

Lyydia Murto-Unkila

**VARASTON KERÄILYPROSESSIN
KEHITTÄMINEN
VARASTOAUTOMAATION AVULLA**
Analyysi hankintaprosessin tueksi

Kandidaatintutkielma
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastaja: Ulla Saari
Toukokuu 2022

TIIVISTELMÄ

Lyydia Murto-Unkila: Varaston keräilyprosessin kehittäminen varastoautomaation avulla,
Analyysi hankintaprosessin tueksi
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2022

Globaalien markkinoiden trendit asettavat varaston yhä kriittisempään asemaan yritysten tuotanto- ja toimitusketjuissa. Asiakkaat vaativat nopeampia ja tarkempia toimituksia, tuotanto- ketjussa vaaditaan tehokkaampaa materiaalin siirtymistä ja globaalien markkinoiden kilpailu asettaa vaatimuksia yhä korkeamman palvelutason ja laadun saavuttamiselle pienemmillä kustannuksilla. Varaston keräilyprosessi on varastotoiminnan aika- ja kustannusresursseja vievin toiminto, minkä vuoksi sen automatisointi on monille yrityksille tärkeä kilpailuetu ja kasvun mahdollistaja.

Tämän tutkielman tavoite on selvittää varaston keräilyprosessin automaatiohankkeen tietotarpeita ja onnistumisen edellytyksiä sekä kehittää näiden perusteella keräilyprosessin automatisoinnin viitekehys. Viitekehysten tarkoitus on tukea hankintaprosessia tietotarpeiden tunnistamisen kautta sekä ohjata toimittaja- ja sidosryhmien valintaa ja yhteistyötä optimaalisen varastoautomaatioratkaisun suunnitteluun ja käyttöönottoon. Tässä tutkielmassa analysoidaan tyypillisiä varaston keräilyprosessin automaatioratkaisuja, varaston suunnittelua sekä hankintaprosessin, käyttöönoton ja pitkäaikaisen käytön onnistumisen edellytyksiä. Kehitetty keräilyprosessin automatisoinnin viitekehys koostuu kolmesta osa-alueesta: varastoautomaation vaihtoehtojen tunnistaminen, varaston ja varastoautomaation suunnittelu sekä riskien huomioiminen ja ehkäiseminen. Viitekehys soveltuu mahdollisesti varastoautomaatioprojekteihin tukevaksi pohjaksi, malliksi tai päätöksenteon työkaluksi. Tämä tutkielma on tehty kirjallisuuskatsauksena.

Avainsanat: automaatio, varastointi, logistiikka, keräily, suunnittelu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Lydia Murto-Unkila: Improving the warehouse order picking process with automation,
Analysis to support the automation project
Bachelor's Thesis
Tampere University
Industrial engineering and management
May 2022

Global market trends place warehousing in an increasingly critical role in the companies' supply and logistics chain. Customers demand faster and more timely deliveries, supply chains require more efficient material handling, and global competition demands companies to achieve higher service levels and quality while lowering operational costs. Order picking is often the most labour-intensive and costly operation in warehousing. Therefore, automation for order picking processes can be necessary to achieve competitive advantage and facilitate growth.

The purpose of this thesis is to research needs for information and conditions for success in the order picking automation projects and develop a framework for the automation of the order picking process. The framework's purpose is to support the automation project in recognizing information needs and guide the selection of and cooperation with suppliers and stakeholders in the direction of optimal design and implementation of order picking automation. This thesis analyses typical order picking automation solutions, warehouse design factors and conditions for success for the automation process, implementation, and long-term use. The developed framework for the automation of the order picking process consists of three parts: recognition of different automation solutions, warehouse and warehouse automation design, and consideration and prevention of risks. The framework could serve as a template, a model, or a decision-making tool in warehouse automation projects. This thesis is a literature review.

Keywords: automation, warehousing, logistics, order picking, design

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Kesätoivissa sain mahdollisuuden tutustua paternostimen käyttöönottoon, minkä kautta kiinnostuin varastoinnin kehittämisestä ja automaattioratkaisuista. Asioiden näkeminen käytännössä inspiroi minua kirjoittamaan vastaavanlaisia projekteja tukevan tutkielman. Toivottavasti tutkielmastani on apua sinulle, jos suunnittelet tällä hetkellä varaston automatisointia. Toivon, että työni inspiroi myös tutkielmaa lukevia opiskelijoita käytännönläheisten tieteellisten julkaisujen tuottamisessa.

Haluan kiittää professori Miia Martinsuota ja yliopistotutkija Ulla Saarta kannustavasta palautteesta ja ohjauksesta. Lisäksi kiitän läheisiäni, joilta sain henkistä tukea työn tieteellisen merkityksen ja kontribuution pohdintaan.

Tampereella, 5.5.2022

Lyydia Murto-Unkila

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUSMENETELMÄ	3
3. VARASTON AUTOMATISOINTI	5
3.1 Varastoinnin rooli modernissa liiketoimintaympäristössä	5
3.2 Varaston automatisoinnin tavoitteet	6
3.3 Varastoautomaattioratkaisut ja niiden luokittelu	9
4. VARASTOAUTOMAATIN HANKINTA JA SUUNNITTELU	13
4.1 Varastoautomaatin hankintaprosessi	13
4.2 Varastoautomaatin suunnittelu	14
4.3 Varaston sijainti, mittasuhteet ja layout	16
4.4 Varastointipolitiikka ja keräilystrategiat	17
4.5 Analyttiset mallit ja simulointi	19
5. VARASTOAUTOMATISOINNIN HAASTEITA	21
5.1 Automatisoinnin taloudelliset ja toiminnalliset haasteet	21
5.2 Tietojärjestelmähaasteet	23
5.3 Pitkän aikavälin joustavuus, ylläpito ja modernisaatio	24
6. KERÄILYPROSESSIN AUTOMATISOINNIN VIITEKEHYS	26
7. PÄÄTELMÄT	28
LÄHTEET	29

KUVAT JA TAULUKOT

<i>Kuva 1.</i>	<i>Keräilyprosessin automaattioratkaisujen luokittelu. Perustuu lähteisiin (van den Berg & Zijm, 1999, s. 522–523; de Koster, 2007, s. 5–6; de Koster, 2012, s. 470; Park, 2012, s. 9, 18; Tappia et al., 2019).....</i>	<i>12</i>
<i>Kuva 2.</i>	<i>Varaston suunnittelun ja ohjauksen viitekehys. Perustuu lähteeseen (Rouwenhorst et al., 2000, s. 521–522).</i>	<i>14</i>
<i>Kuva 3.</i>	<i>Varastoautomaatin ja keräilymenetelmien kompleksisuus. Perustuu lähteisiin (Goetschalckx & Ashayeri, 1989, s. 102; Rouwenhorst et al., 2000; de Koster, 2007, s. 7).....</i>	<i>19</i>
<i>Kuva 4.</i>	<i>Keräilyprosessin automatisoinnin viitekehys.</i>	<i>27</i>
<i>Taulukko 1.</i>	<i>Tämän tutkielman kirjallisuudessa käytetyt hakusanat.</i>	<i>3</i>
<i>Taulukko 2.</i>	<i>Varaston keräilyprosessin automatisoinnin tavoitteita.</i>	<i>6</i>
<i>Taulukko 3.</i>	<i>Varaston toiminnan laadun vertailu AS/RS:n implementoinnin eri vaiheissa. Perustuu lähteeseen (Kapulin et al., 2017, s. 5).</i>	<i>24</i>

LYHENTEET JA KÄSITTEET

AS/RS	engl. Automated Storage and Retrieval System, automaattinen varastointi- ja hakujärjestelmä
AVS/R	engl. Autonomous Vehicle Storage and Retrieval, automaattinen varastointiajoneuvo
AGV	engl. Automatically Guided Vehicle, vihivaunu
ERP	engl. Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
IIE	engl. Integrated Information Environment, integroitu tietojärjestelmäympäristö
RCSR	engl. Robot based Compact Storage and Retrieval, robottien käyttöön perustuva kompakti varastoautomaatio
RFID	engl. Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
SBS/R	engl. Shuttle Based Storage and Retrieval, hissi- tai nosturiperusteinen varastoautomaatio
VLM	engl. Vertical Lift Module, vertikaalinen hissityyppinen varastoautomaatti
WMS	engl. Warehouse Management System, varastonhallintajärjestelmä
ABC-analyysi	luokkaperusteinen varastointimenetelmä, jossa kappaleiden varastopaikka määritellään keräilyn tiheyden ja kiertoasteen mukaan
aktiivialue	engl. forward area. Johdettu lähteestä (Logistiikan maailma, n.d.a)
allokointimenetelmä	engl. storage allocation policy. Johdettu lähteestä (Accorsi et al., 2014)
kohdistamis- menetelmä	engl. storage assignment policy. Johdettu lähteestä (Accorsi et al., 2014)
lajittelujärjestelmä	engl. sortation system, varaston järjestelmä, jolla kappaleet lajitellaan automaattisesti esimerkiksi liukuhihnalta kouruihin
layout	järjestystä kuvaava käsite, esimerkiksi varaston mittasuhteet, käytävien määrä ja hyllyjen järjestys (Accorsi et al., 2014)
miniload	pienikokoinen tai yhden nimikkeen sisältävä varastointiyksikkö (de Koster et al., 2007)
omnikanava	engl. omnichannel, kaikkikanavaisuus, liiketoimintamalli, jossa kaikki asiakaskontaktin rajapinnat ovat asiakkaan saatavilla ja integroituja keskenään
parts-to-picker	goods-to-picker, product-to-picker, keräilymenetelmä, jossa kappale siirretään keräilijän luokse
picker-to-parts	picker-to-goods, picker-to-product, keräilymenetelmä, jossa keräilijä siirtyy keräiltävien kappaleiden luokse
pinoamisnosturi	engl. stacker crane, eräs varaston automaatoratkaisu
reservialue	engl. reserve area. Johdettu lähteestä (Logistiikan maailma, n.d.a)
unit-load	varastointiyksikkö, esimerkiksi kontti, kolli, kuormalava, hylly, paletti tai laatikko. Johdettu lähteestä (Rouwenhorst et al., 2000)
varastonimike	engl. stock keeping unit, tunnusomainen koodi, jolla varastoitu kappale tunnistetaan

1. JOHDANTO

Varastointi ja materiaalinhallinta ovat kriittinen osa tuotantoketjun toimintaa ja näihin kohdistuvat vaatimukset kasvavat (Accorsi et al., 2014). Markkinoiden heilahtelu ja tuotevalikoiman kasvu sekä markkinoilla nousevat trendit, kuten palvelullistuminen, digitalisaatio ja verkkokauppaliikeytoiminta asettavat paineita varaston suorituskyvylle (Rushton et al., 2017, s. 291). Tilauskoot, -tiheydet ja toimitusaikavaatimukset kasvavat, virheellisiltä toimituksilta halutaan välttyä kokonaan ja samalla hallittavien varastonimikkeiden (engl. stock keeping unit) määrä lisääntyy (Accorsi et al., 2014). Varastotoiminnoilla on oltava kapasiteettia lisäarvoa tuottavien palvelujen suorittamiseen, kuten massakustomointiin, palautusten ja virheellisten tuotteiden hallintaan sekä korjaustoimenpiteisiin (de Koster et al., 2007; Frazelle 2016, alaluku 1.1). Tilaus-toimitusketjun haasteiden lisäksi varastointia tapahtuu koko toimitusketjun aikana, millä mahdollistetaan tarvittava toiminnan laajuus ja tiukassa valmistusaikataulussa pysyminen (Frazelle 2016, alaluku 1.2).

Varastoissa materiaali virtaa viiden tunnusomaisen vaiheen kautta: saapuvan tavaran vastaanottaminen, tavaran siirtäminen varastopaikkaan, tavaran säilytys ja siirtäminen varastossa, kerääminen ja valmiiden tilausten lähettäminen (Frazelle, 2016, alaluku 8.1). Manuaalinen keräilyprosessi on tyypillisesti picker-to-parts keräilyä, jossa keräilijä siirtyy kerättävien kappaleiden luokse. Keräilyssä hyödynnetään usein trukkeja tai kärryjä. (van den Berg & Zijm, 1999) Manuaalisen keräilyn aikaa vieviä toimintoja ovat kulkeminen varastossa sekä varastonimikkeiden etsiminen, poimiminen, siirtäminen, laskeminen ja pakkaaminen. Aikaa kuluu myös dokumenttien käsittelyyn sekä varastopaikkamuutosten ja keräilytietojen päivittämisessä järjestelmään. (Frazelle, 2016, alaluku 8.1)

Varaston keräilyprosessi on varastotoiminnan aikaa vievin ja kustannuksiltaan merkittävin toiminto, joka muodostaa tyypillisesti noin 55 % varaston kokonaiskustannuksista (de Koster et al., 2007; Accorsi et al., 2014). Vaikka varastoautomaatio tehostaa varastointia ja keräilyä monella tapaa, varastoautomaation hankintaprosessissa kohdataan lukuisia taloudellisia, operatiivisia ja tietojärjestelmien integraation haasteita, jotka saattavat johtaa tavoitellun hyödyn menettämiseen. Varaston toiminnalle tyypillinen dynaamisuus, toimitusketjuun integroitu tietojärjestelmäkokonaisuus sekä varastoinnin käyttökohde ja ominaisuudet muodostavat varaston automatisoinnista yksilöllisen prosessin, johon optimaalista ratkaisua on haastavaa määritellä. Työvoiman saatavuus on ollut pitkäaikai-

sempi haaste (Frazelle, 2016, alaluku 3.2), joita viimeaikaisen Covid-19-pandemian sosiaalisen kanssakäymisen rajoitteet ovat vahvistaneet. Näihin haasteisiin ja markkinatilanteen epävarmuuteen sopeutuminen edellyttää tasapainoista automaation ja työvoiman hyödyntämistä. (Chauhan, 2020) Vaikka yritykset aktiivisesti kehittävät toimintaansa automatisaation avulla, konkreettisia käytännön soveltamista ja hankintaprosessia ohjaavia tutkimuksia tai malleja ei ole tehty (Baker & Halim, 2007; de Koster et al., 2007; Accorsi et al., 2014).

