

Aksu Kääriäinen

**VARASTONHALLINTAJÄRJESTELMIEN KEHITTY-
MINEN JA NYKYAIKAISET AUTOMAATIOVARAS-
TOT**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2021

TIIVISTELMÄ

Kääriäinen, Aksu

Varastohallintajärjestelmien kehittyminen ja nykyaikaiset automaatiovarastot

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2021, 35 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja(t): Halttunen, Veikko

Tämä kandidaatintutkielma on tehty kirjallisuuskatsauksena ja se käsittelee varastohallintajärjestelmien (WMS) kehitystä sekä nykyaikaisia automaatiovarastoja. Kehitystä tutkittaessa on syytä tarkastella toimitusketjua kokonaisuudessaan ja siihen liittyviä tietojärjestelmiä, sillä käsitteenä WMS on varsin uusi. Toimitusketjuun liittyviä tietojärjestelmiä ovat muun muassa MRP, MRP-II ja ERP, joiden kehitys katsotaan alkaneen yksinkertaisista varastohallintajärjestelmistä yli 60 vuotta sitten. Nykyään tehokas varastohallinta vaatii oikein valitun ja hyvin optimoidun WMS-järjestelmän, jotta varastomäärää ja materiaalivirtaa voidaan seurata ja ohjata tehokkaasti. WMS-järjestelmät tarjoavat paljon hyötyjä yritykselle, mutta niiden implementointiin ja käyttöön liittyy myös haittoja. Varastoautomaatiota on ollut käytössä jo useiden vuosikymmenien ajan, mutta kulutusikäytymisen muuttuessa ja verkkokauppojen lisääntyessä tehokasta varastohallintaa ja sujuvaa materiaalivirtaa on miltei mahdotonta toteuttaa ilman varastoprosessien automatisoimista. Varastot ovat keskeinen osa toimitusketjua ja täten vaikuttavat merkittävästi myös asiakaspalvelun laatuun, joten niihin panostaminen on niin strategisesti kuin taloudellisesti järkevää. Osa varastojen toiminnoista on todettu jo pitkään erittäin työläiksi ja aikaa vieviksi, siispä varasto-operaatioiden automatisointiin halutaan löytää mahdollisimman tehokkaita ratkaisuja. Yksinkertaisimmillaan automaatiovarasto on niin sanottu AS/RS-järjestelmä, joka voi toimia täysin automaattisesti tai ihmistyöntekijöiden tukena. Tuoreimpana kehitysaskelena niin valmistusteollisuudessa kuin varastohallinnassa voidaan pitää neljättä teollisuuden vallankumousta eli Industry 4.0:aa. Tämä on tuonut kyberfyysiset järjestelmät (CPS) ja teollisen esineiden internetin (IIoT) osaksi varastohallintaa ja mahdollistanut uudenlaisia toimintoja.

Asiasanat: varastohallinta, toimitusketju, WMS-järjestelmä, automaatiovarasto, Industry 4.0

ABSTRACT

Kääriäinen, Aksu

Development of warehouse management systems and modern automation warehouses

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2021, 35 pp.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor(s): Halttunen, Veikko

This bachelor's thesis is a literature review, and it deals with the development of warehouse management systems (WMS) as well as modern automation warehouses. When studying the development, it is worth looking at the supply chain as a whole and related information systems, as the concept of WMS is quite new in this field. Supply chain information systems include MRP, MRP-II and ERP, whose development is considered to have started with simple inventory management systems more than 60 years ago. Today, efficient inventory management requires a properly selected and well-optimized WMS system to effectively monitor and control inventory volume and material flow. WMS systems offer many benefits to the company, but there are also disadvantages associated with their implementation and use. Warehouse automation has been in use for several decades, but with changing consumer behavior and increasing e-commerce, efficient inventory management and a smooth material flow is almost impossible to implement without automating warehouse processes. Warehouses are a key part of the supply chain and thus also have a significant impact on the quality of customer service, so investing in them makes both strategic and financial sense. Some of the warehouse operations have long been found to be very laborious and time-consuming. Therefore, the aim is to find the most efficient solutions for the automation of warehouse operations. At its simplest, an automation warehouse is a so-called AS / RS system that can operate fully automatically or in support of human workers. The fourth industrial revolution (Industry 4.0) can be considered the most recent development in both manufacturing and warehouse management. This has brought cyberphysical systems (CPS) and the Industrial Internet of Things (IIoT) into warehouse management and enabled new types of operations.

Keywords: warehouse management, supply chain, WMS, automated warehouse, Industry 4.0

KUVIOT

KUVIO 1 Ohjelmistoratkaisut toimitusketjunhallinnassa	14
KUVIO 2 Pääasialliset kriteerit liittyen logistiikkaohjelmiston valintaan.....	19
KUVIO 3 Automaation tasot keräilyssä	22

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT

1	JOHDANTO.....	6
2	VARASTONHALLINNAN HISTORIA.....	8
	2.1 Varasto-operaatioiden kehittyminen.....	8
	2.2 Varastohallintajärjestelmien historia.....	9
	2.2.1 1960-luku.....	10
	2.2.2 1970-luku.....	11
	2.2.3 1980-luku.....	12
	2.2.4 1990-luku.....	12
	2.2.5 2000-luku.....	13
3	NYKYAIKAINEN WMS.....	15
	3.1 Yleistä järjestelmistä.....	15
	3.2 Hyödyt.....	16
	3.3 Haasteet.....	17
	3.4 Palveluntarjoajat ja oikean ohjelmiston valinta.....	17
4	AUTOMAATIOVARASTOT.....	20
	4.1 Automaation yleistymisen varastoissa.....	20
	4.2 AS/RS-järjestelmät.....	21
	4.3 AGV- ja AVS/R-järjestelmät.....	23
	4.4 Industry 4.0 vaikutukset varaston toimintaan.....	23
	4.5 Hyödyt.....	25
	4.6 Haasteet.....	25
5	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	27
	LÄHTEET.....	31

1 JOHDANTO

Varastohallinnalla tarkoitetaan itse varaston hoitamista ja jakelujärjestelmän ohjaamista - mielellään vielä mahdollisimman tehokkaasti. Varastot ja niihin liitetyt järjestelmät ovat materiaalivirran ydinelementtejä ja muodostavat näin yhteyden valmistajan ja kuluttajan välille. (Ten Hompel & Schmidt, 2008.) Varastojen pääasiallinen tarkoitus on toimia puskurina ylimääräisen tuotteen varastoinnaksi, jota syntyy, kun hankintamäärät vaihtelevat kysynnän mukaan. Varastot mahdollistavat myös tuotteiden siirtämisen toimituspaikkoja lähempänä oleviin jakelukeskuksiin. (Kattepur, Mukherjee ja Balamuralidhar, 2018.) Varastohallintajärjestelmät (engl. warehouse management systems, WMS) ovat ERP-järjestelmien (engl. enterprise resource planning systems) rinnalla toimivia tietojärjestelmiä suunniteltu erityisesti ohjaamaan varastoprosessien rekisteröintiä, suunnittelua ja valvontaa (Van Den Berg & Zijm 1999).

Varastohallinnassa on tapahtunut paljon kehitystä, mutta silti se ei tule loppumaan vielä hetkeen. Minin (2006) mukaan tähän vaikuttaa jatkuvasti kasvava kysyntä lisäarvoa tuottavia palveluita kohtaan sekä automaation lisääntyminen. Informaatioteknologiasta on näin ollen tullut kiinteä osa varastohallintaa. Tämän tuloksena on syntynyt käsite WMS, jonka avulla varastojen hallinta, tilauksien suunnittelu ja seuranta sekä toimituksien oikea-aikaisuus on muuttunut täysin. WMS-termi otettiin käyttöön 1970-luvulla ja se on kasvattanut suosiotaan tähän päivään asti. Syynä tähän on samaan aikaan alkanut varastoautomaation lisääntyminen ja sen jälkeinen toimitusketjuohjelmistojen lisääntyminen. Toimitusketjuohjelmistoihin kuuluu muun muassa ERP-järjestelmät, kuljetusten hallintajärjestelmät eli TMS-järjestelmät (engl. transportation management systems) ja asiakassuhteiden hallintajärjestelmät eli CRM-järjestelmät (engl. customer relationship management systems). On yrityksen oma valinta, haluaako se integroida WMS-järjestelmän osaksi toiminnanohjausjärjestelmää vaiko ei. (Min, 2006.)

Käsitteenä varastohallinta on tuhansia vuosia vanha, mutta sen merkitys toimitusketjunhallintaan on edelleen suuri. Vaikka varastohallinnan historiaa voisi tutkia muinaisilta ajoilta asti, tässä tutkielmassa keskitytään tarkemmin viimeisen 60-vuoden aikana tapahtuneeseen kehitykseen. Aiheesta tekee relevantin se, kuinka merkittävää kehitys on ollut ja miten paljon nykypäivän

trendit, kuten automaatio ja tekoäly ovat osana varastohallintaa tänä päivänä. Riippuu paljon yrityksestä, millainen varasto palvelee sitä parhaiten. Muun muassa yrityksen koko, toimiala ja materiaalivirta vaikuttavat varastohallintaan. Karkean jaon varastotyyppien välillä voi tehdä jakamalla ne manuaalisiin ja automaattisiin varastoihin. Tässä tutkielmassa on tarkoitus käsitellä varastojen osalta pelkästään automaatiovarastoja, niihin liittyviä hyötyjä ja haasteita sekä uusimpia kehitysaskelaita.

Tässä kandidaatintutkielmassa on tarkoitus perehtyä varastohallintajärjestelmien kehitykseen tarkastellen niiden historiaa. Lisäksi perehdytään tarkemmin nykyaikaisiin WMS-järjestelmiin ja automaatiovarastoihin. Tarkoituksena on muodostaa kattava yleiskuva varastohallintajärjestelmien kehityksestä, koska sitä ei yhdessäkään aikaisemmassa tutkimuksessa ole kovinkaan laajasti käsitelty. Aikaisemmat tutkimukset käsittelevät yleensä joko varastohallintajärjestelmiä tai automaatiovarastoja, mutta harvoin kumpaakin yhdessä. Käsitteiden kuitenkin liittyen laajasti toisiinsa, on tärkeää, että niitä myös tarkastellaan rinnakkain. Tämä tekee tästä tutkielmasta erityisen relevantin, sillä toteutettu kirjallisuuskatsaus kokoaa yhteen laajan määrän niin varastohallintajärjestelmiin kuin automaatiovarastoihin liittyvää aiempaa tutkimusta. Tutkielman tutkimusongelma muodostuu täten kahdesta tutkimuskysymyksestä, joita ovat:

- Miten varastohallintajärjestelmät ovat kehittyneet?
- Millaisia ovat nykyaikaiset automaatiovarastot?

Tutkielma toteutettiin kandidaatintutkielmalle tyypillisenä kirjallisuuskatsauksena keräämällä lähdekirjallisuutta Google Scholarin ja JYKDOK-kirjaston kansainvälisten e-aineistojen haun kautta. Lähteiden etsimiseen käytettyjä hakulauseita olivat muun muassa: "WMS", "warehouse management system", "WMS evolution", "WMS development", "automated warehouse", "robotic warehouse" ja "industry 4.0". Lähteiden laatuun kiinnitettiin erityisen paljon huomioita. Kaikki tieteelliset artikkelit ja konferenssijulkaisut tarkistettiin julkaisufoorumin (lyh. JUFO) luokitusjärjestelmän kautta ja sopiviksi lähteiksi valittiin ainoastaan tasojen 1-3 julkaisukanavilla olevia tieteellisiä tekstejä.

Tutkielma koostuu johdannon lisäksi kolmesta sisältöluvusta ja yhteenvedosta. Luvussa kaksi käydään aluksi läpi varastohallinnan suurimmat kehitysaskelait, minkä jälkeen siirrytään tarkastelemaan varastohallintajärjestelmien kehitystä vuosikymmen kerrallaan aloittaen 1960-luvulta. Kolmannessa luvussa perehdytään tarkemmin nykyaikaisiin WMS-järjestelmiin, niiden tarjoamiin hyötyihin, niihin liittyviin haasteisiin, palveluntarjoajiin ja siihen, mitä kuuluu ottaa huomioon WMS-järjestelmää valitessa. Luvussa neljä tuodaan esille nykyaikaisen varastohallinnan fyysistä puolta käsittelemällä automaatiojärjestelmiä, niihin liittyviä hyötyjä ja haasteita sekä käsitteen Industry 4.0 vaikutuksia varaston toimintaan. Viidennessä luvussa tutkielman tärkeimmät asiat tiivistetään yhteen ja pohditaan niiden merkitystä. Luvun lopussa on myös ehdotuksia jatkotutkimukseen liittyen.

