenkin tuotannon Aasiaan siirtymisen, verkkokaupan kasvun ja kuluttajien vaatimustason lisääntymisen myötä varastoja on alettu pitämään keskeisinä tekijöinä toimitusketjussa (Richards 2014, 5). Motorolan (2013, 14) tutkimuksen mukaan yhä useammat alan ammattilaiset näkevät varastot ja jakelukeskukset nykyisin ei niinkään välttämättömänä pahana, vaan aliarvostettuna voimavarana, joka voi auttaa yritystä erottumaan kilpailijoistaan ja siten lisätä tuottavuuden kasvua. Saman tutkimuksen mukaan 35 % kyselyyn vastanneista yrityksistä aikoo lisätä varastojensa lukumäärää ja 36 % laajentaa nykyisiä varastojaan.

Koska varastointiin on useita syitä, on olemassa myös erilaisia varastotyyppejä, joita kuitenkin yhdistää tietyt perustoiminnot. Näitä ovat tavaran vastaanot-

to, säilyttäminen, keräily ja lähettäminen. Lisäksi niihin sisältyy tai varastossa tuotetaan erikseen useita lisäarvopalveluita. (Hokkanen & Virtanen 2013, 16.) Seuraavissa kappaleissa esitellään joitakin varastotyyppisiä ja niille ominaisia tunnuspiirteitä, jotka on otettava huomioon varastoa suunniteltaessa.

### **Raaka-ainevarasto**

Raaka-ainevarastossa säilytetään materiaaleja, jotka liittyvät tuotantoon. Ne voivat olla muodoltaan kiinteitä, nestemäisiä tai jauhemaisia, joten varasto voi rakenteeltaan perustua hyllyjen lisäksi säiliöihin tai silloihin. Varsinaisten raaka-aineiden lisäksi siellä voidaan säilyttää esimerkiksi pakkaustarvikkeita. Raaka-ainevarastolle tyypillistä on, että nimikkeitä on suhteellisen vähän ja täydennyserät suuria. Raaka-ainevarastosta toimitetaan materiaaleja tuotantoon jatkuvasti pieninä erinä, jolloin on huomioitava toiminnanohjausjärjestelmän edellyttämät kirjausmenettelyt. Varastotasojen seuranta tapahtuu yleensä saldotietojen perusteella, joten kirjausten on oltava ajan tasalla. Raaka-ainevarasto tilaa täydennyserät tuotannon ennusteiden mukaisesti, joten sille on tärkeää saada tietoa menekistä ja materiaalin saatavuudesta. (Hokkanen & Virtanen 2013, 17–19.)

### **Keskeneräinen tuotanto**

Puolivalmiiden tuotteiden säilyttäminen voi olla perusteltua esimerkiksi jos sen avulla tuotteita voidaan muokata asiakaskohtaisesti. Tällöin puolivalmisteiden säilyttäminen vähentää lopputuotteiden varastointitarvetta. Keskeneräisen tuotannon varasto sijaitsee usein tuotantolaitteiden lähistöllä, mutta se voi olla myös erillisissä tiloissa. Tuotteet saattavat olla tuotannon kirjanpidossa, mikä voi tehdä tuotteiden löytämisen ja ajantasaisen määrätiedon ylläpitämisen haasteelliseksi. (Hokkanen & Virtanen 2013, 19–20.) Tyypillistä puolivalmistevarastolle on myös, että saapuvat ja lähtevät erät ovat suuruudeltaan ja taajuudeltaan yhteneviä (Hokkanen & Karhunen 2014, 127).

### **Valmistuotevarasto**

Valmistuotevarastossa on usein puskurivarasto, johon tuotannosta saapuvat tuotteet varastoidaan. Valmistuotevarastolle ominaista on tuotannosta saapuvien tuotteiden hyllyttäminen sekä niiden lähettäminen asiakkaille. Tällöin yhteistyö tuotannon ja varaston välillä on tärkeää, sillä tieto siitä milloin tilauksesta puuttuva komponentti valmistuu, nopeuttaa lähetysten matkaan saamista.

Jos valmistuotevarasto sijaitsee erillään tuotannosta, täydennykset suoritetaan yleensä autokuormittain eräkokoina. (Hokkanen & Virtanen 2013, 20–21.) Valmistuotevarastolle ominaista on, että materiaalmäärä on suhteellisen pieni ja tuloerät ovat pieniä sekä usein saapuvia. Lähtöerät sen sijaan ovat suuria ja lähtevät usein. (Hokkanen & Karhunen 2014, 127.)

### **Tukkuvarasto**

Tukkuvarasto on väliporras valmistuksen ja myynnin välillä. Sille on tyypillistä nimikkeiden hyvin suuri määrä ja monimuotoisuus. Tuloerät saapuvat harvoin ja ovat suuria kun taas pieniä lähtöeriä lähtee usein ja lyhyellä toimitusajalla. Tukkuvarastossa on erilaisia olosuhdevarastoja, sillä eri tuotteet tarvitsevat erilaisia säilytysolosuhteita. Tavaramäärä vaihtelee kysynnän ja toimitusajan mukaan. (Hokkanen & Karhunen 2014, 127).

### **Aluevarasto**

Maanlaajuisesti tai globaalisti toimivilla yrityksillä voi olla aluevarastoja, jotka palvelevat tietyn alueen tarpeita. Aluevarastojen tarkoitus on ollut turvata toimitusvarmuus tietyllä alueella, mutta linjaverkostojen kattavuuden ja tiedonkulun parantuminen sekä kuljetusvälineiden kehittyminen ovat mahdollistaneet aluevarastojen keskittämisen. Nykyisin aluevarasto saattaa palvella jopa koko Euroopan laajuisia alueita. (Hokkanen & Virtanen 2013, 22.)

### **Myyntivarasto**

Myyntivarasto toimii esimerkiksi kaupassa, jossa tuotteet on sijoiteltu asiakkaiden poimittavaksi. Ominaista sille on, että tuloerät ovat kooltaan kohtuullisia, mutta lähtöerät erittäin pieniä, lähtevät usein ja toimitetaan ilman ennakotilausta. (Hokkanen & Karhunen 2014, 127–128.)

### **Terminaalivarasto**

Terminaali on hyvin suuren läpivirtausnopeuden omaava varasto, jossa toiminnot keskittyvät kuormien purkuun, lastaukseen ja lajitteluun kuljetusreittien mukaan. Tavaroita ei yleensä hyllytetä. Terminaalin ulkoalueen liikenne on vilkasta ja erillisiä kooltaan ja laadultaan poikkeavia tavaraeriä on paljon. Työrytmi on nopea ja tärkeää on tarkkuus tuotteiden sijoittamisessa oikeisiin ruutuihin. (Hokkanen & Virtanen 2013, 23; Hokkanen & Karhunen 2014, 128.)

### 3.3 Varaston optimointi ja suunnittelu

Varastoinnin toiminnan analysointiin, vertaamiseen ja ohjaamiseen käytettäviä mittareita ja tunnuslukuja on paljon. Ne ovat merkittävä työkalu varaston ohjauksessa. Varaston ohjauksen tarkoitus on pienentää kustannuksia, jolloin pääomaresursseja käytetään tehokkaammin hyödyksi ja liiketoiminta on kannattavampaa. (Hokkanen & Virtanen 2013, 165–166.) Suorituksen mittaaminen on tärkeää, kun halutaan ohjata toimintaa tehokkaasti. Käytetyt mittarit tulee kuitenkin valita siten, että ne tukevat yrityksen strategiaa. Toisin sanoen suoritusta ei pidä mitata vain mittaamisen vuoksi, vaan on osattava määritellä, mitkä tunnusluvut ovat yrityksen toiminnalle ja sen asiakkaille tärkeitä. Pelkkä datan kerääminen ei riitä, vaan mittareista ja tunnusluvuista on hyötyä vasta kun niiden tuottama informaatio on analysoitu. (Richards 2014, 315.) Tässä luvussa esitellään joitakin varaston suunnittelun kannalta oleellisia varaston ohjauksen tunnuslukuja sekä tavaravirtauksen ja tilankäytön suunnittelun periaatteita.

Läpimenoaika on aika, joka kuluu tuotteen kulkemiseen logistisen ketjun läpi (Ritvanen, Inkiläinen, Bell, Santala & Relander 2011, 198). Aika vaikuttaa myös kustannuksiin siten, että läpimenoajan lyhentyessä prosessin kustannukset laskevat. Esimerkiksi tilauksen käsittelyyn kuluva aika saadaan selville kun työhön kulunutta kokonaisaikaa verrataan tapahtumien määriin, kuten kaavassa 1 on esitetty. Prosessin tarkempi analysoiminen on tarpeen, jotta voidaan selvittää, mistä kokonaisläpäisy aika koostuu. (Sakki 2014, 52.)

$$\text{lähetys (vastaanotto)aika} = \frac{\text{nettotyöaika}}{\text{tapahtumien määrä}} (h) \quad (1)$$

Keräily on varaston toiminto, jonka tarkoitus on koota lähetyksiä joko ulkoisille tai sisäisille asiakkaille ja se on yksi varaston työvaltaisimmista tehtävistä. Keräilyn tehokkuutta mitataan kerättyjen rivien määrällä tuntia kohden. Suurin osa keräilyssä kuluvasta työajasta kuluu tuotteiden kuljettamiseen ja etsimiseen. Hyvällä varaston suunnittelulla tämä aika voidaan minimoida. (Hokkanen & Virtanen 2013, 34,36.)

Kiertonopeus on varaston tunnusluku, jonka avulla voidaan määrittää varastoon sitoutunut pääoma. Kiertonopeus voidaan laskea useilla eri menetelmillä,

mutta suosituin tapa on laskea se tietyn ajanjakson kulutuksen ja keskivara-  
ston arvon suhteena, kuten kaavassa 2 on esitetty. (Hokkanen & Karhunen  
2014, 134, 204.)

$$\text{Varaston kiertonopeus} = \frac{\text{vuoden käyttö tai myynti (hankintahinnoin)}}{\text{varastojen keskiarvo (hankintahinnoin)}} \quad (2)$$

Kiertonopeuden ja varastointikustannusten suhde on kääntäen verrannollinen.  
Kun kiertonopeus kaksinkertaistuu, niin kustannukset puolittuvat. Kuitenkaan  
jos kiertonopeuden lisäämisen seurauksena tuotteen muut logistiset kustan-  
nukset kasvavat enemmän kuin varastointikustannuksissa säästetään, ei kier-  
tonopeuden lisääminen ole enää kannattavaa. (Hokkanen & Karhunen 2014,  
205.)

Varaston tilankäyttöaste voidaan määritellä lattiatilan käytön mukaan, mutta  
realistisempaa on mitata varaston kuutiotilavuutta. Tilankäyttöä voidaan tar-  
kastella myös varastossa olevien lavojen määrän suhteena lavapaikkojen ko-  
konaismäärään. Tilankäyttöastetta laskiessa huomioidaan vain tavaran varas-  
tointiin käytettävissä oleva tila. Varaston muihin toimintoihin, kuten vastaanot-  
toon tai lähettämöön, varattuja tiloja ei huomioida. (Richards 2014, 301–302.)  
Kaavassa 3 on esitetty, varaston tilankäytön laskeminen.

$$\text{Varaston tilankäyttö \%} = \frac{(\text{käytössä oleva tila} \cdot 100)}{\text{käytettävissä oleva tila}} \quad (3)$$

Varastohallinnan apuvälineenä käytetään usein tietojärjestelmiä, sillä luotet-  
tava, turvallinen ja reaaliaikainen tiedonsiirto on oleellista tehokkaan liiketoi-  
minnan varmistamiseksi. Yrityksellä voi olla joko erillinen varastohallintajär-  
jestelmän (WMS) tai se voi sisältyä toiminnanohjausjärjestelmään (ERP).  
(Richards 2014, 188–189.) ERP on järjestelmä, joka mahdollistaa yrityksen  
kaikkien toimintojen hallinnan yhdellä integroidulla tietojärjestelmällä, jolloin eri  
osastot kykenevät helposti jakamaan tietoa ja kommunikoimaan keskenään  
(Parthasarthy 2007, 1). WMS taas on järjestelmä, jonka avulla ei pelkästään  
hallita varaston saldotietoja, vaan kaikkia varaston toimintoja. Jos yrityksellä  
on erillinen WMS-järjestelmä, sen olisi kyettävä kommunikoimaan yrityksen  
muiden tietojärjestelmien kanssa tehokkaan tiedonhallinnan varmistamiseksi.  
(Richards 2014, 189, 195.)

## Varaston tilansuunnittelu

Varaston tilansuunnittelussa huomioidaan varastoitava tuotevalikoima, varastointitekniikka, tontin koko ja muoto sekä tavaravirtauksen periaate. Nämä vaikuttavat sekä varastoprosessin että layoutin suunnitteluun. Tuotesijoittelu riippuu tavaravirtausperiaatteesta ja vaikuttaa suuresti toiminnan tehokkuuteen. (Ritvanen ym. 2011, 84–85.)