Haasteiden ratkaisemiseksi hankintaprosessissa tarvitaan tietoa markkinoilla olevista varastoautomaattoratkaisuista sekä osaamista yrityksen yksilölliseen toimintaan sopivan ratkaisun määrittämisessä. Onnistunut toimittajavalinta ja yhteistyö vaativat tuntemusta varaston tarpeista ja toiminnoista. Varastoautomaatin hankinnan tavoitteet, kuten tehokkuuden kasvattaminen, tilan säästäminen ja kustannusten laskeminen linkittyvät varaston toiminnan ja varastoautomaatin suunnitteluun ja valintoihin, kuten optimaalisiin suunnittelun parametreihin, layouttiin ja varastointipolitiikkaan. Varastoautomaatin elinkaaren tarkastelulla voidaan varautua liiketoiminnan muutoksiin ja kasvuun tulevaisuudessa. Pitkän aikavälin joustavuus, ylläpito ja modernisaatio merkitsevät varastoautomaatin asettamista strategisen päätöksenteon ja koko elinkaaren aikaisen tarkastelun alle (Kovalcikin & Villalobosin; 2019).

Tämän tutkielman tavoite on selvittää varaston keräilyprosessin automatisoinnin tietotarpeita ja onnistumisen edellytyksiä sekä kehittää selvityksen perusteella varaston keräilyprosessin automatisoinnin viitekehys. Viitekehysten tarkoitus on ohjata hankintaprosessia tavoitteiden asettamiseen sekä onnistuneeseen toimittaja- ja sidosryhmien valintaan ja yhteistyöhön. Varastoinnin suunnittelua käsitellään kirjallisuudessa laajasti, sillä sen avulla vaikutetaan kustannuksiin, tehokkuuteen, tuottoihin, ympäristövaikutuksiin, riskeihin, ylläpitoon, turvallisuuteen ja ergonomiaan (Manzini et al., 2015). Tässä tutkielmassa tarkastellaan, miten varaston suunnittelu vaikuttaa hankintaprosessin tavoitteiden toteutumiseen ja onnistumiseen. Lisäksi tutkielmassa tarkastellaan tyypillisiä varastoautomaatin hankinnan alkuvaiheen, käyttöönoton ja pitkän aikavälin käytön haasteita.

Luvussa 2 esitetään tämän tutkielman tutkimusmenetelmänä käytetyn kirjallisuuskatsauksen toteuttaminen. Luvussa 3 käsitellään varastoinnin roolia yrityksen toiminnassa, lähtökohtia varaston automatisoinnille ja esitetään varastoautomaattoratkaisujen tyyppejä. Luvussa 4 analysoidaan hankintaprosessia sekä varaston toiminnan ja varastoautomaatin suunnittelua. Luvussa 5 tarkastellaan yrityksen toimintaympäristön asettamien rajoitteiden lisäksi varastoautomaation hankinnassa, käyttöönotossa ja käytössä ilmeneviä haasteita. Luvussa 6 esitetään varaston keräilyprosessin automatisoinnin viitekehys.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ

Tämä tutkimus on tehty kirjallisuuskatsauksena. Aineisto on koottu taulukossa 1 esitettyjen hakusanojen yhdistelmillä ProQuest, Web of Science ja Andor -tietokannoista.

Taulukko 1. Tämän tutkielman kirjallisuushaussa käytetyt hakusanat.

	käytetty hakutermi	hakutermin suomennos
varasto- automaatioon ja ratkaisuihin kohdistuvat hakusanat	AS/RS	automaattinen varastointi- ja hakujärjestelmä
	automated, automation	automatisoitu, automaatio
	horizontal carousel	horisontaalinen karuselli
	industrial storage system	teollinen varastointijärjestelmä
	item picking	keräily
	order pick station	tilausten keräily piste
	pallets	paletit
	parts-to-picker	keräilymenetelmä, jossa kappale siirretään keräilijän luokse
	rotary racks	kiertävät paletit
	small scale	pieni mittakaava
	storage carousel	varastokaruselli
	vertical carousel	vertikaalinen karuselli
	VLM, vertical lift modules	vertikaalinen hissityyppinen varastoautomaatti
warehouse automation	varastoautomaatio	
varastoinnin teoreettiseen viitekehukseen kohdistuvat hakusanat	assembly manufacturing	kokoonpanotuotanto
	implementation	käyttöönotto
	industrial	teollinen
	Inventory	inventaarior
	logistics	logistiikka
	manufacturing process	valmistusprosessi
	material handling	materiaalin käsittely
	picking performance	keräilytehokkuus
	production	tuotanto
	production control	tuotannonohjaus
	production process	tuotantoprosessi
	storage	varasto
warehouse	varastorakennus	

Hakusanalistaa rakennettiin inkrementaalisesti löydetyn kirjallisuuden perusteella. Alussa valittujen hakusanojen perusteella huomattiin, että suurin osa hakutuloksista kohdistuivat varastorakennuksiin ja jakelukeskuksiin. Varastoautomaattien erilaisten tyyppien ja ominaisuuksien kokonaiskuvan selville saamiseksi hakusanoja kohdistettiin myös karuselleihin ja pienemmän kokoluokan varastoautomaatteihin, jotka tyypillisesti toimivat tehtaissa ja läheisemmin tuotannon prosessien yhteydessä.

Haun alussa huomattiin myös, että suurin osa hakutuloksista tutki varastoautomaattien ominaisuuksia ja yksittäisiä prosesseja ja muutama tutkimus keskittyi varastoautomaation hankintaprosessiin. Kirjallisuudessa varastoautomaation tutkimusta ei kuitenkaan tuotu yhteen hankintaprosessin kanssa ja vain harvoissa tutkimuksissa pyrittiin vastaamaan hankintaprosessin tietotarpeisiin. Tästä syystä hakuja kohdistettiin myös varastointiin ja varaston ominaisuuksiin liittyvään kirjallisuuteen, joiden kautta pyrittiin ymmärtämään varastoautomaatin vuorovaikutuksesta varaston toimintaan.

Kokonaiskuva muodostettiin yhdistämällä varastoautomaatiota sekä varastoinnin periaatteita käsittelevää kirjallisuutta. Hakusanahaun lisäksi tutustuttiin löydetyn kirjallisuuden lähteisiin sekä kirjallisuutta viittaaviin julkaisuihin. Lisäksi tutustuttiin muutaman saman aihepiirin opinnäytetyön kirjallisuuteen.

Tämän tutkielman lähdekirjallisuudeksi valittiin aineistoa, joissa käsiteltiin varastoautomaatteihin liittyvää teoriaa, analysoitiin varastoautomaattien hankinta- ja käyttöönottoprosessia tai käsiteltiin varastoautomaatin ja varaston toiminnan vuorovaikutusta. Kirjallisuutta valittiin myös hakutulosten toistuvista teemoista eli varastoautomaattien ominaisuuksista ja suunnittelusta. Salminen korostaa tieteellisen teorian ja käytännön välisen suhteen merkitystä kirjallisuuskatsauksissa (Salminen, 2011, s. 4–5). Tässä tutkielmassa aineistoon perehdyttiin hankintaprosessissa tarvittavien tietotarpeiden tunnistamiseksi erityisesti käytännön soveltamisen ja hyödynnettävyyden näkökulmasta.

3. VARASTON AUTOMATISOINTI

3.1 Varastoinnin rooli modernissa liiketoimintaympäristössä

Automaatio levisi Suomessa tuotantoon 1950-luvulla. Verrattuna kyseisten aikojen toiminnallisiin vaatimuksiin, modernissa liiketoimintaympäristössä asiakas voi tilata tuotteen missä, milloin vain ja vaatia tilauskeräilyä tuntien vasteajalla. Digitalisaatio, markkinatrendien muutokset, varastojen lisäarvoa tuottavat palvelut, massakustomointi ja nol-latoleranssi virheille tuovat uudenlaisen murroksen varastointiprosesseihin. (Frazelle, 2016, alaluku 1.1) Vaikka automaatio nostaa huolta työpaikkojen menetyksestä ja vaikutuksista työpaikan kulttuuriin, sitä tarvitaan modernin liiketoiminnan säilymisen ja jatkumisen takaamiseksi. Pitkän aikavälin tarkastelussa automaation hyödyntäminen on johtanut elintason nousuun työllisyyden säilyessä ennallaan. (Baker & Halim, 2007; Ventä et al., 2018, s. 18–21).

Varastoilla on erilaisia rooleja tuotantoketjussa. Tuotantoketjun vaiheen mukaisessa jaottelussa tarkastellaan raaka-aine-, puolivalmiste- ja valmistuotevarastoja sekä palautettujen tuotteiden varastointia (Rushton et al., 2017, s. 291). Raaka-ainevarastoissa säilytetään raaka-aineita valmistusprosessien saatavilla, ja niiden toiminnalla on tärkeä merkitys valmistusaikataulussa pysymiseen. Keskeneräisiä tuotteita varastoidaan puolivalmistevarastoissa, jotka toimivat puskurina valmistusaikataulun ja kysynnän välillä. Valmistusvarastoista tuotteet siirtyvät eteenpäin jakelukeskuksiin. (Frazelle, 2016, alaluku 1.2) Varastotyyppejä voidaan jaotella myös tuotekohtaisesti (pienet ja suuret kappaleet, kappaleiden volyyymi, elintarvikkeet, lääkeaineet, varkauksilta suojassa pidettävät kappaleet, ympäristölle haitalliset aineet) ja kappaleiden asettamien vaatimusten perusteella (tilan tarve, lämpötila, kosteus, pakkausmateriaalit). (Rushton et al., 2017, s. 291–292; Logistiikan maailma, n.d.b)

Varaston tehtävänä voi olla tuotteiden toimittaminen maailmanlaajuisesti, tiettyyn maahan tai tietylle alueelle (Rushton et al., 2017, s. 291–292). Jakelukeskukset palvelevat tiettyä kohderyhmää, kuten kotitalouksia, jälleenmyyjiä tai näiden yhdistelmää omnikanavaisissa (engl. omnichannel) jakelukeskuksissa. (Frazelle, 2016, alaluku 1.2) Rigby (2011) määrittelee omnikanavan liiketoimintana, jossa asiakkaan käytössä on kaikki asiakaskontaktin digitaaliset ja fyysiset rajapinnat. Näitä ovat muun muassa kivijalkaliikkeet, sosiaalinen media, verkkokaupat, mainostuotteet ja -kanavat, pelikonsolit tai verkkoon kytketyt kodinkoneet. Kanavasta huolimatta asiakaskokemus etenee täysin integroidusti. (Rigby, 2011) Jakelukeskusten lisäksi on kuljetusten ja toimituskohteiden välillä

toimivia yhteenlastauskeskuksia, joissa useiden kuljetusten materiaaleja ja tuotteita lajitellaan ja siirretään suoraan lähteviin kuljetuksiin ilman varastointia. (Frazelle, 2016, alaluku 1.2) Varastotyyppien luokittelusta ja käyttökohteesta huolimatta varastoille yhteistä on niiden tarkoitus varastoida ja siirtää kappaleita tuotantoketjun prosessien läpi ja valmiit tuotteet lopuksi asiakkaalle. Varaston toiminnalle ja siten varastoautomaatiolle kohdistuu kuitenkin yksilöllisiä vaatimuksia niiden tuotantoketjun roolista ja käyttötarkoituksesta riippuen.

3.2 Varaston automatisoinnin tavoitteet

Dallarin et al. (2009) tutkimustulosten perusteella voidaan arvioida, että yrityksen kasvun mukana kasvavat varastonimikemäärät voivat johtaa tarpeeseen tarkastella picker-to-parts-järjestelmän muuttamista parts-to-picker-järjestelmään, kun tilauksia käsitellään yli 1 000 päivässä. Liiketoiminnan kasvun mahdollistaminen on eräs tavoite automatisoida varaston keräilyprosessia. Taulukossa 2 esitetään tämän kirjallisuuskatsauksen perusteella yleisimpiä automatisoinnille asetettuja tavoitteita.

Taulukko 2. Varaston keräilyprosessin automatisoinnin tavoitteita.

automatisoinnin tavoite	lähde
asiakaspalvelun parantaminen	Baker & Halim, 2007
joustavuuden lisääminen	Baker & Halim, 2007; de Koster et al., 2007
keräilyajan pienentäminen	Ventä et al., 2018, s. 30–31
keräilyvirheiden vähentäminen	Ventä et al., 2018, s. 30–31
kestävyyden ja energiatehokkuuden tavoittelu	Meneghetti et al., 2015; Yetkin Ekren, 2021
korkean laadun ylläpitäminen	Ventä et al., 2018, s. 30
korkean palveluasteen ylläpitäminen	Baker & Halim, 2007
liiketoiminnan kasvun mahdollistaminen	Baker & Halim, 2007; Kapulin et al., 2007
materiaalivirtojen hallinnan helpottuminen ja kehittäminen	Kapulin et al., 2017; Ventä et al., 2018, s. 30; Chauhan, 2020
tilankäytön tehostaminen	Baker & Halim, 2007; Ventä et al., 2018, s. 35
toimintakustannusten vähentäminen	Baker & Halim, 2007
työhyvinvoinnin kasvattaminen	Kudelska & Niedbał, 2020
työntekijän turvallisuuden parantaminen	Ventä et al., 2018, s. 30
työvoiman vähentäminen	Frazelle, 2016, alaluku 3.2
varastointipolitiikan ja keräilystrategian kehittäminen	Kapulin et al., 2017; Ventä et al., 2018, s. 30
varastoitavan materiaalin suojaaminen vahingoilta ja varkauksilta	Kapulin et al., 2017; Kovalcik & Villalobos, 2019
yrityksen imagon parantaminen	Baker & Halim, 2007