2 VARASTONHALLINNAN HISTORIA

Tässä luvussa esitellään tiiviisti varastonhallinnan merkittävimmät kehitysaskeleet, ja sen miten automaatio on tullut osaksi varasto-operaatioita. Tämän jälkeen siirrytään tarkastelemaan varastonhallintajärjestelmiin liittyvää kehitystä, johon liittyy merkittävästi muiden toimitusketjuohjelmistojen, kuten ERP-järjestelmien kehitys.

2.1 Varasto-operaatioiden kehittyminen

Varastonhallinnan aikaisimmat merkit ulottuvat kauaksi historiaan. Jo muinaiset ihmiset joutuivat pitämään kirjaa ruoanmäärästä ja kasvattamastaan karjasta, sillä pelko nälänhädästä oli läsnä. Sivilisaation kehittyessä myös varastonhallinta kehittyi. Ensimmäiset suuret varastot rakennettiin satamiin Välimeren alueelle tavoitteena se, että laivoissa saapuva tavara pystyttiin purkamaan välittömästi varastoihin pienentäen laivojen satamissa viettämää aikaa. Tämä tehosti huomattavasti meriteitse tapahtuvaa tavarankuljetusta. 1800-luvulla rautateiden yleistyminen mullisti tavaroiden varastoimisen ja materiaalivirran manteeen yli tapahtuvissa kuljetuksissa. Teollisen vallankumouksen aikaansaama massatuotanto ja kulutuksen lisääntyminen vaati varastonhallinnalta yhä enemmän. Oli alettava rakentamaan entistä suurempia varastoja lähemmäksi asiakkaita, minkä takia myös asiakaspalvelun tärkeys nousi suurempaan merkitykseen. Varastonhallinnan kehitykseen voidaan myös katsoa puisien kuormalavojen ja trukkien yleistyminen toisen maailmansodan aikana. Tämä mahdollisti järjestelmällisemmän varastonhallinnan, sillä tavaroiden käsittelystä tuli tehokkaampaa ja siistimpää. (Smith, 1998.)

Varastojen automaatio alkoi yleistymään 1960-luvulla, jolloin otettiin käyttöön ensimmäiset AS/RS-järjestelmät (engl. automated storage and retrieval systems) varastonhallinnassa. Näiden järjestelmien kehittäminen on jatkunut tähän päivään asti ja niitä on yhä käytössä nykyaikaisissakin varastoissa. Automaatio on ollut suuressa osassa varastonhallintaa jo useiden vuosikymmenien ajan. Tietotekniikan kehittyminen ja sen vaikutukset 1960–80-luvuilla kes-

kittyivät enimmäkseen automatisoinnin kehittämiseen ja lisäämiseen, jotta suurien tuotantomäärien valmistus tehostuisi (Rondeau & Litteral, 2001; Zuboff, 1988).

Ensimmäinen niin sanottu high-bay eli korkea automaatiovarasto otettiin käyttöön Saksassa 1960-luvulla. Toimintaperiaate kyseisessä automaatiovarastossa on perinteisen AS/RS-järjestelmän mukainen. Korkeiden varastohyllyjen välissä kulkee käytäviä, joilla nosturit liikkuvat kiskoja pitkin. Näiden ensimmäisten automaatiovarastojen pääasiallinen käyttökohde oli isojen varastoyksiköiden varastoiminen kuormalavoilla. Pienkuormavarastojen automatisointi tapahtui vasta myöhemmin. (Azadeh, De Koster & Roy, 2019.)

1990-luvulta lähtien on tehty paljon työtä optimaalisten strategioiden löytämiseksi varastojärjestelmien suunnittelua ja hallintaa varten. Tietotekniikan kasvun ja leviämisen myötä on mahdollista toteuttaa monimutkaisiakin toimintoja täysin automaattisesti. (Amato, Basile, Carbone & Chiacchio, 2005.) Vaikka varastoautomaatio oli kehittynyt ja lisääntynyt huomattavasti tietotekniikassa tapahtuneen kehityksen myötä 1990-luvulle tultaessa, tosiasiaassa suurin osa varastoista varsinkin pienemmissä yrityksissä oli niin sanottuja varastohuoneita (engl. store room). Kumarin, Narkheden ja Jainin (2021) määrittämän viitekehityksen mukaan 1990–2000-luvuilla keskiverto varasto koostui perusominaisuuksista, ja olivat täten organisoimattomia, manuaalisia sekä niissä keskityttiin pääasiassa kulujen hallintaan ja tuottavuuden parantamiseen.

Varastoautomaatio alkoi kehittymään 2000-luvulla räjähdysmäisesti. Uusia teknologioita olivat muun muassa AVS/R-järjestelmät eli autonomiset ajoneuvopohjaiset varastointi ja hakujärjestelmät, sukkulapohjaiset varastointi- ja hakujärjestelmät sekä automatisoidut kuormalavojen pinoamis- ja purkutekniikat. Länsi-Euroopan alueella on toiminnassa jo 40 täysin automatisoitua varastoa ja useita on rakenteilla. (Azadeh ym. 2019.) Varaston automaatiota ja siihen liittyviä teknologioita tutkin lisää laajemmin luvussa neljä.

2.2 Varastohallintajärjestelmien historia

Ensimmäisiä tietokoneohjelmistoja varastohallinnassa alettiin ottamaan käyttöön 1970-luvun paikkeilla. Kuitenkin termin WMS (engl. warehouse management system) eli varastohallintajärjestelmän käyttö oli vielä tuohon aikaan todella vähäistä. 1970-luvulla puhuttiin MRP-järjestelmistä (engl. material requirements planning) minkä takia varastohallintajärjestelmien historiaa tarkastellessa on keskityttävä laajemmin koko toimitusketjun kehitykseen ja siihen liittyviin järjestelmiin, kuten ROP, MRP ja ERP. Kumarin ja Hillegersbergin (2000) mukaan SAP ja Baan olivat ensimmäisiä eurooppalaisia yrityksiä, jotka toivat ERP-järjestelmät (engl. enterprise resource planning) osaksi valmistustollisuutta. Lisäksi he kertovat, että näiden toiminnanohjausjärjestelmien kehitys alkoi tavanomaisista varastohallintapaketeista (engl. inventory control packages, IC), joista myöhemmin kehittyi materiaalivaatimusten suunnitteluun tarkoitettuja järjestelmiä eli MRP-järjestelmiä (Kumar & Hillegersberg, 2000). MRP-järjestelmät ovat nimensä mukaisesti suunniteltu tukemaan materiaaliin

määrän ja siihen liittyvien vaatimusten suunnittelua, mitä voi verrata varastohallintaan liittyviin toimenpiteisiin. Nykyaikaisten ERP-järjestelmien juuret ovat näin ollen varastohallintajärjestelmissä. Jotta siis varastohallintajärjestelmien kehityksen kulusta saisi täydellisen kuvan on syytä palata aikaan ennen ERP- ja MRP-järjestelmiä 1960-luvulle. On myös syytä ottaa huomioon, että pelkästään varastohallintajärjestelmiä käsittelevät tutkimukset sijoittuvat suurimmaksi osin 2000-luvun puolelle ja käsittelevät täten nykyaikaisia teknologioita.

2.2.1 1960-luku

Ensimmäinen konsepti koko organisaation laajuudesta tietojärjestelmästä (vrt. ERP) esitettiin jo vuonna 1969, mutta sen toteuttaminen käytännössä havaittiin erityisen haastavaksi. Vielä jopa 1980–90-luvuilla koko organisaationlaajuisten tietojärjestelmien käyttöönotto epäonnistui monilla yrityksillä. (Kumar & Hillegersberg, 2000.) Tämän takia organisaatioiden ensimmäiset tietojärjestelmät olivatkin yksinkertaisia varastohallintajärjestelmiä, joiden avulla pystyttiin suunnittelemaan materiaalin kulutusta ja pitämään kirjaa varastonmäärästä. Teknologian kehittyessä pystyttiin näitä järjestelmiä laajentamaan lisäämällä niihin muita liiketoiminnan prosesseja, kuten myynti, osto ja markkinointi (Kumar & Hillegersberg, 2000).

Tuotannon suunnitteluun ja ohjaamiseen liittyvistä järjestelmistä käytettiin myös nimeä MPC-järjestelmät (engl. manufacturing planning and control systems). Kyseisten järjestelmien ensimmäiset versiot koostuivat organisaatioiden työnjohtajien ryhmistä, joilla jokaisella oli omat kohdealueet valvottavana. Kun nämä teolliset yritykset kehittyivät, pitkälle erikoistuneet tuotannon ja varastohallinnan ROP-järjestelmät (engl. reorder point) korvasivat organisaatioiden työnjohtajien ryhmien muodostamat usein tehottomat työskentely tavat. (Rondeau & Litteral, 2001; Skinner, 1985.) ROP-järjestelmistä alettiin puhumaan 1960-luvun alussa, ja näitä pidetäänkin MRP-järjestelmien edeltäjinä. Ensimmäiset ROP-järjestelmät olivat manuaalisia ja automaattiset järjestelmät yleistyivät, kun keskustietokoneet otettiin käyttöön 1950–60-luvuilla (Rondeau & Litteral, 2001; Orlicky, 1975). ROP-järjestelmän toiminta perustuu tason määrittämiseen, jonka saavutettaessa käynnistetään täydennystilaus materiaalin ostamiseksi tai tuottamiseksi (Mabert, 2007). Tähän aikaan yritysten ensisijaisena kilpailuvalttina toimi kustannuksien minimointi. Valmistusstrategiat olivat tuotokeskeisiä ja pyrittiin mahdollisimman korkean volyymin tuotantoon. ROP-järjestelmät vastasivat täten hyvin yritysten tuotannon suunnittelun tarpeisiin. (Robert Jacobs & Weston, 2007.) Suurin osa työstä tehtiin kuitenkin manuaalisesti hyödyntäen kynää ja paperia tai niin sanottua laskutikkua (engl. slide ruler) (Mabert, 2007).

MRP-järjestelmän katsotaan syntyneen 1960-luvun lopulla traktorivalmistajan J.I. Casen ja IBM:n välisen yhteistyön pohjalta (Robert Jacobs & Weston, 2007). Niitä ei kuitenkaan ollut mahdollista kaupallistaa, johtuen sen aikaisten tietokoneiden huonosta laskentatehosta (McGaughey & Gunasekaran, 2007). Yksi aikaisimmista järjestelmistä oli IBM:n PICS-järjestelmä eli production and

inventory control system. Kyseinen järjestelmä käytti magneettinauhoja, joissa varastointiin liittyvää tietoa säilytettiin. 1960-luvulla käytetyt järjestelmät olivat varsin kömpelöitä ja suurin osa laskemisesta jouduttiin tekemään yhä käsin. Ensimmäisen sukupolven tietokoneet eivät myöskään pystyneet laskemaan ne-liöjuuria, joten RAM-muistin kehittäminen ja siihen siirtyminen mahdollisti MRP-järjestelmien käyttöönoton organisaatioissa. (Robert Jacobs & Weston, 2007.)

2.2.2 1970-luku

1970-luvulla MRP-järjestelmät yleistyivät ja tulivat osaksi yhä useamman organisaation materiaalisuunnittelua ja alkoivat korvaamaan aikaisempia ROP-järjestelmiä. 1970-luvun puoliväliin mennessä arvioitiin, että tietokoneistetuilla MRP-järjestelmillä oli noin 700 käyttäjää. (Rondeau & Litteral, 2001; Orlicky, 1975.) Tietokonelaitteistojen ja -ohjelmistojen kehittyminen mahdollisti tehokkaamman tietojenkäsittelyn, mutta ongelmia ilmeni edelleen organisaatiotasolla käytettävissä laajoissa järjestelmissä. Ensimmäiset ohjelmistot olivat suuria, kalliita ja kömpelöitä sekä keskusyksiköiden ylläpito vaati myös paljon teknistä henkilökuntaa. RAM-muistin käyttöönoton ohella suuremmat ja nopeammat levyasemat olivat merkittäviä teknologioita mahdollistamaan integroitujen liiketoimintajärjestelmien kehityksen. (Robert Jacobs & Weston, 2007.) Organisaatioiden liiketoimintastrategioissa alkoi tapahtumaan myös muutoksia, minkä takia MRP-järjestelmistä tuli yhä tärkeämpi osa organisaatioiden toimintaa. Kilpailuvaltti vaihtui kustannuksien minimoimisesta markkinointiin, minkä takia tuotannon integrointi ja suunnittelu nousi suurempaan merkitykseen (Robert Jacobs & Weston, 2007). MRP-järjestelmiä jouduttiin yhä kehittämään, jotta muun muassa varastojen seuraaminen ja tilauksien hallinta onnistuisi paremmin. Organisaatioiden kiinnittäessä enemmän huomiota markkinointiin, myös asiakaspalvelun ja palvelunlaadun merkitys alkoi korostumaan. Tämän takia myös kehitystä järjestelmätasolla tarvittiin lisää. Vuonna 1975 IBM kehitti järjestelmän nimeltä MMAS (engl. manufacturing managements and account system), joka tuki muun muassa kustannusten seuraamista niin varasto- kuin tuotantotapahtumista sekä yhdisti valmistus- ja asiakastilaukset osaksi samaa järjestelmää (Robert Jacobs & Weston, 2007).

