



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Topias Tammisto

Automaattivarastojen hyödyt manuaalisiin varastointiratkaisuihin verrattuna

Tehokkuutta, tarkkuutta ja säästöjä

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Kandidaatintutkielma, tuotantotalous
Tekniikan kandidaatti

Vaasa 2025

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

Tekijä:	Topias Tammisto		
Tutkielman nimi:	Automaattivarastojen hyödyt manuaalisiin varastointiratkaisuihin verrattuna: Tehokkuutta, tarkkuutta ja säästöjä		
Tutkinto:	Tekniikan kandidaatti		
Oppiaine:	Tuotantotalous		
Työn ohjaaja:	Tauno Kekäle		
Valmistumisvuosi:	2025	Sivumäärä:	44

TIIVISTELMÄ:

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena on selvittää, millaisia hyötyjä automaattivarastot mahdollistavat manuaalivarastoihin verrattuna. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, jonka avulla on koottu yhteen olemassa olevan tutkimustiedon perusteella keskeisimmät hyödyt, joita automaation käyttöönotto varastotoiminnoissa voi yrityksille tarjota. Automaattivarastot yleistyvät jatkuvasti logistiikka-alan nopean kehityksen, kiristyvän kilpailun, muuttuvien toimitusvaatimusten ja asiakasodotusten seurauksena. Automaattivarastoja tarkastellaan paitsi teknologisina ratkaisuna myös strategisina investointeina, joiden avulla pyritään tehostamaan yritysten toimintaa kokonaisvaltaisesti. Tutkielman lähtökohtana toimii oletus siitä, että automaattivarastot voivat ratkaista monia manuaalisen varastoinnin haasteita. Näihin kuuluvat muun muassa suuri työvoiman tarve, toistuvat virheet, tehottomat prosessit, puutteellinen tilankäyttö sekä rajoittunut skaalautuvuus. Teoreettinen viitekehys keskittyy tarkastelemaan varastojen roolia toimitusketjuissa, manuaalisen varastoinnin ongelmia, automaattivarastojen toiminnan mahdollistavia teknologioita ja yleisimpiä automaattivarastotyyppisiä. Kirjallisuuskatsauksessa on tarkasteltu laajasti eri lähteitä, joiden pohjalta on muodostettu kokonaiskuva automaattivarastojen toiminnasta, eduista, käyttöönottoon liittyvistä tekijöistä ja haasteista, investointien kannattavuudesta sekä tulevaisuuden kehityssuunnista.

Tulosten perusteella on havaittu, että automaattivarastot mahdollistavat merkittäviä hyötyjä yritysten varastointiin useilla eri osa-alueilla. Näitä ovat muun muassa nopeampi ja tarkempi keräilyprosessi, optimaalisempi varastotilan hyödyntäminen, säästöt työvoimakustannuksissa sekä parantunut työturvallisuus ja ergonomia. Lisäksi automaatio mahdollistaa joustavamman reagoinnin kysynnän vaihteluihin ja parantaa toimitusvarmuutta. Automaattivarastoilla on havaittu olevan myös positiivisia vaikutuksia työntekijöiden työtyytyväisyyteen ja tuottavuuteen. Tutkimukset osoittavat, että automaattivarastojen takaisinmaksuaika on keskimäärin vain noin 2–3 vuotta, mikä tekee investoinnista kannattavan ratkaisun. Teknologiat kuten tekoäly, koneoppiminen, IoT ja RFID tukevat automaattivarastojen toimintaa ja kehittävät jatkuvasti varastojen tarkkuutta ja suorituskykyä. Lisäksi innovaatiot, kuten digitaaliset kaksoiset ja älykkäät varastojärjestelmät, tarjoavat yhä parempia mahdollisuuksia varastohallinnan optimointiin. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että automaattivarastot tarjoavat monipuolisia ja merkittäviä etuja yrityksille ja ne edustavat merkittävää kehitysaskelta kohti tehokkaampaa, joustavampaa ja kilpailukykyisempää varastointia. Vaikka käyttöönotto vaatiikin tarkkaa suunnittelua, merkittäviä investointeja ja henkilöstön koulutusta, on automaattivarastojen strateginen arvo yrityksille kiistaton, erityisesti kun järjestelmä suunnitellaan huolellisesti ja toteutus mukautetaan yrityksen tarpeisiin. Automaattivarastot nähdäänkin yhä useammin strategisena ratkaisuna, joka tukee yritysten kilpailukykyä ja valmistautumista tulevaisuuteen.

AVAINSANAT: Automaattivarasto, logistiikka, teollisuus 4.0, varastohallinta, manuaalivarasto, automaatio, robotiikka, toimitusketju

Sisällys

1	Johdanto	6
2	Varastointi yleisesti	8
2.1	Varastojen rooli ja merkitys toimitusketjuissa	9
2.2	Manuaaliset varastointimenetelmät	10
2.3	Manuaalisen varastoinnin haasteet	11
2.4	Varastonhallinta	12
3	Automaattivarastojen toiminnan mahdollistavat teknologiat	14
3.1	Automaatio	14
3.2	Robottiikka	14
3.3	IoT	15
3.4	Tekoäly ja koneoppiminen	15
3.5	RFID	16
4	Yleisimmät automaattivarastot ja niiden toimintaperiaatteet	17
4.1	AS/RS	17
4.2	Automaattitrukit (AGV)	18
4.3	AMR	18
4.4	RMFS	19
4.5	Karusellijärjestelmät	20
5	Automaattivarastojen hyödyt verrattuna manuaalivarastoihin	21
5.1	Toiminnan tehokkuuden parantuminen	21
5.2	Varastointikustannusten optimointi	23
5.3	Toimitusketjun lisääntynyt joustavuus	26
5.4	Työturvallisuuden, ergonomian ja työtyytyväisyyden parantuminen	28
5.5	Laadun, toimitusvarmuuden ja asiakastytyväisyyden kehittyminen	29
6	Haasteet	32
7	Investointien kannattavuus	34
8	Tulevaisuuden näkymät ja kehityssuunnat	36
9	Yhteenveto ja johtopäätökset	38

Kuviot

Kuvio 1. Yhteenveto automaattivarastojen tärkeimmistä hyödyistä verrattuna manuaalivarastoihin (lukuun ottamatta tehokkuushyötyjä). 39

Taulukot

Taulukko 1. Joustavien varastointiratkaisujen mahdollistamat hyödyt. 27

Taulukko 2. Automaattivarastojen tehokkuushyödyt verrattuna manuaalivarastoihin. 38

1 Johdanto

Yritykset kohtaavat jatkuvasti kiristyvää kilpailua, kasvavia asiakasvaatimuksia ja globaaleja toimitusketjun haasteita, jotka edellyttävät entistä tehokkaampia ja joustavampia varastointiratkaisuja. Automaattivarastot ovat nousseet keskeiseksi keinoksi vastata näihin haasteisiin. Automaation yleistyminen on käännteentekevä ilmiö, joka muokkaa käsitystä varastoinnista ja sen vaikutuksesta koko toimitusketjuun. Varastotoimintojen automatisointi tulee muuttamaan kaikkia varastoinnin osa-alueita aina tavaroiden käsittelystä jakeluun saakka (Rodríguez García & Agmoni, 2024, s. 1–2).

Logistiikkajätti DHL:n tutkimuksen mukaan 80 % varastoista toimii edelleen manuaalisesti. Työvoimakatkokset, riippuvuus manuaalisesta työstä ja kasvava digitalisaatiotarve korostavat varastoalan kiireellistä modernisointitarvetta. Tämän vuoksi yhä useammat yritykset investoivatkin automaattivarastojen käyttöönottoon (Torchio, 2023, s. 113).

Varastoinnilla on aina ollut keskeinen rooli ihmiskunnan historiassa, sillä se mahdollistaa tuotannon ja kulutuksen erottamisen toisistaan riippumattomiksi (Boysen & Koster, 2025, s. 449). Varastoinnin merkitykselle ja optimoinnille ei kuitenkaan ole ennen annettu suurtakaan painoarvoa, mutta asiaan on tullut viimeisten vuosien aikana muutos. Nykyään varastoja ei pidetä ainoastaan välttämättömyytenä yrityksille, vaan myös tärkeänä osa-alueena teknillisille innovaatioille (Rodríguez García & Agmoni, 2024, s. 1–2). Nykypäivän varastot ovat kehittyneet teknologian tehostamiksi toimituskeskuksiksi, joilla on tärkeä strateginen merkitys (Boysen & Koster, 2025, s. 449).

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena on tutkia kirjallisuuskatsauksen muodossa, kuinka automaattivarastot voivat tehostaa ja parantaa yritysten varastointia, ja mitä muita hyötyjä automaattivarastojen avulla on mahdollista saavuttaa. Tutkielmassa vertaillaan automaattivarastojen ja perinteisten manuaalivarastojen eroja keskittyen erityisesti toimitusketjun hallintaan, varastointiprosessien tehostamiseen ja kustannuksiin. Lisäksi tarkastellaan automaattivarastojen käyttöönottoon liittyviä riskejä ja haasteita, kuten investointikustannuksia, organisaatiomuutoksia, mahdollisia osaamisvajeita ja

mahdollisia muita rajoitteita. Myös uusien teknologioiden tarjoamien mahdollisuuksien hyödyntämistä varastotoiminnan optimoinnissa pohditaan, ja lisäksi analysoidaan automaattivarastojen vaikutusta ergonomian, työturvallisuuden ja työtyytyväisyyden parantamiseen. Tutkimuksen tavoitteena on tarjota kattava kuva automaattivarastojen toiminnasta, hyödyistä ja vaikutuksista yritysten toimintaan sekä auttaa yrityksiä arvioimaan, kannattaako niiden investoida varastoautomaation käyttöönottoon ja millä tavoin se voi tukea yrityksen strategisia tavoitteita.

Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Miten automaattivarastot vaikuttavat varastoinnin tehokkuuteen ja toimitusketjun hallintaan?
- Mitä hyötyjä automaattivarastot mahdollistavat manuaalivarastoihin verrattuna?
- Millaisia kustannussäästöjä ja investointikuluja automaattivarastot tuovat mukanaan ja kannattaako yritysten investoida niihin?
- Mitkä ovat keskeiset haasteet ja riskit automaattivarastojen käyttöönotossa?

2 Varastointi yleisesti

Termillä varasto tarkoitetaan varastorakennusta ja siellä säilytettäviä raaka-aineita ja tavaroita. Varastointi puolestaan tarkoittaa varastossa tapahtuvia toimintoja ja sen avulla turvataan materiaalien saatavuus kysynnän ja tarjonnan vaihdellessa (Logistiikanmaailma, 2025). Varastointi on osa logistiikkaa, joka puolestaan on suurempi kokonaisuus käsittäen tavaravirtojen suunnittelun, hallinnan ja optimoinnin aina hankinnasta ja tuotannosta jakeluun saakka. Sen tavoitteena on vastata markkinoiden vaatimuksiin tehokkaasti, minimoiden kustannukset ja pääoman sitoutuminen. Logistiikan avulla varmistetaan, että asiakkaat saavat oikeat tavarat tai palvelut oikeaan aikaan, oikeassa paikassa ja oikeina määrinä. Tehokkaan ja toimivan logistiikan keskeinen osa-alue on varastointi, joka varmistaa sujuvan tavaravirran, optimoi tilankäytön ja tukee nopeaa toimitusketjua. (Bridge, 2024).

Varastoja on monenlaisia, ja ne voidaan luokitella erilaisten kriteerien mukaan. Yksi tapa on tarkastella varaston roolia toimitusketjussa eli säilytetäänkö siellä raaka-aineita, keskeneräisiä tuotteita vai valmiita tuotteita. Muita luokittelukriteerejä ovat muun muassa millaisia tuotteita varastossa säilytetään, onko kyseessä julkinen vai yksityinen varasto ja onko varasto tarkoitettu pitkäaikaiseen varastointiin vai nopeaan jakeluun (Rushton ja muut, 2022, s. 271–274).

Useimmiten varastosta puhuttaessa ajatellaan tavaroiden säilyttämisen olevan sen pääasiallinen tarkoitus, mutta on olemassa myös varastoja, joissa tuotteet ovat vain hyvin lyhyen aikaa. Tämän tutkielman kannalta on kuitenkin olennaisinta määrittellä, onko kyseessä perinteinen manuaalinen varasto, jossa työtehtävät hoidetaan työntekijöiden fyysisillä suoritteilla vai onko kyseessä automaattivarasto (Rushton ja muut, 2022, s. 271–274). Automaattivarasto tarkoittaa varastojärjestelmää, jossa materiaalinkäsittely ja varastointiprosessit on pitkälti automatisoitu hyödyntämällä erilaisia teknologioita (Kembro & Norrman, 2022, s. 110).