Useimmat taulukon 2 tavoitteet ovat keskenään vuorovaikutuksessa. Varastoautomaation avulla keräilyaika vähenee tyypillisesti yli 60 % (Ventä et al., 2018, s. 31). Samalla työnhyvinvointi kasvaa, sillä toistotyö vähenee, työ rasittaa henkisesti vähemmän ja työergonomia lisääntyy. Kudelskan & Niedbalin (2020) mukaan manuaalinen keräily altistaa työntekijän nostamisesta, kurkottamisesta, pakkausten liikuttamisesta ja kappaleiden kuljettamisesta johtuville tapaturmille. Automatisoidussa keräilyssä työntekijä odottaa työpisteellä, kun automaatti suorittaa keräilyä hyllyistä. Samalla työntekijä voi suorittaa päivittäisiä tehtäviään, kuten dokumenttien täyttämistä, kerättyjen kappaleiden järjestämistä tilauksiin tai työpisteen siistimistä. (Kudelska & Niedbał, 2020) Työhyvinvoinnin ja turvallisuuden kasvun seurauksena henkilöstön vaihtuvuus voi vähentyä, jolloin henkilöstön osaaminen työssä kasvaa ja siihen voidaan myös varmemmin panostaa. Moniosaaminen ja poikkifunktionaalisuus voivat lisääntyä. Samalla virheiden vähentyessä nämä johtavat vastavuoroisesti laadun kasvuun. (Frazelle, 2016, alaluku 3.2; Ventä et al., 2018, s. 30; Kudelska & Niedbał, 2020)

Automaation avulla samaan tilaan voidaan varastoida huomattavasti enemmän tuotteita. Sama palveluaste voidaan saavuttaa lyhyemmillä kiertotasoilla, jolloin tarvittavat materiaalmäärät pienenevät ja tilankäyttö tehostuu entisestään. Lyhyet keräysajat linkittyvät varastoinnin joustavuuteen. (de Koster et al., 2007) Korkean palveluasteen ylläpitäminen ja varastoitavan tavaran valmiusaste vaikuttaa varastoon sitoutuvaan pääomaan ja tilan tarpeeseen. Toisaalta mitä korkeampi palveluastetavoite on, sitä enemmän tuotteita tarvitsee säilyttää kysyntää ennakoivasti varastossa. (Logistiikan maailma, n.d.b)

Eräs esimerkki varastoautomaation moninaisista tavoitteista ja hyödyistä on Kalifornian yliopiston kirjastoon vuonna 1991 hankittu varastoautomaatti. Kirjastossa ajantasaisen aineiston saatavuus oli tärkeää, joten uusia teoksia hankittiin säännöllisesti ja paljon käytettyjen aineistojen oli oltava helposti saatavilla yli 38 000 opiskelijan käyttöön. Ilman varastoautomaatiota, kirjasto ei olisi pystynyt säilyttämään nykyistä 1,2 miljoonaa kappaletta aineistoa. Manuaalinen hyllyiltä etsiminen vei huomattavasti aikaa eikä aineiston löytymisestä ollut varmuutta. Kirjastossa suoritettiin määräajoin inventaario, mikä oli kallista, aikaa vievää ja usein valmistuessaan virheellinen. Varastoautomaatiolla pystyttiin ratkaisemaan nämä haasteet, minkä lisäksi kirjaston toiminnasta, käyttökatkoista ja aineistojen käytöstä pystyttiin keräämään dataa. (Kovalcik & Villalobos, 2019)

Kalifornian yliopiston varastoautomaatti on esimerkki varastoautomaation kyvystä tarjota ratkaisuja yksilöllisiin tavoitteisiin, kuten varastoitavan materiaalin turvallisuuden kasvatamiseen. Kirjaston toiminta koki toimintahäiriön maanjäristyksen yhteydessä vuonna 1994, jolloin 800 000 kappaletta kirjaston aineistosta oli varastoitettu varastoautomaattiin, ja 300 000 kappaletta hyllyille. Hyllyille varastoidut kirjat tippuivat lattialle ja suuri osa

tuhoutui. Kirjojen keräämiseen ja siirtämiseen takaisin hyllyille kesti yli 30 henkilöltä lähes vuosi, kun taas varastoautomaattiin varastoidut aineistot puolestaan säilyivät täysin vahingoitta. (Kovalcik & Villalobos, 2019)

Yksittäisessä varastoautomaatin hankintaprojektissa ei voida välttämättä saavuttaa kaikkia mahdollisia hyötyjä ja tavoitteet saattavat olla ristiriitaisia keskenään. Paganon ja Gyimahin (2016, s. 21) mukaan modernin toimintaympäristön vaatimukset johtavat kasvavaan varastonimikkeiden määrään ja varaston erikokoiset tavarat on haastavaa sijoitella tilaa hyödyntävällä tavalla. Automaation avulla varastoidun materiaalin tiheys pinta-alaa kohden kasvaa ja hyllyjen väli pienenee, jolloin saadaan käyttöön enemmän tilaa. (Pagano & Gyimah, 2016, s. 21) Toisaalta nykymarkkinoiden vaatimuksiin vastaamisessa tarvitaan entistä ketterämpää toimitusketjua ja välittömämpää reagointia, jolloin korkean palvelutason tarjoaminen asiakkaille voi mennä tilankäytön optimoinnin edelle. Baker ja Halim (2007) kuvaavat esimerkkinä tilannetta, jossa resursseja on varattu ylimääräisiä ja välineitä käytetään normaalia tarvetta alhaisemmalla tasolla, jotta kysyntäpiikkienkin aikana pystytään takaamaan sama palvelutaso. Tästä näkökulmasta varastoautomaatiolla tavoitellaan joustavuutta äkillisten muutosten aikana, mutta samalla uhraataan tehokkaan tilankäytön tavoittelu. (Baker & Halim, 2007)

Bakerin ja Halimin (2007) tutkimuksessa yleisin huoli hankintaprojekteissa oli automaation vaikutukset työkuultuuriin. Varastoinnissa työkustannukset muodostavat suurimman osan varastotoiminnan kokonaiskustannuksista (de Koster et al., 2007; Accorsi et al., 2014), jolloin työntekijöiden vähentäminen voi johtaa huomattaviin taloudellisiin säästöihin. Toisaalta automaation ja digitalisaation vaikutukset varaston operaatioihin eivät suoraan johda ihmistyön tarpeen vähenemiseen. Kudelska ja Niedbał (2020) korostavat, että automaation implementoinnissa on odotettava muutoksia organisaation tasolla, sillä automaation seurauksena työtehtävät muuttuvat. (Kudelska & Niedbał, 2020) Automaattioratkaisun tavoitteiden määrittämisen yhteydessä on mahdollisuus kehittää organisaation toimintamalleja, organisaatiokulttuuria ja muutosjohtamista, jotka vaikuttavat osaltaan automaation hankinta- ja käyttöönottoprosessin onnistumiseen. Vaikka automatisointi on koettu riskinä työyhteisölle ja -kulttuurille, onnistuneilla tavoitteiden asettamisella ja kommunikoinnilla voidaan välttää disruptio työkuultuurille. Ventän et al. (2018, s. 83) mukaan automaation ja robotiikan työllisyysvaikutukset on suurimmaksi osin Suomessa jo koettu. Toiminnon tehostaminen ei tarkoita 100 % automatisaatioasteen tavoittelua, ja monissa yrityksissä automaatioasteen nostaminen yli 50 % ei ole kannattavaa. Kasvu muodostuu yritysten uusiutumisesta, innovoinnista ja nykypäivänä toiminnan rakentamisesta globaalille tasolle, mikä edellyttää tarkoituksenmukaista automaation hyö-

dyntämistä. Korkea laatu, luotettavuus ja osaaminen ovat globaalien toimintakenttien suhteen pienelle Suomelle tärkeitä kilpailutekijöitä, joita automaation avulla voidaan valjastaa teollisen kasvun mahdollistajiksi. (Ventä et al., 2018, s. 83)

Työkulttuurin vaikutusten lisäksi automatisointia kohtaan herää huolta ratkaisun joustavuudesta. Varastoautomaatin joustavuus ei ole laitekohtainen vakio, vaan hankintavaiheessa tulisi suunnitella, millainen ratkaisu tarjoaa joustavuutta tai miten joustavuutta implementoidaan (Baker & Halim, 2007). Jos hankinnan tavoitteena on kustannustehokkuus tai tilankäytön tehostaminen, ratkaisu ei tarjoa joustavuutta pelkällä olemassaolollaan. Kustannustehokkuus voi olla menestystekijä markkinoilla, joissa kysyntä on tasaista ja ennustettavaa. Toisaalta arvaamattoman ja epätasaisen kysynnän markkinoilla joustavan ratkaisun implementointi saattaa olla välttämätön kilpailuetu. Eri prioriteetit ja markkinaolosuhteet eivät kuitenkaan poissulje joustavuutta tavoittelevan yrityksen mahdollisuutta tehdä kustannustehokasta investointia tai kustannusperusteisia valintoja.

Kestävät valinnat ovat tärkeitä arvoja modernissa liiketoimintaympäristössä toimivalle yritykselle. Energiatohokkaat toiminnot nähdään edellytyksenä kilpailukyvyyn säilymiselle aikaperusteisen tehokkuuden rinnalla. Meneghetti et al. (2015) varastoinnin optimallin mukaisesti määritetyt varastopaikat ja varastoautomaatin hakukomennot johtivat keskimäärin 80 % säästöön energiankäytössä verrattuna satunnaisesti määritettyihin varastopaikkoihin ja yksittäisiin hakukomentoihin. (Meneghetti et al., 2015) Tarpeita vastaavien tavoitteiden asettaminen ja niiden saavuttamisen keinojen tunnistaminen varastoautomaatin suunnittelussa ovat tärkeitä hankintaprosessin onnistumisen edellytyksiä.

3.3 Varastoautomaattoratkaisut ja niiden luokittelu

Manuaalisen keräilyn picker-to-parts-prosessista poiketen varastoautomaatti suorittaa useimmiten parts-to-picker-prosessia, jossa varastoautomaatti hakee ja tuo keräiltävät kappaleet keräilypisteelle, jossa operaattori tai keräilijä suorittaa keräilyn loput vaiheet. Parts-to-picker-prosessin etuna on, että keräilijällä ei kulu aikaa hyllyväleissä liikkumiseen eikä kappaleiden etsimiseen. Molempia prosessityyppejä voidaan kuitenkin automatisoida tiettyyn asteeseen, ja täysin automatisoidussa prosessissa keräilijä korvataan kokonaan esimerkiksi varastoautomaatin rinnalle kehitetyn robotin avulla. Parts-to-picker-prosessin automaatiota on kirjallisuudessa tutkittu picker-to-parts-prosesseja enemmän (Jaghbeer et al., 2020). Arvion mukaan noin 80 % Länsi-Euroopan varastoautomaatiosta koostuu parts-to-picker-automaatiosta. (de Koster et al., 2007)

AS/RS (engl. Automated Storage and Retrieval System, automaattinen varastointi- ja hakujärjestelmä) on varastoautomaatoratkaisu, jonka tehtävä on hoitaa tuotteiden varastointi, säilytys ja keräily. AS/RS-ratkaisut ovat tuotanto- ja jakeluprosessiin integroituja ja vaihtelevat pienistä käyttöpäätteeltä ohjattavista keräilyjärjestelmistä massiivisiin materiaalinhallinnan tietojärjestelmillä ohjattuihin ratkaisuihin. (Pagano & Gyimah, 2016, s. 20–21) Varastoautomaatti ja AS/RS voivat olla vaihtoehtoisia käsitteitä, mutta tieteellisessä kontekstissa ne eivät ole toistensa synonyymejä, sillä AS/RS usein työllistää ihmisen (de Koster et al., 2007). Vaikka AS/RS:llä voidaan viitata mihin tahansa automaatoituun varastointia ja keräilyä suorittavaan järjestelmään, kirjallisuudessa sillä viitataan yleensä pinoamisnosturin (engl. stacker crane) tyyppiseen järjestelmään (van den Berg & Zijm, 1999; de Koster et al., 2007; Rushton et al., 2017, s. 320).

Pinoamisnosturin tyyppisessä järjestelmässä automaattinen nosturi tai palettitaso kulkee hyllyjen välissä lattian ja katon väliin kiinnitettyjen raiteiden avulla. Tyypillisesti yksi nosturi keräilee yhden hyllyvälin molemmilta puolilta, jolloin jokaisella hyllyvälillä toimii oma nosturinsa. Pinoamisnosturit tuovat hyllyistä paletteja tai laatikoita keräilypisteelle, joka usein sijaitsee hyllyn päässä. Tällaista keräilyä kutsutaan siten hyllyn päässä tehtäväksi keräilyksi, kun taas manuaalista keräilyä kutsutaan hyllyjen välissä tehtäväksi keräilyksi.

AS/RS ei ole käsitteenä yksiselitteinen tai tiettyyn tyyppiin rajoittuva. Pinoamisnosturin lisäksi käsitteellä voidaan viitata esimerkiksi karusellityypisiin ratkaisuihin. Viimevuosien aikana AS/RS-käsitteen rinnalle on nostettu lisäksi SBS/R-järjestelmät (engl. Shuttle-Based Storage and Retrieval) ja RCSR-järjestelmät (engl. Robot-Based Compact Storage and Retrieval) (Azadeh et al., 2019 Tappian et al., 2019). AS/RS:stä puhuttaessa saatetaan siten kontekstista riippuen viitata hyvin erilaisiin järjestelmiin.