Kuten aiemmin todettiin, että organisaatioiden pääasiallisena kilpailuvalttina toimi aluksi kustannuksien minimointi. Tällöin tavaran kuljetukseen ja varastohallintaan liittyviä toimintoja hallittiin yhdessä, koska niistä johtuvat kustannukset katsottiin liittyvän toisiinsa (Ballou, 2007). Myöhemmin, kun markkinointi nousi organisaatioiden pääasialliseksi kilpailuvaltiksi, alettiin puhumaan fyysisestä jakelusta ja logistiikasta. Balloun (2007) mukaan fyysinen jakelu ja logistiikka sisältyivät tällöin liiketoiminnassa sekä markkinoinnin että tuotannon osa-alueisiin. Markkinointi ja tuotanto eivät kuitenkaan vastannut tuotevirtaan liittyviin ongelmiin, mistä syystä fyysinen jakelu ja logistiikka alkoivat kehittymään omanaan osa-alueena organisaatioiden liiketoiminnassa (Ballou, 2007).

2.2.3 1980-luku

1980-luvulla MRP-järjestelmät olivat kehittyneet jo niin paljon, että niiden tarjoamat hyödyt organisaatioille olivat enemmän, kuin pelkästään materiaalivaihtimusten suunnittelua. Tällöin alettiin puhumaan MRP-II-järjestelmistä (engl. manufacturing resource planning). MRP-II-järjestelmät mahdollistivat sekä materiaalien että tuotantokapasiteetin vaatimusten ja rajoitusten integroinnin tuotannon kokonaiskapasiteetin laskemiseen (Rondeau & Litteral, 2001).

Kehittynyt tietotekniikka ja liiketoiminnan tarve tarkemmalle ja ajantasaisemmalle tiedolle kiihdytti muutosta siirtyessä uusiin MRP-II-järjestelmiin (McGaughey & Gunasekaran, 2007). Tuotteiden laatuun alettiin organisaatioissa keskittymään entistä tarkemmin ja pääasiallinen kilpailuvaltti vaihtui täten markkinoinnista laatuun (Rondeau & Litteral, 2001). Uusien järjestelmien käyttöönotto tapahtui myös entistä nopeammin verrattuna ROP-järjestelmistä MRP-järjestelmiin siirtymisessä. On arvioitu, että 1980-luvun lopulla jopa kymmenet tuhannet yritykset käyttivät MRP-II-järjestelmiä (Rondeau & Litteral, 2001; Kanet, 1988).

2.2.4 1990-luku

1990-luvulle siirtyessä koko organisaation laajuisen tietojärjestelmän käyttöönotosta tuli vihdoin mahdollista. Kumarin ja Hillegersbergin (2000) mukaan 1990-luvun puolivälissä ERP-järjestelmistä tuli menestystarina, jonka kärkijoukoissa olivat yritykset, kuten SAP, Baan, Oracle, Peoplesoft sekä JD Edwards – osa näistä tunnettuja toiminnanohjausjärjestelmien kehittäjiä vielä tänä päivänäkin. MRP-II- ja sen jälkeen tulleet järjestelmät, kuten MES ja ERP ovat paljon enemmän kuin pelkkä varastohallintajärjestelmä. Niissä yhdistyvät liiketoiminnan muut osa-alueet, kuten myynti, henkilöstöhallinto ja markkinointi. Tämän takia aion jättää näiden järjestelmien tarkastelun sivummalle ja jatkan varastohallintajärjestelmien parissa. Vaikka kehitys keskittyikin 1990-luvulla pitkälti ERP-järjestelmiin, myös WMS-järjestelmät kokivat muutoksia tuotannon ja logistiikan kehittymisen seurauksena. 1990-luvulla ja myöhemmin käyttöön tulleet uudet käsitteet kuten JIT (just-in-time), LEAN-valmistus ja toimitusketjunhallinta (SCM) pakottivat monia vaatimuksia varastohallintajärjestelmille (Esmailian, Behdad ja Wang, 2016; Taljanovic & Salihbegovic). Monet yritykset ottivat Lean-valmistuksen käyttöön tavoitteena parantaa tuottavuutta, globaalia kilpailukykyä ja viime vuosikymmenien aikana tapahtunutta talouden laskua (Chen, Cheng, Huang, P. B., Wang, Huang, C. - J. ja Ting, 2013). Lean-valmistuksen vaikuttaessa tuotantoon, on sillä samankaltaisia vaikutuksia myös varastohallintaan. Chenin ym. (2013) mukaan Lean-menetelmien avulla varaston toiminnasta on mahdollista karsia pois kaikki turha ja täten tuottaa enemmän arvoa. He kertovat lisäksi, että pääasiallisia tavoitteita Lean-menetelmien käytössä ovat laadun parantaminen ja kustannuksien, toimitusaikojen ja varastonarvon pienentäminen (Chen ym., 2013). Vaikka JIT- tai Lean-menetelmän käyttöönotto voi parantaa varastojen toimintaa, Gu, Goetschalckx ja McGinnis (2007) kertovat, että uusien teknologioiden, kuten

viivakoodien, radiotaajuuksien ja WMS-järjestelmien käyttöönottoaminen antaa uusia mahdollisuuksia kehittää varastojen toimintaa.

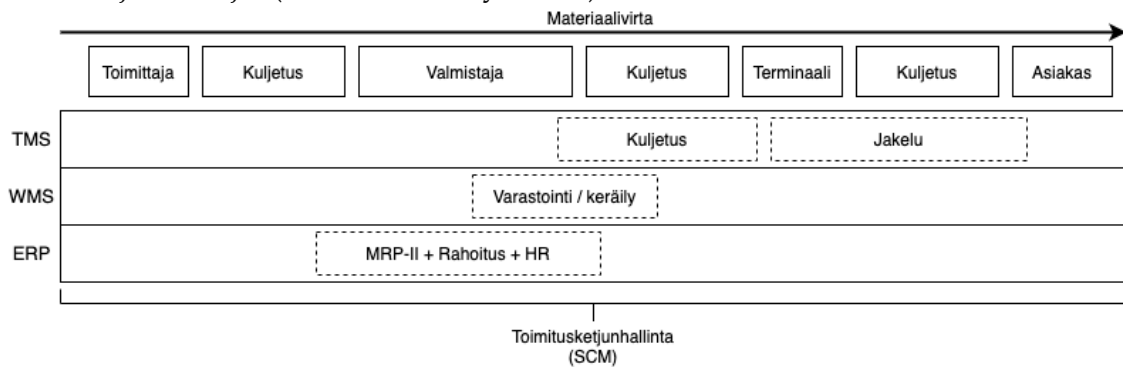
Lean-valmistuksen ohella, myös toimitusketjunhallinta (SCM) tuli virallisesti osaksi organisaatioiden toimintaa, mistä syystä myös WMS-järjestelmät kokivat muutoksia. Toimitusketju on aina ollut osa tuotteita valmistavien yritysten toimintaa, mutta 90-luvulla siihen alettiin kiinnittämään enemmän huomiota. Lambertin ja Cooperin (2000) mukaan toimitusketju ei ole pelkästään yritysten ketju, joilla on henkilökohtaiset suhteet, vaan useiden yritysten ja suhteiden verkosto. Heidän mukaansa toimitusketjunhallinta tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää yritysten välistä ja sisäistä integraation ja hallinnan synergiaa, minkä takia se kattaa kaikki liiketoimintaprosessit ja edustaa uutta tapaa hallita liiketoimintaa ja suhteita muihin toimitusketjun jäseniin (Lambert & Cooper, 2000). Siispä kaikki liiketoimintaprosessit ostosta varastonhallinnan kautta myyntiin yhdistyvät yhdeksi kokonaisuudeksi toimitusketjunhallinnassa. Sidosryhmien välisestä yhteydenpidosta ja viestinnästä tulee merkittävä osa liiketoimintaa ja IT-ratkaisuiden merkitys korostuu. Minin ja Zhoun (2002) mukaan reaaliaikainen kommunikointi toimitusketjun jäsenten välillä on mahdotonta ilman yhteistä luottamusta ja teknologisia alustoja, kuten WMS- ja ERP-järjestelmiä. He myös painottavat, että ilman tehokasta WMS-järjestelmää varastonhallinnan optimoiminen toimitusketjuun on lähes mahdotonta (Min & Zhou, 2002).

2.2.5 2000-luku

2000-luvulle siirtyessä niin ERP- kuin WMS-järjestelmien suosio alkoi kasvaamaan entistä enemmän (Min & Zhou, 2002). Tietotekniikka kehittyi entistä nopeammin tarjotakseen parempia mahdollisuuksia järjestelmien ja varastoautomatiikan kehitykselle. Esmaelianin, Behdadin ja Wangin (2016) mukaan WMS-järjestelmiin liittyvät tutkimukset ovat 2000-luvulla käsitelleet seuraavia aiheita: varaston allokointikäytäntö ja erien mitoitus, varastoautomatiikka, viestintä, uudet teknologiat kuten RFID (engl. radio frequency identification) ja varastojen fyysiset ominaisuudet kuten kapasiteetti. Suurimpia WMS- ja TMS-järjestelmien palveluntarjoajia tähän aikaan olivat muun muassa Marc Global Services, PeopleSoft, SSA Global, Microsoft, Oracle, JD Edwards ja PULSE Logistics Systems (Helo & Szekely, 2005). Näistä yrityksistä osa on edelleen merkittäviä WMS-järjestelmien tarjoajia, kuten Oracle ja Microsoft. PeopleSoft ja JD Edwards ovat nykyään Oraclen omistuksessa. Käsittelen lisää nykypäivän johtavia palveluntarjoajia luvussa kolme. Tulevaisuuden trendinä pidettiin muun muassa järjestelmäintegraatioita ja puheohjauksen implementoimista varastonhallintajärjestelmiin. Näiden ohella Helo ja Szekely (2005) mainitsivat tutkimuksessaan IT-ohjelmistojen olevan tehokkain tapa saavuttaa yritysten tulevaisuuden tavoitteet, kuten pienemmät kustannukset ja paremman tuottavuuden.

Alla esitettyssä kuviossa (kuvio 1) tiivistyy eri toimitusketjunhallinnassa käytettävä ohjelmistot ja se missä toimitusketjun vaiheessa kutakin yleensä käytetään. Helo ja Szekely (2005) kertovat, että kuljetuksen hallintaan liittyvät järjestelmät (TMS) yleensä kohdistuvat pelkästään jakelun puolelle, mutta monet

ohjelmistopakettit ulottuvat myös terminaalioperaatioihin ja varastohallintaan. Varastohallintajärjestelmät (WMS) kattavat yleensä myös muitakin operaatioita, kuin keräilyn ja lavauksen, kuten kuljetusreittien määrittelyn. Monet ERP-järjestelmät sisältävät valmiiksi varastointiin ja kuljetukseen liittyviä moduuleita, minkä takia toimitusketjunhallintaan liittyvien ohjelmistojen toiminnallisuudet menevät usein päällekkäin. Tästä johtuen monessa organisaatiossa saattaa olla käytössä monta eri toimitusketjunhallintaan liittyvää järjestelmää, mutta kustakin käytetään vain yhtä ominaisuutta. Valinta jää siis organisaatiolle päättääkö se ottaa käyttöön kokonaisvaltaisen ERP-järjestelmän vai joukon erilaisia ohjelmistoja. (Helo & Szekely, 2005.)



KUVIO 1 Ohjelmistoratkaisut toimitusketjunhallinnassa (Helo & Szekely, 2005, mukaan)

3 NYKYAIKAINEN WMS

Tässä luvussa tarkastellaan tarkemmin nykyaikaisia WMS-järjestelmiä, niiden tuomia hyötyjä, niihin liittyviä haasteita sekä oikean WMS-järjestelmän valintaan liittyviä kriteerejä. Luvussa esitellään myös nykypäivän markkinatilanne liittyen WMS-järjestelmiin ja ketkä ovat johtavimpia palveluntarjoajia.