Hyvällä layout-suunnittelulla voidaan lyhentää varaston läpimenoaikaa, parantaa tuotteiden virtausta, alentaa kustannuksia, korottaa asiakaspalvelutasoa ja parantaa työskentelyolosuhteita. Optimaalinen varasto-layout riippuu kunkin yrityksen ja varaston tarpeista. Siihen vaikuttavat mm varastoitavien tuotteiden ominaisuudet, yrityksen taloudelliset resurssit, kilpailuympäristö, asiakas- tarpeet sekä laite-, henkilö- ja tilakustannusten väliset suhteet. (Reinikainen, Mäntynen, & Rantala 1997, 106.) Kun varastoa suunnitellaan, pitää siis ottaa huomioon useita seikkoja. Tämä pitää sisällään yrityksen ennakoitun kasvun, tuoteprofiilien mahdolliset muutokset ja todennäköiset markkinakanavat 5–10 vuoden aikavälillä. (Richards 2014, 204.)

Richardsin (2014, 205) ohjeet varaston suunnitteluun ovat seuraavat:

- Kerää niin paljon dataa kuin mahdollista ja analysoi se.
- Pyri ennakoimaan liiketoiminnan muutokset 5-10 tulevan vuoden ajalle ja suunnittele varasto muuntautumiskykyiseksi.
- Keskity rakennuksen kuutiotilavuuteen.
- Varmista, että suunnitelma sopii käytössä oleville hyllyratkaisuille ja materiaalinkäsittelylaitteille.
- Aseta henkilöstön terveys ja turvallisuus etusijalle.
- Pidä varaston sisäiset kulkumatkat pieninä.
- Pyri standardisoimaan sekä kuljetus- että varastointiyksiköt.
- Ota selvää rakennusmääräyksistä ja lattian kantokyvystä.
- Älä unohda ulkoalueiden suunnittelua.

Varaston layout on tehokas, kun se minimoi tarvittavan materiaalien kuljetusmatkan ja käsittelykerrat. Pullonkaulojen syntymistä ja risteävää liikennettä tulisi välttää aina kuin mahdollista sekä varmistaa, että liikkuminen ja siirrot varastossa tapahtuvat loogisessa järjestyksessä. Varaston koko tilavuus tulisi hyödyntää, eikä vain lattiatilaa. (Richards 2014, 219.)

Tuotteiden erilainen menekki vaikuttaa siihen, että niiden läpimenoajat ja kiertonopeudet vaihtelevat. Tämän vuoksi suurimennekkiset tuotteet tulisi sijoittaa varastoon lähimmäksi lähettämöä, jotta materiaalinkäsittelylaitteiden liikkumat



matkat pysyvät lyhyinä. Pienimenekkiiset tuotteet sijoitetaan kauimmaksi lähettämöstä, jotta pitkien siirtomatkojen määrä pysyy pienenä. Käytävien suunnittelussa huomioidaan, että materiaa livirrat varastoalueiden ja laiturien välillä sujuvat tehokkaasti. Hyllyjen ja lattiapaikkojen mitoituksessa huomioidaan tavaroitten mitat, siten ettei kaikkia paikkoja mitoiteta yhtä suuriksi, jolloin varaston kuutiotilavuus saadaan tehokkaammin käyttöön. (Reinikainen ym. 1997, 107–108.)

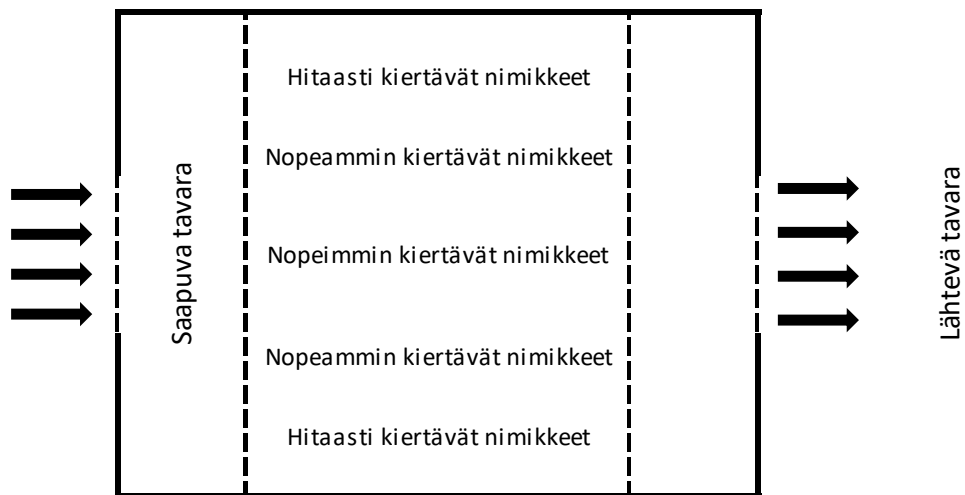
Varastoitavia tuotteita voidaan luokitella abc-analyysillä, joka pohjautuu Pareton 80/20-sääntöön. Tämän mukaan esimerkiksi 80 % tuotteista tuo vain 20 % liikevaihdosta tai 20 % tuotteista tuo 80 % tuloksesta. Abc-analyysin luokittelu voidaan tehdä euromääräisen kulutuksen tai myynnin mukaan, tuotteiden myyntikatteen tai niiden liike tuloksen perusteella. Luokittelu voidaan tehdä myös xyz-analyysinä, joka on muunnos abc-analyysistä. Siinä tuotteet luokitellaan myynnin tai kulutuksen tapahtumamäärien mukaan. Prosenttiluvut ovat vain suuntaa antavia, mutta luokitteluun voi käyttää esimerkiksi seuraavaa jaottelua:

- A luokka = ensimmäiset 50 % myynnistä tai kulutuksesta
- B luokka = seuraavat 30 % myynnistä tai kulutuksesta
- C luokka = seuraavat 18 % myynnistä tai kulutuksesta
- D luokka = viimeiset 2 % myynnistä tai kulutuksesta
- E luokka = ei myyntiä tai kulutusta.

Analyysin tarkoitus on selvittää, miten materiaalinohjausta tulisi kehittää.

(Sakki 2015, 62–63, 67.) Analyysiin tarvittavat tuotetiedot saadaan tavallisesti suoraan varastonohjausjärjestelmästä (Richards 2014, 171).

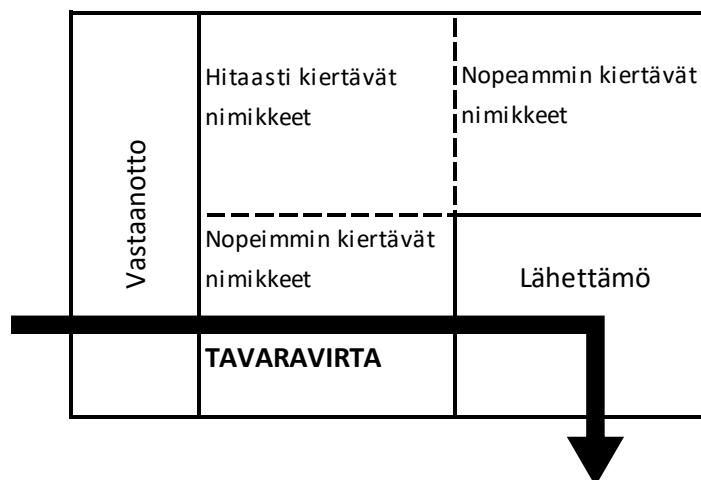
Varaston virtausperiaatteeksi voidaan valita tontin muodon, rakennusten sijoittelun ja suunniteltujen varasto-operaatioiden tarpeen mukaan läpivirtaus, kulkuvirtaus tai U-virtaus (ks. kuvat 2, 3 ja 4). Läpivirtausvarastossa tavara tulee sisään varaston yhdeltä puolelta ja ohjataan ulos toiselta. Tämä vähentää varaston ruuhkautumista, mutta vaatii suuren piha-alueen. Lisäksi varaston molemmilla puolilla sijaitsevat ovet lisäävät valvonnantarvetta ja rajoittavat rakennuksen laajentamismahdollisuuksia. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 376; Richards 2014, 215.)



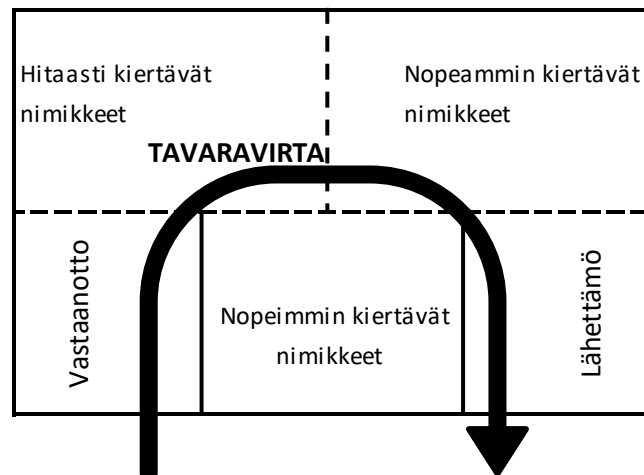
Kuva 2. Läpivirtausvaraston periaate (Richards 2014, 216).

U-virtaus vaatii vähemmän tonttitilaa kuin läpivirtaus, sillä purku- ja lastauslaiturit ovat rakennuksen samalla sivulla. Tämä mahdollistaa piha-alueen ja lastauslaitureiden tehokkaamman käytön sekä mahdollistaa sujuvan siirtokuormauksen, mutta voi aiheuttaa vastaanoton ja lähettämön ruuhkautumista silloin kun sekä lähtevää että saapuvaa tavaraa on paljon. (Karhunen ym. 2004, 377; Richards 2014, 215.)

### Kulmavirtaus



Kuva 3. Kulmavirtauksen periaate (Karhunen ym. 2004, 377).

**U-virtaus**

Kuva 4. U-virtauksen periaate (Karhunen ym. 2004, 377).

Jos varastossa tuotetaan lisäarvopalveluja, näille varataan tilaa rakennusten matalammilta alueilta, tai niitä varten voidaan rakentaa kaksi tai kolme välikerrosta rakennuksen korkeus huomioiden. Riittävästi tilaa on varattava myös tavaran vastaanotolle ja lähettämölle, sillä näiden alueiden ruuhkautuminen voi aiheuttaa viivästyksiä, virheitä tavaran sijoittelussa ja tavaroiden vaurioitumisesta. Jos varastossa tehdään siirtolastauksia, niillekin on muistettava varata oma tilansa. Kaavassa 4 on esitetty nyrkkisääntö, miten riittävä tila vastaanoton ja lähettämön toiminnoille voidaan laskea. (Richards 2014, 207, 215.)

*tilantarve =*

$$\frac{(\text{kuormien määrä} \cdot \text{lastaus tai purkuaika})}{\text{työvuoron kesto}} \cdot (\text{lavojen määrä} \cdot \text{lavan vaatima tila}) \quad (4)$$

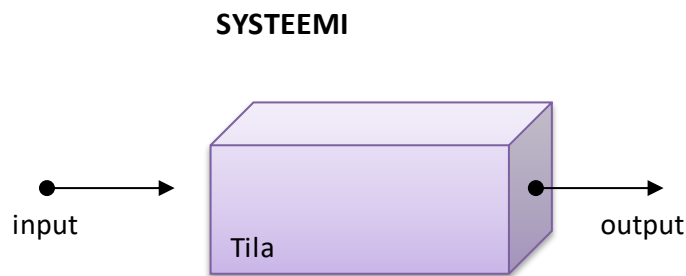
Käytävänleveydellä tarkoitetaan vierekkäisissä varastohyllyissä olevien lavojen välistä etäisyyttä ja se on yksi ratkaisevan tärkeä tekijä varaston layoutia suunniteltaessa. Tarvittava käytävänleveys määritellään trukin kääntösäteen ja lavakoon mukaan, paitsi kapeakäytävävarastoissa, jossa käytävänleveys vastaa trukin leveyttä. Tarvittava turvaetäisyys on molemmin puolin 100 mm, eli yhteensä 200 mm. Trukinvalmistajat ilmoittavat tavallisesti minimikäytävänleveyden, jota he trukeilleen suosittelevat. (Richards 2014, 213–214).

Varaston layout -suunnitteluun on saatavilla apua erilaisilta palveluntarjoajilta, kuten konsulttitoimistoilta ja varastokalusteiden toimittajilta. Tarjolla on myös ohjelmistoja varaston simulointiin, joita voi käyttää layout -suunnittelun apuna. (Richards 2014, 204.) Näihin syvennytään tarkemmin opinnäytetyön empiriaosiossa.