AVS/R (engl. Autonomous Vehicle Storage and Retrieval, automaattinen varastointiajoneuvo) tai AGV (engl. Automated Guided Vehicle, vihivaunu) on automaattisen trukin kaltainen ajoneuvo, joka hakee ja tuo varastointiyksikön automaattisesti keräilypisteelle. AGV:lle annetaan dataa infrapuna- tai radiosignaaleilla, ja sen reittejä ja liikkumista voidaan ohjata eri tavoin. Yleensä varaston lattiaan on upotettu sähköjohto tai magneetteja, joiden magneettikenttää AGV seuraa. Lattiaan voidaan maalata reittejä, joita AGV seuraa optisesti. Moderneissa varastoissa käytetään laserohjausta. AGV:t hyödyntävät usein paikannusohjelmistoa, joka muodostaa normaalin toiminnan yhteydessä kartan varastosta. Kartan avulla AGV voi ohittaa esteen, väistää ihmistä tai siirtyä alueelle, johon käytössä olevat ohjauksen tavat eivät riitä. (Rushton et al., 2017, s. 303–304)

Kun AS/RS hakee ja tuo keräiltävät kappaleet keräilypisteelle, operoija tai keräilijä suorittaa keräilyn, järjestelyn, pakkaamisen tai muun keräilyoperaation. Jos operaattorin työ

halutaan automatisoida, voidaan työllistää keräilylaite tai -robotti. (de Koster et al., 2017) Boninin et al. (2016) tutkimuksessa AGV:een asennettiin robottikäsi, jonka tehtävänä oli katkaista mahdollinen säilytyspaletin tai kappaleiden ympärillä oleva muovisuoja, poimia keräilypaletille tarvittavat kappaleet tasapainoisesti ja tilaa säästävällä tavalla sekä kuljettaa kyseinen paletti operaattorille. Robotit suoriutuivat tehtävistä ihmisiä tehokkaammin ja nopeammin, minkä seurauksena investointi maksaisi itsensä takaisin ihmistyötuntien vähentyessä. (Bonini et al., 2016) Keräilyrobottien lisäksi A-frame luokitellaan automatisoiduksi keräilyksi, jossa tarvittava tuote tippuu liukuhihnalle, josta se kuljetetaan eteenpäin. A-frame on suhteellisen joustamaton ratkaisu, ja sitä käytetään tyypillisesti korkeavolyymisissä varastoissa, joissa on pieni määrä erilaisia varastonimikkeitä. (Park, 2012, s. 23–24)

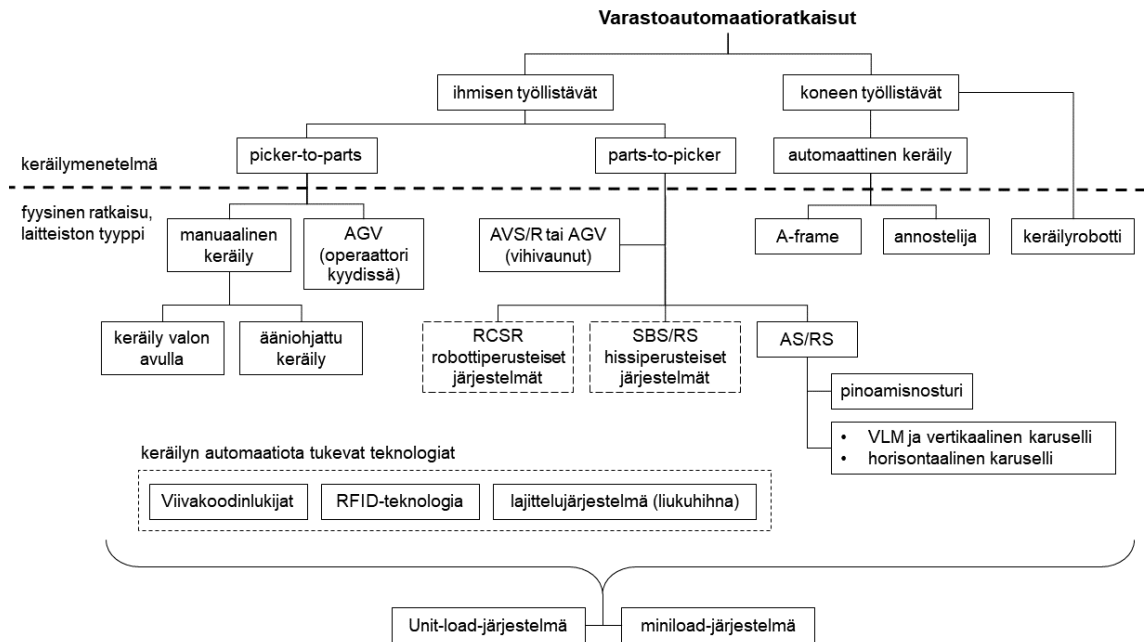
Varastokarusellit ja VLM-järjestelmät (engl. Vertical Lift Module, vertikaalinen hissityyppinen varastoautomaatti) ovat AS/RS-ratkaisuja pienikokoisempia. VLM-järjestelmä on ulkonäöltään vertikaalisen karusellin kaltainen, mutta kiertävän karusellihyllykön sijaan sen sisällä on kaksi hyllyä, joiden välissä on käytävä. Operaattorille tuotava paletti siirtyy hyllyltä käytävää pitkin käyttöaukolle. (Rushton et al., 2017, s. 332)

Varastoissa, joissa suuri määrä kappaleita lajitellaan keräilyn yhteydessä tai niiden saatavuutta varastoon, voidaan hyödyntää lajittelujärjestelmiä (engl. sortation systems). Lajittelujärjestelmässä kappaleet kulkevat usein liukuhihnalla, josta kappaleet tunnistetaan ja ohjataan automaattisesti tarvittaviin kouruihin. Lajittelujärjestelmää käytetään usein yhdessä muiden automaattisten ratkaisujen kanssa. (Berg & Zijm, 1999; Baker & Halim, 2007; Park, 2012, s. 18)

Fyysisten varastomaisten automaattioratkaisujen lisäksi varastoautomaatioksi voidaan luokitella informaation automatisoinnin ratkaisuja, kuten keräily puheohjausteknologian tai valon avulla (Park, 2012, s. 8–10). Informaattioratkaisut korvaavat paperin perusteella tehtävän keräilyn ja vähentävät etsimiseen tai järjestelmään kirjauksiin kuluva aika. Viivakodeilla ja RFID-tekniikalla (engl. radio frequency identification, radiotaajuinen etätunnistus) on keskeinen merkitys keräilyn tehostamisessa. Valon ja ääniohjauksen perusteella tehtävässä keräilyssä valomerkki tai ääni ohjeistaa keräilijän keräiltävän kappaleen luokse, jossa keräilijä tallentaa kerätyn varastonimikkeen ja määrän automaattisesti tietojärjestelmään viivakoodinlukijan tai RFID-tunnisteen avulla. (Battini et al., 2015)

Varastoautomaatti voidaan luokitella tarkemmin unit-load- tai miniload-järjestelmäksi varastointiyksikön koon perusteella (de Koster et al., 2007). Suomessa unit-load-käsitettä vastaavia käsitteitä ovat paletti, kontti, kolli, kuormalava tai hylly. De Kosterin et al. (2007) mukaan unit-load-varastoissa yhteen varastointiyksikköön voi olla varastoitu useampia

nimikkeitä. Tällöin yhden nimikkeen kerääminen unit-load-varastossa merkitsee koko paletin siirtämistä keräilypisteelle. Muiden nimikkeiden turhaa siirtämistä voidaan välttää varastoimalla kukin nimike omaan astiaan, jolloin puhutaan miniload-järjestelmästä. (de Koster et al., 2007) Miniload-järjestelmää käytetään myös kuvaamaan varastoa, jossa varastoidaan pienehköjä laatikoita (Park, 2012, s. 22), vaikka laatikoissa olisi useampia nimikkeitä. Varaston keräilyprosessin automaattioratkaisujen luokittelu on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Keräilyprosessin automaattioratkaisujen luokittelu. Perustuu lähteisiin (van den Berg & Zijm, 1999, s. 522–523; de Koster, 2007, s. 5–6; de Koster, 2012, s. 470; Park, 2012, s. 9, 18; Tappia et al., 2019).

Kuvan 1 luokittelu kokoaa tämän tutkielman kirjallisuutta ja on siten kirjallisuudessa käytettyjä luokitteluja laajempi. Kirjallisuudessa luokittelut vaihtelivat sen perusteella, mistä näkökulmasta varaston toimintaa tai automaatiota tarkasteltiin ja miten aihe oli rajattu. Järjestelmiä luokiteltiin usein niiden funktionaalisuuden, ominaisuuksien tai varastointimenetelmien näkökulmasta. Luokittelujen eroavaisuudet saattoivat johtua myös siitä, että osin käsitteistö ei ole vakiintunut. Käsitteitä käytettiin myös erilaajuisissa merkityksissä. Vertikaaliset karusellit ja VLM-järjestelmät ovat ulkonäöltään ja tarkoitukseltaan samankaltaisia, minkä vuoksi niiden suomalaisia nimityksiä, kuten karuselli, paternostin tai tornado (Ventä et al., 2018, s. 31) käytetään molempien kohdalla. Myös SBS/R- ja AVS/R-käsitteitä käytetään toistensa synonyymeinä (Tappia et al., 2019) mahdollisesti siksi, että käsitteet ovat eriytyneet vasta lähiaikoina tai tietyllä käsitteellä halutaan painottaa eroavaisuuksia tai rajoituksia yleisimmistä käsitteistä.

4. VARASTOAUTOMAATIN HANKINTA JA SUUNNITTELU

4.1 Varastoautomaatin hankintaprosessi

Baker ja Halim (2007) tutkivat varastoautomaatin hankintaprosessin tyypillisiä vaiheita tarpeiden tunnistamisesta käytössä olevan varastoautomaatin jatko seurantaan asti. Hankintaprosessin (Baker & Halim, 2007, s. 133) rinnalla voidaan tarkastella automaatio suunnittelun prosessia (Ventä et al., 2018, s. 13), jossa korostuvat asiakasyrityksen varaston toimintaan ja ominaisuuksiin perustuvat toimittajan tietotarpeet. Varastoautomaatin suunnittelu on loogista jättää toimittajan tehtäväksi, mutta varastoautomaation periaatteiden tietämys hankintaprosessissa voi mahdollistaa arvoa tuottavan toimittaja valinnan ja yhteistyön toteuttamisen.

Tyypillisessä hankintaprosessissa varastoautomaatin tyyppi rajataan aikaisin ja myöhemmin valmiit ratkaisun ominaisuuksiin perustuvat vaatimukset esitetään toimittajalle. Bakerin ja Halimin (2007) haastattelemat hankintaprosesseissa mukana olleet toimittajat kokivat, että he olisivat voineet tarjota lisäarvoa asiakkaille, jos olisivat voineet työskennellä yhdessä ja suunnitella laajemmin yhteistyössä asiakkaan kanssa. Haastattelussa mainittiin, että usein asiakas kuvailee tarvitsemansa laitteen yksityiskohtaisia piirteitä ja ominaisuuksia, mikä rajaa mahdollisten ratkaisujen kehittämistä. Sen sijaan tulisi keskittyä asiakkaan suorituskykyyn perustuviin tarpeisiin ja tavoitteisiin. (Baker & Halim, 2007) Ventän et al. (2018, s. 36) mukaan Suomessa on paljon osaamista ja tietoteknisiä valmiuksia tilaus-toimitus-prosessien automatisointiin, mutta hyvin hidas kehitysvauhti selittyy osittain sillä, että asiakaskunta ei osaa vaatia toimittajilta edistyksellisiä järjestelmiä.

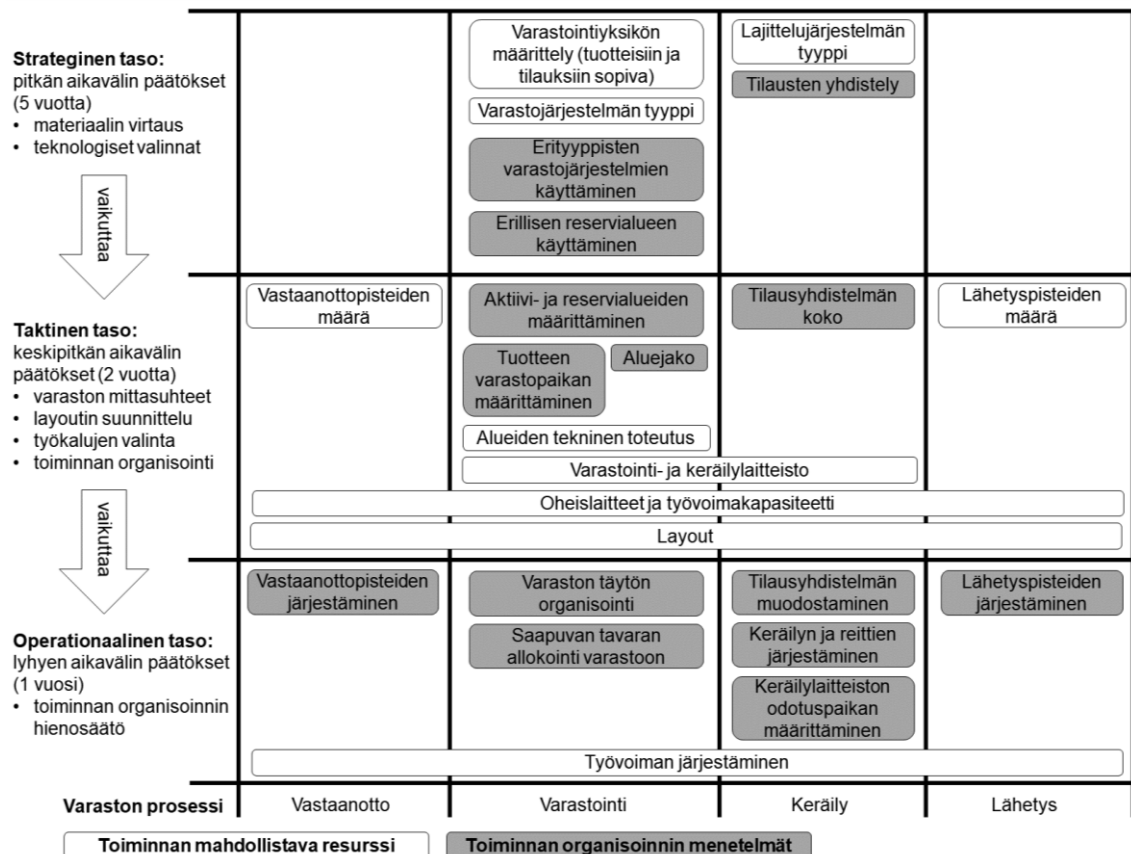
Ventän et al. (2018, s. 13) esittämä toimittajan automaation suunnitteluprosessi päättyy asiakkaan toimituksen hyväksyntään ja luovutukseen. Asiakkaan käyttöönottoprosessi sekä laitteiston ja ohjelmiston asennus ja integrointi, joilla saavutetaan mekaaninen ja operatiivinen valmius, jää esitetyn suunnitteluprosessin ulkopuolelle. Vastaavasti Bakerin ja Halimin (2007) hankintaprosessissa toimittaja vaikuttaa olevan mukana koko ratkaisun fyysisen käyttöönoton vaiheessa, mutta Kapulin et al. (2017) korostavat, että käytännössä tyypilliset käyttöönoton haasteet, kuten tietojärjestelmien integrointi jäävät pitkälti hankkivan yrityksen omalle vastuulle.