3.1 Yleistä järjestelmistä

Varastojen tehokas hallinta niin kulujen kuin tuottavuuden kannalta ei nykyään ole enää mahdollista ilman sopivaa WMS-järjestelmää. Asiakaspalvelun tärkeiden korostuessa yhä enemmän, tuotantomäärien kasvaessa ja yksilöityjen asiakastilauksien yleistyessä varastoilta vaaditaan entistä enemmän. Lisäksi viestinnän ja reaaliaikaisen tiedon merkityksen korostuessa nykypäivän liiketoimintaprosesseissa, korostuu niiden merkitys myös varaston toiminnassa. Varastojen ollessa erilaisia kuin ennen sekä WMS-ohjelmistojen laajan tarjonnan takia on yrityksen tärkeää valita juuri oikeanlainen ohjelmisto omaa tarkoitusta varten. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista ja yritys huomaa ennemmin tai myöhemmin, ettei WMS-järjestelmä tarjoa heille odottamiaan hyötyjä.

Jotta asiakkaiden tarpeisiin voitaisiin vastata, on varastojen nostettava tavoitteitaan tarkkuudessa, aikatauluissa ja yksilöllisten tilausten täytössä. Päästäkseen näihin tavoitteisiin varastonhallinnasta on karsittava pois kaikki turhat prosessit, virtaviivaistaa toimintaa ja parantaa tehokkuutta kaikilla varaston osa-alueilla. (Min, 2006.) Tämänkaltaisten toimintojen mahdollistaminen ilman varastonhallintajärjestelmää on lähes mahdotonta ja on saanut monet yritykset investoimaan kyseisiin järjestelmiin.

Informaatioteknologia on kehittynyt ja sitä on paljon käytössä logistiikan alalla. Varastonhallinnassa käytettäviä ratkaisuita ovat muun muassa mobiilisovellukset, viivakoodit, langaton viestintä ja järjestelmäintegraatiot. IT-ratkaisut parantavat logistiikan tehokkuutta, sillä yrityksen eri toimintojen, kuten varastoinnin ja jakelun integrointi on mahdollista hyödyntäen ohjelmistoja. (Mao, Xing ja Zhang, 2018.) Uusien teknologioiden ansiosta tehokkaat viestinnän keinot rakentavat huomaamattoman yhteyden toimitusketjun eri osien vä-

lille. Tästä syntyy tehokas toimitusketju, joka on samalla nopea ja edullinen. (Mao, Xing ja Zhang, 2018; Zhang, Y., Liu, Zhang, T. & Guo, 2015.)

WMS-järjestelmät voivat olla joko kehitetty juuri tiettyä varastoa varten, tällöin puhutaan niin sanotuista "tailor-made" eli räätälöidyistä järjestelmistä. Ne voivat olla myös tavallisia ohjelmistopaketteja (engl. off-the-shelf), joiden tehtävä on kattaa varastohallinnan tavallisimmat toiminnot. (Faber, de Koster & Smidts, 2013.) Ohjelmistopohjainen varastohallintajärjestelmä voi toimia erillään muista järjestelmistä ja olla täten pelkkä WMS-järjestelmä tai se voidaan integroida yrityksen olemassa olevaan ERP-järjestelmään, muiden käytössä olevien teknologioiden, kuten viivakoodinlukijoiden rinnalle (Atieh ym., 2016).

3.2 Hyödyt

Minin (2006) tekemän tutkimuksen mukaan arvostetuimmat hyödyt, joita yritykset odottavat WMS-implementoinnin tuottavan olivat parempi varaston tarkkuus, parempi läpimenoaika, pienemmät työvoimakustannukset, parempi työmäärän hallinta ja vähentynyt paperityö. Hän kertoo lisäksi, että WMS-järjestelmät pienentävät varastotyöntekijöiden työkuormaa automatisoimalla varaston toimintoja, mikä johtaa parempaan tuottavuuteen ja läpimenoon (Min, 2006). Suurin osa WMS-järjestelmän tuottamista hyödyistä liittyy työvoimaan ja nimenomaan sen muuttamiseen tehokkaammaksi. Jopa yli 50 % WMS-järjestelmän hyödyistä liittyy työvoimaan, joko suoraan, epäsuoraan tai hallinnollisesti (Min, 2006; Alexander Communications Group, 2003). Suoraa työn tuottavuutta WMS-järjestelmän odotetaan parantavan 20 %, epäsuoraa 30 % ja hallinnollista tuottavuutta 75 % (Min, 2006; Kozak, 2002). Minin (2006) mukaan kaikkia näitä hyötyjä on mahdollista lisätä entisestään lisäämällä RFID osaksi WMS-järjestelmää.

RFID-teknologian käyttöönotto WMS-järjestelmien rinnalla on mahdollistanut tehokkaamman datan välityksen lukijoiden ja tavaroiden välillä. Tavaroiden jäljitys pitkin toimitusketjua on erittäin tehokasta. RFID:tä pidetään lupaavimpina uusina teknologioina 2010-luvun varastohallinnassa. (Chen ym. 2013.)

WMS-järjestelmät parantavat materiaalivirtaa ja tilan käyttöä varastossa. WMS-järjestelmien lopullinen tavoite on vähentää varastomäärää (engl. stock) toimitusketjussa mahdollistaen lyhemmät toimitusajat ja paremman asiakastyytyväisyyden. Lisäksi WMS-järjestelmä antaa käyttäjälleen tarkat ja reaaliaikaiset tiedot varastomäärästä, tavarain sijainnista ja sen iästä. (Min & Zhou, 2002.)

WMS-järjestelmät parantavat varastohallintaa mahdollistamalla reaaliaikaisen materiaalinhallinnan. Parannellut toiminnot tarkkuuden suhteen, kuten vähentynyt paperityö ja integraatio automaattisiin varastoihin sujuvoittaa tilausvirtaa. (Helo & Szekely, 2005.)

3.3 Haasteet

Modernin varastohallinnan suurimmat haasteet ovat muun muassa varaston tarkkuus, tilankäyttö, prosessinhallinta ja keräilyn (picking) optimointi (Lee, Lv, Ng, Ho & Choy, 2018; Richards 2014). WMS-järjestelmät pyrkivät minimoimaan nämä ja tehostamaan varastohallintaa muun muassa kustannusten ja tuottavuuden osalta. Vaikka hyötyjä voi luetella useita ja nopealla vilkaisulla saattaa vaikuttaa, että WMS-järjestelmä ratkaisee kaikki varastohallintaan liittyvät ongelmat, liittyy WMS-järjestelmiin myös haittoja.

Minin (2006) tekemän tutkimuksen mukaan suurimmat huolet järjestelmien implementointiin liittyen ovat korkeat kustannukset, prosessin pituus, sitoutumisen puute johdon osalta, kustomoinnin puute ja huono dokumentaatio. Hän lisää, että tietoturvaan ja skaalautuvuuteen ei saman tutkimuksen pohjalta löytynyt huolia (Min, 2006).

Haitat ilmenevät suurimmaksi osin järjestelmän implementointivaiheeseen esiin tulleina haasteina ja korkeina kustannuksina. WMS-järjestelmän implementointi voi kestää 15–30 kuukautta (Min, 2006; eSync International 2001) ja ohjelmisto- sekä laitteistokustannukset voivat ylittää jopa 2 miljoonaa dollariin (USD) asti (Min, 2006; Devereaux 2001). Useimmiten WMS-järjestelmä joudutaan räätälöimään asiakasta varten, sillä ”off-the-shelf” mallia oleva ohjelmisto voi vaatia yli kymmenen muutosta, ennen kun se on sopiva asiakkaan tarkoitukseen. Jotta WMS-järjestelmän implementointi voitaisiin katsoa asiakasyrityksen kannalta onnistuneeksi, tulisi sen sisältää vähintään 85 % halutuista ominaisuuksista. (Min, 2006.) Todellisuudessa vain pieni määrä asiakasyrityksistä saa tarvitsemansa ominaisuudet järjestelmään. Minin (2006) tutkimuksessa viitattuun kyselyyn vastanneista vain 46 % kertoi WMS-järjestelmän tarjoavan kaikki tarvittavat ominaisuudet (Min, 2006; Hounsell 2002).

WMS-järjestelmän implementointivaiheeseen on syytä panostaa. Sopivan järjestelmän valitseminen ensimmäisellä kertaa säästää yrityksen useilta ongelmalta tulevaisuudessa. Monet yritykset eivät kuitenkaan halua panostaa WMS-järjestelmiin, koska eivät usko niiden tuottavan suoraa arvoa yritykselle (Mao, ym., 2018; Yoo, Chung, Lee & Hong, 2016). Mahdollisesti myös aiemmin epäonnistuneet hankkeet tai epäselvyydet yrityksen toiminnassa voivat tehdä WMS-järjestelmän käyttöönotosta täysin arvottoman. Aiempien suunniteluideoiden epäselvyys ja hallintajärjestelmän epäonnistumisen vuoksi WMS-järjestelmä ei pienennä työntekijöiden työmäärää vaan vaikeuttaa sitä tekemällä siitä monimutkaisemman (Mao, ym., 2018).

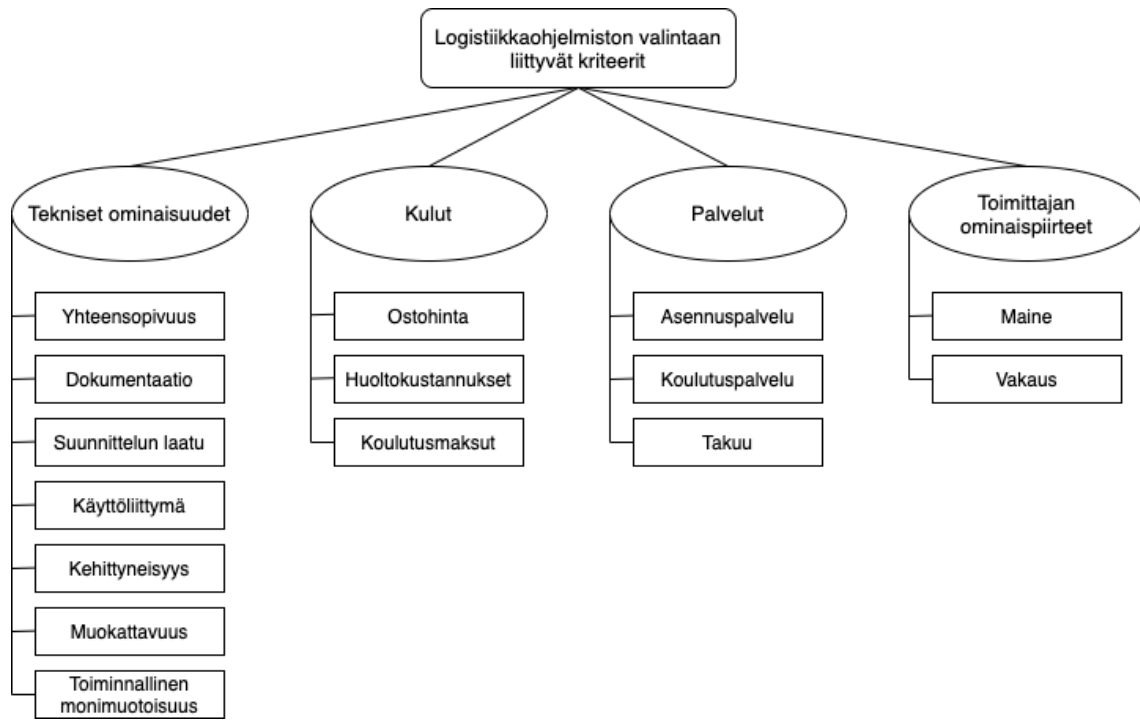
3.4 Palveluntarjoajat ja oikean ohjelmiston valinta

Kuten jo aiemmin tuli ilmi, WMS-järjestelmän valintaan kannattaa panostaa ja miettiä huolellisesti, mitä hyötyjä järjestelmällä halutaan saavuttaa. WMS-järjestelmien tarjoajia on runsaasti, muttei yhdelläkään ole hallitsevaa markkina-asemaa. Min (2006) mukaan WMS-ohjelmistotoimittajia on satoja - vähintään

375 kappaletta. Yhdelläkään näistä ei kuitenkaan ole yli 10 % markkinaosuutta, sillä skaalattavien ja toimialakohtaisten ohjelmistojen määrä on vähäistä, mistä syystä asiakasyritykset saattavat kehittää oman järjestelmänsä tai käyttää useampaa eri järjestelmää tyydyttääkseen erityistarpeensa (Min, 2006). Vuonna 2020 maailmalaajuisten WMS-markkinoiden arvoksi arvioitiin 2,64 miljardia Yhdysvaltain dollaria (Grand View Research, 2021) ja sen uskotaan ylittävän 5,1 miljardin dollarin rajan vuoteen 2025 mennessä (Markets and Markets, 2020). Gartner peerinsights -arvostelusivuston mukaan viisi suosituinta ja eniten arvostelua saanutta WMS-palveluntarjoajaa tällä hetkellä ovat Blue Yonder Warehouse Management, Microsoft Dynamics 365, Oracle Warehouse Management, HighJump Warehouse Advantage ja SAP Extended Warehouse Management.