### 3.4 Simulointi

Simulointi on systeemin tutkimista tieteellisesti tekemällä tietty määrä oletuksia sen toimintamalleista ja muodostamalla niistä looginen tai matemaattinen malli, jonka avulla systeemin käyttäytymistä pyritään ymmärtämään. Yksinkertaista systeemiä voidaan tarkastella analyyttisesti, eli käyttämällä matemaattisia keinoja, joilla saadaan eksaktia tietoa systeemin tutkittavista ominaisuuksista. Suurin osa reaali maailman ilmiöistä on kuitenkin liian monimutkaisia, jotta niistä muodostettuja realistisia malleja voitaisiin tutkia analyyttisesti. Tällöin apukeinona voidaan käyttää tietokoneavusteista simulointia, jolloin tietokone arvioi mallia numeerisesti ja saadun datan perusteella tehdään arvio mallin todellisesta toiminnasta. Simuloitavat systeemit jaetaan diskreetteihin, eli tapahtumapohjaisiin, ja jatkuviin. Diskreetissä systeemissä muuttujien tila vaihtuu äkillisesti tietyllä ajan hetkellä ja jatkuvassa systeemissä muuttujien tilassa tapahtuu jatkuvaa muutosta ajan kuluessa. (Law & Kelton 2000, 1, 3.)

Systeemillä tarkoitetaan joukkoa toimijoita, kuten ihmisiä tai koneita, jotka toimivat ja ovat vuorovaikutuksessa toisiinsa päästäkseen johonkin loogiseen lopputulokseen. Käytännössä se miten systeemi määritetään, riippuu tutkimuksesta ja sen tavoitteista. (Law & Kelton 2000, 3.) Systeemiä tarkastellessa, siinä erotetaan sen ulkoinen käyttäytyminen, eli input–output -kuvaus (ks. kuva 4), joka määritetään joko mallin tai todellisen systeemin toiminnan perusteella, ja systeemin sisäinen rakenne, joka käsittää sen tilan ja tilan muuttumisen mekanismit. Systeemin rakenteen tunteminen mahdollistaa sen käyttäytymisen analysoinnin ja simuloinnin. (Zeigler, Praehofer & Kim 2000, 3–4.)



Kuva 5. Systeemin peruskäsitteet (Zeigler ym. 2000, 4).

Simulaatiomallia luodessa systeemin lähdetietoina käytetään joko olemassa olevaa tai virtuaalista toimintaympäristöä tarkkailemalla kerättyä tietoa systeemin käyttäytymisestä (Zeigler ym. 2000, 25–26). Mallinnuksen tavoitteena voi olla tiedon kerääminen eri toimijoiden välisistä suhteista tai systeemin toiminnan ennustaminen olosuhteiden muuttuessa (Law & Kelton 2000, 3). Simulointiprosessi alkaa ongelman jäsentelyllä ja tavoitteiden määrittelyllä. Seuraavaksi rakennetaan malli, joka mahdollistaa käytössä olevan datan hyödyntämisen simuloinnissa, eli simulointityökalun rakentamisen. Tämä on prosessin kriittisin osa-alue, sillä tässä vaiheessa tehtyjä virheitä ei voida enää myöhemmin korjata ja virheet kostaavat varsinaisen simuloinnin aikana. Prosessin ainoa vaihe, jonka tuloksilla on merkitystä päätöksenteon kannalta, on varsinainen simulointi, josta saadut tulokset dokumentoidaan ja niistä laaditaan raportti päätöksenteon tueksi. Analyysin tulosten perusteella valitaan toteutettava malli. (Hokkanen & Karhunen 2014, 220.)

Simulointi ei sovellu toimintojen päivittäiseen ohjaukseen, mutta se on hyvä strategisen suunnittelun apuväline erityisesti suuria tuotantoinvestointeja suunniteltaessa (Hokkanen & Karhunen 2014, 220). Simuloinnin etuja ovat, että se mahdollistaa sellaisten monimutkaisten systeemien, joiden analyttinen tarkastelu matemaattisen mallin avulla olisi mahdotonta, tutkimisen ja systeemin toiminnan testaamisen erilaisissa toimintaolosuhteissa. Lisäksi simulointi mahdollistaa vaihtoehtoisten systeemien vertailun sen toteutukseksi kumpi täyttää paremmin määritetyt vaatimukset ja simuloidessa voidaan hallita testausolosuhteita paremmin kuin reaaliolosuhteissa. Simulointi antaa myös

mahdollisuuden tarkastella systeemin pitkän aikavälin toimintaa lyhennetyssä ajassa. (Law & Kelton 2000, 91–92.)

Simuloinnin haittoja taas ovat että simulointimallin rakentaminen on kallista ja aikaa vievää. Lisäksi simulointimalli on vain arvio todellisen systeemin toiminnasta tiettyjen siihen syötettyjen parametrien osalta. Näin ollen jokaiseen simulointiajoon täytyy määritellä erikseen parametrit, joita halutaan tarkastella. Simulointi soveltuukin paremmin vaihtoehtoisten systeemien vertailuun kuin tietyn systeemin optimointiin. Simuloinnin vaarana on myös, että sen antamiin tuloksiin saatetaan luottaa liikaa. Jos simulointimalli ei anna valideja tuloksia tarkasteltavasta systeemistä, sen tuottama informaatio on hyödytöntä. (Law & Kelton 2000, 92.) Simulointi on kuitenkin suosittua havainnollisuutensa vuoksi ja koska kalliskin simulointiajo tulee yleensä halvemmaksi kuin monimutkaisten systeemien käytännön kokeilut yrityksen ja erehdyksen kautta (Hokkanen & Karhunen 2014, 220).

#### 4 NELI:N JA DIGITAI DOT VARASTOTYÖSSÄ -HANKKEEN ESITTELY

North European Logistics Institute, lyhennettynä NELI, on Kymenlaakson ammattikorkeakoulun logistiikan kehitysorganisaatio, joka on aktiivinen logistiikan ja merenkulun koulutuksen uudistaja sekä linkki yritysten ja opetuksen välillä. NELI:n toiminta-ajatus on parantaa yritysten logistista kilpailukykyä, luoda edellytyksiä kasvulle sekä uudelle liiketoiminnalle ja kehittää logistiikan sekä merenkulun opetusta ja osaamista. NELI on osa alueellista ja kansainvälistä logistiikan TKI-verkostoa ja tekee yhteistyötä kaupunkien, ELY:n ja Maakuntaliiton kanssa. NELI:n toimintaa ohjaavat maakuntaohjelma ja alueelliset strategiat. (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2014a.)

NELI:n tavoitteena on näyttää suuntaa sekä motivoida logistiikan tutkimukseen ja kehitykseen sekä edistää yhteistyötä Kymenlaakson alueella ja osallistua uusien innovaatioiden sekä liiketoimintaratkaisujen luomisessa logistiikan alalle. Se on toiminnallaan onnistunut kehittämään Kymenlaakson liiketoimintamahdollisuuksia ja parantanut alueen yritysten logistista kilpailukykyä. NELI:n yhteistyöverkosto kattaa Euroopan aktiivisimmat logistiikkaklusterit ja se on arvostettu yhteistyökumppani Itämeren alueella, joka on yhdessä hankkumpaneiden kanssa hankkinut vuosille 2014–2017 ulkopuolista rahoitus-

ta 3–5 hankekokonaisuuteen, joissa on huomioitu kansainvälistymisen lisääntyminen, tuloksista tiedottaminen ja opetukseen integrointi. (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2014b.)

Yksi NELI:n hankkeista on Digitaidot varastotyössä, jonka tarkoitus on saada yritykset pohtimaan digitaalisuuden mahdollisuuksia. Digitaalisuuden merkitystä omalle liiketoiminnalle ei useinkaan vielä ole yrityksissä huomattu. Hankkeen tavoitteena on etsiä ratkaisuja digitalisaation luomaan uudistumishaasteeseen logistiikassa ja lisätä tietoisuutta digitaalisen liiketoiminnan mahdollisuuksista varastotyössä, sekä tukea Kymenlaakson älykkääseen erikoistumiseen tarvittavaa osaamista. Välillisesti hankkeen tavoitteena on edesauttaa uuden liiketoiminnan syntymistä Kymenlaaksoon. (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2016.)

Hankkeessa tutkitaan, miten kotimaiset ja ulkomaiset yritykset ovat vastanneet digitaalisuuden tuomiin muutoksiin varastotoiminnoissa ja havainnollistetaan asiantuntijaseminaarin sekä vierailukäyntien avulla jo käytössä olevia ratkaisuja. Hanke selvittää myös, millaisia mahdollisuuksia paikallisilla IT-palveluyrityksillä on tarjota varastotoimintojen digitaalisia ratkaisuja sekä järjestää IT-palveluntarjoajien ja potentiaalisten asiakasyritysten välille B-to-B tapaaminen. Lisäksi kartoitetaan digitaaliseen osaamiseen liittyvää koulutustarvetta Kymenlaaksossa, jotta saadaan tietoa siitä miten voidaan kehittää yritysten tarpeisiin kohdennettua koulutusta. (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2016.)

Digitaidot varastotyössä hankkeen projektipäällikkönä toimii Tuomas Munnukka, ja sen toteutusaika on huhtikuun alusta 2016 maaliskuun loppuun 2017. Hankkeen rahoittajia ovat Hämeen ELY-keskus (ESR), Reijo Rautauoman säätiö ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Budjetti on 74 878 €. (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2016.)

## 5 TUTKIMUKSESSA KARTOITETUT OHJELMISTOT

Tässä luvussa esitellään tutkimuksessa kartoitetut varaston simulointiin ja optimointiin tarkoitetut tietokoneohjelmistot. Ne on jaoteltu simulointiohjelmistoihin ja muihin varaston optimointiin ja analysointiin tarkoitettuihin ohjelmistoihin. Rajanveto joidenkin ohjelmistojen kohdalla on häilyvä, sillä monilla ohjel-

mistoilla on useita toimintoja, joista simulointi on vain yksi. Tässä tapauksessa simulointiohjelmistoiksi on luokiteltu työkalut, joilla voidaan luoda simulointimalli varastosta ja analysoida sen toimintoja simuloimalla. Monet yleisistä simulointiohjelmistoista soveltuvat myös varaston toimintojen simulointiin, mutta simulointimallin luominen niiden avulla vaatii ammattitaitoa, jota ani harvoissa yrityksissä on. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa keskityttiin erityisesti varaston simulointiin suunniteltuihin ohjelmistoihin ja ohjelmistoihin, joilla on varasto-objektien kirjasto tai erillinen varastomoduuli. Tällaisia onnistuttiin kartoittamaan pääosin verkkotutkimuksella 13 kappaletta, joista kaksi ei ollut kaupallisesti saatavilla varastointia harjoittaville yrityksille omaan käyttöön. Verkkotutkimus toteutettiin 1.6.–30.9.2016 välisenä aikana. Luvun lopussa on taulukoitu ohjelmistojen käyttökohteet ja lisenssimallit.

## 5.1 Simulointiohjelmistot

Varastospesifisille simulointiohjelmistoille on yhteistä, että niihin on ohjelmoitu valmiiksi varaston tyypillisimpien toimintojen simulointiin tarvittavat objektit ja toiminnot, eli varaston simulointimalli on mahdollista rakentaa ilman ohjelmointitaitoja, esimerkiksi vedä ja pudota toiminnon avulla. Useimmissa ohjelmistoissa on lisäksi mahdollisuus omien objektien lisäämiseen ja CAD-layoutin laatamiseen simulointimallin pohjaksi. Tämä lisää työkalun mukautuvuutta kunkin yrityksen omiin tarpeisiin.

Tyypillisiä varaston simuloinnilla tavoiteltuja hyötyjä ohjelmistojen tarjoajien mukaan ovat erilaisten varastointistrategioiden ja layoutien riskitön vertailu saatavilla olevan todellisen datan pohjalta, investointien hyödyn testaaminen, kuten esimerkiksi trukkien määrän ja tyyppin määrittäminen varaston prosesseihin optimaalisesti sopivaksi, varaston prosessien optimointi, pullonkaulojen tunnistaminen ja materiaalivirtojen suunnittelu. Useat ohjelmistoista sopivat myös tarvittavan henkilöstön määrän arviointiin, kuljetusten suunnitteluun ja varaston tai jakelukeskusten parhaan sijainnin määrittämiseen. Simulointiohjelmistojen erityisenä etuna on systeemien visualisointi, jonka helpottaa niiden toiminnan hahmottamista erilaisissa skenaarioissa.

Tässä esitellään lyhyesti tutkimuksessa kartoitetut simulointiohjelmistot ja kuvataan niiden erityispiirteitä.