2.1 Varastojen rooli ja merkitys toimitusketjuissa

Toimitusketjulla tarkoitetaan kaikkia tuotteen tai palvelun siirtämiseen toimittajalta asiakkaalle osallistuvia tekijöitä eli organisaatioita, ihmisiä, teknologioita, toimintoja, tietoja ja resursseja (Rossi, 2021, s. 25). Varastointi on korvaamaton osa toimitusketjujen toimintaa (Saderova, 2021, s. 1–2). Saderovan mukaan varastot toimivat toimitusketjujen puskureina ohjaten yrityksen materiaalivirtoja. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat varmuusvarastot, joiden avulla voidaan välttää toimituskatkoksia, tasata kysynnän ja tarjonnan vaihteluita sekä varmistaa tuotteiden saatavuus esimerkiksi toimitusviiveiden ja materiaalipulan vuoksi (Rushton ja muut, 2022, s. 271–274).

Varastoinnilla on olennainen vaikutus koko kysyntä-toimitusketjuun. Monesti sen ajatellaan aiheuttavan vain pakollisia kustannuksia yritykselle, vaikka todellisuudessa oikein suunniteltuna tehokas varastointi tuottaa yritykselle lisäarvoa. Varastojen minimointi on keskeinen periaate toimitusketjun jokaisessa vaiheessa kustannustehokkuuden kannalta, sillä varastoihin sitoutuu suuria määriä pääomaa. (Logistiikanmaailma, 2025).

Rossi (2021, s. 25) toteaa varastojen olemassaololle olevan kolme pääasiallista syytä:

1. Aika: Tavaroiden liikuttelu toimitusketjussa vie aikaa ja tavaroilla on aina toimitusajat, jotka sisältävät epävarmuus tekijöitä. Varaston avulla voidaan varmistaa liiketoiminnan jatkuvuus myös toimitusongelmien aikana.
2. Epävarmuus: Varastot ovat puskureita epävarmuuden hallitsemiseksi, esimerkiksi kysyntä, tarjonta ja muut toimitusketjujen ominaisuudet eivät ole aina tasanaisia ja ennustettavia.
3. Mittakaavaedut (economies of scale) eli kustannusedut, jonka yritys voi saavuttaa suurtuotannon avulla. Varastojen avulla suurtuotanto on mahdollista, jolloin valmistettavien tuotteiden yksikkökustannukset pienenevät esimerkiksi suurempien tuotantoerien ja raaka-aineiden massahankinnan ansiosta.

Varastot ovat korvaamattomassa osassa myös asiakastyytyväisyyden säilyttämisessä ja parantamisessa. Ilman varastoja asiakkaiden tarpeisiin ei pystytä vastaamaan yhtä

nopeasti ja joustavasti. Pahimmassa tapauksessa yritys voi menettää potentiaalista myyntiä ilman oikea-aikaisesti saatavilla olevia tuotteita ja materiaaleja. Varasto voidaan myös sijoittaa suurten asiakkaiden läheisyyteen, jolloin toimitusajat ja kuljetuskustannukset laskevat. Varastojen tärkein tehtävä yritysten näkökulmasta onkin tarjota joustavuutta prosessien tehokkaaseen suorittamiseen ja varmistaa palvelutason sekä toimitusvarmuuden ylläpitäminen (Pietiläinen, 2023, s. 11–12).

Varastointi on osana monia eri toimitusketjun vaiheita, kuten hankintaa, tuotantoa sekä jakelua (Rushton ja muut, 2022, s. 271). Jokaisen varaston tulisi olla räätälöity vastaamaan kyseisen toimitusketjun tarpeita (Rushton ja muut, 2022 s. 274). Varastojen rooli toimitusketjussa vaihtelee sen mukaan, missä vaiheessa ketjua ne sijaitsevat ja millaisia tavoitteita niille asetetaan. Esimerkiksi hankinnan näkökulmasta varastot mahdollistavat suurempien erien hankinnan edullisemmin, tuotannon näkökulmasta varastot vähentävät tuotantokatkoksia ja jakelun näkökulmasta varastot lyhentävät toimitusaikoja. Varastointia suunnitellessa tuleekin ottaa huomioon koko liiketoiminta kokonaisuutena ja löytää tasapaino tuotannon tehokkuuden, varastoon sitoutuneen pääoman ja riittävän palvelutason väliltä, samalla pyrkien maksimoimaan koko yrityksen liiketoiminnan tuotavuus (Pietiläinen, 2023, s. 13–14).

2.2 Manuaaliset varastointimenetelmät

Perinteisesti varastointi sisältää useita toimintoja, kuten tavaran vastaanottamisen ja tarkastamisen, materiaalien ja tilausten keräilyä, varaston järjestelyn sekä valmiiden tuotteiden lastaamisen (Rushton ja muut, 2022, s. 274–275). Tilattujen tuotteiden saapuessa varastolle niiden määrä ja laatu tarkastetaan, minkä jälkeen ne rekisteröidään joko varastohallintajärjestelmään tai kirjataan manuaalisesti paperille. Lopuksi tuotteet sijoitetaan määrättyille varastopaikoille (Kembro & Norrman, 2022, s. 109).

Varastoitavat tavarat säilytetään useimmiten kuormalavoilla, jotka kattavat noin puolet kaikista varastoitavista tuotteista ja materiaaleista. Muita yleisiä säilytystapoja ovat

säilytys- ja kuljetuslaatikot, joissa tavarat pysyvät suojassa ja järjestyksessä. Yksittäisiä tuotteita säilytetään tyypillisesti hyllyillä ja painavia tavaroita latioilla (Rushton ja muut, 2022, s. 304). Tuotteet ja niiden varastopaikat numeroidaan. Tämä on keskeinen osa tehokasta varastonhallintaa, sillä se nopeuttaa tuotteiden löytämistä, vähentää virheitä ja tukee varastojärjestelmien toimintaa. Selkeä numerointi ja lajittelu optimoivat tilankäyttöä ja helpottaa varastotyöntekijöiden työskentelyä (Richards & Grinsted, 2024, s. 47).

Manuaalisissa varastoissa työntekijöiden apuna ovat erilaiset apulaitteet varastotarpeen mukaan. Esimerkiksi lavansiirtovaunut, erilaiset trukit ja kuljettimet avustavat ihmistä tavaroiden siirtelyssä (Hänninen, O., 2022, s. 15–18). Kaikista perinteisimmissä varastoissa varastointia voidaan edelleen hoitaa pelkästään ihmistyön avulla ilman apulaitteita, mutta tämä alkaa olemaan jo melko harvinaista.

2.3 Manuaalisen varastoinnin haasteet

Manuaaliset varastotoiminnot vaativat paljon työvoimaa ja suuria tiloja, jotta kaikki varastotoiminnot voidaan suorittaa ongelmitta. Verkkokaupan yleistymisen myötä yritykset varastoivat miljoonia erilaisia ja yksilöityjä tuotteita, ja joutuvat käsittelemään päivittäin vaihtelevia ja isoja tilausmääriä. Lisäksi varastossa tapahtuvat manuaaliset työtehtävät ovat toistuvia, ergonomisesti haastavia ja vaativat työvoimaa, jolla on valmius työkennellä vuorotöissä (Azadeh ja muut, 2019, s. 917). Manuaalisissa varastoissa merkittävä osa työntekijöiden ajasta kuluu liikkumiseen varaston käytävillä, mikä on hyvin tehotonta (Azadeh ja muut, 2019, s. 932). Erityisesti tilausten keräilyyn tarvittava työntekijöiden määrä manuaalisessa varastossa on suuri, ja tämän automaattivarastot pyrkivätkin minimoimaan (Rushton ja muut, 2022, s. 274–275). Tilausten keräily ja tavaroiden liikuttelu varastossa ilman apuvälineitä on fyysisesti raskasta ja työergonomian kannalta haasteellista (Hänninen, O., 2022, s. 13). Ihmiset ovat myös alttiita virheille, esimerkiksi väärin tuotteiden poiminta tai virheet inventaariossa ovat yleisiä.

Hänninen O. (2022, s. 24) listasi opinnäytetyössään useiden suurten logistiikka-alan yritysten suurimmiksi varastoinnin haasteiksi epätarkat varastosaldot, tehottoman tilankäytön ja tavaroiden löytämisen varastosta. Lisäksi Hänninen O. sai opinnäytetyön toimeksiantajalta dataa, jonka mukaan kolme suurinta haastetta kyseisessä yrityksessä liittyen varastointiin työntekijöiden ja esimiesten vastausten (otanta noin 300 vastausta) perusteella olivat: Varastosaldot eivät pidä paikkaansa (67 % vastaajista piti tätä haasteena), varasto on epäsiisti/varastossa on sinne kuulumattomia tavaroita (51 %) ja tavaroita joutuu etsimään varastosta/tuotteiden sijainnit varastossa eivät ole tiedossa (48 %).

Edellä mainitut ja lukuisat muut ongelmat manuaalisessa varastoinnissa aiheuttavat varastotyöntekijöille ja esimiehille suuria haasteita, sillä ne voivat johtaa monenlaisiin ongelmiin, kuten toimitusviivästyksiin, virheellisiin tilauksiin, turvallisuuden heikkenemiseen ja ylimääräiseen työhön. Varastojen tehoton ja epäoptimaalinen käyttö voi merkittävästi heikentää yrityksen kannattavuutta (Hänninen, O., 2022, s. 27–28).

2.4 Varastonhallinta

Varastonhallinta on prosessi, jonka tavoitteena on minimoida ylijäämää ja jätettä samalla tasapainottaen kysynnän ja tarjonnan vaihteluita, varastointikustannuksia sekä toimitusvarmuutta (Chelladurai ja muut, 2022, s. 75). Varastojärjestelmällä tarkoitetaan kahdesta tai useammasta laitteesta muodostuvaa järjestelmää, joka luo varastointialueelle yhtenäisen kokonaisuuden. Normaalisti se koostuu kahdesta perusosasta, hyllyjärjestelmästä sekä palvelulaitteista (Saderova, 2021, s. 2). Varastojärjestelmä kattaa yleensä ainoastaan fyysisen varastojärjestelmän, kun taas varastonhallintajärjestelmä (warehouse management system, WMS) sisältää myös ohjelmistopohjaisen järjestelmän, joka ohjaa ja optimoi varaston toimintaa (Minashkina, 2024, s. 4). Minashkinan mukaan varastonhallintajärjestelmän avulla voidaan reaaliaikaisesti seurata varastotasoa, automatisoida varastotoimintoja ja hallita varastopaikkoja, mikä tukee varaston kokonaisvaltaista hallintaa ja optimointia. Toimivan WMS-järjestelmän avulla voidaan saavuttaa huomattavia

parannuksia tuottavuuteen, tehokkuuteen ja tarkkuuteen (Rushton ja muut, 2022, s. 384).

Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise resource planning, ERP) on yrityksen laajuisesti integroitu järjestelmä, joka yhdistää ja automatisoi keskeiset liiketoimintaprosessit, kuten varastonhallinnan, hankinnan ja tuotannon, mahdollistaen reaaliaikaisen tiedonhallinnan ja tehokkaamman päätöksenteon (Sulaksono ja muut, 2023, s. 1). ERP:n merkitys automaattivarastoille on keskeinen, sillä se mahdollistaa varastonhallinnan, logistiikan ja liiketoimintaprosessien integroimisen yhdeksi prosessiksi (Kembro & Norrman, 2022, s. 110). Varastonhallinta on nouseva tutkimusala, joka toimii keskeisenä rakennuspalikkana toimitusketjujen suunnittelussa (Rossi, 2021, s. 20).

3 Automaattivarastojen toiminnan mahdollistavat teknologiat

Teollisuus 4.0 (Industry 4.0) eli neljäs teollinen vallankumous on mullistanut perinteisen varastointi- ja logistiikka-alan, mikä on johtanut merkittäviin muutoksiin alalla (Kumar ja muut, 2022, s. 1). Varaston oikeanlainen toiminta edellyttää oikeiden teknologioiden huolellista valintaa ja optimaalista hyödyntämistä (Saderova, 2021, s. 1). Varsinkin suurten modernien varastojen hallinta vaatii edistynyttä teknologioiden hyödyntämistä. Tässä kappaleessa käsitellään tärkeimpiä teollisuus 4.0-teknologioita, jotka mahdollistavat automaattivarastojen toiminnan.