Warehouse Logisticsin mukaan suurimmalla osasta WMS-palveluntarjoajista on laaja ja syvä tietämys sekä kokemus liittyen logistiin ohjelmistoihin. Heidän tekemän tutkimuksen mukaan lähes 50 prosenttia palveluntarjoajista on tarjonnut WMS-ohjelmistoja yli 20 vuoden ajan. WMS-palveluntarjoajat voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan, joita ovat niin sanottu ”puhtaat” palveluntarjoajat (32 % kaikista palveluntarjoajista), pakettitarjoajat (47 %) ja integraatiotarjoajat (21 %). Näistä ensimmäinen tarjoaa ohjelmistoja pelkästään varastonhallintaan liittyen ja on usein myös erikoistunut tietylle toimialalle. Pakettitarjoajien varastonhallintajärjestelmäratkaisut ovat yleensä osa suurempaa ohjelmistokokonaisuutta (esim. ERP), tällöin yrityksen sisäisten liiketoimintaprosessien yhdistäminen onnistuu usein vaivattomasti. Integraatiotarjoajat ovat alkuperäisesti aloittaneet toimintansa metalliteollisuuden alalla tarjoten sekä WMS-ohjelmistoja että varastoautomaatiojärjestelmiä. IT-osaamisen kehittyessä kasvavilla markkinoilla, on alkanut tapahtumaan ulkoistamista ja täten monet tarjoavatkin WMS-ohjelmistoja ilman fyysistä varastotekniikkaa. (Warehouse Logistics.)

On useita kriteereitä, jotka on syytä ottaa huomioon logistiikkaohjelmistoa (vrt. WMS) valitessa. Min (2006) on jakanut kriteerit neljään pääluokkaan (kuvio 2), joita ovat tekniset ominaisuudet, kulut, palvelut ja toimittajan (palveluntarjoajan) ominaispiirteet. Teknisiä ominaisuuksia tarkastellessa on syytä kiinnittää huomiota muun muassa yhteensopivuuteen, toiminnalliseen monimuotoisuuteen ja käyttöliittymään. Kulujen suhteen on syytä miettiä muutakin kuin ostohintaa. Ennen käyttöönottoa työntekijät on koulutettava uuden järjestelmän pariin, mistä saattaa syntyä kustannuksia, mikäli koulutus tapahtuu ohjelmistotoimittajan puolesta. WMS-järjestelmä ja laitteisto vaatii myös huoltoa, josta aiheutuvat kulut on myös syytä ottaa huomioon. Ohjelmistotoimittaja voi tarjota erilaisia palveluita, joiden tarjoaman hyödyn asiakasyritys voi kokea tärkeänä. Palvelut voivat olla koulutuksen ohella asennusapua tai takuun tarjoamista. Myös ohjelmistotarjoajan ominaispiirteet, kuten maine voi olla tärkeä kriteeri valintaa tehdessä. (Min, 2006.) Atieh ym., (2016) painottavat, että jokaista ohjelmistoa on vertailtava keskenään sekä tehtävä analyysi, jossa selvitetään täyttykö kyseinen ohjelmisto halutut vaatimukset. He tarkentavat, että ohjelmiston on pystyttävä käsittelemään suurta määrää dataa, oltava luotettava ja täytettävä turvallisuuskriteerit korkealla tasolla (Atieh ym., 2016).



KUVIO 2 Pääasialliset kriteerit liittyen logistiikkaohjelmiston valintaan (Min, 2006, mukaan)

4 AUTOMAATIOVARASTOT

WMS-järjestelmien käsittelyn jälkeen on johdonmukaista keskittyä tarkastelemaan myös nykyaikaisen varastohallinnan fyysistä puolta eli automaatiovarastoja. Tässä luvussa esitellään varastoihin liittyvä robotiikka ja automaatiikka, Industry 4.0 -käsitteen vaikutukset varaston toimintaan sekä automaation tuomat hyödyt ja siihen liittyvät haasteet.

4.1 Automaation yleistyminen varastoissa

WMS-järjestelmän tarjotessa paljon hyötyjä varastohallintaan, tehokkaaseen materiaalivirtaan on lähes mahdotonta päästä ilman, ettei varaston toimintoja automatisoida myös fyysisellä tasolla. Perinteisiä AS/RS-järjestelmiä ja liukuhihnoja on ollut käytössä jo usean vuosikymmenen ajan, mutta nykyaikaiset automaatio- ja älyvarastot ovat viime aikoina alkaneet yleistymään logistiikanalalla. Yksi uusimmista vaikuttajista on Industry 4.0 eli neljäs teollisuuden vallankumous, joka tuo useita uusia teknologioita, kuten teollisen esineiden internetin (IIoT) ja kyberfyysiset järjestelmät (CPS) osaksi toimitusketjua. Teollisella esineiden internetillä (IIoT) tarkoitetaan esineiden internetin (IoT) laajentumista ja käyttöönottoa teollisuuden alalla (Trend Micro). CPS-järjestelmät ovat tietokonelaskennan integrointia fyysisiin toimintoihin. Toisin sanoen sulautetut tietokoneet ja verkot seuraavat ja ohjaavat fyysisiä prosesseja, jolloin sekä fyysiset prosessit että tietokoneilla suoritettavat laskelmat vaikuttavat toisiinsa (Lee, 2008).

Varastot ovat kehittyneet paljon viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Suurimpana vaikuttajana tähän on verkkokaupan lisääntyminen lähes kaikilla markkinoilla. Tämä on vaikuttanut siihen, että varastojen on toimittava todella dynaamisessa ympäristössä ja palveltava lähes viiveettä toimitusketjua, jotta tilaukset pystytään toimittamaan asiakkaalle nopeassa ajassa. Custodion ja Machadon (2020) mukaan nykylogistiikan dynaamisuus johtuu verkkokauppojen lisääntymisestä, yksilöidyistä tilauksista, omnichannel-jakelusta ja JIT-filosofiasta. He kertovat lisäksi, että näihin muutoksiin sopeutuminen on mahdollista vain automaation lisäämisellä varastoihin (Custodio & Machado, 2020). Asiakaspalvelun rooli on korostunut huomattavasti, mistä syystä varaston tär-

keys toimitusketjussa on syytä ymmärtää. Ajallisesti tarkat ja virheettömät toimitukset, joista asiakas pitää, on mahdollista vain, jos varaston toiminta on tarpeeksi hyvin optimoitu.

Kun aiemmin todettiin, että oikeanlaisen WMS-järjestelmän käyttöönotto vähentää työmäärää ja tehostaa toimintaa, ovat automaatiovaraston tarjoamat hyödyt samankaltaiset. Automaattisia varastointijärjestelmiä on monenlaisia ja ne soveltuvat erilaisiin käyttötarkoituksiin. Samoin kun WMS-järjestelmän valinnassa, myös varaston automatisoinnin suunnittelussa on syytä olla huolellinen, jotta oikeanlainen järjestelmä tulee implementoitua. Toimiala, jota varasto palvelee, määrää yleensä suunnan automaattisten järjestelmien valinnalle.

4.2 AS/RS-järjestelmät

Varastojen automaattisista järjestelmistä käytetään yleisimmin nimeä AS/RS-järjestelmät eli automaattiset varastointi- ja hakujärjestelmät (engl. automated storage and retrieval systems). Käsitteenä se on vanha, mutta edelleen useimpien automaatiovarastojen toiminta niin kuormalava- että pienyksikkövarastoinnin suhteen perustuu tähän. Roodbergen ja Vis (2009) mukaan AS/RS-järjestelmät koostuvat varastohyllyistä, joiden välissä olevilla käytävillä kulkevat nosturit varastoivat ja noutavat tavaroita. He lisäävät, että kyseinen järjestelmä pystyy käsittelemään kuormalavat ilman käyttäjää, mikä tekee järjestelmästä täysin automaattisen (Roodbergen & Vis, 2009).

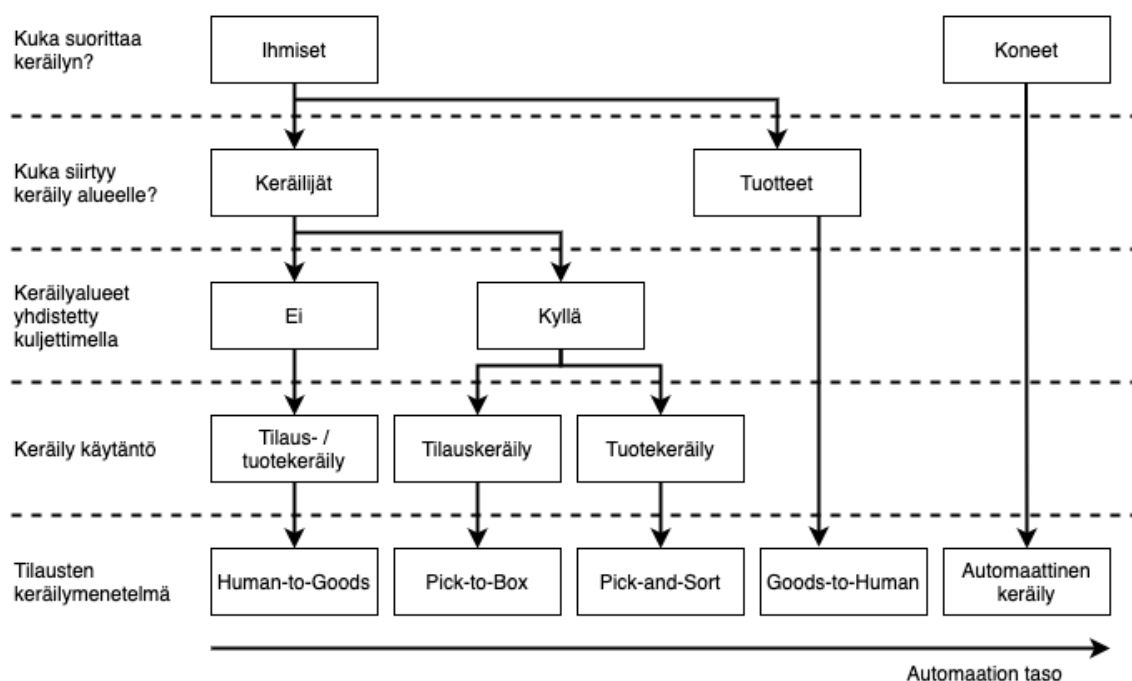
Custodion ja Machadon (2020) mukaan automaation voi valmistusteollisuudessa jakaa kolmeen osaan: kiinteä automaatio, ohjelmoitava automaatio ja joustava automaatio. Kiinteän ja ohjelmoitava automaation ollessa enemmän tuotteiden valmistuksessa käytettäviä teknologioita, on joustava automaatio sopivampi dynaamisissa ympäristöissä toimiviin automaatiovarastoihin. Joustavasta automaatiosta on tullut 80-luvulta lähtien hallitseva trendi ja se on käytössä yleisimmin automatisoiduissa varastoissa sekä joustavissa keräilyjärjestelmissä (Custodio & Machado, 2020; Gania, Stachowiak & Oleśków-Szłapka, 2017).

Gagliardi, Renaud ja Ruiz (2012) määrittelevät AS/RS-järjestelmän yksinkertaisimmillaan olevan varastointijärjestelmä koostuen varastohyllyistä, joihin tuotteet varastoidaan ja joista ne haetaan automaattisesti mekaanisia laitteita käyttäen. He kertovat lisäksi AS/RS-järjestelmien soveltuvan toistuviin tehtäviin, minkä takia ne ovat laajalla käytöllä moderneissa jakelukeskuksissa (Gagliardi, Renaud & Ruiz, 2012).

Automaattisilla AS/RS-järjestelmillä ei ole aina mahdollista toteuttaa kaikkia varaston operaatioita, varsinkin, jos toimintaympäristö on todella monimutkainen. Tällöin voidaan ottaa käyttöön niin sanottu hybridimalli, jossa automaattinen varastointi- ja hakujärjestelmä toimii työntekijöiden tukena. Basilen, Chiacchion ja Coppolan (2012) mukaan tällainen järjestelmä sisältää kaksi pääkomponenttia, joita ovat käytävistä ja nostureista koostuva AS/RS-järjestelmä sekä keräilyalue, jossa käytäviltä saapuvista varastointiyksiköistä työntekijät suorittavat keräilyn. He lisäävät, että näiden kahden komponentin

yhdistäminen tapahtuu karusellien, kuljettimien ja puskureiden muodostaman rajapinnan kautta (Basile, Chiacchio & Coppola, 2012).