Toimittaja- ja sidosryhmäyhteistyöhön tai niiden vähäisyyteen liittyvien riskien lisäksi Bakerin ja Halimin (2007) sekä Ventän et al. (2018, s. 13) mallien perusteella riskinä saattaa

olla varastoautomaatin elinkaaren tarkastelun puuttuminen. Ylläpito- ja jatkoseurantaoperaatioiden suunnittelu ei pelkästään riitä varastoautomaatin elinkaaren aikaisen potentiaalin hyödyntämiseen (Kapulin et al., 2016; Kovalcik & Villalobos, 2019). Varastoautomaatin elinkaaren aikana materiaalivirtojen ja varaston toiminnan muutokset ovat todennäköisiä, jolloin varastoautomaation uudelleenkonfiguraatio ja modernisaatio tulevat tarpeelliseksi.

4.2 Varastoautomaatin suunnittelu

Rouwenhorst et al. (2000) on kehittänyt kuvassa 2 esitetyn varaston suunnittelun ja ohjauksen viitekehysten. Viitekehyksessä varaston toimintaa tarkastellaan kolmen osa-alueen kautta: varaston prosessit, toiminnan mahdollistavat resurssit sekä organisoinnin menetelmät. Nämä osa-alueet toimivat kolmessa tasossa: strateginen, taktinen ja operationaalinen suunnittelu.



Kuva 2. Varaston suunnittelun ja ohjauksen viitekehys. Perustuu lähteeseen (Rouwenhorst et al., 2000, s. 521–522).

Varaston automatisointi käsittää kuvan 2 mukaisesti strategisen tason päätöksiä. Olemassa olevaan varastoon tai tehtaaseen tehtävään investointiin kohdistuu strategisen,

taktisen ja operationaalisen tason rajoitteita, jotka tulee huomioitava menetelmien valinnassa ja fyysisten resurssien määrittämisessä. Goetschalckxin ja Ashayerin (1989) mukaan ulkoisia keräilyjärjestelmien valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat valitut markkinointikanavat, kysynnän mallit, toimittajan täydennysmallit ja varastojen määrä, tuotteiden kokonaiskysyntä ja talouden tilanne. Sisäisiä tekijöitä ovat keräilyjärjestelmän ominaisuudet sekä järjestyksen ja operoinnin käytännöt. Paganon ja Gyimahin (2016, s. 21) mukaan varaston uudelleensuunnittelu on tärkeä osa automatisoituun varastoratkaisuun siirtymistä ja voi mahdollistaa sijainnin, layoutin ja toiminnan organisoinnin tehostamisen.

Suunnitteluun kohdistuvien rajoitteiden lisäksi tulee huomioida pienten muutosten vaikutukset erilaisten konfiguraatioiden muodostamiseen. Esimerkiksi muutos saatavilla olevan tilan korkeudessa tai pinta-alassa, materiaalivirroissa tai tilausten keräilyprosessissa voi johtaa optimaalisen keräilyreitien, hyllyvälien määrän ja korkeuden, tai hyllyvälejä poikileikkaavien käytävien määrän muuttumiseen. Parametrien määrittämisessä ja niiden vaihteluvälien tarkastelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota joustavuuden implementointiin. Ratkaisun on säilyttävä mahdollisimman optimaalisena sellaisilla parametrien vaihteluväleillä, jotka ottavat huomioon varastotoiminnalle tyypillisen dynaamisuuden sekä tulevaisuuden odotettavissa olevat muutokset ja vaatimukset. Varaston suunnittelun tukena hyödynnetään analyyttisiä malleja ja simulaatiota, joiden avulla voidaan tarkastella parametrien muutosten vaikutuksia optimaaliseen ratkaisuun (Malmberg, 2002).

Accorsin et al. (2014) päätöksenteon malli esittää ylhäältä-alas-päätöksenteon metodologian, jonka mukaan varastointia voidaan suunnitella seuraavassa järjestyksessä: layoutin määrittäminen, allokointimenetelmän määrittäminen, varastonimikkeiden varastopaikkojen määrittäminen ja lopulta simulointi. Ennen layoutin määrittämistä kerätään dataa varaston toiminnasta ja määritellään varaston kapasiteetti. Jokaisen vaiheen välissä tutkitaan valintojen vaikutuksia valittuihin avainindikaattoreihin, kuten läpimenon ja varaston kapasiteettiin, vasteaikaan tai varastoinnin kustannuksiin, ja tarvittaessa palataan iteratiivisesti takaisin aikaisempiin vaiheisiin. (Accorsi et al., 2014)

Varaston suunnittelussa voidaan erottaa fyysisten ominaisuuksien määrittäminen, kuten sijainti, layout, teknologiavalinnat, laitteisto ja ohjelmisto. Näiden kanssa vuorovaikutuksessa on toiminnan organisoinnin menetelmät, joilla viitataan varaston toiminnan suunnittelun ja järjestämisen menetelmiin ja operoinnin käytäntöihin, kuten varastointipolitiikkaan ja keräilystrategiaan. Varaston ja siten myös varastoautomaatin suunnittelun näkökulmasta toiminnan organisoinnilla tarkoitetaan tyypillisesti viiden menetelmän määrittämistä: keräilyreittien suunnittelu, tuotteen varastopaikan määrittäminen, tilausten yhdistäminen, aluejako ja tilausten vapautusmenetelmä (Goetschalckx & Ashayeri, 1989; Rouwenhorst et al., 2000; de Koster et al. 2007; Accorsi et al., 2014).

4.3 Varaston sijainti, mittasuhteet ja layout

Uuden varastorakennuksen perustamisen tilanteessa sen sijainti ja mittasuhteet on mahdollista määrittellä varastoautomaattia tukevalla tavalla osana strategisen tason päätöksiä. (Logistiikan maailma, n.d.c) Varastorakennuksen koko määritetään tyypillisesti varaston unit-load-yksikköjen tai hyllytasojen määrän perusteella. Varaston koko riippuu varaston tehtävästä eli roolista toimitusketjussa ja sen määrittämiseen vaikuttaa kysynnän ja tarjonnan ohjaamat varastointi- ja keräilytoimintojen määrät. Varaston korkeuden ja pinta-alan jälkeen suunnitellaan sisäisten avaintoimintojen ja -alueiden koot ja sijainnit. Avainalueita ovat esimerkiksi tavaran vastaanotto ja lähetys, aktiivialue (engl. forward area), reservialue (engl. reserve area), lajittelu ja yhteenlastaus. (Heragu et al., 2005; Manzini et al., 2015) Heragu et al. (2005) ovat kehittäneet matemaattisen mallin, jonka avulla varastoitavat tuotteet voidaan jakaa varaston kolmelle keskeiselle alueelle siten, että varastointi- ja käsittelykustannukset ovat mahdollisimman alhaiset. Mallin avulla voidaan määrittellä näiden kolmen avainalueen koot, ja selvittää optimaalinen ratkaisu 15 000 kappaleen materiaalivirrälle ja heuristisen algoritmin avulla lähes optimaalinen ratkaisu 150 000 kappaleeseen asti. (Heragu et al., 2005)

Kun varaston automatisointia suunnitellaan olemassa olevaan tehtaaseen tai varastoon, ratkaisun mittasuhteet määritetään olemassa olevan rakennuksen rajoitteiden, kuten korkeuden, koon, muodon, kulkuaukkojen, vastaanotto- ja lähetysalueiden sijainnin ja välttämättömien väliseinien mukaan. (Logistiikan maailma, n.d.c) Molemmissa lähtötilanteissa varaston automatisointiin kohdistuu rajoitteita. Uutta rakennusta rakennettaessa fyysisiä rajoitteita ei ole yhtä paljoa, mutta prosessi vaatii suurempaa taloudellista sijoitusta ja osaamista pelkän varastoautomaatin kehittämisen lisäksi.

Layoutin suunnittelussa määritellään varaston mittasuhteet, käytävien ja hyllyvälien määrä, hyllyjen korkeus, palettien ja hyllypaikkojen mitat ja tyypit ja varastoitavan unit-load-yksikön ominaisuudet. Varaston layout vaikuttaa suoraan keräilyn tehokkuuteen, kuten keräilyyn kuluvaan aikaan ja varastoautomaatissa myös sähkökulutukseen. (de Koster et al., 2007) Manuaalisessa keräilyssä käytetään usein kahden tyyppistä layouttia. Ensimmäisessä layoutissa keräilyä tehdään koko hyllystä ja keräilijä kerää korkealla hyllyssä sijaitsevat tuotteet esimerkiksi trukkien avulla. Toisessa layoutissa hyllyt on jaettu aktiivi- ja reservialueisiin. Tällaisella jaolla voidaan vähentää keräilytyön määrää jakamalla varasto aktiivialueeseen, josta keräily on tehokasta, ja reservialueeseen, josta aktiivialuetta täydennetään. Alueet voivat sijaita varastorakennuksen eri alueilla, tietyn hyllyn ylä- tai alatasoilla tai yksittäisen hyllyn etu- ja takaosassa. (van den Berg & Zijm, 1999; Accorsi, 2014)

Varastoautomaatin suunnittelussa huomioidaan vuorovaikutuksia varaston koko toimintaan. Heragun et al. (2005) mallissa varaston avainalueiden virtauksien ja kokojen määrittämisessä käytettyjä parametreja olivat muun muassa tuotteiden määrä, materiaalivirtojen tyypit, tuotteiden vuosikysyntä ja tilauskustannukset, tuotteiden varastointiajat eri varastojen alueilla, varastoinnin kustannukset, työvoiman ja varaston materiaalin siirtämisen kustannukset, varastoalueiden vähimmäis- ja enimmäismitat sekä keräysreitien pituus tietyn materiaalivirran tuotteiden keräämiselle. Roodbergen et al. (2015) määrittää tutkimuksessaan varaston keskeisimpien käytävien ja poikkikäytävien määrät ja pituudet tarkastelemalla vaihtoehtoisia varastoinnin ja keräilyreitien määrittämisen käytäntöjä. Varastoautomaatin hankinnalla voi olla vaikutusta näihin käytäntöihin, joita kannattaa arvioida mahdollisen tilan lisääntymisen tai vähenemisen hyödyntämiseksi.

Varastoautomaatin suunnittelussa tehokkaampi layout voidaan saavuttaa käytössä olevan unit-load-yksikön uudelleen suunnittelulla. Kovalcik ja Villalobos (2019) tuovat esille, että Kalifornian yliopiston kirjaston varastoautomaatissa aineistot varastointiin peltsiin laatikoihin, joiden eri korkeudet olivat 6, 10, 12, 15 ja 18 tuumaa. Eniten käytetyt laatikot olivat korkeudeltaan 10 ja 12 tuumaisia, mutta näiden laatikoiden määrä varastoautomaatissa oli rajallinen. Muita kokoja käytettiin suhteellisen harvoin, minkä seurauksena varastoautomaatin koko kapasiteettia ei voitu hyödyntää. (Kovalcik & Villalobos, 2019)

4.4 Varastointipolitiikka ja keräilystrategiat

Toiminnan organisoimisen menetelmillä määritetään, mitä tuotteita varastoon saapuu ja minne ne varastossa laitetaan (de Koster, 2007). Varastointipolitiikkaan ja keräilystrategioihin liittyvät päätökset, kuten varastopaikan määritys tai tilausten yhdistäminen vaikuttavat keräilyreitien pituuksiin ja keräilyyn kuluvaan aikaan. Manuaalisessa keräilyssä keräilymatkaan ja varastonimikkeen etsimiseen kuluva aika on noin puolet keräilyyn kokonaisajasta ja siten merkittävä kustannusten aiheuttaja. Varastoautomaatin suunnittelussa keräilyaika tulee minimoida myös sähkönkulutuksen näkökulmasta. Tilausten yhdistelyn avulla säästetään aikaa keräämällä nimikkeitä useisiin tilauksiin samalla kertaa, mutta tällöin nimikkeet on järjesteltävä oikeisiin tilauksiin keräilyyn jälkeen. (van den Berg & Zijm, 1999; Accorsi, 2014)

Varastointipolitiikka muodostuu allokointimenetelmän (engl. storage allocation policy) ja varastopaikkojen kohdistamismenetelmän (engl. storage assignment policy) valinnasta (Accorsi et al., 2014). Allokointimenetelmän määrittämisessä suunnitellaan, miten varastoa voidaan jakaa alueisiin varastonimikkeiden perusteella, ja kuinka paljon inventaariota

tarvitaan tietyssä sijainnissa. Allokointipäätökseen vaikuttavat varastoitavien nimikkeiden ominaisuudet, määrät ja tyypit. Mahdollisia allokointimenetelmiä tulee arvioida valitun layoutin perusteella, ja tarvittaessa harkita layoutin uudelleensuunnittelua tehokkaan allokointimenetelmän mahdollistamiseksi. (Accorsi et al., 2014)