3.1 Automaatio

Automaatio on prosessi, jossa yksi tai useampi manuaalinen työvaihe on korvattu automatisoidulla tai mekaanisella prosessilla, joka vaatii vähän tai ei ollenkaan ihmistyövoimaa (Gupta ja muut, 2017, s. 2). Guptan ja muiden mukaan automaation mahdollistaa joukko erilaisia laitteita, sensoreita, tekniikoita ja muita tarvikkeita, jotka kykenevät seuraamaan prosessia sekä tekemään tarvittavia päätöksiä prosessiin liittyen.

Automaattivarastot hyödyntävät tietokonenäköä ja sensoritekniikkaa tuotteiden skannaamiseen ja lajitteluun, mikä lisää prosessien tarkkuutta (Ferreira & Reis, 2023, s. 10). Automaation hyödyntäminen varastoinnissa tuo mukanaan merkittäviä etuja, kuten varastotilan tehokkaamman käytön, hävikin pienentymisen, manuaalisen työn vähentymisen ja toimitusketjun hallinnan tehostumisen.

3.2 Robotiikka

Termillä robotti tarkoitetaan uudelleenohjelmoitavaa ja monitoimista laitetta, joka on suunniteltu siirtämään itsenäisesti materiaaleja, erilaisia osia, työkaluja tai muita laitteita ohjelmoitujen liikkeiden avulla suorittaakseen erilaisia tehtäviä (Hänninen, P., 2021,

s. 31–32). Robotiikalla puolestaan tarkoitetaan robottien suunnitteluun, valmistukseen ja käyttämiseen liittyvää tiedettä tai toimintaa (Hänninen, P., 2021, s. 33). Robottien kyky kerätä, liikutella ja vapauttaa tavaroita soveltuu täydellisesti automaattivarastojen vaatimaan tavaroiden siirtelyyn ja käsittelyyn (Gupta ja muut, 2017, s. 498, 511). Robottien avulla voidaan automatisoida erilaisia varastotoimintoja, kuten keräily- ja hyllytysprosesseja (Ferreira & Reis, 2023, s. 8).

3.3 IoT

Esineiden internet (Internet of Things, IoT) tarkoittaa suljettua järjestelmää, jossa joukko erilaisia antureita on yhdistetty verkon kautta palvelimille. Antureiden avulla kerättyä tietoa voidaan tallentaa tietokantoihin, analysoida sekä edelleen hyödyntää järjestelmän toiminnanohjaukseen (García Márquez, 2021, s. 1). Viimeisen vuosikymmenen aikana IoT:stä on tullut olennainen osa tieto- ja viestintäjärjestelmiä ja IoT-laitteiden määrän odotetaan kasvavan huomattavasti tulevaisuudessa (García Márquez, 2021, s. 5).

IoT-tekniikalla on tärkeä rooli teollisuuslaitosten ja automaattivarastojen toiminnassa. Sitä voidaan esimerkiksi hyödyntää sähkökoneiden, mukaan lukien automaattivarastojen, kunnonvalvonnassa, minkä avulla huoltotarpeita voidaan ennakoita ja ehkäistä, mikä maksimoi laitteiden käyttöajan ja vähentää vikaantumisia. Nämä seikat puolestaan parantavat prosessien tehokkuutta vähentämällä seisokkiaikoja. IoT-pohjaiset järjestelmät voivat myös tehdä älykkäitä päätöksiä datan ja analytiikan avulla, mikä parantaa entisestään laitteiden ja kokonaisten tuotantolaitosten suorituskykyä ja luotettavuutta (García Márquez, 2021, s. 39–40).

3.4 Tekoäly ja koneoppiminen

Tekoäly pystyy suorittamaan tehtäviä autonomisesti, oppimaan ja kehittymään aiemmin koetun pohjalta (Hänninen, P., 2021, s. 221). Koneoppiminen on tekoälyn osa-alue, joka

oppii sille annetusta datasta itsenäisesti asiayhteyksiä (Hänninen, P., 2021, s. 241). Tekoäly ja koneoppiminen voivat parantaa logistiikan suorituskykyä, vähentää virhemarginaalia, optimoida varastonhallintaa, tehostaa varastokapasiteetin ennustamista ja lisätä kilpailukykyä (Ferreira & Reis, 2023, s. 3, 9).

Tekoäly on noussut luotettavaksi ja kustannustehokkaaksi ratkaisuksi, jonka avulla yritykset voivat hallita epävarmuutta ja käsitellä monimutkaisia algoritmeja tehokkaasti (Ferreira & Reis, 2023, s. 1). Tekoäly voi hallita useita varastotoimintojen osa-alueita, kuten tilausten käsittelyä asiakasaikataulujen mukaisesti, automatisoitujen laitteiden kapasiteetin ja työvoiman saatavuuden optimointia sekä robottien ja muun koneiston koordinaointia (Rushton ja muut, 2022, s. 699). Rushtonin ja muiden mukaan tekoälyssä piilee valtava potentiaali, ja kehitys kohti koneoppimiseen perustuvia itsenäisesti toimivia järjestelmiä on jo edennyt merkittävästi.

3.5 RFID

RFID (Radio frequency identification) eli radiotaajuuden etätunnistus on teknologia, jonka avulla voidaan automaattisesti tunnistaa, seurata ja hallita esineitä käyttämällä radiotaajuuksia. RFID-järjestelmä koostuu RFID-tunnisteista, RFID-lukijoista ja tietojenkäsittelyjärjestelmästä, jotka yhdessä mahdollistavat reaaliaikaisen ja kontaktittoman tiedonsiirron (Sahara & Amer, 2022). RFID mahdollistaa automaattivarastojen entistä tehokkaamman toiminnan, sillä varastoitavat tuotteet voidaan tunnistaa nopeasti ja tarkasti ilman manuaalista skannaamista. RFID:n käyttö automaattivarastoissa parantaa varastojen läpinäkyvyyttä, jäljitettävyyttä, suorituskykyä ja tilankäyttöä. Lisäksi se on tärkeä teknologia täysin automatisoitujen varastojen mahdollistamisessa (Ellithy ja muut, 2024, s. 19).

4 Yleisimmät automaattivarastot ja niiden toimintaperiaatteet

Markkinat ovat muuttuneet suurista kertahankinnoista kohti pienempiä ja monipuolisempia tilauksia. Tällaiset markkinaolosuhteet vaativat myös varastoilta tehokkuutta, ketteryyttä ja joustavuutta, jota automaattivarastot pystyvät tarjoamaan verrattuna manuaalisiin varastoihin (Ellithy ja muut, 2024, s.15). Kembron ja Norrmanin (2022, s. 110) mukaan automaattivarastot mahdollistavat tehokkaamman tilankäytön, nopeamman tavarankäsittelyn ja ne vähentävät työvoiman tarvetta ja inhimillisiä virheitä. Lisäksi ne tukevat toimitusketjun optimointia ja varastohallinnan tarkkuutta.

Varastoautomaation juuret ulottuvat aina 1960-luvulle, jolloin Saksassa otettiin käyttöön ensimmäiset korkeavarastot, joissa oli käytössä käytäväkohtaiset, kiskoilla liikkuvat nosturit. 1960-luvulta tähän päivään automaattivarastotyyppinä on kehitetty useita erilaisia ja tässä luvussa käsitellään niistä yleisimmät nykypäivänä käytössä olevat. Automaatioaste vaihtelee osittain automatisoiduista varastoista täysin itsenäisesti toimiviin järjestelmiin, ja erot näkyvät muun muassa käytetyissä teknologioissa, toimintamalleissa ja varastohallintajärjestelmissä (Azadeh ja muut, 2019, s. 917).

4.1 AS/RS

AS/RS (Automated storage and retrieval system) tarkoittaa varastointijärjestelmää, joka hyödyntää varasto- ja noutolaitteita, jotka kulkevat yhdellä tai useammalla raiteella varastohyllyjen välissä. AS/RS-järjestelmät koostuvat hyllyistä, joissa varastoitavat tavarat säilytetään sekä käytävistä, joilla nostokoneet liikkuvat. Noudetut tuotteet siirretään järjestykseen rullahihnalle ohjausjärjestelmän määritysten mukaisesti. Lisäksi järjestelmissä on I/O-pisteitä, joihin palautetut tavarat jätetään ja saapuvat kuormat varastoidaan (Ellithy ja muut, 2024, s. 17, 19).

Automatisoinnin avulla AS/RS-järjestelmät kykenevät nopeaan ja tarkkaan tavaroiden noutamiseen. AS/RS-järjestelmiä hyödyntävät varastot ovat usein hyvinkin korkeita, joka

mahdollistaa suurienkin varastojen rakentamisen pienelle pinta-alalle. (Ellithy ja muut, 2024, s.17). AS/RS-varastojärjestelmien edut verrattuna manuaalisiin varastoihin ovat muun muassa työvoimakustannusten pieneneminen, lattiatilan säästäminen, nopeampi tuotteiden nouto ja korkeampi läpimenokapasiteetti (Hameed ja muut, 2019, s. 1)

4.2 Automaattitrukit (AGV)

Automaattitrukit (Automated guided vehicle, AGV) ovat robottiajoneuvoja, jotka toimivat autonomisesti ilman ihmisen ohjausta ennalta määritellyissä ja ennustettavissa olosuhteissa. Automaattitrukkien avulla tuotteita voidaan liikutella tehokkaasti ja turvallisesti koko niiden toimintaympäristössä. Automaattitrukkeihin integroidut tietokoneet kommunikoivat langattomasti ohjaustietokoneen kanssa tarjoten varastonhallintaan kustannustehokkaan ratkaisun vähentämällä henkilöstötarvetta (Ellithy ja muut, 2024, s.16, 26).

Nykyaikaiset AGV:t hyödyntävät ohjelmistoja ja anturiteknologiaa navigoinnin tukena, esimerkiksi etäisyysantureiden avulla törmäykset voidaan välttää. Automaattitrukkien toiminta perustuu mm. QR-koodien avulla navigointiin ja magneettinauhoihin (Ellithy ja muut, 2024, s. 28). Automaattitrukkien käyttö esimerkiksi kuljetushihnojen sijasta lisää huomattavasti järjestelmän joustavuutta, sillä ne voivat muodostaa uusia verkostoja ja reittejä ilman minkäänlaisia lisärakenteita ja ilman merkittäviä lisäinvestointeja (Azadeh ja muut, 2019, s. 931).

4.3 AMR

AMR (autonomous mobile robot) on kehittyneempi versio ALV:stä. Toisin kuin AGV, AMR kykenee liikkumaan ja toimimaan itsenäisesti dynaamisessa ja ennalta määräämättömässä ympäristössä. Tekoäly, koneoppiminen ja konenäkö mahdollistavat esteiden tunnistamisen ja luokittelun (Ellithy ja muut, 2024, s. 26).

AMR-teknologia mahdollistaa modernit korkean tiheyden automaattivarastot, joissa AMR-robotit kykenevät liikkumaan vaakatason lisäksi myös pystysuunnassa varastohyllyjä pitkin. Tällaisissa varastoissa AMR-robotit voivat itsenäisesti noutaa korkeistakin varastohyllyistä tarvittavan tavarat, laskeutua takaisin maan tasalle ja toimittaa tavarat työasemalle samalla väistellen mahdollisia esteitä itsenäisesti. Tällainen varastojärjestelmä tarjoaa poikkeuksellisen korkean varastotiheyden, suuren läpimenokapasiteetin yhdistettynä ainutlaatuisen joustavuuteen. Järjestelmä on helposti muokattavissa, sillä AMR-robotteja ja hyllyjä voidaan lisätä tai poistaa tarpeen mukaan (Ellithy ja muut, 2024, s. 18). AMR-robotit voivat myös työskennellä ihmisen kanssa yhteistyössä, esimerkiksi suorittaen kuljetustöitä (Ellithy ja muut, 2024, s.26).

4.4 RMFS

RMFS (Robotic mobile fulfilment system) on automaattivarastotyyppi, joka yhdistää liikkuvat hyllyt, keräilyasemat ja robotiikan. RMFS sisältää mobiilirobotteja, jotka korvaavat manuaaliset keräilijät varastossa (Ellithy & muut, 2024, s.19). Robotit nostelevat ja kuljettavat liikkuvat hyllyt suoraan työasemiin, jolloin tuotteet tuodaan keräilijälle sen sijaan, että keräilijä liikkuisi varastossa niitä hakemassa. Tämä voi jopa kaksinkertaistaa keräilyn tuottavuuden (Azadeh ja muut, 2019, s. 932).