Kyseiset karusellit, kuljettimet ja puskurit ovat yleisiä tapoja hallita automaation käsittelemiä tavaramääriä varsinkin silloin, kun keräily tapahtuu ihmisen toimesta. Hen, Aggarwalin ja Nofin (2018) mukaan monet verkkokaupat ovat siirtyneet niin sanotusta Human-to-Goods -keräilystä, jonka toiminta perustuu siihen, että työntekijä siirtyy kerättävän tuotteen luokse, Goods-to-Human-keräilyyn, jossa hyödynnetään robotiikkaa nopeuttamaan keräilyprosessia tuomalla keräiltävät tavarat suoraan keräilijän luokse. Yleisimmät AS/RS-järjestelmät toimivat juuri Goods-to-Human-periaatteella. Custodio ja Machado (2020) ovat myös määritelleet kaksi muuta keräilymenetelmää, joita ovat Pick-to-Box ja Pick-and-Sort. He kertovat, että kummassakin näissä keräilijän on siirryttävä kerättävien tuotteiden luokse, mutta keräilyalueet on jaettu useamman keräilijän kesken ja yhdistetty kuljettimella. Pick-to-Box -menetelmässä keräilijä kerää tilaukseen kuuluvat tuotteet laatikkoon, jonka sisältö vastaa keräilyn päätyttyä valmista asiakastilausta. Pick-and-Sort -menetelmässä työn alla on samanaikaisesti useampi tilaus, jolloin kutakin tuotetta kerätään kuljettimelle tietty määrä. Kuljettimen siirtäessä kerättyjä tuotteita eteenpäin, tietokoneistettu järjestelmä määrittää kullekin tuotteelle kohdepaikan, joka viittaa yksittäiseen asiakastilaukseen. (Custodio & Machado, 2020.) Erilaiset keräilymenetelmät ovat nähtävissä alla olevassa kuviossa (kuvio 3), jossa näkyy myös varastoautomaation eri tasot.



KUVIO 3 Automaation tasot keräilyssä (Dallari, Marchet & Melacini, 2009, mukaan)

4.3 AGV- ja AVS/R-järjestelmät

Azadeh ym. (2019) mukaan uusi sukupolvi AGV-järjestelmiä (engl. automated guided vehicle) on esitelty logistiikka-alan yrityksen Witronin toimesta. Heidän mukaansa kyseisessä ratkaisussa yhdistellään useita eri teknologioita, jotka tulevat lopulta johtamaan täysin automaattisiin varastoihin varsinkin myymäläpohjaisella jälleenmyyntialalla. Viimeisimpiä automaattisia keräilyjärjestelmiä, jotka hyödyntävät itsenäisesti liikkuvia robotteja ovat niin sanotut sukkulat (shuttles) ja automaattisesti ohjatut ajoneuvot eli AGV:t. Tavanomaisempia automaattisia keräilyjärjestelmiä ovat muun muassa nosturit, automaattiset trukit ja karusellit. (Azadeh ym., 2019.) Cullerin ja Longin (2016) mukaan AGV-järjestelmät voidaan luokitella niin sanotuiksi mobiiliroboteiksi, jotka kulkevat valmiiksi määritettyjä reittejä pitkin hyödyntäen RFID-merkkejä ja sensoreita yhdistettynä erilaisiin ohjelmistoihin.

Perinteisen AS/RS-järjestelmän toimiessa siten, että jokaisella käytävällä toimii yksi nosturi, toimii AVS/R-järjestelmä (engl. automated vehicle-based storage and retrieval system) tehokkaammin ja joustavammin hyödyntäen sukkuloita. AVS/R-järjestelmä rakentuu kuljettimista, varastohyllyistä, hisseistä ja autonomisista ajoneuvoista, joiden pystysuoraisen liikkeen mahdollistavat varastohyllyjen kehälle asennetut hissit (Lerher, 2018). Azadeh ym. (2019) mukaan AVS/R-järjestelmä tarjoaa paljon suuremman hakukapasiteetin ja enemmän joustavuutta samoilla investointikustannuksilla kuin perinteinen AS/RS-järjestelmä. He kertovat, että AVS/R-järjestelmän sukkulat pystyvät liikkumaan vaakatasossa ja nousemaan myös eri tasoille liikkumalla vinosti tai pystysuorassa (Azadeh ym., 2019).

4.4 Industry 4.0 vaikutukset varaston toimintaan

Viimeaikaisimmat kehitysaskleet varastoautomaation saralla voidaan katsoa olevan seurausta neljänestä teollisuuden vallankumouksesta eli Industry 4.0:sta. Tähän liittyvät uudet teknologiat, kuten CPS-järjestelmät ja IIoT-laitteet sekä tekoälyn lisääminen varastojen toimintoihin pyrkii vastaamaan nykyajan dynaamiseen kuluttajakäyttäytymiseen ja palvelunlaadun tärkeyteen. Asiakkaiden nähdään haluavan valinnanvaraa sekä useimmiten nopeita toimituksia. Hen ym. (2018) mukaan yksi suurimmista haasteista toimittajille on mahdollisimman nopealla viiveellä vastaaminen asiakkaan vaatimuksiin.

Industry 4.0 -käsite otettiin käyttöön Saksassa vuonna 2011 (Lee, Lv, Ng, Ho & Choy, 2018). Esineiden internet (IoT), kyberfyysiset järjestelmät (CPS), big data, tekoäly ja pilvipalvelut ovat teknologioita, jotka ovat tulleet tunnetuksi Industry 4.0 -käsitteet myötä (Custodio & Machado, 2020; Zuniga, Moris & Syberfeldt, 2017). Näiden teknologioiden avulla on tarkoitus yhdistää valmistusteollisuuden ja liiketoiminnan toimijoita yhdeksi kokonaisuudeksi, jossa ihmiset ja teknologia ovat tiiviimmässä vuorovaikutuksessa keskenään. Leen ym. (2018) mukaan IoT-laitteet ja CPS-järjestelmät mahdollistava, että materiaalit,

sensorit, koneet ja tuotteet ovat yhteydessä toisiinsa ja kommunikoivat keskenään. He kertovat lisäksi, että kaikkia yhdistettyjä elementtejä pystytään seuraamaan ja valvomaan, mikä auttaa valmistajia mittaamaan muun muassa suorituskykyä (Lee ym., 2018). Toimitusketjun hallinta ja seuraaminen helpottuu, minkä takia myös materiaalivirtaa ja varaston toimintaa pystytään kehittämään. Tarkastellessa myös liiketoiminnallisesta ja strategisesta näkökulmasta, on mahdollista havaita Industry 4.0 aikaansaamia hyötyjä. Lee ym. (2018) mainitsevat ns. hajautetun älykkään päätöksenteon, joka on mahdollista, kun digitalisuus ja automaattisuus lisääntyy valmistusympäristössä. Liikekumppanit, tuotteet ja muu ympäristö pystyvät kommunikoimaan tehokkaammin keskenään, mikä tukee edellä mainittua päätöksentekoa (Lee ym., 2018).

Kattepurin, Mukherjeen ja Balamuralidharin (2018) mukaan Industry 4.0 -käsite on koneiden, robottien, IoT-laitteiden sekä liiketoimintaprosessien ja ihmisten välistä koordinoitua aikarajoitteisessa ja turvallisuuskriittisissä ympäristöissä. Kyseiset seikat liittyvät laajasti myös automaatiovarastojen toimintaa, minkä takia käsite on syytä ottaa huomioon tarkastellessa nykyaikaisten automaatiovarastojen toimintaa ja kehitystä. Koneet ja robotiikka on verrastettavissa varastoissa käytettäviin automaattisiin laitteisiin, kuten AS/RS-järjestelmiin. IoT-laitteet ovat yleistyneet yhä enemmän valmistusteollisuudessa ja näin ollen niitä on otettu käyttöön myös automaatiovarastoissa. Liiketoimintaprosessien voidaan myös katsoa liittyvän osaksi automaatiovarastoja varastojen ollessa tärkeä osa toimitusketjua. Aiemmin mainittu varastojen dynaamisuus tukee myös Industry 4.0 -käsitteeseen liittyvää aikarajoitteista ympäristöä.

Kattepur ym. (2018) esittelevät Hermannin, Pentekin ja Otton (2016) tutkimuksessa esiin tulleet neljä ominaisuutta, joihin Industry 4.0 -käsite liittyy ja näitä ovat yhteensopivuus, informaation läpinäkyvyys, tekninen apu ja hajautetut päätökset. Ensimmäinen eli yhteensopivuus liittyy juuri aiemmin esiin tulleeseen koordinoituihin. Informaation läpinäkyvyys muodostuu tietojärjestelmiin ja palveluihin tuotetusta lisäarvosta, joka on peräisin sensoreiden datalla parannelluista fyysisistä järjestelmistä. Teknisellä avulla viitataan muun muassa robottiautomaation toimintaan toistuvien ja tarkkojen tehtävien suorittamisessa. Tämänkaltaiset järjestelmät ovat kykeneviä tekemään itsenäisiä päätöksiä, jolloin vain kriittisimmät tilanteet tarvitsevat ihmisen väliintulon. Tästä muodostuu viimeinen ominaisuus eli hajautetut päätökset. (Kattepur ym., 2018; Hermann ym., 2016.)

De Kosterin ym. (2007) mukaan tilauksen keräämisen ja palvelutason välillä on tärkeä yhteys, joka muodostuu siitä mitä nopeammin tilaus voidaan noutaa varastosta, sitä nopeammin se on toimitettavissa asiakkaalle. Hen ym. (2018) mukaan älykäs varastoautomaatio mahdollistaa asiakaslähtöiset palvelut, kuten valinnanvaran monipuolisiin toimituksiin. He kertovat joidenkin asiakkaiden haluavan nopean, mutta kalliimman toimituksen ja toiset ovat valmiita hyväksymään pidemmän toimitusajan, jos saavat toimituksen edullisempaan hintaan. Varaston ollessa tärkeä osa toimitusketjua, vaikuttaa se paljon toimitusaikoihin. (He ym., 2018.)

4.5 Hyödyt

Perinteisiin varastoihin liittyy paljon ongelmia, kuten tilankäyttö ja työlääät varastotoiminnot. Verkkokaupan lisääntyessä tavaravirta kasvaa edelleen, joten automatisoinnille ja robotiikan tuomat hyödyt merkitsevät paljon, varsinkin suuren volyymin varastoissa. Azadehin ym. (2019) mukaan suuret varastohallit ja muut operaatiot, kuten rekkaliikenne ja tavarantoiminnan lastaaminen sekä vastaanottaminen vaatii paljon tilaa ja sisältävät myös paljon hukka-aikaa. He kertovat lisäksi, että vaikka automaatiovarastojen ollessa myös suuria, ovat ne silti huomattavasti pienempiä ja kustannustehokkaampia kuin manuaaliset (Azadeh ym., 2019).

Ongelmia esiintyy myös itse varastojen sisällä tehdyissä operaatioissa. Yleensä keräily on ensimmäinen varasto-operaatio, jota halutaan kehittää ja automatisoida. Azadehin ym., (2019) mukaan varastojen kallein ja työläin prosessi on keräily. Se on toistuvaa, ergonomia on yleensä huono ja työajat ovat monesti vuorotyötä. De Koster, Le-Duc ja Roodbergen (2007) kertovat myös tilausten keräämisen (keräilyn) olevan tunnistettu pitkään työläimmäksi ja kalleimmaksi operaatioksi lähes jokaisessa varastossa. Heidän mukaansa se tuottaa jopa 55 % varaston kokonaiskustannuksista (De Koster ym., 2007).

Roodbergen ja Vis (2009) listaavat myös automaatiovarastojen tarjoamiksi hyödyiksi säästöt työvoimakustannuksissa ja lattiapinta-alassa. Lisäksi he kertovat luotettavuuden nousseen ja virhetasojen pienentyneen (Roodbergen & Vis, 2009). Varasto-automaatioon siis luotetaan ja yleinen uskomus onkin, että automaatio tekee vähemmän virheitä, kuin ihminen.

Edellä mainittujen syiden takia on ymmärrettävää miksi varastointiopeeraatiot saavat paljon huomiota automatisointiin liittyvien ratkaisuiden suhteen. Bakerin ja Halimin (2007) tutkimuksen mukaan pääasialliset tekijät, jotka synnyttivät tarpeen varastoautomaation käyttöönottamiselle, olivat muun muassa: kasvun mukana pysyminen, kulujen pienentäminen, asiakaspalvelun parantaminen, henkilöstön määrän pienentäminen ja tarkkuuden parantaminen.

4.6 Haasteet

Automaation käyttöönotto varastossa ei tapahdu nopeasti. Täysinmittaisesti sitä on mahdotonta ottaa käyttöön suoraan manuaalivarastoon, vaan tilat joudutaan muuttamaan automaatiolaitteistojen mukaisiksi. Tästä syystä käyttöönotto on pitkä ja kallis prosessi, joka vaatii paljon suunnittelua organisaation puolesta, mikäli se halutaan toteuttaa kerralla onnistuneesti. Gagliardi, Renaud ja Ruiz (2012) korostavat, että suurien investointien sekä huomattavien käyttökustannusten takia automaatiojärjestelmien käytön on oltava mahdollisimman tehokasta.