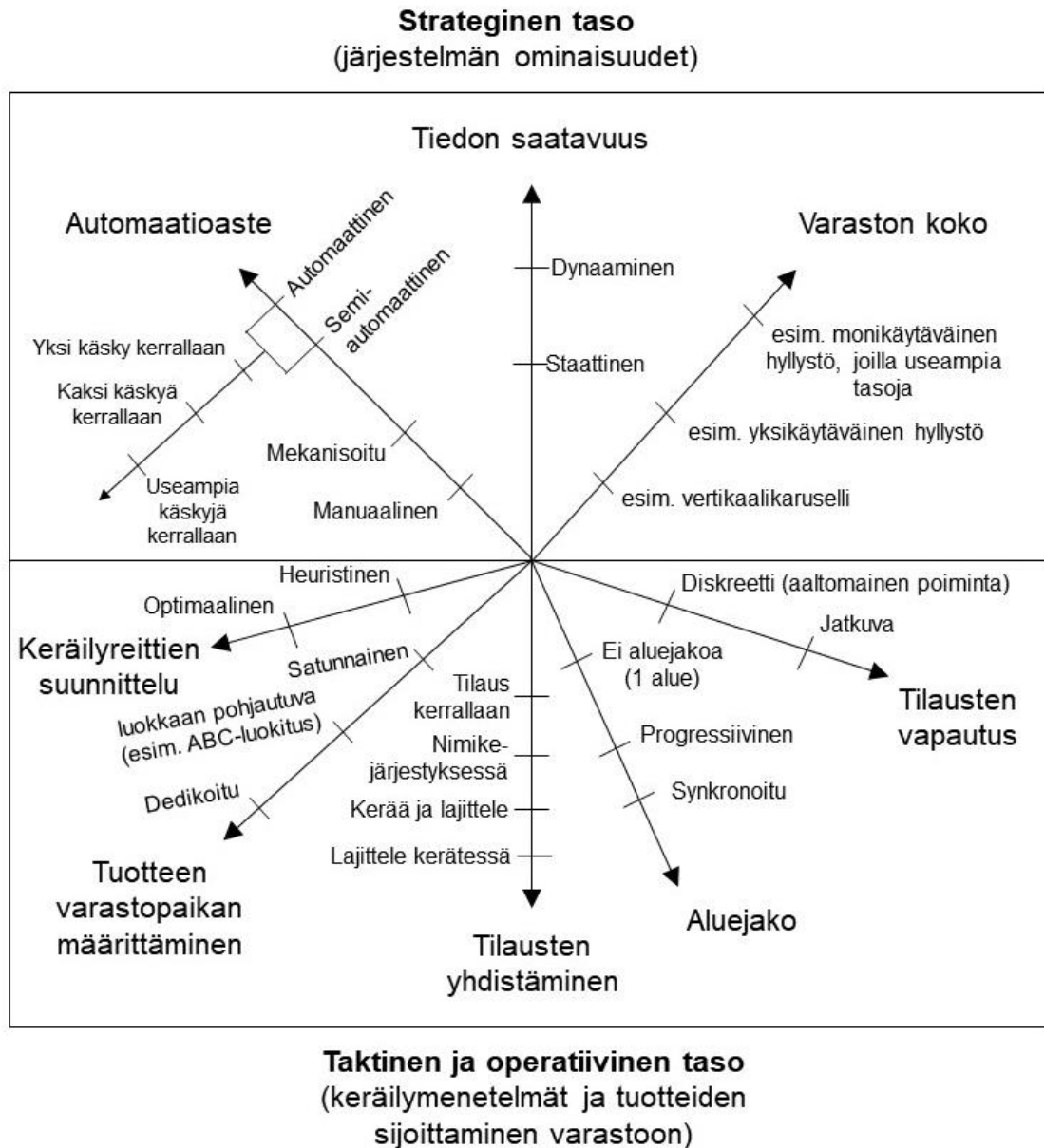
Satunnaista allokointia käytetään erityisesti verkkokauppaliiketoiminnan varastoissa, joissa saapuvien ja lähtevien tavaroiden virrat muuttuvat jatkuvasti ja luokkaperusteista varastointia on vaikea määrittää (Tappia et al., 2019). Jos varastossa on enemmän kuin yksi alue, puhutaan luokkaperusteisesta allokoinnista tai alueista (engl. class-based zoning). ABC-analyysi on yleisesti käytetty allokointimenetelmä, jossa A-alueeseen varastoidaan tiheimmin kerätyt ja nopeimmin kiertävät tuotteet, ja C-alueeseen harvoin kerätyt tuotteet. Korrelaatioon ja tuoteperheisiin perustuvien luokkaperusteisten jakojen tarkoitus on varastoida usein samaan aikaan kerättävät tuotteet lähemmäksi. Aktiivi- ja reservi-alueisiin perustuvassa jaossa täytyy keräilyn lisäksi suunnitella varaston täyttöajankohdat ja resursoida täyttöön kuluva aika keräilijöille. (Rouwenhorst et al., 2000; de Koster et al., 2007)

Varastopaikkojen kohdistamismenetelmä määrittää tuotteen sijainnin varastossa (Accorsi et al., 2014) Accorsin et al. (2014) esittämässä päätöksenteon mallissa huomioidaan muun muassa varastonimikkeiden keräilyfrekvenssit, kiertoaste, tilausmäärät sekä samaan tilaukseen kerättävien nimikkeiden korrelaatio. Mallin avulla nimikkeet kohdistettiin varastopaikoille siten, että niiden etäisyys vastaanotto- ja lähetyspisteiltä olisi mahdollisimman lyhyt. (Accorsi et al., 2014) Varastoautomaatille on tärkeää suunnitella myös lepopaikka, eli optimaalinen sijainti automaattiselle varastointi- ja hakulaitteelle sen ollessa toimiton (van den Berg & Zijm, 1999; Rouwenhorst et al., 2000).

Dallari et al. (2009) tarkastelee Yoonin ja Sharpin (1996) esittämää keräilyjärjestelmän valinnan viitekehystä, jota voitiin ajatella kattavimpana keräilyjärjestelmien valintaprosessin esittävänä julkaisuna. Dallari et al. (2009) tunnistaa esitetystä valintaprosessista puutteita. Yoonin ja Sharpin (1996) viitekehyksessä on kuvattu keräilyprosessin suunnittelun vaiheet, mutta prosessia, joilla eri vaiheiden valintoihin on päädytty, ei pystytä tunnistamaan. Toisaalta mitä enemmän vaihtoehtoisia valintoja tarkasteltaisiin, sitä monimutkaisempi, aikaa vievämpi ja kalliimpi suunnitteluprojektista ja konfiguraatioiden analyttisestä tarkastelusta ja simuloinnista tulisi. (Dallari et al., 2009)

Yoonin ja Sharpin (1996) prosessi ei tarjoa riittävästi työkaluja käytännön keräilyprosessin, saati keräilyprosessin automatisoinnin suunnitteluun. Varastoautomaatin suunnittelussa tehdyillä valinnoilla voidaan kuitenkin arvioida sen teknistä kompleksisuutta, joita havainnollistetaan kuvassa 3 (Goetschalckx & Ashayeri, 1989, s. 102; Rouwenhorst et

al., 2000, de Koster, 2007, s. 7). Kuvassa keskipisteestä kauempana olevat järjestelmän ominaisuudet ja menetelmät ovat vaikeampia suunnitella ja ohjata (de Koster, 2007). Kompleksisuuden perusteella voidaan arvioida järjestelmän hintaluokkaa ja hankintaprosessin sekä käyttöönoton haastavuutta.



Kuva 3. Varastoautomaatin ja keräilymenetelmien kompleksisuus. Perustuu lähteisiin (Goetschalckx & Ashayeri, 1989, s. 102; Rouwenhorst et al., 2000; de Koster, 2007, s. 7)

4.5 Analyttiset mallit ja simulointi

Varaston ja varastoautomaation suunnittelua ja konseptointia tehdään analyttisten mallien ja simulaation avulla. Analyttisten mallien käyttö on simulaatiota tarkoituksenmu-

kaisempaa varastoautomaatin suunnittelun alkuvaiheessa, jossa tutkitaan laajasti erilaisia vaihtoehtoja (Malmborg, 2002). Varaston toiminta on dynaamista ja kysynnän vaihtelut vaikuttavat optimaalisen ratkaisun määrittämiseen. Realistisessa varastoympäristössä optimaalisen keräilymenetelmän määrittäminen vaatii kymmenien tuhansien konfiguraatioiden tuottamista, sillä muodostuvat keräilyreitit eivät ole normaali jakautuneita (Roodbergen et al., 2015). Accorsin et al. (2014) päätöksenteon malli perustuu iteratiiviseen prosessiin, jonka perusteella päädytään erilaisiin konfiguraatioihin. Analyttisen mallin avulla parhaiten suoriutuvista konfiguraatioista valitaan yksi tai kaksi, joita tarkastellaan tarkemmin simulaation avulla. (Ekren et al., 2014)

Simulointi tarjoaa analyttisiä malleja visuaalisemman ja helpomman multifaktorisen tarkastelun varastoautomaation toiminnasta. Konfiguraation rakentaminen simulointiohjelmaan on työlästä, joten sen avulla vertaillaan muutamia parhaiksi arvioituja ratkaisuja (Malmborg, 2002). Bakerin ja Halimin (2007) mukaan simuloinnilla voidaan testata toimintaa erilaisilla parametreillä ja löytää mahdollisia pullonkauloja. Bakerin ja Halimin (2007) varastoautomaatin hankintaa ja käyttöönottoa tarkastelevassa tutkimuksessa 23:sta projektista 13 projektia hyödynsi simulaatiota hankinnan tai käyttöönoton vaiheessa. Simulointia on hyödynnetty myös implementaation jälkeiseen operaattorien ja työntekijöiden koulutukseen. (Baker & Halim, 2007) Virhetilanteiden tarkastelun lisäksi simuloinnilla on potentiaalia poikkeuksellisten tai yksilöllisten häiriötilanteiden aikaisen ja jälkeisen toiminnan testaukseen. Roodbergenin et al. (2015) tutkimuksessa analyttistä mallia verrattiin kohdeyrityksen toimintaan, ja sen avulla keräilyreitit arvioitiin lyhenevän 53 % sekä muutosten implementoinnin toimintaan ja järjestelmiin olevan helppoa. Analyttisten mallien ja simulaation hyöty on ratkaisevassa asemassa hankintaprosessin onnistumisessa.

5. VARASTOAUTOMATISOINNIN HAASTEITA

5.1 Automatisoinnin taloudelliset ja toiminnalliset haasteet

Laite- ja ohjelmistoratkaisut vaativat huomattavan alkuinvestoinnin, jonka jälkeen ratkaisun ylläpitoon ja kehittämiseen tarvitaan taloudellista panostusta koko ratkaisun elinkaaren ajan (Kapulin et al., 2017). Suomessa toimijat eivät välttämättä koe tarvetta automatisoida toimintaansa pitkälle, sillä markkinat ovat usein pienet sekä materiaalivirrat ja asiakkaiden tarpeet vaihtelevat. Teollisuusyritykset kehittävät toimintaansa maltillisesti ja automaatioon siirrytään yksittäistapauksissa, joissa tuotevolyymit kasvavat radikaalisti ja samoilla henkilöresursseilla haetaan jopa 5-kertaisen tuotannon saavuttamista. Siirtymisen pienten ja keskisuurien yritysten suosimasta picker-to-parts-järjestelmästä automaattioratkaisulle sopivaan parts-to-picker-järjestelmään vaatii täydellistä prosessien ja layouttien uudelleensuunnittelua (Bonini et al., 2016), mikä suuren investoinnin lisäksi huolestuttaa yrityksiä. Škerličin et al. (2017) tutkimuksen mukaan Slovenian autoteollisuudessa yli 60 % yrityksistä eivät hyödynnä alansa moderneja ja saatavilla olevia teknologioita, ja automaatiota kohtaan heräävä muutosvastarinta on haitaksi yritysten kilpailukyvyllä tulevaisuuden markkinoilla. Automaation tutkimusta tarvitaan enemmän yritysten välittömässä toiminnassa, jotta pienten yritysten kokemat esteet automatisoinnille vähenisivät. (Ventä et al., 2018, s. 35, 28, 83)

Automatisoinnin syyt ja tavoitteet sekä olemassa olevat ja automatisoidut varastointimenetelmät vaikuttavat siihen, minkä asteista automaatiota tai kuinka monimutkaista teknologiaa keräilyprosessin kehittäminen vaatii. Vaikka ratkaisun luotettavuus ja investoinnin suuruus ovat usein ensisijaisia päätökseen vaikuttavia tekijöitä (Baker & Halim, 2007; Ventä et al., 2018, s. 13), kohteen tarvitsema automaatio ja järkevä automaatiotasotulee ottaa huomioon. Joillekin varastointikohteille saattaa riittää manuaalisen keräilytehostaminen ääniohjatulla tai valoon perustuvalla teknologialla. Boninin et al. (2016) tutkimuksessa, jossa AGV:n kuljettama operaattori korvattiin keräilyrobotilla, investoinnin suuruuteen vaikutti jo aikaisemmin käytössä olevan teknologian, AGV:n teknologisen laitteiston ja ohjelmiston, olemassaolo. Tarvittavien trukkien määrän arviointiin myös vähenevän automatisoinnin seurauksena. Automatisoinnin vaikutusten tarkastelun kautta investoinnin ja lukuisten kustannusten suuruudet arviointiin pienemmiksi verrattuna alkuperäiseen arvioon investoinnista. (Bonini et al., 2016)

Investoinnin suuruudesta ja taloudellisten vaikutusten laaja-alaisuudesta huolimatta voidaan arvioida, missä tilanteissa investointi ei tuottanut tavoiteltua tulosta tai on koettu

muita taloudellisia haasteita. Bakerin ja Halimin (2007) sekä Kovalcikin & Villalobosin (2019) tutkimuksiin perustuen voidaan osoittaa kolme syytä taloudellisen hyödyn menettämiseksi:

(1) Epäsopivan järjestelmän tai varastoautomaatiotyypin valinta.

Liian aikainen tarkastelun rajaaminen tiettyyn varastoautomaatiotyyppiin, puutteellinen kommunikointi ja yhteistyö toimittajien ja tarvittavien sidosryhmien kanssa, järjestelmän tavoitteiden epäsopiva määrittäminen, puutteellinen nykyisten varastointimenetelmien yhteensovittaminen järjestelmän toimintaan sekä järjestelmän toimintaa hyödyntävien uusien varastointimenetelmien huomiotta jättäminen (Baker & Halim, 2007; Pagano & Gyimah, 2016, s. 21). Nämä ongelmat kohdat voivat johtaa epäsopivan järjestelmätyypin valintaan, mutta myös sopivan ratkaisun hyödyn menettämiseen tai käyttöönoton epäonnistumiseen.

(2) Budjetin ja aikataulun ylittänyt tai muuten epäonnistunut käyttöönotto.

Liian tiukan tai optimistisen aikataulun asettaminen, puutteellinen johtaminen, projektin läpiviennin epäonnistuminen esimerkiksi syntyneiden ongelmien sivuuttamisen tai väliaikaisratkaisun muodostumisen seurauksena, keskeneräisen ratkaisun implementointi, liian vähäinen testaus tai liian nopea toimintaan palaaminen käyttöönoton jälkeen (Baker & Halim, 2007; Kovalcik & Villalobos, 2019).

(3) Käyttöönoton jälkeisten toimenpiteiden ja ylläpidon huomiotta jättäminen.

Elinkaaren huomiotta jättäminen ja ehkäisevän kunnossapidon suorittaminen vanhentuneeseen ratkaisuun (Baker & Halim, 2007; Kovalcik & Villalobos, 2019).