Azadehin ja muiden mukaan RMFS on myös erittäin joustava kapasiteetin suhteen, sillä varastoon voidaan helposti lisätä robotteja tarpeen mukaan. Tämä ominaisuus on erityisen tärkeä kysynnän vaihdellessa. Automatisoitu keräily tuo huomattavia parannuksia varaston tuottavuuteen, tehokkuuteen ja joustavuuteen.

4.5 Karusellijärjestelmät

Karusellit ovat automaattisia varastointi- ja noutojärjestelmiä, joissa hyllyt on yhdistetty ja ne pyörivät suljetussa silmukassa joko vaaka- tai pystysuunnassa. Tällaisessa systeemissä keräilijä pysyy paikallaan järjestelmän edessä, ja järjestelmä siirtää tuotteet sen luokse. Karusellit soveltuvat erityisesti pienten ja keskikokoisten tuotteiden varastointiin (Azadeh ja muut, 2019, s. 925).

Täysin automatisoiduissa robottikarusellijärjestelmissä pyöriviä päällekkäisiä karusellitasoja voi olla jopa kolme. Tällöin jokainen karusellitaso toimii itsenäisesti siirrellen tavaroita keräilijälle, joka voi siirtää jopa kaksi laatikkoa kerrallaan kuljetinhihnalle, joka kuljettaa tuotteet edelleen työasemille. Tällaisen täysin automatisoidun karusellivaraston kapasiteettia voidaan lisätä kasvattamalla keräilijöiden tai karusellien osioiden määrää (Ellithy ja muut, 2024, s. 18).

5 Automaattivarastojen hyödyt verrattuna manuaalivarastoihin

Vielä vuosikymmen sitten varastot toimivat pääasiassa manuaalisesti, mutta kasvava kilpailu ja vaatimukset nopeammista toimituksista, korkeasta saatavuudesta sekä joustavista toimitus- ja palautusehdoista ovat vauhdittaneet siirtymää kohti älykkäämpiä automatisoituja varastointiratkaisuja (Kembro & Norrman, 2022, s. 109). Logistiikka-ala kehittyy nopeasti ja myös varastojen on sopeuduttava tähän muutokseen. Automaation avulla varastoista voidaan muokata dynaamisempia ja tehokkaampia. Suuryritykset ovat yhä kiinnostuneempia älykkäistä automaattivarastoista, jotka hyödyntävät innovatiivisia varastointiratkaisuja ja tarjoavat ratkaisun varastojen kehittämiseen tulevaisuudessa (Ellithy ja muut, 2024, s. 15).

Automaatio tarjoaa useita etuja, kuten tilansäästön, työvoimakustannusten alenemisen, mahdollisuuden ympärivuorokautiseen toimintaan, säästöjä operatiivisissa kustannuksissa sekä skaalautuvuutta ja joustavuutta materiaalivirtoihin (Azadeh ja muut, 2019, s. 939). Tässä luvussa tarkastellaan automaattivarastojen mukanaan tuomia hyötyjä toiminnan tehokkuuden, varastointikustannusten, joustavuuden, työturvallisuuden, ergonomian, työtyytyväisyyden, laadun sekä toimitusvarmuuden näkökulmasta.

5.1 Toiminnan tehokkuuden parantuminen

Tilausten käsittely on työläs, aikaa vievä ja kallis prosessi, jossa erityisesti tilausten keräily eli tuotteiden noutaminen varastosta asiakastilauksen mukaisesti on yksi suurimmista kustannustekijöistä. Tilausten keräily onkin lähes jokaisessa varastossa työvoima- ja kustannusintensiivisin tehtävä ja sen arvioidaan muodostavan useimmissa varastoissa jopa 55 % varaston kokonaiskäyttökustannuksista (Ellithy ja muut, 2024, s. 16). Yksittäisen laivan manuaalinen keräily varastossa kestää yleensä noin 3–5 minuuttia, riippuen keräilijöiden määrästä ja etäisyydestä. Automaattivaraston avulla tämä aika voidaan yli

puolittaa, esimerkiksi AS/RS järjestelmän avulla yksittäisen lavan keräilyyn kuluu vain 1–2 minuuttia (Nurdien ja muut, 2025, s. 3). Kun lavoja on esimerkiksi sata, on ajallinen säästö jo todella merkittävä, AS/RS-järjestelmällä kyseiseen tehtävään kuluu noin 2,5 tuntia verrattuna manuaalisen varaston 6,5 tunnin keräilyaikaan.

Amazon puolestaan raportoi varastojen tuottavuuden parantuneen 200–300 % automaattivaraston käyttöönoton myötä (Savushkin, 2024, s. 23). Myös verkkoruokatoimittuksia tekevä Ocado käyttää automaattivarastoissaan robotteja, jotka aktivoituvat heti tilauksen saapuessa. Robotit voivat kerätä 50 tuotetta muutamassa minuutissa, minkä ansiosta 50 % tilauksista toimitetaan alle 4 tunnissa, verrattuna vain 10 %:iin ilman automaatiota (Savushkin, 2024, s. 25–26). Keräilyn nopeus siis viisinkertaistui automaation myötä.

Myös Nordeiden ja Rørtveitin (2021, s. 47) teettämä kyselytutkimus antaa samanlaisia viitteitä tehokkuuden parantumisesta. Kyselyyn vastasi 17 yritystä, joista 16 ilmoitti automaattivaraston käyttöönoton parantaneen tilauskohtaista tehokkuutta merkittävästi ja vain yksi yritys tehokkuuden parantuneen kohtalaisesti. Yksikään yrityksistä ei siis kokenut, että tilaukseen käytetty aika olisi pysynyt ennallaan tai muuttunut vain vähän. Kyselyyn vastanneiden yritysten keräilynopeus parantui keskimäärin 197,5 % automaattivaraston käyttöönoton myötä, joillakin yrityksillä jopa 400–900 % (Nordeide & Rørtveit, 2021, s. 52).

Mausteita valmistavan Everest -yrityksen yksi omistajista raportoi AS/RS-järjestelmän käyttöönoton mahdollistaneen yritykselle nelinkertaisen tuottavuuden. Hänen mukaansa yrityksen toisessa varastossa, jossa automaattivarasto ei vielä ole käytössä, työntekijä kykenee käsittelemään noin 160 yksikköä päivässä, kun taas automaattivarastossa kyseinen luku on 600 yksikköä. Lisäksi työntekijöiden tuottavuus on parantunut kuormituksen vähennyttyä ja varastohallinnan tarkkuus on kehittynyt (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 47). Automaattivarasto voi siis parantaa myös työntekijöiden tuottavuutta, esimerkiksi Pon Meenakshin ja Anurudhin (2024) tutkimus osoittaa, että automaation

käyttöönotolla on ollut selkeästi myönteinen vaikutus työntekijöiden työtehokkuuteen. Heidän tutkimuksessaan enemmistö vastaajista koki työtehonsa parantuneen varastoautomaation käyttöönoton seurauksena. Kyselyyn vastasi 63 varastotyöntekijää, joista 28 ilmoitti oman työtehokkuutensa parantuneen kohtalaisesti ja 15 koki merkittävää parannusta. Ainoastaan kaksi vastaajaa ilmoitti työtehokkuutensa heikentyneen ja loput 18 sen säilyneen ennallaan. Nämä tulokset viittaavat siihen, että suurin osa varastotyöntekijöistä hyötyy automaation tuomista muutoksista ja tukee käsitystä siitä, että oikein toteutettuna automaatio ei ainoastaan paranna varaston toiminnallista tehokkuutta, vaan myös yksittäisten työntekijöiden suorituskykyä.

Myös Rizzitano (2021, s. 63) havaitsi tutkielmassaan tehokkuuden parantuneen automaation käyttöönoton myötä. Hän analysoi tapausyrityksen dataa ennen ja jälkeen automaation käyttöönottoa, ja havaitsi data-analyysin perusteella, että läpivirtaus kaksinkertaistui. Varastojen tehokkuus paranee siis huomattavasti automaattivarastojen käyttöönoton myötä, mikä näkyy erityisesti keräilynopeutumisen ja työvoiman tuottavuuden parantumisena. Lukuisten yritysesimerkkien ja tutkimusten perusteella voidaan todeta, että automaatio moninkertaistaa varastoinnin käsittelykapasiteetin. Tämä tekee automaattivarastosta strategisesti kannattavan ratkaisun yrityksille, jotka tavoittelevat korkeaa tehokkuutta.

5.2 Varastointikustannusten optimointi

Varastot ovat usein yksi koko toimitusketjun kalleimmista osa-alueista, sillä varastointikustannukset sisältävät monia erinäisiä kuluja, kuten tontin ja varastotilan omistamisen tai vuokraamisen, tarvittavat laitteet ja välineet sekä erityisesti vähemmän automatisoiduissa varastoissa työntekijöiden suuren tarpeen. Varastoinnin onnistuneella suunnittelulla ja hallinnalla voidaankin saavuttaa merkittäviä säästöjä (Rushton ja muut, 2022, s.271).

Tavallisesti logistiikan kokonaiskustannuksista varastoinnin osuus on noin 20–25 % ja varastojen ylläpitokustannukset samansuuruiset (Rushton ja muut, 2022, s. 277). Yhteenlaskettuna tämä 40–50 % osuus logistiikkakustannuksista on hyvinkin merkittävä. Rushton ja muut (2022, s. 277) toteavat logistiikan ja varastoinnin kustannusrakenteen vaihtelevan yrityksen toimialan ja moninaisten erojen vuoksi, mutta yleensä tyypillisen varaston kustannukset jakautuvat seuraavasti: työntekijät 45–50 %, varastotilojen ostaminen tai vuokraaminen 25 %, varastotilojen lämmitys, valaistus, vakuuttaminen ja muu ylläpito 15 %, laitteet 10–15 % ja informaatioteknologia 5–10 %. Nämä luvut kuitenkin muuttuvat, kun kyseessä on korkeasti automatisoitu varasto. Laitteiden ja informaatioteknologian kustannusten osuus tällaisissa varastoissa on huomattavasti korkeampi, mutta työntekijöiden osuus huomattavasti alhaisempi (Rushton ja muut, 2022, s. 278).

Automaattivaraston käyttöönoton myötä työvoiman tarve varastossa laskee huomattavasti, mikä johtaa merkittäviin kustannussäästöihin (Nurdien ja muut, 2025, s. 5). Automaation vaikutus työvoimakustannuksiin on merkittävä, sillä yritykset ovat raportoineet keskimäärin 55 % vähennyksiä työvoimakustannuksissa automaattivaraston käyttöönotamisen jälkeen. Suorien työvoimakulujen lisäksi myös koulutustarpeiden väheneminen ja työntekijöiden vaihtuvuuden vähentyminen liittyvät kustannusten alenemiseen (Krishnakumar, 2025, s. 1246). Manuaalisen varaston 12–15 työntekijän sijaan, samankokoinen automaattivarasto vaatii vain noin 4–6 työntekijää. Lisäksi jäljelle jäävät varastotyöntekijät voivat keskittyä korkeamman tason työtehtäviin, kuten varastojärjestelmien kunnossapitoon ja valvontaan (Nurdien ja muut, 2025, s. 5). Yksittäisen varastotyöntekijän vuosittainen työvoimakustannus on noin 50 000 dollaria (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 35). Tämä tarkoittaa tämän kokoluokan varastossa vuositasolla arviolta 300 000–550 000 dollarin kustannussäästöjä pelkästään varastotyöntekijöiden palkoissa. Myös GEP:n analyysin mukaan automaattivarastoa hyödyntävien yritysten säästöt työvoimakustannuksissa vaihtelevat 500 000–2 000 000 dollarin välillä, riippuen varaston ja yrityksen koosta (Krishnakumar, 2025, s. 1246).