Baker ja Halim (2007) listasivat tutkimuksessaan suurimmat huolet, jota varastoautomaation käyttöönottoon liittyy. Näitä ovat muun muassa pelko teknologian toimimattomuudesta, korkeat pääomakustannukset, työkuulttuurin

muutosta koskevat kysymykset ja joustavuus. Roodbergen ja Vis (2009) kertovat myös korkeiden investointi kustannuksien olevan eräs haitta, mutta myös pienempi joustavuus ja ohjaujärjestelmiin kohdistuvat suuremmat investoinnit. Wang, Mcintosh ja Brain (2010) kertovat, että varastomäärän tiukempi hallinta, lyhyempi vasteaika ja varastoyksiköiden (SKU) suuri määrä ovat tärkeimpiä asioita, jotka nykyaikaisten varastojen suunnittelussa on otettava huomioon.

Käyttöönottoprojektien pituudet vaihtelevat, mutta Bakerin ja Halimin (2007) mukaan keskimääräinen pituus näille on 20 kuukautta. Mikä lisää tästä syntyviä haasteita on, että käyttöönoton aikana muissa toiminnoissa voi tapahtua häiriöitä. Nämä voivat johtua IT-järjestelmistä tai laitteiden asennuksista (Baker & Halim, 2007). Käyttöönottoprojekteista tekee pitkiä ennen kaikkea niiden haasteellisuus. Gagliardin, Renaudin ja Ruizin (2012) mukaan automaattisten varastojärjestelmien kokoonpanon haasteellisuuteen liittyy suunnittelu näkökulman lisäksi taktinen ja operatiivinen näkökulma. He kertovat näiden näkökulmien olevan haasteellisia siksi, koska automaatiojärjestelmät toimivat erittäin dynaamisessa ja levottomassa ympäristössä, jossa kysynnän ennustaminen on lähes mahdotonta (Gagliardi, Renaud & Ruiz, 2012).

Ihmisten ja automaation välille saattaa työnteossa muodostua haasteita, varsinkin silloin kun varasto-operaatioissa yhdistyvät sekä manuaaliset että automaattiset toiminnot. Preuveneersin ja Berbersin (2009) mukaan automaatiovarastojen yksi suurimpia haasteita on manuaalisten ja automaattisten toimintojen optimointi materiaalivirran parantamiseksi. He lisäävät, ettei ihmisten toiminnan integroiminen automaatoratkaisuihin ole suoraviivaista ihmisten arvaamattoman käyttäytymisen vuoksi (Preuveneers & Berbers, 2009).

Automaattisia ja manuaalisia toimintoja on monesti välttämätöntä yhdistää, keräilyn tuomien haasteiden takia. Ongelmia syntyy, kun kerättävien tuotteiden valikoima on todella laaja (vrt. verkkokaupat ja valmistusteollisuus). Custodion ja Machadon (2020) mukaan roboteilla suoritettava automaattinen keräily osoittautuu tällöin yleensä haasteelliseksi, sillä robottikeräilijöiden ”tarttumat” eivät ole yhtä joustavia, kuin ihmiskädet, jolloin eri muotoisten, kokoisten ja painoisten tuotteiden kerääminen hankaloituu. He kertovat lisäksi, että robottien tulisi olla muulloinkin joustavampia, jotta niiden ohjelmoiminen uusiin tehtäviin onnistuisi nopeasti (Custodio & Machado, 2020).

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tässä luvussa kootaan yhteen tutkielmassa käydyt asiat ja tiivistetään tärkeimmät havainnot. Varastohallintajärjestelmien historia käydään läpi tiivistämällä jokainen vuosikymmen omiin lyhyisiin kappaleisiin, minkä jälkeen kootaan yhteen saavutetut tulokset nykyaikaisista WMS-järjestelmistä ja automaatiovarastoista sekä pohditaan niiden merkitystä tutkielman kokonaisuuden kannalta. Lopuksi annetaan ehdotuksia jatkotutkimukselle.

Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, ja sen tavoitteena oli vastata kahteen tutkimuskysymykseen: ”Miten varastohallintajärjestelmät ovat kehittyneet?” ja ”Millaisia ovat nykyaikaiset automaatiovarastot?”. Tutkielma koostui alussa käsiteltävästä historia osuudesta, jota seurasi nykyaikaisten varastohallintajärjestelmien esittely sisältäen niiden tarjoamat hyödyt, niistä johtuvat haasteet sekä tiiviin katsauksen palveluntarjoajiin ja ohjelmiston valintaan. Varastohallintajärjestelmien käsittelyn jälkeen oli vähintäänkin johdonmukaista tuoda esille myös nykyaikaisen varastohallinnan fyysistä puolta eli robotiikkaa ja automaatiota. Luvun sisältö koostui erilaisten järjestelmien esittelystä sekä varastoautomaation tuomista hyödyistä ja haitoista. Luvussa myös esiteltiin käsite Industry 4.0 ja kuinka se vaikuttaa varastojen toimintaan.

Vaikka 1960-luvulla haaveiltiin koko organisaation laajuisten toiminnanohjausjärjestelmien käyttöönotosta, ei niitä pystytty käytännössä toteuttamaan sen aikaisten tietotekniikasta johtuvien rajoitteiden takia. Organisaatioissa käytettiin yksinkertaisia varastohallintajärjestelmiä, joiden avulla pidettiin ensisijaisesti kirjaa pelkästään varastonmääristä. Yksi näistä järjestelmistä oli niin sanottu ROP-järjestelmä, joiden käytöstä tuli mahdollista ensimmäisten keskus-tietokoneiden saapuessa markkinoille. MRP-järjestelmä katsotaan syntyneen myös 60-luvulla, muttei sitä ollut mahdollista kaupallistaa ennen kuin RAM-muisti otettiin tietokoneissa käyttöön. Tähän aikaan organisaatioiden kilpailu-valttina toimi kustannuksien minimointi.

1970-luvulla MRP-järjestelmät alkoivat korvaamaan aiempia järjestelmiä, ja samalla niiden käyttäjäkunta kasvoi huomattavasti. Tehokkaampi tietojenkäsittely oli mahdollista kehittyneen tietotekniikan, kuten nopeampien levyasemien ja ohjelmistojen avulla. Kilpailuvaltti vaihtui kustannuksien minimoimisesta markkinointiin, mikä lisäsi paineita myös tietojärjestelmien kehittämiseksi.

1980-luvulla MRP-järjestelmät kehittyivät entisestään ja alettiin puhumaan MRP II -järjestelmistä. Tietotekniikan kehittyminen mahdollisti organisaatioissa myös entistä nopeamman siirtymisen uusiin järjestelmiin. Tällöin myös kilpailuvaltti vaihtui markkinoinnista laatuun.

1990-luvulla ERP-järjestelmät oli viimein mahdollista kaupallistaa. Alan johtavimpiin palveluntarjoajiin kuuluivat muun muassa Oracle, SAP ja Baan. Myös WMS-järjestelmät yleistyivät tuotannon ja logistiikan kehittyessä. Uudet käsitteen, kuten JIT, Lean ja SCM pakottivat muutoksia varastohallintajärjestelmille.

Uudelle vuosituhannele siirtyessä ERP- ja WMS-järjestelmien suosio kasvoi entisestään. Nopeasti kehittyvä tietotekniikka mahdollisti ohjelmistokehityksen ohella myös varastoautomaation kehittymisen ja uusien teknologioiden, kuten RFID:n käyttöönoton varastohallinnassa. IT-ohjelmistoihin luotettiin yhä enemmän ja niitä pidettiin tehokkaimpana tapana saavuttaa tulevaisuuden tavoitteet.

Nykyaikaisia WMS-järjestelmiä tarkastellessa tutkielmassa keskityttiin siihen, mikä on varastohallintajärjestelmien pääasiallinen tarkoitus tänä päivänä. Kulutuskäyttäytymisen muuttuessa verkkokaupat lisääntyvät ja asiakaspalvelun merkitys korostuu yhä enemmän. Tämän kasvattaessa tuotantomääriä, myös toimitusketjun toiminta muuttuu jatkuvasti dynaamisemmaksi ja tekee markkinoiden ennustamisesta haastavampaa. Jotta tilaukset pystyttäisiin käsittelemään mahdollisimman nopeasti ja virheettömästi, aiheuttaa se paljon paineita varastohallinnalle. Sen lisäksi, että WMS-järjestelmä on välttämätön varastohallinnalle, sen on myös oltava mahdollisimman hyvin optimoitu, jotta varastohallinta olisi mahdollisimman tehokasta. Yleensä "off-the-shelf" tyyppiset WMS-ohjelmistot eivät täytä tehokkaan varastohallinnan tarpeita, joten organisaatioiden on räätälöitävä järjestelmät omia käyttötarkoituksia varten tai käytettävä useampaa eri järjestelmää.

WMS-järjestelmät mahdollistavat sujuvamman materiaalivirran ja paremman tilankäytön varastoissa. Materiaalinhallinta helpottuu ja tarkentuu WMS-järjestelmän tarjoaman reaaliaikaisen tiedon avulla. Suurin osa (yli 50 %) WMS-järjestelmän tarjoamista hyödyistä liittyy työn tuottavuuteen joko suoraan (20 %) tai epäsuorasti (30 %).

Vaikka hyödyt puoltavat WMS-järjestelmän käyttöönottoa, on havaittavissa myös haasteita, jotka saavat organisaatioita pohtimaan järjestelmien käyttöönoton kannattavuutta. Onnistuneet käyttöönottoprosessit voivat kestää jopa 30 kuukautta ja kustannuksia voi syntyä jopa yli kaksi miljoonaa dollaria (USD). Myös ongelmat yrityskulttuurissa ja aikaisemmin pieleen menneet projektit voivat haitata käyttöönottoprosessia ja tehdä pahimmassa tapauksessa järjestelmästä täysin arvottoman monimutkaistamalla toimintoja ja lisäämällä työmäärää. Tästä syystä oikean ohjelmiston valintaan liittyen on syytä tehdä huolelliset suunnitelmat koko organisaation tasolla.

Automaatiovarastojen pääasiallinen tarkoitus WMS-järjestelmien tavoin on mahdollistaa tehokas materiaalivirta, mutta fyysisellä tasolla hyödyntäen robotiikkaa ja tekoälyä. Perinteiset AS/RS-järjestelmät soveltuvat hyvin yksinkertaisiin ympäristöihin, joissa käsitellään kokonaisia varastoyksiyöitä sen sijaan, että niistä suoritettaisiin tarkkoja yksittäisiä keräilytehtäviä. AS/RS-järjestelmät

voivat toimia täysin automaattisesti, mutta useimmiten niiden tehtävä on tukea työntekijöiden suorittamaa tavarankäsittelyä. Tutkielmassa esiteltyjä keräilymenetelmiä olivat Human-to-Goods, Pick-to-Box, Pick-and-Sort ja Goods-to-Human kasvavassa järjestyksessä suhteessa siihen, miten paljon automaatio on osana kyseistä keräilymenetelmää. Täysin automaattinen keräily on haastavaa toteuttaa, johtuen keräiltävien tuotteiden monipuolisuudesta niin muodon, koon ja painon takia. Robottikeräilijöiden ”tarttumat” eivät ole verrattavissa joustavuudeltaan ihmiskäteen sekä niiden ohjelmoiminen uusien työtehtäviin on varsin hidasta. AGV-järjestelmät ovat yleistyneet myymäläpohjaisissa varastoympäristöissä, joissa automaattisesti ohjatut varastoajoneuvot liikkuvat ennalta määritettyjä reittejä tavaraa liikuteltaessa. AVS/R-järjestelmät hyödyntävät autonomisesti liikkuvia sukkuloita, jotka ovat kykenevämpiä joustavampiin toimintoihin ja suurempaan hakukapasiteettiin.

Viimeaikaisimpana vaikuttajana valmistusteollisuudessa on toiminut neljäs teollisuuden vallankumous eli Industry 4.0. Se tuo uusimmat teknologiat, kuten CPS-järjestelmät ja IoT-laitteet osaksi teollisuutta ja täten myös osaksi varastohallintaa. Käsite otettiin virallisesti käyttöön ensimmäistä kertaa Saksassa vuonna 2011 ja se on siitä lähtien kasvattanut suosiotaan. Varastohallinnan ja varsinkin automaatiovarastojen kannalta käsite on merkittävä, sillä se keskittyy robottien, IoT-laitteiden sekä liiketoimintaprosessien ja ihmisten väliin koordinointiin aikarajoitteisissa ja turvallisuuskriittisissä ympäristöissä.