Bakerin ja Halimin (2007) tutkimuksessa hankintaprosessit kestivät keskimäärin 20 kuukautta vaihtelun ollessa 5–39 kuukautta. Vain kaksi projektestä myöhästyivät aikataulusta ja ylittivät suunnitellun budjetin. Tyypillisesti käyttöönoton jälkeen normaaliin toiminnan tavoitetasoon ei siirrytty heti, vaan keskimäärin kolme kuukautta palvelutasoa nostettiin vaiheittain järjestelmän oikeanlaisen toimimisen varmistamiseksi. Nopeimmat palasivat heti tavoitetasoon, kun taas pisimpään kestäneillä siirtyminen kesti vuoden. (Baker & Halim, 2007)

Käyttöönoton aikana on varauduttava tuotantoprosessien häiriintymiseen ja palvelutason laskemiseen. Bakerin ja Halimin (2007) tutkimuksessa vain viisi projektia 24:stä eivät kokeneet toiminnallisia häiriöitä. Häiriöiden vaikutukset vaihtelivat, mutta yhdessä tapauksista tilausten prosessoinnit epäonnistuivat, ylitöitä kertyi huomattavasti ja palvelutaso laski hyväksyttävän tason alle. Häiriöt johtuivat useimmiten IT-järjestelmistä, lait-

teiston asennuksesta ja toiminta-alueiden asettamisesta järjestelmään. Yksittäisissä tapauksissa häiriöt johtuivat muun muassa teknologian vaikutuksesta työntekijöihin ja laitteiston toimintavalmiuden myöhästymisestä. (Baker & Halim, 2007)

5.2 Tietojärjestelmähaasteet

Varastoautomaatin toimittajan kehittämässä ratkaisussa laitteisto ja ohjelmisto ovat vastavuoroinen kokonaisuus, mutta ohjelmisto ei yleensä ole asennettu tai yhteydessä hankkivan yrityksen tietojärjestelmiin. Bakerin ja Halimin (2007) tutkimuksessa melkein puolessa varastoautomaatin hankintaprojekteista päädyttiin kokonaan uuden WMS:n (engl. Warehouse Management System, varastonhallintajärjestelmä) implementointiin ja useimmissa käyttöönottoprosesseissa tarvittiin muutoksia yrityksen tietojärjestelmiin, kuten WMS:ään, ERP:iin (engl. Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä) ja perinnejärjestelmiin. Ohjelmiston kehitys oli useissa käyttöönottoprojekteissa määritelty kriittiseksi poluksi, sillä tietojärjestelmään liittyvä ongelma saattoi pysäyttää käyttöönoton etenemisen. Eräässä vähäisen häiriön kokeneessa projektissa raportoitiin, että suurempi häiriö varaston toiminnoille vältettiin seitsemän kuukautta kestäneellä jatkuvalla järjestelmän testauksella. (Baker & Halim, 2007)

Varastoautomaatin hankintaprosessin onnistumiselle voidaan erottaa kolme tarpeellista osapuolta: asiakasyrityksen hankintaprosessista vastaava tiimi tai henkilö, laitteisto-ohjelmisto-kokonaisuuden kehittävä osapuoli eli AS/RS-ratkaisun toimittaja sekä tietojärjestelmän integraatiosta, kehittämisestä ja testauksesta vastaava sisäinen tai ulkoinen sidosryhmä. Näiden osa-alueiden tehtävät, osaaminen ja tietotarpeet poikkeavat toisistaan, ja kutakin osapuolta tarvitaan rinnakkain hankintaprosessin aikana.

Kapulin et al. (2017) tarkastelivat projektia, jossa järjestelmäintegraatiosta vastaava taho integroi toimittajan tarjoaman AS/RS-ratkaisun yhtenäiseksi tietojärjestelmäympäristöksi (IIE; Integrated Information Environment) kohdeyrityksen tietojärjestelmien kanssa. Varastotoiminnot pelkän toimittajan AS/RS-ratkaisun mukana tulevan ohjelmiston kanssa olisivat johtaneet korkeampiin kustannuksiin, tarpeettomiin toimintoihin ja riittämättömään suojaustasoon. Tietosuojan vuoksi tietyiltä käyttäjäryhmiltä oli rajattava pääsy tiettyjen valmistusprosessien ja varastonimikkeiden tietoihin. Ilmankin IIE:tä kohdeyritys olisi joka tapauksessa joutunut kehittämään tietojärjestelmiin integroidun yhdyskäytäväohjelmiston tietosuojavaatimusten toteutumiseksi. (Kapulin et al., 2017)

Kapulinin et al. (2017) tutkiman IIE:n hyötyjä arvioitiin tarkastelemalla varastoprosessien toimintaa ennen AS/RS implementaatiota, AS/RS implementaation jälkeen sekä IIE:n implementoinnin jälkeen. Vertailun tulokset esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Varaston toiminnan laadun vertailu AS/RS:n implementoinnin eri vaiheissa. Perustuu lähteeseen (Kapulin et al., 2017, s. 5).

Toiminnan laadun indikaattori (yksikkö)	Ennen AS/RS implementointia	AS/RS implementoinnin jälkeen	IIE:n implementoinnin jälkeen
Toimitukset varastosta (kappaletta vuodessa)	1 481 373	1 961 309	2 816 941
kiireisimmän kuukauden kulutus (kappaletta kuukaudessa)	186 618	233 551	341 944
varastointikapasiteetti (kappaletta)	2 431 954	2 919 866	2 919 866
kappaleiden aika varastossa (päivää)	30	22	17
varaston työpäivät vuodessa (päivää)	298	307	315
keskivertokulutus kuukaudessa (kappaletta kuukaudessa)	51 436	143 442	234 745
varaston kapasiteetin käytön tehokkuus (%)	20	80	80
Optimaalinen tilankäyttö (%)	28	61	69

IIE:n avulla saatiin huomattavasti enemmän hyötyä varastoautomaatiosta, ja tietovirtojen ja dokumenttien käyttöön liittyvät kustannukset ja aika laskivat (Kapulin et al., 2017).

5.3 Pitkän aikavälin joustavuus, ylläpito ja modernisaatio

Varastoautomaatin on oltava joustava, luotettava ja tarjottava korkea suoritustaso, jotta investointi olisi kestävä (Bonini et al., 2016). Bakerin ja Halimin (2007) tutkimuksessa varastoautomaatin hankinnan jälkeisiä tulevaisuuteen kohdistuvia huolia olivat joustavuus, kasvavat varastonimikkeiden määrät ja alhaisempien kustannusten ja läpimenoaikojen vaatimukset. Varaston automatisoinnilla ja suunnittelulla on suuri merkitys yritysten kyvykkyydelle vastata toimintaympäristön vaatimuksiin.

Varastoautomaation ylläpito ja proaktiivinen modernisaatio ja kehittäminen ovat välttämättömiä, jotta ratkaisu toisi pitkäaikaista hyötyä. Kovalcikin & Villalobosin (2019) tutkimuksessa Kalifornian yliopiston kirjaston varastoautomaatin puutteellisesti suunniteltu ylläpito johti alussa laitteiston hyödyn menettämiseen. Varastoautomaatille suoritettiin ehkäisevää kunnossapitoa, jonka tarkoituksena oli säilyttää laitteiston alkuperäinen toiminta, eikä varmistaa laitteiston sopivuus ja toimivuus ajankohtaisiin tarpeisiin. Koska

tarvittavaa modernisaatiota pyrittiin välttämään ylläpidon avulla, laitteisto ja ohjelmisto olivat lopulta vanhentuneita ja käyttökelvottomia. (Kovalcik & Villalobos, 2019)

Varastoautomaation toiminta on luotettavampaa, kun sen jatkuva toimintavalmius varmistetaan ja tulevaisuuden ylläpitoa ja päivitystä suunnitellaan. Kun käyttöönotto ja järjestelmän koulutus suunnitellaan huolellisesti, järjestelmän operaattori ja käyttäjät ovat halukkaampia käyttämään järjestelmää säännöllisesti matalalla kynnyksellä. Operaattorilla on tärkeä asema järjestelmän oikeanlaisen toiminnan varmistajana ja valvojana, sillä operaattori tuntee järjestelmän ja huomaa helposti ongelmat ja kehityskohteet. (Kovalcik & Villalobos, 2019) Kun operaattorilla on luottamus järjestelmään ja ylemmän tahon halukkuuteen varmistaa sen toimivuus, käyttöönotossa tai tulevaisuudessa ilmenevissä ongelmatilanteissa voidaan välttyä väliaikaisratkaisuihin siirtymiseltä, jolla on riski muodostua lopulliseksi ratkaisuksi ilman, että alkuperäinen ongelma korjataan.

Väliaikaisratkaisun muodostuminen voi johtua myös muista syistä kuin ongelmatilanteista. Kalifornian yliopiston kirjastossa eniten käytettyjä teoksia varastoitiin varastoautomaatin etuosassa erillisissä laatikoissa, koska tunnetun teoksen noutaminen oli hieppomana nopeampaa ja helpompaa kuin järjestelmästä pyytäminen. Syynä oli myös varautuminen mahdolliseen käyttökatkoon ja rikkoutumiseen, jonka aikana teokset jäisivät laitteen sisälle manuaalisen keräilyn ulottumattomiin. Ongelma ratkaistiin sillä, että varastoautomaatin etummaisesta hyllystä kytkettiin kiskoihin, jolloin ne sai tarvittaessa käsin vedettyä pois hyllyvälistä manuaalista keräilyä varten. (Kovalcik & Villalobos, 2019)

Varastoautomaatti on suurehko sijoitus ja kriittinen varastoinnin komponentti, joten sen tulisi olla osa pitkän aikavälin strategista toimintaa. Kalifornian yliopiston kirjaston varastoautomaatin laitteistoa ja ohjelmistoa päivitettiin kahdessa vaiheessa ennen kuin varastoautomaatin potentiaali pystyttiin hyödyntämään. Nykyään kirjaston henkilökuntaan on resursoitu varastoautomaatin toiminnasta ja ajantasaisuudesta vastaava henkilö. Tämänhetkinen laitteen ylläpito merkitsee tarkkaan määritellyt ja resursoidut tekniset tukikanavat käyttökatojen ja teknisten ongelmien ratkaisemiseen, varaosien saatavuuden varmistamisen seuraavan 20 vuoden ajalle, tärkeimpien komponenttien elinkaaristrategian kehittämistä sekä pitkän aikavälin suunnittelua ja budjetointia. (Kovalcik & Villalobos, 2019) Väliaikaisratkaisun ehkäisemiseksi ja luottamuksen luomiseksi varastoautomaatin toiminnalle on varmistettava tarvittavat resurssit, ja organisaatiossa on asennoitettava kollektiivisesti siihen, että järjestelmän ylläpitäminen ja toiminta on arvokasta.

6. KERÄILYPROSESSIN AUTOMATISOINNIN VII- TEKEHYS

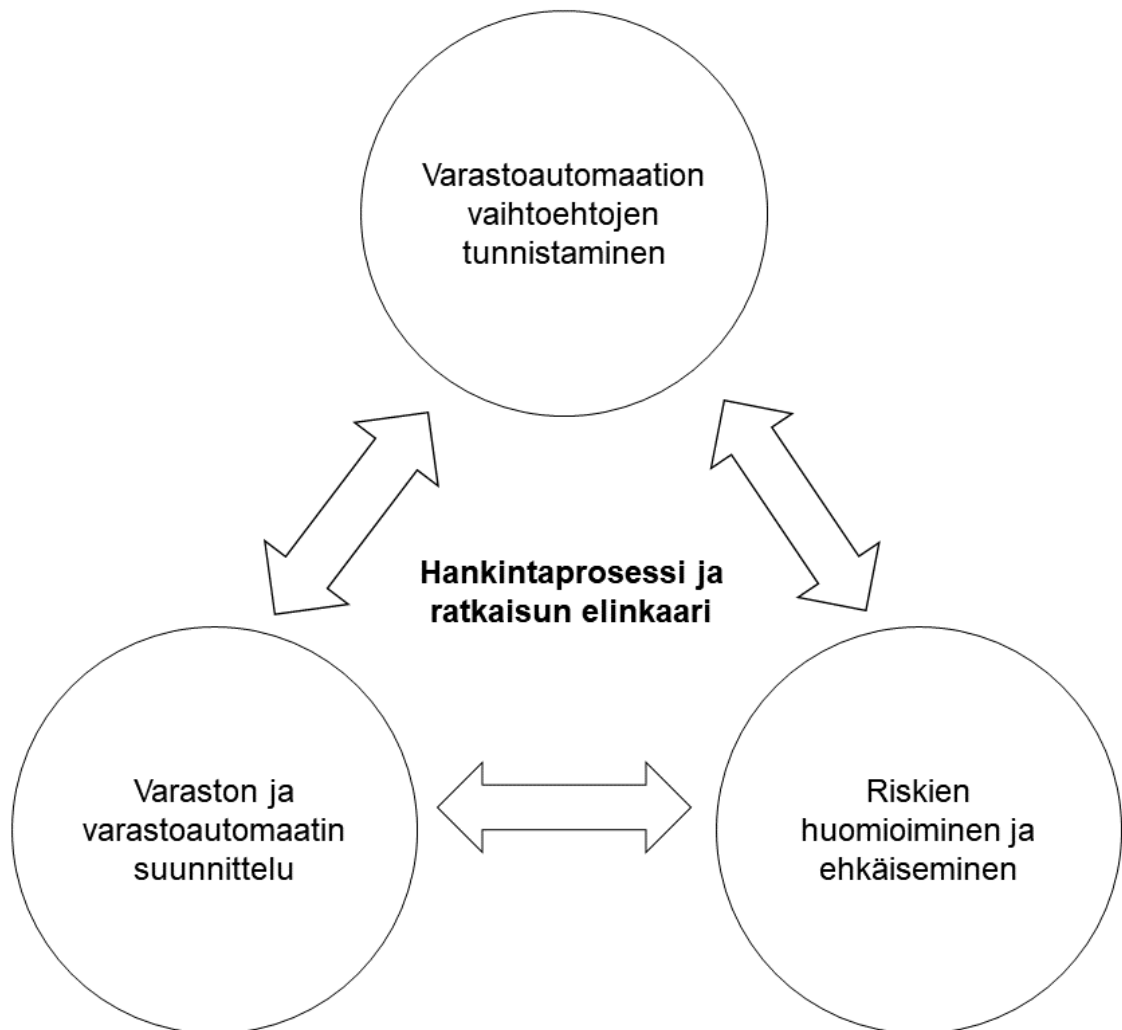
Tieteellisessä tutkimuksessa keräilyprosessin automatisoinnille tai varastoautomaatin hankintaprosessille ei tällä hetkellä vaikuta olevan systemaattisia ja käytäntöön sovellettavia malleja (Baker & Halim, 2007; de Koster et al., 2007). Julkaisujen aiheet rajautuvat usein vain yhteen varastoinnin ongelmaan (Accorsi et al., 2014) ja ratkaisujen kehittäminen perustuu suurilta osin suunnittelijoiden ammatilliseen osaamiseen ja intuitioon (Baker & Canessa, 2009). Keräilyprosessien suunnittelulle on esitetty viitekehyksiä (Dallari et al., 2009), mutta näkökulma rajoittuu optimaalisen ratkaisun tutkimiseen. Päätöksenteon mallit (Accorsi et al., 2014) voivat tarjota mallin yksittäisiin päätöksenteon vaiheisiin, mutta eivät välttämättä mahdollista vuorovaikutuksellista, käytännössä sovellettavaa ja yksilöllisiä lähtökohtia huomioivaa suunnittelua. Vaikka mallien avulla voidaan hahmottaa yksittäisiä päätöksiä, ne eivät määrittele polkua kyseisiin valintoihin. Malleissa usein tarkastellaan rajatusti tietyn tyyppiseen varastoon sopivaa tietyn varastoautomaatiotyypin suunnittelua. Tieteellisissä tutkimuksissa käsitellään varastoautomaatin toimittajan ja suunnittelijan tarvitsemaa tietoa, joka ei huomioi olemassa olevan varaston kehittämisen tai hankintaprosessin tietotarpeiden näkökulmaa. Tässä tutkielmassa koostettu keräilyprosessin automatisoinnin viitekehys on esitetty kuvassa 4. Viitekehysten kautta tässä tutkielmassa pyritään vastaamaan tietotarpeisiin hankintaprosessin näkökulmasta.