Automaattivarastoissa myös pinta-alaa voidaan hyödyntää manuaalivarastoja paremmin, koska tuotteita ja lavoja voidaan sijoittaa varastoissa jopa 18–27 metrin korkeuteen, josta ne voidaan noutaa nopeasti ja turvallisesti (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 26). Varastojen pystysuuntaisella hyödyntämisellä voidaan mahdollistaa jopa viisikertainen säilytystiheys verrattuna perinteisiin varastoihin (Krishnakumar, 2025, s. 1248). Lisäksi automaattivarastoissa käytettävät nosturit tarvitsevat vähemmän tilaa liikkuakseen kuin esimerkiksi perinteiset trukit (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 32). Myös lavojen tiheyttä varastossa voidaan kasvattaa 60 prosentista jopa aina lähelle optimaalista sataa prosenttia (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 47). Krishnakumarin (2025, s. 1249) mukaan kaikkien näiden tekijöiden yhteisvaikutuksena varaston kapasiteettia voidaan kasvattaa 1.45 kertaiseksi ja varastotilaa hyödyntää 1.5 kertaa paremmin manuaalivarastoon verrattuna. Automaattivaraston mahdollistamalla optimaalisella tilanhyödyntämisellä varaston kooka saadaan pienennettyä, joka laskee varastointikustannuksia.

Automaation kustannushyödyt eivät muodostu pelkästään alhaisemmista henkilöstökuuluista ja paremmasta tilankäytöstä, vaan myös tehokkuuden ja tarkkuuden lisääntymisestä. Rizzitanon (2021) tutkielma on hyvä esimerkki tästä. Hän vertaili dataa ennen ja jälkeen automaation käyttöönottoa varastossa, ja havaitsi merkittävän laskun kustannuksissa per käsitelty yksikkö eli siinä, kuinka paljon työvoimakustannuksia aiheutuu yksittäisen tuotteen siirtämisestä varaston läpi koko sen varastossa olon aikana. Saatavilla olevien kuukausikohtaisten tietojen perusteella kustannukset laskivat keskimäärin noin 26 %, ja suurimmillaan jopa 39,28 % kuukausitasolla automaation käyttöönoton myötä. Vaikka kokonaisuudessaan henkilöstökulut olivat itse asiassa hieman nousseet automaattivaraston käyttöönoton myötä, tehokkuuden huomattava parantuminen kompensoi tämän. Tämän seurauksena yksikkökustannukset laskivat merkittävästi, mikä osoittaa, että automaatio voi parantaa kustannustehokkuutta myös tilanteissa, joissa työvoiman kokonaiskustannus kasvaa (Rizzitano, 2021, s. 33–34).

Automaation kustannushyödyt ulottuvat myös välillisiin tekijöihin, kuten virheiden vähentämiseen, varastotasojen parempaan hallintaan ja pääoman sitoutumisen

pienentymiseen. Automaattivarastot tarjoavat siis merkittäviä kustannussäästöjä niin suoriin kuin välillisiin varastointikustannuksiin, optimoiden varastointikustannukset ja parantaen samalla koko toimitusketjun kustannustehokkuutta.

5.3 Toimitusketjun lisääntynyt joustavuus

Muuttuvien maailmanmarkkinoiden ja kysynnän vaihteluiden seurauksena joustavuus toimitusketjun hallinnassa on noussut yhdeksi keskeisimmistä menestystekijöistä. Joustavat varastointiratkaisut tarjoavat ratkaisun tähän tarpeeseen, sillä perinteiset varastojärjestelmät eivät yleensä kykene reagoimaan näihin nopeisiin muutoksiin. Joustavat varastointiratkaisut mahdollistavat varastokapasiteetin säätämisen ja tarjoavat skaalautuvia järjestelmiä, joita voidaan muokata tarpeen mukaan. Nykykäytäntönä onkin tehdä varastoista niin joustavia kuin mahdollista (Ellithy ja muut, 2024, s. 16).

Joustavan varastoinnin avulla yritykset voivat vähentää seisokkiaikoja ja parantaa reagointikykyä sekä asiakastyytyväisyyttä (Rashid, 2018, s. 69). Myös tuottavuutta voidaan lisätä ja sopeutuminen erilaisiin yllättäviinkin muutoksiin on helpompaa (Custodio & Machado, 2019, s. 553). Automaation hyödyntäminen on välttämätöntä joustavan varastoinnin saavuttamiseksi, esimerkiksi Bosch Rexroth kertoo pystyvänsä mukauttamaan varastointitarpeitaan reaaliaikaisesti automaattivaraston ansiosta (Rashid, 2018, s. 74). Myös ennakoivan analytiikan käyttö osana automaattivarastoja tekee niistä entistä joustavampia ennustamalla kysyntää ja optimoimalla varastotasoa (Rashid, 2018, s. 77).

Yksittäisen teknologian käyttäminen ei takaa joustavaa varastojärjestelmää, vaan se edellyttää monien eri osa-alueiden, kuten automatisoitujen laitteiden, tiedonkeruun ja varastonhallintajärjestelmien yhteensovittamista. Kun kaikki nämä osa-alueet on integroitu yhdeksi kokonaisuudeksi, varasto kykenee mukautumaan parhaalla mahdollisella tavalla erilaisiin muutoksiin, kuten kysynnän vaihteluihin, muuttuviin toimitusaikoihin ja teknologian muutoksiin (Custodio & Machado, 2019, s. 554). Custodion ja Machadon mukaan joustavan automaattivaraston on hyödynnettävä sellaisia automaattioratkaisuja,

jotka ovat helposti käyttöönotettavissa, muokattavissa ja sisällettävä sisäänrakennettua älykkyyttä, jonka avulla voidaan hyödyntää esimerkiksi koneoppimista ja muita vastaavia teknologioita. Joustavien varastojen avulla yritysten ei tarvitse tehdä merkittäviä investointeja uuteen infrastruktuuriin.

Taulukko 1. Joustavien varastointiratkaisujen mahdollistamat hyödyt (Rashid, 2018, s. 76).

Yritys	Toimiala	Hyöty
Amazon	Verkkokauppa	30 % kasvu varastokapasiteetissa
Toyota	Autoteollisuus	20 % supistus varaston pinta-alan käytössä
Tesla	Autoteollisuus	25 % nopeampi sopeutuminen kysyntään
IBM	Ohjelmistot	15 % korotus keräilyprosessin nopeuteen
Boeing	Ilmailuteollisuus	10 % säästö varastointikustannuksissa
Siemens	Valmistava teollisuus	40 % parannus datan tarkkuudessa

Taulukossa 1 on havainnollistettu, kuinka eri toimialojen yritykset ovat hyötöneet joustavista varastointiratkaisuista, kuten automatisoiduista keräilymenetelmistä, siirrettävistä hyllyistä ja modulaarisista varastojärjestelmistä. Amazonin käyttämät modulaariset ratkaisut ovat lisänneet varastokapasiteetin hyödyntämistä 30 %:lla, kun taas Toyotan siirrettävät hyllyratkaisut ovat vähentäneet varaston pinta-alan käyttöä 20 %:lla. Tesla on raportoinut 25 %:n nopeutumisesta kysyntävaihteluihin sopeutumisessa, mikä parantaa merkittävästi toimitusketjun joustavuutta ja kykyä vastata markkinoiden muuttuviin tarpeisiin. IBM:n tapauksessa keräilyprosessin nopeus on parantunut 15 %, mikä vaikuttaa suoraan tilausten käsittelyn tehokkuuteen. Boeingin raportoidut 10 %:n kustannussäästöt osoittavat, että joustava varastointi voi tuottaa myös merkittäviä taloudellisia hyötyjä. Siemensin osalta data-analytiikan tarkkuus on parantunut jopa 40 %, mikä tukee päätöksenteon laatua ja varastonhallinnan luotettavuutta (Rashid, 2018, s. 76).

Automaattivarastojen kyky hallita huippusesonkeja on yksi niiden tärkeimmistä eduista, sillä niiden avulla pystytään käsittelemään jopa 250 %:n volyymin kasvu sesonkiaikoina ilman vastaavaa nousua toimintakustannuksiin. Tällainen skaalautuvuus on erityisen

tärkeää kysyntäpiikkien ja kampanjoiden aikana. GEP:n analyysin mukaan automaattivarastot voivat saavuttaa 30–40 % kapasiteetin lisäyksen modulaaristen laajennusten avulla, integraatiojakson kestäessä keskimäärin vain 4–6 viikkoa. Joustavuus mahdollistaa kapasiteetin sopeuttamisen kysynnän mukaan samalla minimoiden häiriöt yrityksen toiminnassa (Krishnakumar, 2025, s. 1247). Esimerkiksi Coca Cola on ilmoittanut pystyvänsä reagoimaan nopeammin kysyntäpiikkeihin automaattivaraston ansiosta (Rashid, 2018, s. 74). Automaattivarastojen mahdollistama nopea reagointikyky voi tarjota yrityksille merkittävän edun kilpailijoihin nähden (Varghese & Saju, 2021, s. 9).

5.4 Työturvallisuuden, ergonomian ja työtyytyväisyyden parantuminen

Manuaaliset varastot voivat olla vaarallisia työympäristöjä, ja varasto-onnettomuudet ovatkin merkittävä huolenaihe logistiikka- ja varastoalalla. Yhdysvaltojen työtilastoviraston mukaan alalla tapahtuu vuosittain noin 15 000 työtapaturmaa, jotka aiheuttavat myös merkittäviä kustannuksia yrityksille (Torchio, 2023, s. 12). Iso-Britannian työsuojeluviraston julkaiseman tutkimuksen mukaan yleisimmät työtapaturmat varastoissa johtuvat liukastumisista ja kompastumisista (26 %), manuaalisesta keräilystä (18 %) ja putoamisesta korkealta (16 %) (Muha ja muut, 2020, s. 324). Varastotyöntekijät kokevat työtapaturmia lähes kaksi kertaa useammin kuin muiden alojen työntekijät, joten muutokselle on tarvetta.

Automaattivarastojen avulla voidaan vähentää työntekijöiden rasitusta fyysisten työtehtävien vähentyessä, joka myös vähentää työpaikkatapaturmia ja vapauttaa varastotyöntekijöitä muihin tehtäviin (Rodríguez García & Agmoni, 2024, s. 5). Automaatio mahdollistaa myös työvuorojen pidentämisen ilman työntekijöiden hyvinvoinnin vaarantamista ja vähentää ylityötarvetta, mikä puolestaan vähentää työntekijöiden väsymystä ja siihen liittyvien tapaturmien riskiä (Torchio, 2023, s. 12). Ramcon toimiala-analyysin mukaan automaattivarastojen avulla on voitu vähentää työtapaturmia 85 % verrattuna manuaalivarastoihin. Myös Smart-IS:n teettämän tutkimuksen mukaan automaattivarastoissa

materiaalinkäsittelyyn liittyvät onnettomuudet ovat vähentyneet 82 % ja työtapaturmat 75 % verrattuna manuaalisiin varastoihin (Krishnakumar, 2025, s. 1248).

Tutkimusten mukaan myös varastotyöntekijöiden työtyytyväisyys on noussut automaattivaraston käyttöönoton myötä. Työtyytyväisyys on tärkeässä roolissa työntekijöiden motivaation, sitoutumisen ja tuottavuuden kannalta (Torchio, 2023, s. 121). Torchion mukaan Harvard Business Schoolin teettämässä kyselyssä peräti 68 % varastotyöntekijöistä ilmoitti työtyytyväisyyden lisääntyneen automaation käyttöönoton myötä. Suurimpana syynä parantuneeseen työtyytyväisyyteen pidettiin rutiinitehtävien vaihtumista vaativampiin ja älyllisesti haastavampiin työtehtäviin. Motivoituneet, tyytyväiset ja sitoutuneet työntekijät parantavat yritysten tehokkuutta ja tuloksellisuutta (Torchio, 2023, s. 122). Samaisen tutkimuksen mukaan 42 % automaatioon myönteisesti suhtautuneista vastaajista koki, että automaattivarastot parantavat työturvallisuutta verrattuna manuaalisiin varastoihin (Torchio, 2023, s. 117).

Automaattivarastot parantavat myös työergonomiaa, viimeaikaisten tutkimusten mukaan automaatiota hyödyntävissä varastoissa on raportoitu 90 %:n väheneminen toistuvien liikkeiden aiheuttavissa vammoissa. Samaisen tutkimuksen mukaan myös varastotyöntekijöiden kävelymäärät ovat vähentyneet jopa 60 % (Krishnakumar, 2025, s. 1248). Myös Amazon on raportoinut varastotyöntekijöiden kävelymäärien pienentyneen automaattivaraston käyttöönoton myötä jopa 75–80 % (Savushkin, 2024, s. 23). Smart-IS:n tutkimuksen keräämä data tukee tätä raportoimalla 65 %:n laskusta työntekijöiden väsymyksestä johtuviin tapaturmiin (Krishnakumar, 2025, s. 1248). Automaattivarastojen avulla voidaan siis parantaa työpaikkojen turvallisuutta ja ergonomiaa, lisätä työntekijöiden tyytyväisyyttä sekä näiden seurauksena saavuttaa myös rahallisia säästöjä.