## **AnyLogic**

AnyLogic on yleiskäyttöinen simulointityökalu, joka on yhteensopiva useimpien tavallisesti käytettyjen ohjelmien ja tietokantojen kanssa. AnyLogicin yhteistyökonsultit tarjoavat varaston suunnittelu- ja optimointipaketin, jossa ohjelmiston avulla rakennetaan asiakkaan kanssa yhteistyössä simulointimalli varastosta. Malli on kokonaisvaltainen käsittäen kaiken varaston sijainnista ja kuljetusreiteistä varaston prosesseihin ja resursseihin asti. Simuloinnin tavoitteet räätälöidään asiakaskohtaisesti, mutta tavallisesti tuloksena saadaan tietoa resurssien käyttöasteesta, toimintoihin kuluvasta ajasta, täydennysajoista yms. (AnyLogic.)

## **Class**

Cirrus Logisticsin Class on erityisesti varaston suunnitteluun ja simulointiin kehitetty ohjelmisto. Se sopii sekä uuden varaston suunnitteluun että olemassa olevan varaston toiminnallisuuden kehittämiseen. Classin avulla voi suunnitella monimutkaisia varastokokonaisuuksia virtuaalisessa tietokoneympäristössä, testata suunnitelman toimivuutta ja kehittää sitä edelleen. Ohjelmisto mahdollistaa useiden eri parametrien muutoksen aiheuttamien vaikutuksien mittaamisen. Class ohjelmistossa on moduulit varaston layout-suunnitteluun, varaston toimintojen simulointiin ja ajoneuvojen liikkumisen mallintamiseen varaston tai terminaalin piha-alueilla. (Cirrus Logistics 2014.)

## **C-WIS**

Constructor Warehouse Intelligence System, eli C-WIS, on Constructor Group -konsernin työkalu varastotoimintojen kehittämiseen. Constructor Groupin edustaja Suomessa tunnetaan Kasten-tuotteiden valmistajana. C-WIS hyödyntää ERP- tai WMS-järjestelmästä saatavia tietoja tuottaessaan raportteja tai varastotoimintojen simuloinnin tuloksia. Sen avulla voidaan suorittaa monimutkaisia analyyseja sekä optimoida tuotteiden sijoittelu, varastosaldot, kerailytavat, hyllyratkaisut ja kalusto. Saatavilla on perusohjelma, jota voidaan täydentää layout-suunnitteluun ja pääoman käytön optimointiin kehitetyillä lisäosilla. (Kasten.)

C-WIS koostuu neljästä moduulista, joista ensimmäinen on hallintapaneeli. Sen avulla hallitaan projekteja ja niihin kuuluvia varastoja sekä luoda käyttäjille erilaisia käyttöoikeuksia. C-WIS Import Tool -moduuli mahdollistaa yrityksen

tietojärjestelmien sisältämien tietojen siirtämisen C-WIS:iin esimerkiksi Excelin kautta. C-WIS Design on piirto-ohjelma, jonka avulla voidaan tehdä varaston 3D-mallinnus ja suorittaa simulointeja massatietojen pohjalta. Sen lisäksi, että Designiin voidaan mallintaa varasto millimetrin tarkkuudella, pystytään siinä säätämään trukkien nopeuksia, käytävien yksisuuntaisuuksia, ruuhkautumisia, taukoja jne. ja päästä parempaan tarkkuuteen kuin yleiskäyttöisillä simulointiohjelmistoilla. Neljäs moduuli on varsinainen C-WIS, joka toimii myös itsenäisesti, mutta tavallisesti se hyödyntää Designilla tehtyä 3D-mallia. Moduulissa on valmiina erilaisia raportteja ja työkaluja, joilla dataa voidaan käsitellä. Esimerkiksi abc-analyysi syntyy automaattisesti tilausrivitietojen perusteella. (Salminen 2016.)

### **Enterprise Dynamics**

Enterprise Dynamics on Incontrol Simulation Solutionsin kehittämä simulointiohjelmistoalusta, josta on saatavilla useita erilaisia alakohtaisia sovelluksia. Omat sovelluksensa löytyvät tuotannon, varastoinnin ja jakelun, materiaalin käsittelyn, toimitusketjun sekä raideliikenteen simulointiin. Ohjelmisto sopii toimintojen visualisointiin, analysointiin ja optimointiin. Laajan objektivalikoiden lisäksi tarjolla on alakohtaisia lisäpaketteja ja mahdollisuus muokata objekteja tai lisätä omia 3D-malleja. Ohjelmistosta on saatavilla ilmainen kokeiluversio ja 120 päivän ilmainen opiskelijalisenssi, jossa simulointimallin sisältämien objektien määrä on rajattu 30 kappaleeseen. (Incontrol Simulation Solutions 2016).

### **FlexSim**

FlexSim Software Product on kehittänyt 3D-simulointityökalun, jonka myyntivalttina on helppokäyttöisyys. Simulointimallien luominen ei vaadi minkään ohjelmointikielen osaamista, vaan systeemin layout tuodaan CAD-ohjelmasta ja malli rakennetaan vetämällä ja tiputtamalla objektit objektikirjastosta paikalleen sekä määrittämällä niille halutut parametrit. FlexSim on kehitetty mallintamaan monimutkaisia prosesseja, kuten valmistus-, pakkaus- ja varastoprosesseja, toimitusketjua sekä materiaalin käsittelyä. Myös ohjelmiston tuottama data prosesseista on kehitetty tuotantoprosessien tarpeiden mukaisesti. FlexSim on yhdistettävissä myös saman yhtiön OptQuest optimointiohjelmistoon, joka kykenee ehdottamaan optimoituja skenaarioita mallintamisen yhteydessä. (FlexSim Software Products, Inc. 2014.)

## **Hyster Warehouse Simulator**

Hyster on trukkitoimittaja, jolla on omaan käyttöön kehitetty varastosimulaattori, jonka avulla yritys voi määritellä parhaan trukkilikoiman asiakkaan tarpeisiin. Simulointi rakennetaan perustiedoilla asiakkaan varaston mitoista ja operaatioista. Sen avulla voidaan testata erilaisia varastointistrategioita, havainnollistaa tietyn trukkilikoiman edut ja haitat sekä demonstroida mitä tapahtuu erilaisissa toimintatilanteissa. Hyster Warehouse Simulator ei ole kaupallisessa myynnissä, vaan on yrityksen oma työkalu asiakkaidensa palveleminen. (Hyster 2015.)

## **Simcad pro Warehouse**

Simcad pro Warehouse on Create a Softin simulointiohjelmisto, jonka avulla yritys voi proaktiivisesti optimoida varastotoimintojaan tehostamalla varaston päivittäistoimintoja sekä optimoida aikataulutusta ja resurssien käyttöä. Lisäksi ohjelmisto sopii layout-suunnitteluun, piha-alueen liikennejärjestelyiden suunnitteluun ja jakelukeskuksen sijainnin suunnitteluun. Sen avulla voidaan ennakoita tulevan kasvun vaikutusta varaston tehokkuuteen ja tunnistaa pullonkauloja. Ohjelmistolla on sisäänrakennettu tuki tiedonkeruuta ja hallintaa varten, joten se pystyy käyttämään simuloinnissa ja tulosten laskemisessa hyväkseen ulkoista dataa. Simcad pro Warehouse tuottaa standardisoituja sekä kustomoituja raportteja ja grafiikoita kuin myös useita erilaisia Lean-analyyssejä. (Create a Soft.)

## **Slot3D**

Ids Engineering on kehittänyt AutoCadin kanssa integroidun Slot3D työkalun varaston tuotesijoittelun optimointiin. Työkalun avulla voidaan luoda optimoituja tuotesijoittelusuunnitelmia, analysoida suorituskykyä sekä varastolaitteiden hinta-hyötysuhdetta, suunnitella tilankäyttöä ja layoutia sekä tehdä vertailuja. Slot3D mahdollistaa erilaisten varastosuunnitelmien tarkastelun ja kvalifioinnin parhaan ratkaisun löytämiseksi. Sen avulla voi visualisoida, luoda 3D-malleja ja simuloida eri layout vaihtoehtoja sekä optimoida tuotesijoittelun varastotilan tehokkaan käytön maksimoimiseksi sekä keräilykustannusten minimoimiseksi. AutoSyncin avulla tarvittavat tiedot voidaan helposti siirtää Slot3D malliin suoraan yrityksen ERP- tai WMS-järjestelmästä. (ids Engineering 2016.)

## **StockOptim**

Ramentor on Tamperelainen asiantuntija- ja ohjelmistoyritys, joka on kehittänyt StockOptim ohjelmiston varaosavaraston mitoittamiseen ja kustannusten optimointiin. Tavoitteena on minimoida varastoinnin kustannukset ja samalla varmistaa, että kriittisten laitteiden kunnossapitovarmuus pysyy riittävällä tasolla varaosien suhteen. Ohjelmiston laskenta perustuu varaosavaraston toiminnan mallintamiseen, jonka avulla varastoinnin kustannukset pystytään määrittämään tarkasti ja monipuolisesti. StockOptimin tarjoaa lisäksi tehokkaan menetelmän kustannuksiltaan optimaalisimman varastointitavan löytämiseen. (Ramentor Oy.)

## **Tecnomatix Plant Simulation – Warehousing & Logistic Library**

Tecnomatix Plant Simulation on Siemensin simulointityökalu, joka käsittää erilaisia objektikirjastoja eri toimialoille ja yksi näistä on varasto- ja logistiikkakirjasto. Ohjelmisto mahdollistaa kaikenlaisten varasto-operaatioiden simuloinnin. Perustoimintojen, kuten varastohyllyjen, layoutin ja trukkien lisäksi on mahdollista simuloida myös keräilyä ja lisäarvopalveluita. Ohjelmisto lisää simuloinnin realistisuutta huomioimalla myös vaihtelevan kysynnän, toiminnan häiriöiden ja erilaisten keräilyaikojen vaikutukset. Kirjasto käsittää monipuolisen työkaluvalikoiman, joka mahdollistaa useiden erilaisten variaatioiden optimoinnin, testaamisen ja analysoinnin. Simuloinnissa voidaan käyttää hyväksi varastohallintajärjestelmän dataa. Ohjelmisto sopii sekä konseptuaaliseen että yksityiskohtaiseen varaston suunnitteluun, varasto-operaatioiden suunnitteluun ja optimointiin sekä varastoprosessien uudistamiseen. (Siemens Product Lifecycle Management Software.)

## **W2MO**

Logivations on kehittänyt W2MO-työkalun logististen prosessien mallintamiseen, simulointiin, optimointiin ja arviointiin. Työkalu soveltuu toimitusketjun suunnitteluun ja optimointiin, jossa se toimii integroituna Googlen karttapalvelun kanssa, varastojen ja tuotantotilojen layout-suunnitteluun, varastotoimintojen optimointiin, työvoiman tarpeen suunnitteluun, tuotannon logistiikan suunnitteluun ja toimintoperusteiseen kustannuslaskentaan. Varastotoimintojen optimoinnissa W2MO on erityisen yhteensopiva SAP-varastohallintajärjestelmän kanssa. Työkalu on saatavilla pilvipalveluna, joko

yleisessä tai yksityisessä pilvessä, tai tietokoneelle asennettuna. Logivations tarjoaa myös konsultointipalveluja ja koulutusta W2MO-työkalun käytössä. (Logivations.)

W2MO on melko uusi innovaatio ja se pyrkii olemaan uuden sukupolven logistiikan suunnittelutyökalu, joka kehittyy voimakkaasti asiakkaiden toiveiden mukaan. Sen käyttöönotto on pyritty tekemään mahdollisimman helpoksi ja hinnoittelu joustavaksi, niin että asiakas maksaa vain käyttötarpeen mukaan. Työkalu on Suomessa vielä varsin tuntematon, mutta on saavuttanut suosiota Euroopan saksankielisellä alueella. (Laine 2016.)

### **Warehouse-Planner**

Warehouse-Planner on Jochen Baumannin kehittämä ilmainen ohjelmisto systemaattiseen varaston suunnitteluun. Kyseessä on verkossa toimiva 3D-suunnittelutyökalu, jossa yleisimmät tarvittavat objektit, kuten trukit, lavakoot ja hyllyjen mitat ovat valmiina, mutta muokattavissa. (Baumann.)

### **Yale Warehouse Simulator**

Kuten Hyster, myös Yale on trukkien ja materiaalinkäsittelylaitteiden toimittaja, jolla on oma varastosimulaattori asiakkaan toimintojen optimointia varten. Yale simulaattorilla voidaan mallintaa varaston ruuhkia, optimoida tilankäyttöä, tunnistaa pullonkaulakohtat ja laskea tehokkaimmat keräilyreitit. Simulaattoria käytetään erityisesti asiakkaan trukkipalvelun tehokkuuden arviointiin ja sopivan trukkimäärän ja oikeiden trukkityyppien määrittämiseen. Ohjelmisto ei ole kaupallisessa myynnissä, vaan on yrityksen oma työkalu asiakkaidensa palvelemiseen. (Yale 2015.)