Viitekehysten ensimmäinen osa-alue muodostuu luvuista 3 ja 4. Luvussa 3 käsiteltiin varaston keräilyprosessia ja sen automatisoinnin yleisiä tyyppejä. Luvussa 4 käsiteltiin tavoitteiden, toimittajavalinnan ja yhteistyön sekä varaston ja varaston suunnittelun vaikutusta ratkaisun arvon tuottoon.

Viitekehysten toiseksi osa-alueeksi muodostui varaston ja varastoautomaation suunnittelu. Luvussa 4 tarkasteltiin varaston suunnittelun strategista, taktista ja operatiivista tasoa ja näihin liittyviä päätöksiä ja rajoitteita. Varaston ja varastoautomaation fyysisten ominaisuuksien osalta tarkasteltiin sijaintia, mittasuhteita ja layouttia. Varaston organisoinnin ja menetelmien osalta tarkasteltiin keräilystrategiaa ja varastopolitiikkaa.

Riskien huomioiminen ja ehkäisy muodostui tässä tutkielmassa viitekehysten kolmanneksi osa-alueeksi, jota käsitellään luvussa 6. Automatisointi itsessään ei luo arvoa yritykselle ja harkitsemattomat valinnat voivat johtaa tavoitellun hyödyn menettämiseen. Tyypillisten riskien ennakoimisella voidaan jo hankintaprosessin alussa taata järjestel-

män sopivuus liiketoiminnan tavoitteisiin ja muutoksiin. Varastoautomaation käyttöönoton ja elinkaaren aikana ilmeneviin haasteisiin voidaan varautua jo hankintaprosessin alussa tunnistamalla varastoautomaation merkitys osana strategisen tason toimintaa.



Kuva 4. Keräilyprosessin automatisoinnin viitekehys.

Keräilyprosessin automatisoinnin viitekehys tarjoaa mahdollisen pohjan tai mallin, jonka päälle voidaan rakentaa selkeitä toimintaperiaatteita hankintaprosessin tueksi. Viitekehysten tarkastelun kautta voidaan tunnistaa tietotarpeita ja onnistumisen edellytyksiä yksilöllisen varastoautomaatin suunnittelussa, minkä perusteella sitä voidaan hyödyntää toimialasta ja varaston tyypistä riippumatta.

7. PÄÄTELMÄT

Varaston keräilyprosessin automatisointi on vuorovaikutuksellinen kokonaisuus, jossa tulee huomioida yrityksen ja varaston toiminnan tarpeet ja tavoitteet sekä ymmärtää vuorovaikutussuhteita varaston fyysisten ominaisuuksien ja organisoinnin menetelmien välillä. Varastoautomaatin hankintaprosessissa toteutetaan yhteistyötä monien sidosryhmien kanssa, jolloin suunnittelu yhteistyössä ja ratkaisun elinkaaren huomioiminen ovat välttämättömiä optimaalisen ratkaisun toteuttamiselle. Tässä tutkielmassa on koostettu keräilyprosessin automatisointia käsittelevä kokonaiskuva hankintaprosessin moniulotteisista tietotarpeista.

Tässä tutkielmassa tunnistetut tietotarpeet jaettiin kolmeen osa-alueeseen, jotka muodostivat keräilyprosessin automatisoinnin viitekehyksen. Tietotarpeiden lisäksi onnistumisen edellytyksiä ja tyypillisiä hankintaprosessin haasteita analysoitiin. Viitekehyyksessä huomioidaan automatisoinnin tavoitteet, keräilyprosessin kehittämisen vaihtoehtoiset ratkaisut sekä varaston suunnittelun periaatteita varastoautomaation näkökulmasta. Näiden pohjalta hankintaprosessin toimittajavalinta ja sidosryhmien yhteistyön toteuttaminen onnistuu arvoa tuottavalla ja säilyttävällä tavalla. Hankintaprosessissa strategisen tason päätökset ja ratkaisun elinkaaren huomioiminen osoittautuivat merkittäviksi hankinnan onnistumisen ja kestävyuden kannalta.

Tämän tutkielman kirjallisuuden perusteella varastoautomaatin hankintaprosessia tukevaa prosessimallia ei vaikuta olevan, joten tässä tutkielmassa kehitetyn keräilyprosessin automatisoinnin viitekehyksen hyötyjä voitaisiin arvioida tutkimalla sen kontribuutiota ja hyödynnettävyyttä yksittäisissä hankintaprosesseissa. Erilaisia varastoautomaattien hankintaprosesseja voitaisiin tutkia Bakerin ja Canessan (2009) tutkimuksen tavoin, mutta konkreettisten työkalujen ja vaiheiden tunnistamisen lisäksi tulisi arvioida suunnitteluprosessia rajoittavia ja ohjaavia käytännön tekijöitä, kuten budjetin ja ajan, resurssien saatavuuden ja osaamisen merkitystä. Tunnistetuista prosesseista tulisi identifioida näiden vaikutusten lisäksi kriittiset päätöksiin johtavat polut. Tämän tutkimuksen viitekehystä voitaisiin siten laajentaa analysoimalla työkaluja ja optimaalisen ratkaisun mahdollistavia prosessikuvauksia. Näiden kautta voitaisiin lopulta koostaa varaston keräilyn automatisoinnin tai kehittämisen systemaattista metodologiaa. Käyttökelpoisen viitekehyyksen kehittäminen voi laajentaa tietoisuutta ja uskallusta Suomessa varaston automatisointiin, mikä mahdollisesti vahvistaisi yritysten kilpailukykyä ja kasvun mahdollisuuksia kansainvälisillä markkinoilla.

LÄHTEET

- Accorsi, R., Manzini, R., & Maranesi, F. (2014). A decision-support system for the design and management of warehousing systems. *Computers in Industry*, 65(1), 175–186. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2013.08.007>
- Azadeh, K., de Koster, R., Roya, D. (2019). Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and Recent Developments. *Transportation science*, 2019-07, 53(4), 917–945. <http://doi.org/10.1287/trsc.2018.0873>
- Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 425–436. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.045>
- 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. <http://doi.org/10.1108/13598540710737316>
- Battini, D., Calzavara, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2015). A comparative analysis of different paperless picking systems. *Industrial Management & Data Systems*, 115(3), 483–503. <http://doi.org/10.1108/IMDS-10-2014-0314>
- Bonini, M., Urru, A. & Echelmeyer, W. (2016). Fast deployable autonomous systems for order picking - how small and medium size enterprises can benefit from the automation of the picking process. *13th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 479–484. <http://doi.org/10.5220/0005997804790484>
- Chauhan, A. (2020). Post-Covid warehousing automation scenario: Tech-manpower integration to bring sustainability. *Business World*, syyskuu 2020. Saatavissa (viitattu 17.3.2022): <http://www.businessworld.in/article/Post-Covid-warehousing-automation-scenario-tech-manpower-integration-to-bring-sustainability/17-09-2020-321553>
- Dallari, F., Marchet, G., & Melacini, M. (2009). Design of order picking system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(1-2), 1–12. <http://doi.org/10.1007/s00170-008-1571-9>
- de Koster, M. B. M. (2012). Warehouse Assessment in a Single Tour. In: Manzini R. (eds) *Warehousing in the Global Supply Chain*. Springer, London. http://doi.org/10.1007/978-1-4471-2274-6_17
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Ekren, B. Y., Heragu, S. S., Krishnamurthy, A., & Malmborg, C. J. (2014). Matrix-geometric solution for semi-open queuing network model of autonomous vehicle storage and retrieval system. *Computers & Industrial Engineering*, 68, 78–86. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2013.12.002>
- Frazelle, E. H. (2016). *World-class warehousing and material handling* (2nd ed.). *McGraw-Hill Education*. Saatavissa (viitattu 3.2.2022): <http://www.accessengineering-library.com/content/book/9780071842822>

- Goetschalckx, M. & Ashayeri, J. (1989). Classification and design of order picking. *Logistics World*, 2(2), 99–106. <http://doi.org/10.1108/eb007469>
- Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J. & Schuur, P. C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 43(2), 327–338. <http://doi.org/10.1080/00207540412331285841>
- Jaghbeer, Y., Hanson, R., & Johansson, M. I. (2020). Automated order picking systems and the links between design and performance: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(15), 4489–4505. <http://doi.org/10.1080/00207543.2020.1788734>
- Kapulin, D. V., Chemidov, I. V. & Kazantsev, M. A. (2017). The design of the automated control system for warehouse equipment under radio-electronic manufacturing. *Journal of Physics: Conference Series*, 803(1), 1–6. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/803/1/012064>
- Kovalcik, J., & Villalobos, M. (2019). Automated Storage & Retrieval System: From Storage to Service. *Information Technology and Libraries*, 38(4), 114–124.
- Kudelska, I., & Niedbał, R. (2020). Technological and Organizational Innovation in Warehousing Process – Research over Workload of Staff and Efficiency of Picking Stations. *E+M Ekonomie a Management*, 23(3), 67–81. <http://doi.org/10.15240/tul/001/2020-3-005>
- Logistiikan maailma (n.d.a). Varastopaikkajärjestelmä. Saatavissa (viitattu 22.2.2022): <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotilojen-suunnittelu/varastopaikkajarjestelma>
- Logistiikan maailma (n.d.b). Varaston käyttötärpeen vaikutus suunnitteluun. Saatavissa (viitattu 24.2.2022): <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotilojen-suunnittelu/kayttotarpeen-vaikutus>
- Logistiikan maailma (n.d.c). Varastotilojen suunnittelu. Saatavissa (viitattu 22.2.2022): <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotilojen-suunnittelu>
- Malmberg, C. J. (2002). Conceptualizing tools for autonomous vehicle storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 40(8), 1807–1822. <http://doi.org/10.1080/00207540110118668>
- Manzini, R., Bozer, Y. & Heragu, S. (2015). Decision models for the design, optimization and management of warehousing and material handling systems. *International Journal of Production Economics*, 170, 711–716. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.08.007>
- Meneghetti, A., Dal Borgo & E., Monti, L. (2015). Rack shape and energy efficient operations in automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 53(23), 7090–7103. <http://doi.org/10.1080/00207543.2015.1008107>
- Pagano, A. M., & Gyimah, M. (2016). Contemporary issues in supply chain management and logistics. *New York, United States: Business Expert Press*.
- Park, B. C. (2012). Order Picking: Issues, Systems and Models. In R. Manzini (Ed.), *Warehousing in the Global Supply Chain: Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems* (pp. 1–30). Springer. http://doi.org/10.1007/978-1-4471-2274-6_1

- Rigby, K. D (2011). The future of shopping. *Harvard Business Review*, 89(12). Saatavissa (viitattu 27.2.2022): <http://hbr.org/2011/12/the-future-of-shopping>
- Roodbergen, K. J., Vis, I. F. A., & Taylor, G. D. (2015). Simultaneous determination of warehouse layout and control policies. *International Journal of Production Research*, 53(11), 3306–3326. <http://doi.org/10.1080/00207543.2014.978029>
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515–533. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00020-X](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00020-X)
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain*. Kogan Page, Limited.
- Salminen, A. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. *Vaasa: Vaasan yliopisto*.
- Škerlič, S., Muha, R., & Sokolovskij, E. (2017). Application of modern warehouse technology in the Slovenian automotive industry. *Transport*, 32(4), 415–425. <http://doi.org/10.3846/16484142.2017.1354315>
- Tappia, E., Roy, D., Melacini, M., & De Koster, R. (2019). Integrated storage-order picking systems: Technology, performance models, and design insights. *European Journal of Operational Research*, 274(3), 947–965. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.10.048>
- van den Berg, J. P., & Zijm, W. H. M. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59(1), 519–528. [http://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00114-5](http://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00114-5)
- Ventä, O., Honkatukia, J., Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Airaksinen, M. & Vainio, T. (2018). Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 47/2018. *Valtioneuvoston kanslia, Helsinki*.
- Yetkin Ekren, B. (2021). A multi-objective optimisation study for the design of an AVS/RS warehouse. *International Journal of Production Research*, 59(4), 1107–1126. <http://doi.org/10.1080/00207543.2020.1720927>
- Yoon, C. S, Sharp, G. P (1996). A structured procedure for analysis and design of order pick systems. *IIE Transactions*, 28(5), 379–389. <http://doi.org/10.1080/07408179608966285>