5.5 Laadun, toimitusvarmuuden ja asiakastytytyväisyyden kehittyminen

Toimitusketjun toimivuus ja tehokkuus arvioidaan asiakastytytyväisyyden perusteella. Nykypäivän markkinoilla tuotannon ja logistiikan hallinta ovat keskeisessä osassa

asiakastarpeiden täyttämässä (Varghese & Saju, 2021, s. 8–9). Automaattivarastojen hyödyntämät teknologiat, kuten erilaiset sensorit parantavat varastoinnin tarkkuutta merkittävästi. Tämän takia tuotteita ”häviää” ja vaurioituu vähemmän, kun inhimilliset virheet poistuvat. Paremmalla varaston ja keräilyn tarkkuudella on suora vaikutus asiakastytyvyyden ja laadun parantumiseen (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 43–44).

Nordeiden ja Rørtveitin (2021, s. 49–50) kyselytutkimus osoittaa selkeitä parannuksia keräilyvirheiden määrän vähenemisessä automaattivaraston käyttöönoton myötä. Ennen käyttöönottoa osa kyselyyn vastanneista yrityksistä raportoi päivittäisiä virheitä, kuten väärin tuotteiden tai määrien toimittamista sekä tuotteiden puuttumista tilauksista. Automaattivaraston käyttöönoton jälkeen päivittäiset virheet poistuivat kokonaan, ja virheiden esiintyvyys siirtyi viikoittaiselle tai kuukausittaiselle tasolle. Kokonaisuudessaan tulokset olivat seuraavat: 18 tapauksessa keräilyvirheet vähenivät, 24 tapauksessa keräilyvirheet pysyivät ennallaan ja vain 6 tapauksessa virheet lisääntyivät. Tämä osoittaa, että automaattivarasto on suurella osalla tapauksia vähentänyt virheiden määrää. Tulos kuitenkin myös osoittaa, että inhimilliset virheet eivät täysin poistuneet, vaikka itse järjestelmä onkin hyvin tarkka. Myös automaattivaraston käyttöönoton jälkeen inhimillisiä virheitä voi sattua esimerkiksi tuotteita sijoittaessa järjestelmään manuaalisesti tai niitä poimittaessa keräilypisteiltä (Nordeide ja Rørtveit, 2021, s. 53). Virheiden lisääntyminen kuudessa tapauksessa voi myös johtua esimerkiksi puutteellisesta koulutuksesta tai käyttöönottovaiheessa ilmenneistä teknisistä ongelmista, joita saadaan vähennettyä järjestelmän vakiinnuttua. Tulokset kokonaisuudessaan ovat kuitenkin positiivisia ja viittaavat selkeästi vähentyneisiin keräilyvirheisiin automaattivaraston käyttöönoton myötä, joka puolestaan parantaa toimitusvarmuutta ja asiakastytyvyyttä.

Myös Krishnakumarin (2025, s. 1246) mukaan automaattivarastojen käyttöönoton jälkeen keräilyvirheiden on raportoitu vähentyneen jopa 67 %, mikä on tuonut huomattavia säästöjä logistiikka- ja asiakaspalvelukustannuksissa. Lisäksi automaattivarastoissa on saavutettu jopa 99,5 %:n käyttöaste (Krishnakumar, 2025, s. 1250). Näin korkean käyttöasteen saavuttaakseen nykyaikaiset automaattivarastot hyödyntävät algoritmeihin

perustuvaa ennakoivaa kunnossapitoa, jonka ansiosta suunnittelemattomien käyttökatkojen määrää on onnistuttu vähentämään jopa 45 % (Krishnakumar, 2025, s. 1245). Nämä tulokset korostavat automaattivarastojen merkittävää roolia toimitusketjun luotettavuuden parantamisessa.

Automaattivarastojen hyödyntämät kehittyneet teknologiat ovat mullistaneet varastoinnin tarkkuuden. Konenäköön perustuvat tekoälyohjatut keräilijät ovat saavuttaneet 99,97 %:n tarkkuuden. Automatisoidut varastohallintajärjestelmät puolestaan ylläpitävät yli 99,99 % reaaliaikaista datan tarkkuustasoa. Näiden teknologioiden integraatio osaksi varastoja on vähentänyt varastotasojen selvitystarvetta 80 %:lla. MIT:n teettämän tutkimuksen mukaan automaattivarastoissa tuotevaurioiden määrä on vähentynyt 70 % ja tilausten tarkkuus parantunut 45 % (Ellithy ja muut, 2024, s. 28). Automaattivaraston avulla inhimillisiä keräilyvirheitä voidaan vähentää merkittävästi tai ne voidaan poistaa jopa kokonaan. Jos keräilyssä jostain syystä sattuisikin virhe, edistyneimmät järjestelmät kykenevät kameroiden ja antureiden avulla tunnistamaan virheen ja korjaamaan sen mahdollisimman tehokkaasti (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 54). Kaikki nämä parannukset vaikuttavat suoraan asiakastyytyvyyden paranemiseen ja toimituskustannusten alenemiseen (Krishnakumar, 2025, s. 1246–1247). Automaattivarastojen tarjoama saumaton ja joustava varastohallinta tulee olemaan elintärkeässä osassa tulevaisuuden älykkäissä tehtaissa (Ellithy ja muut, 2024, s.28).

6 Haasteet

Vaikka automaattivarastot tuovatkin mukanaan lukuisia hyötyjä, käyttöönotto ei kuitenkaan aina vastaa odotuksia (Varghese & Saju, 2021, s. 10). Yksi suurimmista haasteista automaattivaraston käyttöönotossa on suunnittelu, sillä virheet suunnitteluvaiheessa voivat johtaa kalliisiin muutoksiin, järjestelmän tehottomuuteen ja pullonkauloihin. Suunnitteluvaiheessa ei tulisi miettiä ainoastaan nykyhetkeä vaan pohtia myös tulevaisuuden tarpeita, jotta järjestelmä pysyy toimivana ja skaalautuvana pitkälläkin aikavälillä (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 37). Mourralin ja Lesaffren mukaan automaattivarasto vaatii rahallisen investoinnin lisäksi myös merkittävän ajallisen investoinnin, sillä koko prosessi suunnittelun käynnistämisestä käyttöönottoon voi kestää useita vuosia.

Australialaisen verkkokirjakauppa Booktopian tapaus osoittaa, miten kunnianhimoinen automaattivarastohanke voi kääntyä yritystä vastaan. Booktopia investoi 12 miljoonaa dollaria uuteen automaattivarastoon, jonka tarkoituksena oli tehostaa logistiikkaa ja kasvattaa yrityksen liikevaihtoa. Käyttöönotossa ilmenneet tekniset ja toiminnalliset ongelmat kuitenkin kasvattivat kustannuksia ja estivät odotettujen hyötyjen saavuttamisen. Yritys hakeutui lopulta konkurssiin talousvaikeuksien vuoksi, joihin epäonnistunut automaattivarastohanke oli merkittävä syy. Tapaus toimii varoittavana esimerkkinä siitä, kuinka suuri teknologinen investointi voi johtaa katastrofiin ilman huolellista suunnittelua ja riskienhallintaa (Braue, 2024).

Varghese ja Saju (2021, s. 36–40) tunnistivat tutkielmassaan automaation käyttöönottoon liittyviä haasteita haastatteleamalla osittain automatisoitua varastoa käyttävän yrityksen henkilöstöä. Yrityksellä oli jo käytössään joitakin automaatiolaitteita, ja se suunnitteli laajempaa automaation käyttöönottoa tulevaisuudessa. Työntekijöiden haastatte- luissa ilmeni, että uusia teknologioita käyttöönottaessa työntekijöille syntyy helposti osaamisvajetta, kun he ovat tekemisissä täysin vieraan teknologian kanssa. Myös tarvittavien organisaatiomuutosten tunnistaminen on haaste, sillä automaatio muuttaa työntekijöiden osaamisvaatimuksia ja heidän toimenkuvansa ja tehtävänimikkeensä saattavat muuttua. Henkilöstöressurssien kohdentaminen oikein todettiin siis haasteelliseksi.

Automaation käyttöönotto voi myös aiheuttaa työntekijöissä vastustusta. Lisäksi tapausyrittäjä arvioi ulkoisten kyberuhkien riskin kasvavan. Automaattijärjestelmät koostuvat tietokoneista ja muista ohjelmistojärjestelmistä, joten ne ovat alttiita häiriöille, hyökkäyksille ja tietovuodoille. Myös Rizzitanon (2021, s. 56) tutkielma tuo esille samanlaisia kipukohtia automaation käyttöönottoon liittyen. Haastatelluista logistiikkayrityksen työntekijöistä peräti 60 % ilmoitti olevansa turhautunut saamaansa automaation käyttökoulutukseen. Lisäksi 80 % haastatelluista koki ongelmia yrityksen tarjoaman automaatioon liittyvän ulkoisen tuen kanssa.

Automaation yleistymisen seurauksena alan suurin haaste on autonomisten robottien päätöksenteon kehittäminen (Ferreira & Reis, 2023, s. 10). Autonomiset robottijärjestelmät edellyttävät reaaliaikaista ja tarkkaa päätöksentekoa, kuten kohteiden tunnistamista ja optimaalisen reitin suunnittelua, jotta ne kykenevät suorittamaan tehtäviä vaihtelevissa ja ennakoimattomissa ympäristöissä. Tarvittavan datan ja algoritmien tuottaminen ja syöttäminen järjestelmään on haastavaa, sillä robottien tulisi kyetä tekemään kuhunkin tilanteeseen sopivia päätöksiä ja samalla taata turvallinen, toimintavarma ja tehokas varasto-ympäristö. Ihmisten ja automaatiojärjestelmien yhteistoiminnan turvallisuus on haaste etenkin järjestelmävikojen yhteydessä, ja autonomisten robottien analysointi ja testaaminen onkin välttämätöntä turvallisuuden takaamiseksi. Autonomisten toimintojen yleistyminen herättää kysymyksiä myös yksityisyydestä ja päätöksentekovastuusta. Lisäksi autonomiset robottijärjestelmät vaativat usein erilaisia lupia ja sääntelyn mukaista toimintaa. Tutkimus- ja kehitystyötä tehdessä onkin otettava huomioon mahdolliset uhat ja muutokset, jotta turvallisuus voidaan taata. Myös automaatiolaitteiden standardointi on tärkeää, jotta kustannuksia voidaan laskea ja mahdollistaa niiden laajempi käyttöönotto (Rathod ja muut, 2022, s. 1332).

7 Investointien kannattavuus

Automaattivarastoihin siirtyminen edellyttää yrityksiltä merkittäviä investointeja, ja siksi siirtymä manuaalisista varastoista kohti automatisoituja ratkaisuja vaatiikin huolellista analyysia, riittävää skaalautuvuutta ja pitkän aikavälin strategiaa (Kembro & Norrman, 2022, s. 110). Automaattivaraston alkuinvestoinnin hinta on tyypillisesti 3–30 miljoonan dollaria riippuen automaation tasosta ja varaston koosta (Krishnakumar, 2025, s. 1249). Krishnakumarin mukaan investointisumma jakautuu yleensä arviolta seuraavasti: automaatiolaitteet 50–60 %, ohjelmistojärjestelmät 15–20 %, mahdolliset varastotilan muutokset 10–15 % ja projektinhallinta sekä työntekijöiden koulutus 10 %. Lisäksi edellisten hankkeiden perusteella on todettu järkeväksi varata lisäksi 15–20 %:n suuruinen lisäbudjetti yllättävien haasteiden ja kustannusten kattamiseksi.

Sigg ja muut (2024, s. 37–39) arvioivat tutkimuksessaan pienen kokoluokan varaston automatisoinnin ja samaan aikaan tehtävän varaston laajennuksen kannattavuutta. He arvioivat kyseisen varaston automatisoinnin investointikustannuksiksi 343 984 €, joka koostuu kahdesta automaattitrukista (230 000 €), ohjelmistosta, suunnittelusta ja käytönotosta (111 000 €), työntekijöiden lisäkoulutuksesta (384 €) ja kahdesta latauspisteestä (2 600 €). Samalla toteutetaan myös varaston laajennus, jonka kustannuksiksi arvioidaan 551 945 €.