## **5.2 Muut varaston optimointiin ja suunnitteluun tarkoitetut ohjelmistot**

Varaston optimointiin ja suunnitteluun on muitakin kuin simulointiohjelmistoja ja tässä esitellään niistä kolme. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin WMS-järjestelmät, joita käytetään myös varaston optimointiin, mutta tässä tutkimuksessa niiden katsottiin olevan ensisijaisesti varaston operatiivisen toiminnan työkaluja. Opinnäytetyön on tarkoitus keskittyä ohjelmistoihin, joka on erityisesti kehitetty varaston suunnittelun ja optimoinnin työkaluiksi.

## **OPT Warehouse**

ACT Operations Researchin työkalu varaston prosessien optimointiin, OPT Warehouse, on erityisesti varastotoimintoihin kehitetty matemaattisen optimoinnin sovellus, joka on helppo yhdistää varastohallintajärjestelmään, jolloin se tehostaa WMS:n toimintaa. OPT Warehouse sisältää viisi moduulia, joista neljä voidaan kytkeä lisäksi Arena tai Simio simulointityökaluihin. OPT Heights -moduuli on ainoa, joka ei ole yhdistettävissä edellä mainittuihin simulointityökaluihin. Moduulin avulla on mahdollista optimoida varastohyllyjen määrä, korkeus ja leveys tehokkaimman mahdollisen tilankäytön aikaansaamiseksi. OPT Stock -moduuli optimoi tavaroiden sijoittelun varastossa samalla kun automatisoi varastointiprosessin ja hallinnoi varaston täyttöastetta ja OPT Display -moduuli optimoi tavaroiden sijoittelua ja luo parhaan strategian tavaroiden uudelleensijoittelulle. OPT Picking -moduuli optimoi keräilyprosessin ja OPT Cluster mahdollistaa tilausten ryhmittelyn eriksi esimerkiksi tuotantoprosessin tai määränpään mukaan. (ACT Operations Research 2013.)

## **SCM Best Practice**

SCM Best Practice on suomalaisen SCM Best Oy:n kehittämä ja ylläpitämä, täysin internetissä toimiva sovellus. Se voidaan liittää mihin tahansa tietojärjestelmään ja se hyödyntää toimintolaskennasta tuttuja menettelyjä. Sovellus on suomen- ja englanninkielinen ja koostuu viidestä moduulista. (SCM Best Oy 2013.) Facts & Figures -moduulissa tallennetaan yrityksen kustannusrakenne tuloslaskelmasta ja taseesta sekä kohdistetaan kustannukset tilaus-toimitusketjun prosesseihin. Muut moduulit käyttävät näitä tietoja hyväkseen. Material Management -moduulissa optimoidaan ostoerät siten, että varastossa on oikeat tuotteet oikean määräisinä oikeaan aikaan ja minimoidaan ostoprosessin kokonaiskustannukset. PriceWise -moduuli on oston hintaindeksityökalu, jolla ostohintojen kehittymistä voidaan seurata monesta eri näkökulmasta analysoituna. Business Analysis -moduulissa voidaan kohdistaa kiinteät kustannukset tuotteille, asiakkaille ja toimittajille. Sen avulla voidaan tunnistaa kannattava ja kannattamaton liiketoiminta ja selvittää strategiat, joilla myynnin kannattavuutta parannetaan. Customer Co-operations -moduuli on yrityksen asiakkaan työkalu, jolla se minimoi ostotoimintansa kustannukset. (Piipponen 2016.) Vaikka SCM Best Practice on pikemminkin toimitusketjun kuin varaston

optimointiin kehitetty sovellus, mutta koska sen avulla voidaan optimoida myös varastotasoja, se on haluttu ottaa mukaan tähän mukaan esimerkkinä suomalaisesta sovelluksesta.

### **Smartdraw warehouse layout & design**

Smartdraw warehouse on varaston suunnitteluun ja layoutin piirtämiseen kehitetty edullinen ohjelmisto, joka sisältää satoja valmiita malleja rakennuksen ulkorajoista valmiisiin varastosuunnitelmiin asti sekä kattavan symbolikirjaston. Layout on myös mahdollista piirtää itse alusta alkaen tyhjälle pohjalle. Ohjelmisto toimii paitsi PC:llä tai Macilla, myös tabletilla ja älypuhelimella. Smartdraw piirtää suunnitelman automaattisesti rakennuksen mittakaavaan, joten sen voi printata täydessä koossa rakennuspiirustukseksi. (SmartDraw 1994-2016.)

## **5.3 Ohjelmistojen käytettävyyden tarkastelua**

Kartoitetuista ohjelmistoista 13 luokiteltiin simulointiohjelmistoiksi. Näistä kaikki, paitsi varaosavarastospesifinen StockOptim soveltuvat mm. layoutin suunnitteluun ja erilaisten varastoratkaisujen vertailuun. Tyypillisiä käyttökohteita näiden lisäksi ovat materiaalivirtojen, resurssien ja kulkureittien suunnittelu. Muista kuin simulointiohjelmistoista layoutin suunnitteluun sopii Smartdraw warehouse layout & design. Useimmat työkalut luovat myös erilaisia raportteja ja analyyseja varaston toiminnoista. Tyypillinen varastoanalyysi on esimerkiksi abc-analyysi varastoitavista nimikkeistä. Vain Warehouse Planner ja Smartdraw warehouse layout & design ovat puhtaasti layoutin suunnittelutyökaluja. Toimitusketjun ja kuljetusten optimointiin varaston simuloinnin lisäksi soveltuvat AnyLogic, Simcad pro Warehouse ja W2MO. SCM Best Practice on puolestaan pikemmin toimitusketjun kuin varaston optimointiin soveltuva työkalu, vaikka sen toiminnallisuuksiin kuuluu myös varastotasojen optimointi.

Talukossa 1. on esitetty taulukon muodossa ohjelmistojen tärkeimmät käyttöalueet, lisenssikäytäntö niistä ohjelmistoista, joista tieto on saatavilla ja tieto ilmaisesta akateemisesta lisenssistä, jos sellainen on saatavilla. Ei-kaupalliset ohjelmistot Hyster Warehouse Simulator ja Yale Warehouse Simulator on jätetty vertailun ulkopuolelle.

Taulukko 1. Ohjelmistojen käyttökohteet ja lisenssikäytäntö

Ohjelmisto	Käyttökohteet	Maksu/lisenssi	Ilmaisiversion ilmainen akateeminen lisenssi
<b>AnyLogic</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varastoratkaisujen suunnittelu</li> <li>Resurssien suunnittelu</li> <li>Yksityiskohtainen varastotoimintojen simulointi</li> <li>Kuljetusten suunnittelu</li> <li>Trukkien tai kuljetusvälineiden ylläpidon hallinta</li> <li>Toimitusketjun suunnittelu</li> <li>Riskiarvioinnit</li> </ul>	Kertamaksullinen	Kyllä, rajoitettu
<b>Class</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Layoutin tehokkuuden arviointi</li> <li>Suorituskyvyn arviointi ja pullonkaulojen tunnistaminen</li> <li>Keräilymetodien vertailu</li> <li>Resurssien suunnittelu</li> <li>Palvelutason ja kustannusten määrittäminen</li> <li>Ajoneuvoliikenteen suunnittelu</li> </ul>	Kertamaksullinen	Ei
<b>C-WIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varaston layoutin ja kalusteiden suunnittelu</li> <li>Materiaalivirtojen hallinta (tuotesijoittelu, resurssit, keräily yms.)</li> <li>Tehokkuuden ja toiminnan seuranta</li> <li>Toiminnan analysointi (esim. kustannukset)</li> </ul>	Konsulttipalvelu, ohjelmisto saatavilla myös yrityksen omaan käyttöön maksamalla perustamismaksun + vuosittaisen lisenssimaksun.	Ei
<b>Enterprise Dynamics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resurssien suunnittelu</li> <li>Varastoratkaisujen suunnittelu</li> <li>Tehokkaimman keräilymetodin määrittäminen</li> <li>Suorituskyvyn tunnuslukujen arviointi</li> <li>Kustannusten arviointi</li> </ul>	Kerta- tai vuosimaksullinen	Opiskelijoille 120 päivää
<b>FlexSim</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiaalivirtojen hallinta</li> <li>Resurssien hallinta</li> <li>Varaston, tuotannon, toimitusketjun ja materiaalinkäsittelyn prosessin suunnittelu</li> <li>Layout-suunnittelu</li> </ul>	Kertamaksullinen	Rajoitettu ilmainen versio. Maksullinen akateeminen lisenssi sisältää myös oppimateriaalia



<b>Simcad pro Warehouse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Layout-analyysit ja pullonkaulojen tunnistaminen</li> <li>• Tehokas tuotesijoittelu</li> <li>• Varastoratkaisujen ja -laitteiden vertailu</li> <li>• Resurssien hallinta</li> <li>• Kuljetinratkaisujen vaikutusten vertailu</li> <li>• Kuljetusten suunnittelu</li> <li>• Proaktiivinen toiminnan suunnittelu</li> </ul>	Kertamaksullinen Advanced versiosta saatavilla myös vuosimaksullinen lisenssi	Ei
<b>Slot3D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuotesijoittelu</li> <li>• Työnkulun muutosten vaikutusten arviointi</li> <li>• Pullonkaulojen tunnistaminen</li> <li>• Varastoratkaisujen vertailu</li> <li>• Keräilyssä kuljetun matkan minimointi</li> <li>• Täydennysoptimointi</li> <li>• Kausivaihtelujen huomiointi tuotesijoittelussa</li> <li>• Varastolaitteiden oikean koon, tyyppin ja määrän arviointi</li> <li>• Layout-suunnittelu</li> <li>• Kapasiteettianalyysit</li> </ul>	Ei tiedossa	Ei tiedossa
<b>StockOptim</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varaosavarasto-spesifinen</li> <li>• Varastoinnin kokonaiskustannusten tunnistaminen</li> <li>• Varastointitavan optimointi</li> <li>• Kriittisten nimikkeiden varastosaatavuuden tunnistaminen</li> <li>• Toimittajavertailu</li> <li>• Varastoinnin ulkoistamisen hyötyjen arviointi</li> </ul>	Kertamaksullinen + kuukausivelotteen ylläpitomaksu.	Ei
<b>Tecnomatix Plant Simulation – Warehousing &amp; Logistic Library</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varaston sijoittelun ja layoutin suunnittelu</li> <li>• Layoutin optimointi</li> <li>• Varastoratkaisujen ja -laitteiden suunnittelu</li> <li>• Materiaalivirtojen suunnittelu</li> <li>• Varasto-operaatioiden optimointi</li> <li>• Varasto-operaatioiden muutosten suunnittelu</li> </ul>	Kertamaksullinen	Opiskelijoille ilmainen, rajoitettu  Oppilaitokselle maksullinen
<b>W2MO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toimitusketjun ja logistiikkaverkoston suunnittelu ja hallinta</li> <li>• Layout-suunnittelu</li> <li>• Toimintopohjainen kustannuslaskenta</li> <li>• Keräily- ja täydennysreittien optimointi</li> <li>• Tuotesijoittelun opti-</li> </ul>	Kuukausi-, vuositai kertamaksullinen. Erihintaisia paketteja koostettavissa toivottujen ominai-	Kyllä

	mointi <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pakkausyksiköiden suunnittelu ja optimointi</li> <li>• Henkilöstöresurssien suunnittelu</li> <li>• Tuotantologistiikan suunnittelu</li> </ul>	suuksien mukaan.	
<b>Warehouse-Planner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Layout-suunnittelu</li> <li>• Tilankäytön optimointi</li> </ul>	Maksuton Toimii verkossa	Kyllä
<b>OPT Warehouse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyllytilan optimointi</li> <li>• Tuotesijoittelu, myös tuotteiden ominaisuuksien mukaan</li> <li>• Keräilyreittien ja -aikataulujen optimointi</li> <li>• Tilausten ryhmittely (esim. määränpään tai mittojen mukaan)</li> <li>• Kausivaihteluiden hallinta</li> </ul>	Ei tiedossa	Ei tiedossa
<b>SCM Best Practice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kustannusanalyysit</li> <li>• Materiaalinojaus</li> <li>• Hintaindeksit</li> <li>• Saapuvien ja lähtevien prosessien asiakasyhteistyö</li> <li>• Toimitusketjun työmäärien ja kustannusten selvittäminen</li> </ul>	Perustamismaksu + kuukausittainen ylläpitomaksu	Ei tiedossa
<b>Smartdraw warehouse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakennuspiirustus</li> <li>• Layout-suunnittelu</li> </ul>	Kertamaksullinen	Tutustumisversio

Ohjelmistoja on sekä tietokoneelle ladattavia että verkossa toimivia ja lisensivaihtoehtoja on kertamaksulla ostettavista kuukausimaksullisiin. Ohjelmiston teknisestä tuesta ja ylläpidosta saattaa olla erillinen maksu. Ilmaisen akateemisen lisenssin oppilaitosten opetuskäyttöön tarjoavat ainakin AnyLogic ja W2MO. Warehouse Planner on maksuton verkossa toimiva ohjelmisto ja lisäksi monella ohjelmistolla on ilmainen tutustumisversio, jota voi käyttää rajoitetun ajan. Kaikkien ohjelmistojen lisenssikäytäntöä ei saatu tutkimuksessa selville. Ainoa ohjelmisto kartoitetuista, joka on suunniteltu tietyn varastotyyppin suunnitteluun ja optimointiin on varaosavarastospesifinen StockOptim.