Varastoautomaatio tarjoaa ratkaisun liittyen tilankäyttöön, työläisiin varasto-operaatioihin ja virhetasoihin. Ne ovat yleensä myös kustannustehokkaampia kuin manuaaliset varastot. Haasteiksi lukeutuu kuitenkin korkeat pääomakustannukset, pitkät käyttöönottoprojektit, pelko teknologian toimimattomuudesta ja huoli siitä, että työkulutturi tulee muuttumaan työntekijöiden kesken huonompaan suuntaan automaation muuttaessa vakiintuneita työskentelytapoja.

Tutkielman toisessa luvussa haettiin ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastausta ja se myös onnistuttiin tarjoamaan tarkasti ja laajamittaisesti. Vaikka toiminnanohjausjärjestelmistä käydään paljon tieteellistä keskustelua, tarkempi syventyminen siihen, mistä ne ovat alun perin lähtöisin jää usein huomioimatta. Tästä osiosta teki haasteellisen se, että useimmat WMS-järjestelmiä käsittelevät tutkimukset liittyivät nykyaikaisiin järjestelmiin, joten historiaan syventyessä oli otettava selvää myös monesta muusta toimitusketjuun liittyvästä ohjelmistosta. Tarkastelemalla toimitusketjua laajemmin, se auttoi myös ymmärtämään, miten paljon varastohallinnalla on merkitystä koko toimitusketjun toimintaan ja menestymiseen. Toisin kuin aiemmat tutkimukset tämän tutkielman toinen luku kokoaa yhteen sen, miten varastohallintajärjestelmät ovat kehittyneet viimeisen 60 vuoden aikana, ja mitkä kaikki tekijät ovat tähän vaikuttaneet. Kolmannessa luvussa varastohallintajärjestelmien kehittyminen vietiin päätökseen esittelemällä, millaisia ovat nykyaikaiset WMS-järjestelmät.

Tutkielman neljäs luku tarjosi vastauksen toiseen tutkimuskysymykseen kooten yhteen sen, millaisia ovat nykyaikaiset automaatiovarastot. Järjestelmien osalta rajaus tehtiin yleisimpiin eli AS/RS-, AGV- ja AVS/R-järjestelmiin, joiden toimintaperiaate ja soveltuvuus toimintaympäristöihin käytiin läpi. Uuden Industry 4.0-käsitteen liittäminen aiheeseen lisäsi ajankohtaisuutta, minkä ansi-

osta tutkielma on relevantti myös usean vuoden päästä. Samaan tapaan kuin WMS-järjestelmien suhteen, myös automaatiovarastojen tarjoamat hyödyt sekä haasteet esiteltiin. Tämän ansiosta tutkielmasta hyöttyy myös niin WMS-järjestelmien kuin varastoautomaation implementoimista harkitsevat tahot.

Jatkotutkimuksen kannalta olisi erityisen tärkeää se, että varsinkin Industry 4.0 -käsite huomioitaisiin laajemmin varastohallintaan liittyvissä tutkimuksissa. Sen merkitys on suuri varsinkin automaatiovarastoja ajatellen, mikä tekee siitä relevantin koko toimitusketjun optimaalisen toiminnan kannalta. Samoin WMS-järjestelmien yhteensopivuutta varastoautomaatiojärjestelmiin olisi hyvä tutkia enemmän, jotta pystyttäisiin luomaan selkeä viitekehys niin ohjelmistojen kuin laitteistojen yhteensopivuudesta eri teollisuuden aloilla.

LÄHTEET

- Alexander Communications Group, Warehouse Management and Control Systems, 2003 (Alexander Communications Group: New York).
- Amato, F., Basile, F., Carbone, C. & Chiacchio, P. (2005). An approach to control automated warehouse. *Control Engineering Practice*, 13(10), 1223-1241. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2004.10.017>
- Atieh, A. M., Kaylani, H., Al-Abdallat, Y., Qaderi, A., Ghoul, L., Jaradat, L. & Hdairis, I. (2016). Performance Improvement of Inventory Management System Processes by an Automated Warehouse Management System. *Procedia CIRP*, 41(C), 568-572. doi:10.1016/j.procir.2015.12.122
- Azadeh, K., De Koster, R. & Roy, D. (2019). Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and Recent Developments. *Transportation Science*, 53(4), 917. doi:10.1287/trsc.2018.0873
- Baker, P. & Halim, Z. (2007). An exploration of warehouse automation implementations: Cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(2), 129-138. doi:10.1108/13598540710737316
- Ballou, R. H. (2007). The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*, 19(4), 332-348. <https://doi.org/10.1108/09555340710760152>
- Basile, F., Chiacchio, P. & Coppola, J. (2012). A Hybrid Model of Complex Automated Warehouse Systems-Part I: Modeling and Simulation. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 9(4), 640-653. <https://doi.org/10.1109/TASE.2012.2215322>
- Chen, J. C., Cheng, C. - H., Huang, P. B., Wang, K. - J., Huang, C. - J. & Ting, T. - C. (2013). Warehouse management with lean and RFID application: A case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(1-4), 531. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5016-8>
- Culler, D. & Long, J. (2016). A Prototype Smart Materials Warehouse Application Implemented Using Custom Mobile Robots and Open Source Vision Technology Developed Using EmguCV. *Procedia manufacturing*, 5, 1092-1106. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.080>
- Custodio, L. & Machado, R. (2020). Flexible automated warehouse: A literature review and an innovative framework. *The International Journal of Advanced*

Manufacturing Technology, 106(1-2), 533-558.
<https://doi.org/10.1007/s00170-019-04588-z>

Dallari, F., Marchet, G. & Melacini, M. (2009). Design of order picking system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(1), 1-12.
<https://doi.org/10.1007/s00170-008-1571-9>

De Koster, R., Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182(2), 481-501.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>

Devereaux, L., What they don't tell you about warehouse management systems. *Progressive Distributor*, 2001, Jan./Feb., 1-3.

eSync International, Warehouse management systems perspective'01. White Paper, eSync International, Toledo, 2001.

Esmailian, B., Behdad, S. & Wang, B. (2016). The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of manufacturing systems*, 39, 79-100.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>

Faber, N., de Koster, M. & Smidts, A. (2013). Organizing warehouse management. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(9), 1230-1256. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2011-0471>

Gagliardi, J., Renaud, J. & Ruiz, A. (2012). Models for automated storage and retrieval systems: A literature review. *International journal of production research*, 50(24), 7110-7125. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.633234>

Gania, I., Stachowiak, A. & Oleśków-Szłapka, J. (2017) Flexible manufacturing systems Industry 4.0 solution. 24th International Conference on Production Research (ICPR 2017).

Gartner peerinsights. Warehouse Management Systems Reviews and Ratings. Haettu 25.5.2021 osoitteesta <https://www.gartner.com/reviews/market/warehouse-management-systems>

Grand View Research. (2021, helmikuu). Warehouse Management Systems Market Report, 2021-2028. Haettu 25.5.2021 osoitteesta <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/warehouse-management-system-wms-marketda>

Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European journal of operational research*, 177(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>

- He, Z., Aggarwal, V. & Nof, S. Y. (2018). Differentiated service policy in smart warehouse automation. *International journal of production research*, 56(22), 6956-6970. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1421789>
- Helo, P. & Szekely, B. (2005). Logistics information systems: An analysis of software solutions for supply chain co-ordination. *Industrial Management & Data Systems*, 105(1), 5-18. <https://doi.org/10.1108/02635570510575153>
- Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *49th Hawaii Intl. Conf. On System Sciences*, 2016. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hounsell, R., What to do when a WMS no longer meets your needs. *The Newsletter for Warehouse Management and Control System Users*, 2002, 4, 4-6.
- Kanet, J. (1988). MRP 96: Time to Rethink Manufacturing Logistics. *Production and Inventory Management Journal*, 29(2), 57.
- Kattepur, A., Mukherjee, A. & Balamuralidhar, P. (2018). Verification and Timing Analysis of Industry 4.0 Warehouse Automation Workflows. *2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 2018, 1297-1304. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2018.8502587>
- Kozak, M., System bugs stall fast start to WMS. *The Newsletter for Warehouse Management and Control Systems Users*, 2002, 4, 1-3.
- Kumar, K. & Hillegersberg, J., V. (2000). ERP experiences and evolution. Association for Computing Machinery. *Communications of the ACM*, 43(4), 22-26. doi:10.1145/332051.332063
- Kumar, S., Narkhede, B. E. & Jain, K. (2021). Revisiting the warehouse research through an evolutionary lens: A review from 1990 to 2019. *International journal of production research*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1867923>
- Lambert, D. & Cooper, M. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65-83. [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00113-3)
- Lee, C., Lv, Y., Ng, K., Ho, W. & Choy, K. (2018). Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart logistics. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2753. doi:10.1080/00207543.2017.1394592
- Lee, E. (2008). Cyber Physical Systems: Design Challenges. *2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*. <https://doi.org/10.1109/ISORC.2008.25>

- Lerher, T. (2018). Aisle changing shuttle carriers in autonomous vehicle storage and retrieval systems. *International journal of production research*, 56(11), 3859-3879. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1467060>
- Mabert, V. A. (2007). The early road to material requirements planning. *Journal of operations management*, 25(2), 346-356. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.002>
- Mao, J., Xing, H. & Zhang, X. (2018). Design of Intelligent Warehouse Management System. *Wireless Personal Communications*, 102(2), 1355-1367. doi:10.1007/s11277-017-5199-7
- Markets and Markets. (2020, heinäkuu). Warehouse Management System Market. Haettu 25.5.2021 osoitteesta <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/warehouse-management-system-market-41614951.html><https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/warehouse-management-system-market-41614951.html>
- McGaughey, R. & Gunasekaran, A. (2007). Enterprise Resource Planning (ERP): Past, Present and Future. *International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)*, 3(3), 23-35. <https://doi.org/10.4018/jeis.2007070102>
- Min, H. (2006). The applications of warehouse management systems: an exploratory study. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 9(2), 111-126.
- Min, H. & Zhou, G. (2002). Supply chain modeling: Past, present and future. *Computers & industrial engineering*, 43(1), 231-249. doi:10.1016/S0360-8352(02)00066-9
- Orlicky, J. *Material Requirements Planning*. New York: McGrawhill, 1975.
- Preuveneers D., Berbers Y. (2009) Modeling Human Actors in an Intelligent Automated Warehouse. *ICDHM 2009: Digital Human Modeling*, 285-294. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 5620. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02809-0_31
- Richards, G. (2014). *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*. London: Kogan Page.
- Robert Jacobs, F. & 'ted' Weston, F. (2007). Enterprise resource planning (ERP)—A brief history. *Journal of operations management*, 25(2), 357-363. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.11.005>
- Rondeau, P. J. & Litteral, L. A. (2001). Evolution of manufacturing planning and control systems: From reorder point to enterprise resources planning. *Production & Inventory Management Journal*, 42(2), 1.

- Roodbergen, K. J. & Vis, I. F. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European journal of operational research*, 194(2), 343-362. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038>
- Skinner, W. (1985). The taming of lions how manufacturing leadership evolved, 1780 - 1984.
- Smith, J. D. (1998). *The Warehouse Management Handbook*. (2. painos). Tompkins Press.
- Taljanovic, K. & Salihbegovic, A. Software agents oriented approach to warehouse management systems design. *ISCA – 17th international conference on software engineering and data engineering*, 157-62.
- Ten Hompel, M. & Schmidt, T. (2008). *Warehouse Management*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Trend Micro. Industrial Internet of Things (IIoT). Haettu 27.5.2021 osoitteesta <https://www.trendmicro.com/vinfo/us/security/definition/industrial-internet-of-things-iiot>
- Van Den Berg, J. P. & Zijm, W. H. M. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 519-528.
- Wang, Q., McIntosh, R. & Brain, M. (2010). A new-generation automated warehousing capability. *International journal of computer integrated manufacturing*, 23(6), 565-573. <https://doi.org/10.1080/09511921003706215>
- Warehouse Logistics. The WMS Market. Haettu 25.5.2021 osoitteesta <http://www.warehouse-logistics.com/en/wms-market.html>
- Yoo, C. H., Chung, I. Y., Lee, H. J. & Hong, S. S. (2016). Intelligent control of battery energy storage for multi-agent based microgrid energy management. *Energies*, 6(10), 4956-4979.
- Zhang, Y., Liu, B., Zhang, T. & Guo, B. (2015). An intelligent control strategy of battery energy storage system for microgrid energy management under forecast uncertainties. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(8), 4190-4204.
- Zuboff, S. *In the Age of the Smart Machine*. New York: Basic Books, 1988.
- Zuniga, E. R., Moris, M. U. & Syberfeldt, A. (2017). Integrating simulation-based optimization, lean, and the concepts of industry 4.0. <https://doi.org/10.1109/WSC.2017.8248094>