Automatisointi ja varastolaajennus kasvattavat varastokapasiteettia ja mahdollistavat ulko-varastoinnin vähentämisen, joka tarkoittaisi 120 000 €:n säästöä vuositasolla. Myös työntekijöiden tarve pienenee automatisoinnin myötä, jonka avulla 132 000 €:n vuosisäästöt ovat mahdollisia. Suuremman varaston ja automaation myötä materiaalit ovat paremmin saatavilla, tuotantokatkokset vähenevät, tuottavuus paranee ja toimitusviivästyksistä johtuvat kulut pienenevät mahdollistaen 99 000 € euron vuosisäästöt. Kokonaissäästöt ovat siis arviolta 351 000 € vuodessa. Jos nämä syntyneet vuotuiset säästöt käytetään investointien takaisinmaksuun, on takaisinmaksuaika vain hieman yli 2,5 vuotta (Sigg ja muut, 2024, s. 37–39). Kun otetaan vielä huomioon varaston laajennuksen olleen selkeästi suurempi kustannus verrattuna automaatioon, olisi ilman laajennusta

takaisinmaksuaika ollut vieläkin lyhyempi. Tämä korostaa automaation vaikutusta investointien kannattavuuteen ja tehokkuuden parantamiseen suhteessa sen aiheuttamiin kustannuksiin.

Myös viimeaikaisimmat toimiala-analyysit antavat samanlaisia viitteitä automaattivarastojen takaisinmaksuajasta. Niiden mukaan automaattivarastot ovat saavuttaneet keskimäärin takaisinmaksuajan 2–3 vuodessa. Jotkut yritykset ovat raportoineet jopa 18 kuukauden takaisinmaksuajoista (Krishnakumar, 2025, s. 1246). Automaattivarastot vaativat kuitenkin myös alkuinvestointien lisäksi jatkuvia ylläpitokustannuksia, säännöllisten huoltojen ja ongelmatilanteiden seurauksena (Mourral & Lesaffre, 2020, s. 43–44).

Yhteenvedona voidaan siis todeta, että vaikka automaattivarastojen käyttöönotto vaatii merkittäviä alkuinvestointeja ja tarkkaa suunnittelua, on investointien kannattavuus useiden tutkimusten mukaan selkeä. Nopeahko takaisinmaksuaika, kustannussäästöt ja prosessien tehostuminen tukevat automaation taloudellista kannattavuutta. On kuitenkin tärkeää huomioida myös jatkuvat ylläpitokustannukset sekä mahdolliset yllättävät kulut investointia harkittaessa. Kokonaisuudessaan automaattivarastot näyttävät pitkällä aikavälillä kilpailukykyä vahvistavana investointina, etenkin kun ne suunnitellaan huolellisesti yrityksen tarpeisiin ja toimintaympäristöön sopiviksi.

8 Tulevaisuuden näkymät ja kehityssuunnat

Automaattivarastojen odotetaan korvaavan manuaaliset varastot seuraavien vuosien aikana. ARC Advisory Groupin teettämän tutkimuksen mukaan tutkimukseen vastanneista yritysten johtohenkilöistä 60 % piti varastoautomaatioon investointia seuraavan kolmen vuoden aikana erittäin todennäköisenä ja 19 % todennäköisenä (Reiser, 2020). Tutkimuksen mukaan peräti 96 prosenttia vastaajista uskoo varastoautomaation arvon verrattuna manuaalisiin vaihtoehtoihin kasvavan tulevien kolmen vuoden aikana.

Ennusteiden mukaan globaali automaattivarastojen markkina tulee kasvamaan 41 miljardiin dollariin vuoteen 2027 mennessä, joka tarkoittaa 17,2 % keskimääräistä kasvua vuodesta 2024 lähtien (Krishnakumar, 2025, s. 1251). Erityisesti automaattitruckien (AMR) käyttöönoton odotetaan kasvavan merkittävästi, niiden määrän varastoissa odotetaan lisääntyvän 200 %:lla seuraavan viiden vuoden aikana (Krishnakumar, 2025, s. 1251). McKinsey Global Institutun vuonna 2021 julkaiseman tutkimuksen mukaan jopa 50 % työtehtävistä voitaisiin korvata automaation ja robotiikan avulla. Toisin sanoen teknisiä valmiuksia automatisointiin on jo olemassa, mutta yksittäisten työtehtävien korvaamiseksi vaaditaan edelleen kehitystä ja käyttöönottoa (Ellithy ja muut, 2024, s.16).

Digitaalinen kaksonen (digital twin) on yksi työkaluista, joka on nousemassa tärkeäksi osaksi varastotoimintoja. Digitaalisella kaksoella tarkoitetaan virtuaalista kopiota, joka on tismalleen samanlainen kuin fyysinenkin varasto, mutta vain virtuaalisessa muodossa. Digitaalinen kaksonen mahdollistaa varaston reaaliaikaisen seurannan ja optimoinnin, sen avulla on saavutettu operatiivisten häiriöiden vähentäminen 65 %:lla ja resurssien 40 % parempi hyödyntäminen. Digitaalinen kaksonen mahdollistaa edistyneiden simulaatioiden tekemisen, jotta automaattioratkaisuja voidaan testata jo ennen käyttöönottoa. Tämä vähentää automaattivarastojen projekteihin liittyviä riskejä 50 %:lla (Krishnakumar, 2025, s. 1251). Digitaalisten kaksosten hyödyntäminen osana tulevaisuuden automaattivarastoprojekteja on siis erittäin perusteltua.

Älykäs varasto (smart warehouse) on käsite, jota ei ole vielä suoranaisesti määritelty, mutta se on saanut osakseen jo paljon huomiota. Älykkään varaston voidaan ajatella olevan vielä automaattivarastosta kehittyneempi järjestelmä, jossa automaattinen materiaalienkäsittely ja tekoäly yhdistyvät. Älykkäissä varastoissa varastorobotit ja -järjestelmät ovat yhä itsenäisempiä (Kembro & Norrman, 2022, s. 110–111). Tekoälyn rooli yrityksissä kasvaa jatkuvasti, ja ennusteiden mukaan noin 70 % yrityksistä aikoo ottaa tekoälyn osaksi toimintaansa vuoteen 2030 mennessä. Tekoälyn kyky analysoida varastodataa, tunnistaa kysyntäkuvioita ja ennustaa kausivaihteluita mahdollistaa ylimääräisten varastotilojen merkittävän vähentämisen, tutkimusten mukaan jopa 30 % säästöt ovat mahdollisia. Tekoälyn merkitys myös muilla varastoinnin osa-alueilla on tuonut merkittäviä parannuksia, esimerkiksi laadunvalvonnassa virheiden määrää on onnistuttu pienentämään jopa 90 % (Torchio, 2023, s. 103).

Myös koneoppiminen tulee olemaan tärkeässä roolissa tulevaisuuden varastoinnissa. Tutkimukset osoittavat jo nyt, että varastojen kustannuksia voidaan alentaa jopa 10 % ja toimitusten tarkkuutta parantaa 20 % koneoppimista hyödyntämällä (Torchio, 2023, s. 104). Tekoälyn, koneoppimisen ja robotiikan vahvuuksia yhdistämällä voidaan saavuttaa tehokkaita, luotettavia ja turvallisia järjestelmiä, jotka takaavat valoisan tulevaisuuden itsenäisille automaattivarastoille (Ferreira & Reis, 2023, s. 11). Yritykset tarvitsevat kuitenkin edelleen aikaa ymmärtääkseen täysautomatisoinnin hyödyt sekä hankkiakseen tietotaidon sen toteuttamiseksi (Ellithy ja muut, 2024, s.16).

Automaattivarastojen tulevaisuus näyttää siis lupaavalta niin teknologian kehityksen, markkinoiden kasvun kuin yritysten investointihalukkuudenkin näkökulmasta. Digitaalisten kaksosten, tekoälyn ja koneoppimisen kaltaiset innovaatiot mahdollistavat entistä älykkäämmät, joustavammat ja tehokkaammat varastoratkaisut. Samalla ne madaltavat automaation käyttöönoton riskejä ja parantavat kannattavuutta. Vaikka täysautomatisoinnin toteuttaminen vaatiikin yrityksiltä vielä aikaa, osaamista ja resursseja, kehitysuunnan perusteella täysin automatisoidut ja entistä itsenäisemmät älykkäät varastot tulevat olemaan keskeisessä roolissa tulevaisuuden varastoinnissa.

9 Yhteenveto ja johtopäätökset

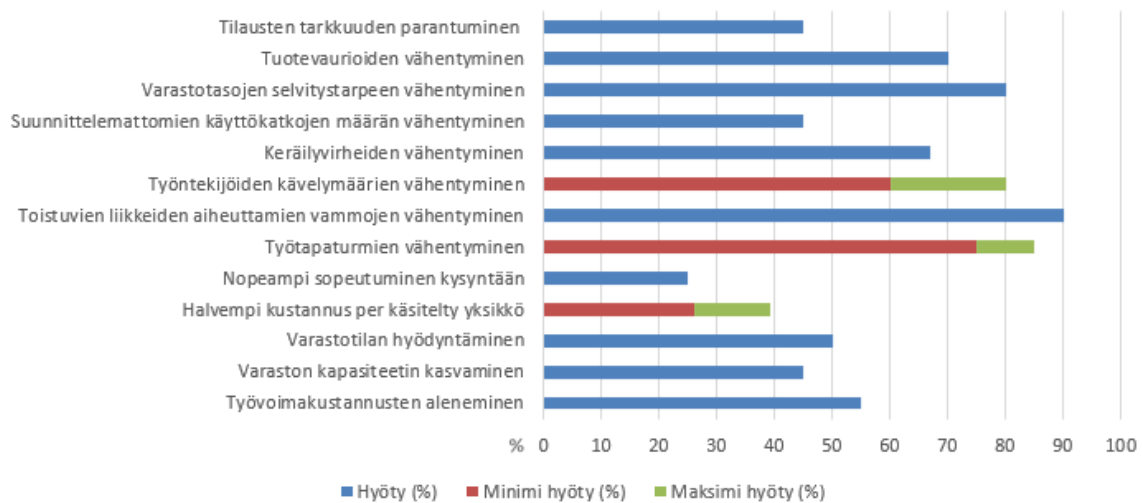
Automaattivarastojen käyttöönotto yleistyy nopeasti kiristyvän kilpailun, kasvavien asiakasvaatimusten, teknologian kehityksen ja toiminnan tehokkuuden vaatimusten seurauksena. Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena oli selvittää, millaisia hyötyjä automaattivarastoihin liittyy. Lisäksi tarkasteltiin automaattivarastoihin liittyviä kustannuksia ja takaisinmaksuaikaa, käyttöönottoon liittyviä haasteita sekä tulevaisuudennäkymiä alalla. Teoreettisessa viitekehityksessä pohdittiin varastojen roolia ja merkitystä osana toimitusketjua, tarkasteltiin manuaalisen varastoinnin haasteita ja esiteltiin automaattivarastojen mahdollistavat teknologiat sekä yleisimmät automaattivarastotyyppit. Tutkielmassa havaittiin, että automaattivarastot tuovat mukanaan lukuisia etuja, kuten varastoinnin toiminnan tehostumisen, kustannussäästöjä, toimitusketjun lisääntyneen joustavuuden, parantuneen työturvallisuuden, työtyytyväisyyden ja ergonomian sekä laadun, toimitusvarmuuden ja asiakastytyväisyyden kehittymisen. Taulukossa 2 on koottu yhteenveto merkittävimmistä hyödyistä, joita automaattivarastojen käyttöönotto on mahdollistanut tehokkuuden näkökulmasta. Tulokset perustuvat useilla eri tutkimusmenetelmillä tuotettuun tutkimusaineistoon, joka on koottu useista eri lähteistä.

Taulukko 2. Automaattivarastojen tehokkuushyödyt verrattuna manuaalivarastoihin.