## 6 TUTKIMUKSESSA KARTOITETUT PALVELUNTARJOAJAT

Tavoitteena oli löytää mahdollisimman kattavasti ne Suomessa toimivat yritykset, jotka tarjoavat varastointia harjoittaville yrityksille varaston suunnittelu- ja

optimointipalveluja käyttäen hyväkseen IT-työkaluja. Palveluntarjoajien kartointus toteutettiin verkkotutkimuksena hakukoneita ja Suomen Yritysrekisteriä hyväksi käyttäen ajalla 1.5.–30.9.2016. Lisäksi palveluntarjoajia etsittiin varastohankkeiden referenssitiedoista ja alan asiantuntijoilta kyselemällä.

Kartoitusta tehtäessä ei haluttu tehdä kovin tiukkaa rajausta sen suhteen minkä alan yrityksiä palveluntarjoajiksi luettiin, vaan mukaan pyrittiin ottamaan mahdollisimman laajasti kaikki yritykset, jotka tarjoavat jonkinlaista varaston suunnittelu- ja/tai optimointipalvelua ja katsoa millaisia palveluja tällä tavoin voidaan löytää. Kartoituksen aikana löytyneille yrityksille lähetettiin sähköpostilla tiedustelu, jossa kysyttiin tarkemmin heidän tarjoamistaan palveluista, käyttämistään IT-työkaluista ja lähtötiedoista, joita asiakasyritykseltä tarvitaan palvelujen tuottamiseen. Lisäksi tehtiin muutama syventävä lisähaastattelu puhelimitse tai henkilökohtaisesti teemahaastatteluna.

## 6.1 Palveluntarjoajat

Tutkimuksessa kartoitettiin, joko yrityksen toimialan tai kotisivujen perusteella, kaikkiaan 45 yritystä, joille kysely lähetettiin. Kahdeksan näistä kuului sisälogistiikan asiantuntijaketjuun Intologiin, joten jos ketju lasketaan yhdeksi toimijaksi, palveluntarjoajia kartoitettiin 38 kappaletta. Neljä yritystä vastasi yhteydenottoon, että heidän toimintansa jää opinnäytetyön rajauksen ulkopuolelle, eli jäljelle jäi 34 yritystä, joista mahdollisesti muutaman toiminta jää rajauksen ulkopuolelle, mutta ilman yrityksen vastausta heidän tarjoamistaan palveluista sen määrittelemineen on epävarmaa. Tästä syystä kaikki nämä yritykset on pidetty mukana listassa. Kartoitetuista palveluntarjoajista 10 yritystä eli noin 30 %, vastasi kyselyyn. Lisäksi tehtiin kolme teemahaastattelua yrityksiin, joilla oli toisistaan poikkeavaa palvelutarjontaa. Nämä olivat simulointipalveluja tarjoava Jetecon Oy, logistiikan suunnittelupaja EP Logistics sekä palvelutason optimointiin erikoistunut Optilon. Kyselyyn vastaamatta jättäneiden toimijoiden palvelutarjontaan tutustuttiin yritysten verkkosivuilla.

Varaston suunnittelu- ja optimointipalveluja tarjoavat toimijat voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään, joita ovat asiantuntijapalveluyritykset, IT-työkalujen kehittäjät ja varastoratkaisujen toimittajat. Lisäksi tämän jaon ulkopuolelle jää joitakin satunnaisia toimijoita, kuten päätoimenaan logistiikan kou-

lutusta tarjoava Logisteam Oy, joka tarjoaa koulutuksen ohella myös varaston suunnittelupalveluja. Logistiikkapalveluyritykset tekevät myös varaston suunnittelua ja optimointia, mutta tähän kategoriaan kuuluvilta yrityksiltä ei saatu ainoatakaan vastausta opinnäytetyötä varten. Näin ollen tutkimuksessa jäi selvittämättä tarjoavatko ne varaston suunnittelua palveluna yrityksille, vai liittyykö se vain varastotoimintojen ulkoistamisprojekteihin, joissa logistiikkapalveluyritys ottaa asiakkaan varastotoiminnot hoidettavakseen. Taulukossa 2. on esitetty tutkimuksessa kartoitetut palveluntarjoajat luokiteltuna edellä mainitun karkean jaottelun mukaan.

Taulukko 2. Palveluntarjoajat

<b>Asiantuntijapalveluyritykset</b>	<b>Yrityksen toimiala</b>
ArtSiCon Ky, Laihia	Projekti-, suunnittelu-, tietotekniikka- ja simulointipalveluja sekä -ohjelmistoja
CWIS-Logistics Oy, Lohja	Logistiikan konsultointipalveluja
Delfoi Oy, Espoo, Tampere, Seinäjoki	Suunnitteluratkaisuja ja palveluita teollisuudelle sekä palvelu- ja terveydenhuoltoalalle
EP-Logistics Oy, Helsinki	Logistiikan suunnittelu- ja konsultointipalveluja
Fimatic Oy, Vantaa	Logistiikka- sekä tuotanto-organisaatioiden järjestelmätoimitusten suunnittelua ja toteutusta
HUB Logistics, useita paikkakuntia	Asiantuntijapalveluita, logistiikkaratkaisuja, pakkauksia ja pakkauspalveluja
Jetecon Oy, Joensuu	Asiantuntijapalveluja, erikoistunut 3D simulointitekniikkaan ja tuotannon kehittämiseen
Kustannusosakeyhtiö Koivuniemi, Espoo	Konsultointia, koulutusta ja viestintäpalveluja
Lakome Oy, Jyväskylä	Konsultointipalvelua sekä kone- ja laitesuunnittelua
Logisteam Oy, Turenki	Logistiikka-alan koulutusta ja palveluja
Maniqso Oy, Helsinki	Logistiikka ja IT-alan konsultointia
Medeor Oy, Jyväskylä	Asiantuntijapalveluja, erikoistunut teollisuusyritysten tuottavuuden parantami-

	seen
Optilon, Turku	Toimitusketjun optimointia ja hallintaa
Paranne, Seinäjoki	Asiantuntijapalveluja, erikoistunut teollisten pk-yritysten tuottavuuden parantamiseen prosesseja kehittämällä
Ramboll Finland Oy, useita paikkakuntia	Suunnittelu- ja konsultointipalveluja
SimAnalytics Oy Helsinki	Konsultointipalveluja
Smartlogis, Tampere	SCM Best Practice konsultointia ja koulutuspalveluja
SW-Development Oy, Tampere	Asiantuntijapalveluja, erikoistunut toimitusketjun tehokkuuden parantamiseen
Tehos Oy, Kauhava	Asiantuntijapalveluja, erikoistunut tuotannon ja logistiikan tehostamiseen sekä projektien johtamiseen
Transval Group, Tuusula	Varasto-, henkilöstö- ja konsultointipalveluja
<b>IT-työkalujen kehittäjät</b>	<b>Yrityksen toimiala</b>
Epicor Software Corporation, Vantaa	Toimialakohtaisia liiketoimintaohjelmistoja, konsultointipalvelua
Logisticar Oy, Vantaa	Toimitusketjun hallinnan tehostamista, koulutusta ja ohjelmistoratkaisuja
Metsys Oy, Jyväskylä	Teollisuuden tieto- ja ohjausjärjestelmiä
Ramentor Oy, Tampere	Ohjelmistoja ja asiantuntijapalveluja
Relex Oy, Helsinki	Toimitusketjun suunnittelun ja optimoinnin ratkaisuja
Roima Intelligence Inc, Espoo, Seinäjoki, Tampere, Turku, Pori	Ohjelmistojen suunnittelua ja valmistusta
SCM Best Oy, Helsinki	Hallinnoi ja kehittää SCM Best Practice web-työkalua
<b>Varastoratkaisujen toimittajat</b>	<b>Yrityksen toimiala</b>
Algol Technics Oy, useita paikkakuntia	Teollisuuden tuoteratkaisuja, järjestelmätoimituksia ja käyttövarmuuspalveluja
Constructor Finland Oy, Lohja	Varastoratkaisujen sekä arkisto- ja toimistoratkaisujen toimittaja
Intolog ketju, useita paikkakuntia	Sisälogistiikan asiantuntijaketju
Kardex Finland Oy, Jyväskylä	Automatisoitujen varasto- ja varausjärjestelmien valmistusta
Logicor Oy, useita paikkakuntia	Logistiikka- ja tuotantokiinteistöjen vuok-

	rausta
SSI Scäfer Finland, Vantaa	Logistiikan ja varastoinnin komponentteja ja kokonaisratkaisuja
Storeroom Finland Oy, Lohja	Sisälogistiikkaratkaisujen asennus-, korjaus- ja purkutyöt

Asiantuntijapalveluyritykset tarjoavat tyypillisesti varsin kattavasti erilaisia varaston suunnittelu- ja optimointipalveluja asiakkaan tarpeen mukaan. Ohjelmistot voivat olla käytössä suuremmassa tai pienemmässä roolissa yrityksen oman erityisosaamisen mukaan. Jos yrityksellä ei ole esimerkiksi simulointiin tarvittavaa ammattitaitoa, on tavallista että palvelu ostetaan simulointipalvelujen tarjoajalta, jolloin projektissa on mukana kolme osapuolta eli asiakas, konsultti ja simulointipalvelun tarjoaja. Mahdollisesti mukana on neljäntenä vielä varastoratkaisun tai -laitteiston tarjoaja. Tässä tutkimuksessa kartoitetuista asiantuntijapalveluita tarjoavista yrityksistä vain kolme on erikoistunut tarjoamaan sisälogistiikan suunnittelu- ja optimointipalveluja IT-työkaluja hyväksien käyttäen, nämä ovat CWIS-Logistics Oy, EP-Logistics Oy sekä Fimatic Oy.

IT-työkalujen kehittäjät luovat ja ylläpitävät varaston suunnitteluun ja optimointiin soveltuvia ohjelmistoratkaisuja tai web-työkaluja. Työkalu tai sen käyttöoikeus voi olla asiakkaan ostettavissa omaan käyttöön, se voi olla osa yrityksen tarjoamaa konsulttipalvelua tai sekä että. Useat IT-työkalujen kehittäjät tarjoavat asiakkailleen projekteja, joissa asiakkaan varastotoimintoja suunnitellaan tai kehitetään työkalun avulla ja asiakas saa raportit ja muut tulokset projektin jälkeen käyttöönsä. IT-työkalujen kehittäjät tavallisesti tarjoavat asiakkailleen myös koulutusta työkalun käyttöön.

Varastoratkaisujen toimittajien tarjoamat varaston suunnittelu- ja optimointipalvelut liittyvät kiinteästi asiakkaan laiteinvestointeihin, kuten trukkien tai hyllyjärjestelmien hankintaan. Toimittajat tutustuvat asiakasyrityksen tiloihin, prosesseihin ja tarpeisiin, joiden pohjalta valitaan sopivimmat ratkaisut. Toimittajat saattavat tarjota lisäarvopalveluna esimerkiksi simulointia, jonka avulla voidaan vertailla eri ratkaisujen toimivuutta asiakasyrityksen prosesseissa. Toimittajien käyttämät simulointityökalut ovat tavallisesti varastospesifisiä ohjelmistoja ja saattavat olla toimittajan itsensä kehittämiä tai yksinoikeudella omistamia.

## 6.2 Palveluntarjoajien IT-työkalujen käyttö ja tarvittava master data

Tutkimuksessa selvisi, että Suomessa on tarjolla laaja valikoima IT-työkaluilla toteutettavia varaston suunnittelu ja optimointipalveluja alkaen varaston fyysisten ratkaisujen vertailusta ja layoutin suunnittelusta materiaalivirtojen hallintaan ja varaston palvelutason optimointiin sekä varaston toiminnan analysointiin. Vaikka palveluntarjoajien joukko ei ole määrällisesti suuri, vankkaa ammattitaitoa löytyy niin simuloinnin kuin varastologiikan kehittämisen alueella.