Raportoitu hyöty	Tutkimusmenetelmä	Lähde
Kaikki 17 yritystä vastasivat keräilyn nopeutuneen (keskiarvo 197,5 %)	Kyselytutkimus	Nordeide & Rørtveit (2021)
Amazon raportoi varaston tuottavuuden parantuneen 200–300 %, Ocado raportoi keräilyn nopeuden viisinkertaistuneen	Yrityskohtainen raportointi	Savushkin (2024)
Läpivirtaus kaksinkertaistui	Data-analyysi	Rizzitano (2021)

Kuten taulukosta 2 ilmenee, automaattivarastojen käyttöönotto on tuonut yrityksille merkittäviä hyötyjä varastoinnin tehokkuuden näkökulmasta, joita tukevat yhteneväiset

tulokset eri tutkimusmenetelmillä. Lisäksi tutkimuksissa on havaittu, että automaatio ei ainoastaan paranna teknisiä ja toiminnallisia prosesseja, vaan sillä on ollut myös positiivinen vaikutus työntekijöiden tehokkuuteen. Kuviossa 1 on havainnollistettu yhteenveto siitä, kuinka automaattivarastot tuottavat merkittäviä hyötyjä tehokkuushyötyjen lisäksi useilla eri osa-alueilla. Kuvioon on sisällytetty myös minimi- ja maksimiarvoja, jotta voidaan havainnollistaa, kuinka paljon yksittäisten hyötyjen suuruus on vaihdellut eri tutkimuksissa ja yritystapauksissa.



Kuvio 1. Yhteenveto automaattivarastojen tärkeimmistä hyödyistä verrattuna manuaalivarastoihin (lukuun ottamatta tehokkuushyötyjä).

Tutkimustulokset osoittavat johdonmukaisesti, että automaattivarastot parantavat varastoinnin eri osa-alueita monipuolisesti ja merkittävästi. Vaikka tutkimustulokset ovatkin hyvin positiivisia, automaattivarastojen käyttöönottoon liittyy kuitenkin myös haasteita. Erityisesti suunnittelun merkitys korostuu, sillä virheet investointivaiheessa voivat johtaa toimintahäiriöihin ja merkittäviin lisäkustannuksiin. Booktopia toimii varoittavana esimerkkinä epäonnistuneesta automaatioinvestoinnista, jossa puutteellinen suunnittelu ja erilaiset ongelmat johtivat projektin epäonnistumiseen ja lopulta yrityksen konkurssiin. Automaatio muuttaa myös yritysten organisaatorakenteita ja työntekijöiden rooleja, minkä vuoksi riittävä lisäkoulutus ja sopeutuminen muutokseen ovat elintärkeitä.

Vaikka automaattivaraston käyttöönotto vaatiikin tyypillisesti 3–30 miljoonan dollarin alkuinvestoinnin, saavutettavat säästöt ja lukuisat hyödyt mahdollistavat tutkimusten mukaan nopeahkon, vain noin 2–3 vuoden takaisinmaksuajan. Automaattivaraston pitkän aikavälin kustannustehokkuus ja skaalautuvuus tekee siitä strategisesti järkevän vaihtoehdon yrityksille, jotka tavoittelevat kasvua, tehokkuutta ja kilpailukykyä.

Alan tulevaisuuden näkymät ovat valoisat. Markkinoiden odotetaan kasvavan voimakkaasti ja uudet kehittyvät teknologiat, kuten tekoäly, koneoppiminen ja digitaaliset kaksoset tulevat entisestään kehittämään automaattivarastojen suorituskykyä. Yhä älykäämmät ja itsenäisemmät robottijärjestelmät ovat tulevaisuuden suunta. Nopean kehityksen myötä varastot eivät ole enää ainoastaan säilytystiloja, vaan aktiivisia ja optimoituja osia toimitusketjua, joiden avulla on mahdollista saavuttaa kilpailuetu markkinoilla.

Käytännön suosituksena yrityksille voidaan todeta, että automaattivarastoon siirtymistä tulisi edeltää erittäin huolellinen suunnittelu, jossa huomioidaan sekä nykyiset että tulevat tarpeet. Työntekijöiden koulutukseen, tekniseen osaamiseen, tuen tarjoamiseen ja muutosjohtamiseen tulee panostaa. Simulaatioiden ja digitaalisen kaksosen hyödyntäminen on kannattavaa, sillä ne mahdollistavat riskienhallinnan jo ennen käyttöönottoa. Myös jatkuva seuranta, valvonta ja kehittäminen ovat tärkeässä osassa, jotta voidaan taata automaation optimaaliset hyödyt myös pitkällä aikavälillä. Tämän tutkielman perusteella automaattivarastot näyttävät kannattavana ja strategisesti järkevänä investointina lyhyehkön takaisinmaksuajan ja tutkimusten raportoimien lukuisten hyötyjen perusteella.

Jatkotutkimus voisi keskittyä tarkemmin eri kokoisten ja eri toimialojen yrityksiin ja siihen, millaiset pidemmän aikavälin vaikutukset ovat. Myös tekoälyn ja koneoppimisen mahdollisuuksia olisi hyödyllistä tutkia lisää. Lopetuksena voidaan todeta, että automaatio tarjoaa loputtomasti valtavia mahdollisuuksia varastointialalla, mutta sen täysi hyödyntäminen edellyttää oikeanlaista strategista lähestymistapaa, riskienhallintaa ja jatkuvaa kehitystä.

Lähteet

- Azadeh, K., De Koster, R. & Roy, D. (2019). *Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and Recent Developments*. Institute for Operations Research and the Management Sciences. <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0873>
- Braue, D. (2024). Booktopia goes under: ACCC fine, \$12m warehouse project write e-tailer's final chapter. *Information Age*. Noudettu 21.4.2025 osoitteesta <https://ia.acs.org.au/article/2024/booktopia-goes-under.html>
- Boysen, N. & De Koster, R. (2025). *50 years of warehousing research—An operations research perspective*. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.03.026>
- Chelladurai, S. J. S., Mayilswamy, S., Gnanasekaran, S. & Thirumalaisamy, R. (2022). *Logistics Engineering*. IntechOpen. [10.5772/intechopen.97960](https://doi.org/10.5772/intechopen.97960)
- Custodio, L. & Machado, R. (2019). *Flexible automated warehouse: A literature review and an innovative framework*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04588-z>
- Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I. S. & Shalaby, R. (2024). *AGV and Industry 4.0 in warehouses: A comprehensive analysis of existing literature and an innovative framework for flexible automation*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14127-0>
- Ferreira, B. & Reis, J. (2023). *A Systematic Literature Review on the Application of Automation in Logistics*. MPDI. <https://doi.org/10.3390/logistics7040080>
- García Márquez, P., (2021). *Internet of Things*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91605>
- Gupta, A.K., Arora, S.K. & Westcott, J.R. (2017). *Industrial automation and robotics*. Mercury learning and information.
- Hameed, H. M., Al Amry, K. A. & Rashid, A. T. (2019). *The Automatic Storage and Retrieval System: An Overview*. *International Journal of Computer Applications*. <https://doi.org/10.5120/ijca2019919603>
- Hänninen, O. (2022). *Varastotoimintojen haasteet ja kehittämissuhteet*. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205129021>

- Hänninen, P. (2021). *Robotiikka ja tekoäly*. Tammertekniikka.
- Kembro, J. & Norrman, A. (2022). *The transformation from manual to smart warehousing: An exploratory study with Swedish retailers*. The International Journal of Logistics Management. <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2021-0525>
- Krishnakumar, V. P. (2025). *Warehouse robotics: Applications, benefits, and implementation challenges in modern logistics*. International Journal of Information Technology and Management Information Systems. https://doi.org/10.34218/IJITMIS_16_01_088
- Kuinka saavuttaa tehokas logistiikka ja varastointi. (2024). *Ecommerce Bridge Suomi*. Noudettu 27.2.2025 osoitteesta <https://www.ecommercebridge.fi/hub/kuinka-saavuttaa-tehokas-logistiikka-ja-varastointi/>
- Kumar, D., Kr Singh, R., Mishra, R. & Fosso Wamba, S. (2022). *Applications of the internet of things for optimizing warehousing and logistics operations: A systematic literature review and future research directions*. Computers & Industrial Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108455>
- Minashkina, D. (2024). *How to use warehouse management system sustainably*. LUT University. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-412-198-9>
- Mourral, E. & Lesaffre, C. (2020). *Benefits and Challenges of an Automated Storage and Retrieval System: A theoretical study on Food and Pharmaceutical automated storage and retrieval process*. Linneuniversitetet. <urn:nbn:se:lnu:diva-95881>
- Muha, R., Škerlič, S. & Erčulj, V. (2020). *The Importance of Risk Management for the Introduction of Modern Warehouse Technologies*. Promet - Traffic&Transportation. <https://doi.org/10.7307/ptt.v32i3.3207>
- Nordeide, A. & Rørtveit, S. (2021). *The Impact of Automated Storage and Retrieval Systems on Warehouse Operations*. Molde University College. Noudettu 3.4.2025 osoitteesta <https://himolde.brage.unit.no/himolde-xmlui/handle/11250/2779731>
- Nurdien, A., Aly, I., Pratama, H., Ardhi, H., Wahyu, R. & Prastyo, Y. (2025). *Analysis of the Application of Automated Storage and Retrieval System (ASRS) in Limited Storage*

- Space Case Study of PT. XYZ*. Engineering And Technology Journal. <https://doi.org/10.47191/eti/v10i01.15>
- Pietiläinen, J. (2023). *Valmistuotteiden varastoanalyysi ja varastohallinnan kehittämisen teollisuusyrityksessä*. LUT University. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20230905117729>
- Pon Meenakshi, P. & Anurudh, P. (2024). *Impact of warehouse automation in employee performance in shipping*. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. Noudettu 15.4.2025 osoitteesta https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper//issue_10_october_2024/62455/final/fin_irjmets1729255434.pdf
- Rashid, H. (2018). *Adaptive warehousing: The impact of flexible storage solutions on supply chain agility*. International Journal of Core Engineering & Management. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14880431>
- Rathod, R. J., Patel, H. K., & Rathod, P. J. (2022). *Challenges and Advancement in Autonomous Robotics: A Comprehensive Review*. International Journal of Science and Research. <https://doi.org/10.21275/SR24531142804>
- Reiser, C. (2020). *Investing in Warehouse Automation? Who Isn't*. *Logistics Viewpoints*. Noudettu 15.3.2025 osoitteesta <https://logisticsviewpoints.com/2020/07/08/warehouse-automation-investment/>
- Richards, G. & Grinsted, S. (2024). *The logistics and supply chain toolkit: over 100 tools for transport, warehousing and inventory management, 4th edition*. Kogan Page.
- Rizzitano, J. (2021). *Automation and Distribution Center Labor Effectiveness: A Case Study of Operations Company X*. Bryant University. Noudettu 1.4.2025 osoitteesta https://digitalcommons.bryant.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=honors_gscm
- Rodríguez García, M. & Agmoni, E. (2024). *The Warehouse of the Future: Toward Highly Automated, Interconnected, Sustainable Warehouse*. MIT Center for Transportation and Logistics. Noudettu 5.2.2025 osoitteesta <https://ctl.mit.edu/pub/report/warehouse-future>

- Rossi, R. (2021). *Inventory Analytics*. Open Book Publishers.
<https://doi.org/10.11647/OBP.0252>
- Rushton, A., Croucher, P. & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management, 7th edition*. Kogan Page.
- Saderova, J., Rosova, A., Sofranko, M. & Kacmary, P. (2021). *Example of Warehouse System Design Based on the Principle of Logistics*. MPDI.
<https://doi.org/10.3390/su13084492>
- Sahara, C. R. & Aamer, A. M. (2021). *Real-time data integration of an internet-of-things-based smart warehouse: A case study*. International Journal of Pervasive Computing and Communications. <https://doi.org/10.1108/IJPCC-08-2020-0113>
- Savushkin, N. (2024). *Warehouse automation in logistics: Case study of Amazon and Ocado*. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024052114014>
- Sigg, L., Zamzami, L., Sorley, M. & Laurencot, M. (2024). *Warehouse expansion with automated machines*. Universitat Politècnica de Catalunya. Noudettu 18.4.2025 osoitteesta <http://hdl.handle.net/2117/414999>
- Sulaksono, A., Hudiyanto, H. & Nursyamsi, J. (2023). *Implementation of enterprise resource planning (ERP) in the warehouse division*. International Journal Multidisciplinary Science. <https://doi.org/10.56127/ijml.v2i3.954>
- Torchio, F. (2023). *Survey on automated systems for smart warehouses*. Politecnico di Torino. Noudettu 24.3.2025 osoitteesta <https://webthesis.biblio.polito.it/29879/>
- Varastointi. (2025). *Logistiikan Maailma*. Noudettu 3.2.2025 osoitteesta <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/>
- Varghese, J. & Saju, S. (2021). *Challenges while moving towards Warehouse Automation*. Jönköping University. <urn:nbn:se:hj:diva-55043>