Käytössä olevat IT-työkalut ovat pääasiassa simulointiohjelmistoja, analyysiohjelmistoja ja toimintolaskentaa tai matemaattisia algoritmeja hyväksi käytäviä optimointiohjelmistoja. Riippumattomat konsulttitoimistot ja simulointipalvelujen tarjoajat suosivat yleiskäyttöisiä simulointiohjelmistoja ja rakentavat simulointimallit alusta lähtien itse. Tällöin tiedossa on täsmälleen, mitä malli mittaa ja mitä parametreja siihen on käytetty, joten tulosten tulkitseminen luotettavasti on helpompaa kuin valmiita asetuksia käyttävillä varastospesifisillä simulointiohjelmoilla. Toisaalta varaston simulointimallin rakentaminen vaatii ammattitaitoa, jota harvoilta yrityksiltä löytyy. Tämän vuoksi yritykset, joiden erikoisosaaminen on pikemmin varastotoimintojen kehittämisessä, käyttävät varastospesifisiä simulointiohjelmistoja, joilla saadaan yleensä riittävän hyvin suuntaa antava tulos. Simulointiohjelmistoja valitessaan palveluntarjoajat kiinnittävät huomiota esimerkiksi siihen, miten hyvin ohjelmisto skaalautuu, kuinka se toimii projektiympäristössä, ohjelmistolle saatavilla olevaan tukeen ja siihen, mihin suuntaan ohjelmistoa ollaan jatkossa kehittämässä.

Analyysi- ja optimointiohjelmistoja käyttäviä palveluntarjoajia ovat mm SCM Best konsultit, jotka hyödyntävät toimitusketjun optimointiin kehitettyä SCM Best Practice web-työkalua sekä toimitusketjun ja varaston palvelutason optimointiin erikoistunut Optilon, joka käyttää palveluissaan tarkasti arvioimiaan toimitusketjusovelluksia. Optilon ei kehitä itse työkalujaan, eikä ole sitoutunut tietyn ohjelmistontarjoajan sovelluksiin. Vaikuttaisi siis, että varaston toimintojen suunnittelussa suositaan visuaalisuutta tarjoavia ohjelmistoja ja toimitusketjun optimoinnissa numeerista dataa.

Jotta IT-työkaluilla saadaan luotettavia tuloksia yrityksen prosesseista tai liiketoiminnasta, tarvitaan yrityksen master dataa eli liiketoimintakriittistä perustietoa, jota käytetään analyysien tai simulointiajojen lähtötietoina. Yksi opinnäytetyön tavoite oli selvittää, millaista dataa varaston suunnittelussa ja optimoin-

nissa tarvitaan sekä miten sitä kerätään. Tätä kysyttiin palveluntarjoajilta ja vastausten perusteella dataa on varsin hyvin saatavilla. Tarvittavat tiedot kerätään tyypillisesti asiakasyrityksen olemassa olevista tietojärjestelmistä tai arkistoista. Mikäli data ei ole valmiiksi digitaalisessa muodossa, vaan paperilla yrityksen arkistoon varastoituna, haasteena on tiedon muuntaminen digitaaliseen muotoon. Tämä tapahtuu manuaalisesti rivi kerrallaan kirjaamalla ja voi olla varsin työlästä.

Haastavaa master datan keräämisessä on myös relevantin tiedon tunnistaminen. Yrityksillä on yleensä hyvin kattavasti varastoituna liiketoimintatietojaan, mutta voi olla vaikeaa määrittää, mitkä tiedot ovat sellaisia, jotka vaikuttavat niihin prosesseihin, joita halutaan kehittää. Usein varastotoimintoja suunniteltaessa lähdetään liikkeelle joillakin alkutiedoilla, joita sitten tarkennetaan projektin edetessä. Mitä paremmin on onnistuttu jo heti projektin alkuvaiheessa tunnistamaan siinä tarvittava relevantti data, sitä nopeammin ja helpommin saadaan luotettavia tuloksia. Master datan lähteitä voivat yrityksen tietojärjestelmien ja arkistojen ohella olla työntutkimukset, kentällä tehtävät mittaukset, CAD kuvat, prosessikuvaukset, yrityksen tuloslaskelmat ja tase sekä yrityksen prosessien toiminnan havainnointi.

Tarvittavat lähtötiedot riippuvat käytössä olevasta ohjelmistosta ja tavoitteista, joihin halutaan päästä. Tarpeellisia tuotetietoja voivat olla esimerkiksi varastonimikkeen tunniste, luokitus, laatikkokoko, lavakoko, hälytysrajat, toimitusajat ja tilausmäärät. Varaston tapahtumatiedoista saatetaan tarvita nimikkeen tunniste, määrä, onko varastotapahtuma tuleva vai lähtevä, keräys-, vastaanotto- ja lähetysrivimäärät, keräilyn priorisointiperiaatteet, varastonohjausperiaatteet, työmääräimien tulostumis- ja/tai tuotantoon toimittamisen ajankohta, asiakastilausten saapumisajankohta, tuoterakenteet vaiheakoineen, käytössä olleet resurssit häiriötietoineen ja laitteiston, kuten trukkien, kuljettimien tai varastoautomaation perusattribuutit. Yksityiskohtaisten tietojen sijaan voidaan käyttää myös massatietoja, kuten että ulos lähtee 50 tilausta, joissa 200 tilausriviä ja sisään tulee 30 toimitusta jne. Uutta suunniteltaessa lähtötiedot määritellään asiakkaan tavoitteiden ja järjestelmästä vastaavan kanssa sekä hyödynnetään alan visioita. Liiketoiminnan kehittämisen analyysihin tarvittavaa dataa ovat toiminnanohjausjärjestelmästä saatavat tuote-, asiakas- ja toimittajarekisterit sekä osto-, myynti- ja varastotapahtumat. Yrityksen tuloslaskelmat ja taseesta saadaan henkilö- ja tapahtumamäärät, henkilö-, tila- ja kalusto-



kulut prosesseihin kohdistettuina, ostetut palvelut (kuljetus, varastointi jne.) ja vaihto-omaisuus.

## 7 TUTKIMUKSEN LUOTETTAVUUSTARKASTELU JA TAVOITTEIDEN SAAVUTTAMINEN

Tärkeimmät palveluntarjoajat onnistuttiin tutkimuksessa listaamaan, mutta kartoituksessa on epäilemättä jäänyt löytämättä pieniä, 1–2 hengen, konsulttitoimistoja, joilla ei ole kotisivuja tai joiden kotisivuilla ei ole mainittu varaston suunnittelu- tai optimointipalveluja. Monella konsulttitoimistolla saattaa olla tähän tarvittavaa asiantuntemusta, mutta palvelutarjonta selviää vasta yhteydenotolla ja määräytyy asiakasyrityksen tarpeen mukaan. Samoin monella IT-palveluyrityksellä, kuten simulointipalvelujen tuottajilla, on epäilemättä tarvittavaa osaamista myös varaston suunnittelu- tai optimointipalvelujen tarjoamiseen, vaikka eivät näitä erikseen mainosta. Opinnäytetyössä ei todennäköisesti siis ole kartoitettu kaikkia mahdollisia palveluntarjoajia, mutta on päästy tavoitteeseen, joka oli kartoittaa tärkeimmät IT-työkaluja käyttävät varaston suunnittelua ja optimointia yrityksille tarjoavat tahot. Yritysten vastaushaluttomuudesta johtuen listaan saattoi jäädä palveluntarjoajia, joiden toiminta kuuluu opinnäytetyön rajauksen ulkopuolelle, mutta koska tutkimuksessa haluttiin kartoittaa mahdollisimman kattavasti saatavilla olevat palvelut, niitä ei jätetty pois listauksesta. Opinnäytetyössä onnistuttiin luomaan käyttökelpoinen kooste palveluntarjoajista, jolla yritys voi lähteä kartoittamaan palvelutarjontaa.

Tuloksia saatavilla olevasta palveluntarjonnasta ja IT-työkalujen käytöstä varaston suunnittelussa ja optimoinnissa rajoittaa tutkimuksessa mukana ollut palveluntarjoajien pieni määrä ja haluttomuus vastata opinnäytetyön kyselyyn. Toisaalta muutamat vastanneet yritykset olivat erittäin avuliaita, joten tuloksia saatiin, vaikka niiden yleisluonteisuus jää epävarmaksi pienen otannan vuoksi. Suunnittelupalvelut myös tapaavat mukautua asiakkaan tarpeisiin, joten yksiselitteistä listaa saatavilla olevista palveluista ei ole mahdollista rakentaa. Tutkimuksessa saatiin esille joitakin hyviä esimerkkejä kuinka IT-työkaluja voidaan hyödyntää varaston suunnittelussa ja optimoinnissa sekä varsin hyvin tietoa tarvittavasta master datasta ja sen lähteistä. Näin nämäkin tavoitteet tulivat saavuttua.

Varastospesifisistä simulointiohjelmistoista on onnistuttu listaamaan yleisimmin käytössä olevat, joten tutkimus onnistui vastaamaan kysymykseen millaisia ohjelmistoja suomalaisilla yrityksillä on tällä hetkellä saatavilla varastolayoutin suunnitteluun ja varaston optimointiin. Kaikkien ohjelmistojen nykyistä saatavuutta ei kuitenkaan onnistuttu varmentamaan. Kartoitetuista ohjelmistoista kahdella on ilmainen akateeminen lisenssi oppilaitosten käyttöön ohjelmiston kouluttamisesta. Kahden ohjelmiston edustajalle järjestettiin tilaisuus esitellä ohjelmistoa ja sen toimintoja KyAMK:n edustajalle, jotta ohjelmistojen kouluttamisen tarvetta, hyötyjä ja mahdollisuuksia päästiin arvioimaan paremmin. Tutkimus painottui enemmän simulointiohjelmistoihin, joten analyysi- ja optimointiohjelmistojen lista jäi ehkä vajaaksi tai sitten varastospesifisiä analyysi- ja optimointiohjelmistoja ei ole kehitetty. Tämä saattaa johtua siitä, että varastotason optimointi ja varastoanalyysit tehdään tavallisesti toiminnanohjaus- ja varastohallintajärjestelmillä, jotka rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Ohjelmistojen luokittelun tekivät hankalaksi ohjelmistojen kehittäjien haluttomuus vastata opinnäytetyön tekijän kyselyihin ja tutkijan vähäinen kokemus IT-työkaluista. Tiedot on kerätty pääosin verkkosivuilta ja ohjelmistojen esitteistä, joten esimerkiksi lisenssitietoja ei saatu kaikista selville. Myös ohjelmistojen käyttökohteet perustuvat ohjelmiston myyjän kuvaukseen, sillä tutkimukseen ei saatu mukaan yritysten käyttökokemuksia. Tämän vuoksi oli vaikeaa arvioida työkalun todellista soveltuvuutta käyttökohteeseen. Myyjien tavoite on myydä tuotettaan, joten ohjelmistojen ominaisuuksien esittelyssä ei välttämättä tuoda kaikkia niiden rajoitteita esille. Yritysten käyttökokemukset olisivat valaisseet tätä näkökulmaa ohjelmiston tarjoajien ohjelmistoesittelyjä paremmin. Tässä olisi mahdollinen jatkotutkimuksen paikka. Olisi myös mielenkiintoista kokeilla tutkimuksessa kartoitettuja ohjelmistoja sekä niiden toimintoja ja testata, kuinka yhteneviä tuloksia ohjelmistot antavat samoilla lähtötiedoilla. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista opinnäytetyön puitteissa.

Tutkimussuunnitelmaan sisältynyt varastointia harjoittavien yritysten kiinnostuksen ja kokemusten selvittäminen liittyen IT-työkalujen käyttöön varaston suunnittelussa ja optimoinnissa osana Digitaidot varastotyössä -hankkeen kyselytutkimusta yrityksille jätettiin pois opinnäytetyöstä kyselyn laihojen tulosten johdosta. Samalla tutkimuksen kvantitatiivinen osio jäi puuttumaan ja tutkimusmetodiksi muodostui triangulaation sijasta laadullinen tutkimus, joka toteu-

tettiin verkkotutkimuksena ja teemahaastatteluilla. Varastointia harjoittavien yritysten näkökulman puuttuminen saatavilla olevien palvelujen ja ohjelmistojen hyödyllisyydestä vaikutti siten, ettei kaikkia opinnäytetyön tavoitteita saavutettu, mutta tutkimusmenetelmän tarkentuminen puhtaasti laadulliseksi tutkimukseksi tuskin vaikuttaa merkittävästi saatujen tulosten luotettavuuteen.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Simulointipalvelujen avulla voidaan tutkia ja kokeilla erilaisia skenaarioita varastoratkaisujen suhteen, joten niiden käyttö on suositeltavaa suurten investointien yhteydessä, kun haetaan tarjousten joukosta parasta ratkaisua. Suomessa toimivilta palveluntarjoajilta on saatavilla riippumatonta varastoratkaisujen vertailua simuloimalla eri vaihtoehtoja samoilla parametreilla, jolloin simuloinnin tulokset ovat suoraan vertailukelpoisia keskenään. Jos simuloinnin toteuttavat keskenään kilpailevat laitetoimittajat, on varsin todennäköistä, että käytössä on hiukan toisistaan poikkeavat parametrit, eikä simulointiajojen vertailutulos ole täysin luotettava. Varastoratkaisujen toimittajien lisäarvopalveluna tarjoamat simulointiajot voivat kuitenkin olla varsin hyödyllisiä, kun vertaillaan saman toimittajan eri vaihtoehtoja. Ne myös auttavat visualisoimaan miten uudistettu prosessi varastossa toimii.

Simulointipalvelut ovat melko kalliita. Niiden hinta lähtee karkeasti arvioiden viidestä tuhannesta eurosta eikä ylärajaa käytännössä ole. Simuloinnin uutuudenviehätys on jo laantunut, joten simulointia ei enää käytetä varaston suunnittelussa pelkästään simuloinnin vuoksi. Tavallinen layout-suunnittelu onnistuu edelleen varsin hyvin perinteisillä menetelmillä Excelillä ja AutoCadilla. Tämän hetken trendi on, että simulointia käyttävät suuret yritykset isoissa investoinneissa, tyypillisesti varastoautomaatiota käyttöön otettaessa, ja simulointimallinnukset ovat entistä laajempia sekä monimutkaisempia. Tämä asettaa odotuksia sekä simulointiohjelmistojen kehitykselle että simulointipalvelujen tarjoajien ammattitaidolle. Simulointipalvelujen asema varaston suunnittelussa vaikuttaa säilyttävän siis asemansa, kunhan pystyy mukautumaan ja vastaamaan entistä suurempien projektien haasteisiin.

Uudet varaston suunnittelun IT-työkalut, kuten W2MO, pyrkivät kuitenkin valtaamaan sijaa varastointia harjoittavan yrityksen omana suunnitteluvälineenä

tekemällä työkalun käytön entistä nopeammaksi ja helpommaksi. Vaikka varastospesifiset simulointiohjelmistot tarjoavat mahdollisuuden simuloida varastotoimintoja ilman ohjelmointitaitoja, vaatii niidenkin käyttö ammattitaitoa ja tarkkaa parametrintia. Koska harvalla suomalaisella varastointia harjoittavalla yrityksellä on niin laajaa varastojen verkostoa, että uuden varaston tai varaston uudelleen suunnittelulle olisi jatkuvaa tarvetta, ei varastospesifinen simulointiohjelmisto ole välttämättä niille kannattava hankinta. Parhaiten tällaiset ohjelmistot sopivat Suomen mittakaavassa varaston suunnittelupalveluita tarjoavien konsulttitoimistojen käyttöön tai logistiikkapalveluyritykselle, jolla on useita asiakkaan varastotoimintojen kehittämisprojekteja vuodessa. Tällöin ohjelmiston hankintaan, ylläpitoon ja sen käyttöön vaadittavan ammattitaidon kehittämiseen käytetyt investoinnit tuottavat yritykselle riittävästi hyötyä, jotta ne kannattavat. Sen sijaan esimerkiksi palvelutason optimointia varastointia harjoittavat yritykset joutuvat miettimään jatkuvasti, joten tähän soveltuvat analyysi- ja optimointityökalut voivat olla yrityksen prosesseista riippuen kannattava hankinta.

Vain harvat varaston suunnittelun ja optimoinnin IT-työkalut on suunniteltu tietyille varastotyyppille. Tämä on yksi piirre, joka edellyttää osaamista ohjelmistojen käyttäjiltä ja vaikuttaa lähtötietojen valintaan, jotta tulokset saadaan soveltuviksi juuri sille varastotyyppille, joka on suunnittelun kohteena. Kuten teoriaosuudessa todettiin, syitä varastojen pitämiseen on useita ja jokaisella varastotyyppillä on omat erityispiirteensä, jotka pitää ottaa suunnittelussa huomioon. Tässä tutkimuksessa löydettiin vain yksi tietyille varastotyyppille suunniteltu ohjelmisto, joka on varaosavaraston mitoittamiseen ja kustannusten optimointiin tarkoitettu – StockOptim.

Varastointi aiheuttaa aina yritykselle kustannuksia, joten varaston tilankäytön, toimintojen ja palvelutason optimointi voi tuottaa yritykselle merkittäviä kustannussäästöjä melko pienillä investoinneilla. IT-työkalujen avulla pystytään luomaan monimutkaisista varastotoiminnoista simulointimalleja, joiden avulla niiden optimointi on helpompaa ja tehokkaampaa kuin perinteisiä menetelmiä käyttäen. Ne auttavat myös arvioimaan suurten varastolaitteinvestointien hyötyjä ennen investointipäätöksen tekemistä. Simulointiohjelmistojen etuna on ennen kaikkea visuaalisuus, joka voi havainnollistaa saavutettavat hyödyt joissakin tapauksissa paremmin kuin matemaattiset analyysit. IT-työkalujen tuottamat raportit, esimerkiksi varaston potentiaalisesta suorituskyvystä, voivat

herätellä varastointia harjoittavia yrityksiä huomaamaan, kuinka paljon hyötyä ne voisivat varaston hyvällä suunnittelulla saavuttaa. Varaston suunnitteluun ja optimointiin tarkoitetuilla IT-työkaluilla on edelleen omat rajoitteensa, mutta osaavissa käsissä ne voivat auttaa yritystä saavuttamaan merkittävää liike-toimintaetua.

## LÄHTEET

- ACT Operations Research. 2013. OPT Warehouse – Warehouse process optimization. Saatavissa: [http://www.act-operationsresearch.com/Products/OPT\\_Warehouse.html#](http://www.act-operationsresearch.com/Products/OPT_Warehouse.html#) [viitattu 14.8.2016].
- AnyLogic. s.a. Warehouse operations and layout optimization. Saatavissa: <http://www.anylogic.com/consulting/warehouse-operations-and-layout-optimization> [viitattu 19.7.2016].
- Baumann, J. s.a. Systematic Online Warehouse Planning. Saatavissa: <http://www.warehouse-planner.com/> [viitattu 9.8.2016].
- Cirrus Logistics. 2014. Products Class. Saatavissa: <http://cirruslogistics.com/products/class/> [viitattu 17.7.2016].
- Create a Soft. s.a. Warehouse simulation software overview. Saatavissa: <http://www.createasoft.com/warehouse-simulation#Why> [viitattu 8.8.2016].
- Eskelinen, H. 2014. Tutkimusmetodiikan perusteet. Tampere: Amk-kustannusTammertekniikka.
- FlexSim Software Products, Inc. 2014. FlexSim problem solved. Risk-free decision support for the rapidly changing manufacturing environment. Saatavissa: <https://www.flexsim.com/wp-content/uploads/2014/06/FlexSimBrochure.pdf> [viitattu 18.7.2016]
- Hokkanen, S. & Karhunen, J. 2014. Johdatus logistiseen ajatteluun. Kangasniemi: Sho Business Development.
- Hokkanen, S. & Virtanen, S. 2013. Varastonhoitajan käsikirja. Kangasniemi: Sho Business Development.
- Hyster. 2015. Warehouse simulator. Visualise improvement. Calculate efficiencies. Saatavissa: <http://www.hyster.com/emea/en-gb/solutions/materials-handling-solutions/warehouse-simulator/> [viitattu 18.7.2016]
- ids Engineering. 2016. Slot3D Warehouse Slotting Software. Saatavilla: <http://www.slot3d.com/index.html> [viitattu 26.8.2016].
- Ilmarinen, V. & Koskela, K. 2015. Digitalisaatio: Yritysjohdon käsikirja [e-kirja]. Helsinki: Talentum.
- Incontrol Simulation Solutions. 2016. Enterprise Dynamics Introduction. Saatavissa: <http://www.incontrolsim.com/en/enterprise-dynamics/enterprise-dynamics-overview.html> [viitattu 17.7.2016].
- Kananen, J. 2014. Laadullinen tutkimus opinnäytetyönä: Miten kirjoitan kvalitatiivisen opinnäytetyön vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Karhunen, J., Pouri, R. & Santala, J. 2004. Kuljetukset ja varastointi: Järjestelmät, kalusto ja toimintaperiaatteet. Helsinki: Suomen Logistiikkayhdistys.
- Kasten. s.a. C-WIS-ohjelmat. Saatavissa: <http://www.kasten.fi/Tuotteet/Analysointi--simulointityokalu/C-WIS-ohjelmat/> [viitattu 17.7.2016]

Kiiski Kataja, E. 2016. Megatrendit 2016. Tulevaisuus tapahtuu nyt. Sitra. Saatavissa: [https://www.sitra.fi/julkaisut/Muut/Megatrendit\\_2016.pdf](https://www.sitra.fi/julkaisut/Muut/Megatrendit_2016.pdf) [viitattu 19.5.2016].

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. 2014a. Mikä on NELI? Saatavissa: <http://www.kyamk.fi/Ty%C3%B6el%C3%A4m%C3%A4lle/Projektit/NELI/> [viitattu 7.5.2016].

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. 2014b. NELI:n tavoitteet vuosille 2014 – 2017. Saatavissa: <http://www.kyamk.fi/Ty%C3%B6el%C3%A4m%C3%A4lle/Projektit/NELI/Tavoitteet/> [viitattu 21.6.2016].

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. 2016. Digitaidot varastotyössä. Saatavissa: <http://www.kyamk.fi/Ty%C3%B6el%C3%A4m%C3%A4lle/Projektit/NELI/Hankkeet/Digitaidot%20varastoty%C3%B6ss%C3%A4/> [viitattu 7.5.2016].

Laine, J. Toimitusjohtaja. Haastattelu 31.8.2016. Salo: Halicats Oy.

Law, A. A. & Kelton, W. D. 2000. Simulation modeling and analysis (3rd ed.). New York: MacGraw-Hill.

Lehti, M., Rouvinen, P., Ylä-Anttila, P. 2012. Suuri hämmennys: Työ ja tuotanto digitaalisessa murroksessa. Helsinki: Taloustieto Oy (ETLA B254).

Logivations. s.a. W2MO: Modeling, 3D Simulation, Optimization and Evaluation of logistics processes. Saatavissa: [http://www.logivations.com/en/pdf/landingpagedownload0815/Company\\_Presentation.pdf](http://www.logivations.com/en/pdf/landingpagedownload0815/Company_Presentation.pdf) [viitattu 9.8.2016.9].

Motorola 2013. From Cost Center to Growth Center: Warehousing 2018. Saatavissa: [http://www.mmh.com/wp\\_content/scc\\_motorola\\_wp\\_warehousevision\\_032514.pdf](http://www.mmh.com/wp_content/scc_motorola_wp_warehousevision_032514.pdf) [viitattu: 22.5.2016].

Parthasarthy, S. 2007. Enterprise Resource Planning : A Managerial and Technical Perspective. [e-kirja] New Age International, Daryaganj, Delhi, IND.

Piipponen, V. Sähköpostitiedoksianto 31.8.2016. Helsinki: SCM Best Oy.

Ramentor Oy. s.a. StockOptim - Varaosavaraston mitoittaminen ja kustannusten optimointi. Saatavissa: <http://www.ramentor.com/etusivu/tuotteet/stockoptim/> [viitattu: 2.10.2016].

Reinikainen, P., Mäntynen, J., & Rantala, J. 1997. Logistiikan perusteet. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Liikenne- ja kuljetustekniikka.

Richards, G. 2014. Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse (Second edition.). Kogan Page Ltd.

Ritvanen, V., Inkiläinen, A., Bell, A. v., Santala, J. & Relander, S. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Helsinki: Suomen huolintaliikkeiden liitto: Suomen Osto- ja Logistiikkayhdistys LOGY.

Sakki, J. 2014. Tilaus- toimitusketjun hallinta: Digitalisoitumisen haasteet. Vantaa: Jouni Sakki

Salminen, J. Sähköpostitiedoksianto 12.8.2016. Lohja: CWIS-Logistics Oy.

SCM Best Oy. 2013. Tilaus-toimitusketjujen menetelmien kehittämistä - tuloksellisesti. Saatavissa: <http://www.scmbestpractice.com/fi/Tuotteet/> [viitattu 2.10.2016].

Siemens Product Lifecycle Management Software. s.a. Plant Simulation – Warehousing & Logistics Library. Saatavissa: <https://www.cardsplmsolutions.nl/en/plm-software/tecnomatix/plant-simulation-warehousing-logistics-7> [viitattu 10.8.2016].

SmartDraw. 1994-2016. Warehouse Layout & Design Software. Saatavissa: <https://www.smartdraw.com/floor-plan/warehouse-layout-design-software.htm> [viitattu 23.8.2016].

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi (6. uud. laitos.). Helsinki: Tammi.

Yale. 2015. Warehouse Simulator. Saatavissa: <http://www.yale.com/emea/en-gb/solutions-for-you/materials-handling-solutions/warehouse-simulator/> [viitattu 19.7.2016].

Zeigler, B. P., Praehofer, H. & Kim, T. G. 2000. Theory of modeling and simulation: Integrating discrete event and continuous complex dynamic systems (2nd ed.). San Diego: Academic Press.