

Riina Saari

**VALMISTAVAN TEOLLISUUDEN VA-
RASTOJEN SUORITUSKYKYMITTARIT
JA VARASTOJEN KEHITTÄMINEN MIT-
TARISTON PERUSTEELLA**

Näkökulmana tuotantopäällikkö

Kandidaatintyö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastaja: Ulla Saari
Huhtikuu 2024

TIIVISTELMÄ

Riina Saari: Valmistavan teollisuuden varastojen suorituskykymittarit ja varastojen kehittäminen mittariston perusteella (Performance indicators of warehouses of manufacturing industry and development of warehouses based on the metrics)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma

Huhtikuu 2024

Varastojen suorituskyvyn mittaaminen ja parantaminen on prosessi, johon kuuluu mittariston muodostaminen, tavoitearvojen päättäminen, toiminnan suorittaminen, mittaustulosten vertaaminen tavoitearvoihin ja toiminnan kehittäminen tulosten avulla. Suorituskyvyn mittaaminen on tärkeää, kun halutaan selvittää yrityksen toiminnan taso ja kehittää sitä kohti yrityksen tarkoitusta ja arvoja. Tässä kandidaatintyössä tutkitaan suorituskyvyn parantamisen prosessin ensimmäistä vaihetta, mittariston muodostamista. Aihe on tärkeä, sillä ymmärrys varastojen suorituskykymittaristosta ja niistä tehdyt tutkimukset ovat tällä hetkellä vielä hyvin hajanaisia. Työssä tarkasteltavat varastot on rajattu valmistavan teollisuuden varastoihin.

Tämä kandidaatintyö jakautuu kahteen osaan. Ensimmäisenä perehdytään varastojen toimintaan ja suorituskyvyn mittaamiseen yleisellä tasolla, jonka jälkeen luodaan mittaristo ja pohditaan mittaristen avulla varastojen toiminnossa tehtäviä kehitystoimenpiteitä. Nämä toteutettiin lukemalla alan kirjallisuutta. Kirjallisuushaut toteutettiin ensimmäisessä ja toisessa osiossa Web of Science -tietokantaa käyttäen. Ensimmäiseen osioon koottiin varasto-operaatiot ja varastojen ominaisuudet ja siinä perehdyttiin suorituskyvyn mittaamiseen tarkoitukseen ja erilaisiin mittareiden luokittelu-mahdollisuuksiin. Näin taustoitettiin aihetta tulososiot varten. Toinen osa toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena ja sen tarkoituksena oli löytää varastojen suorituskyvyn mittarit ja luokitella ne sekä pohtia mittareiden ja ensimmäisen osion avulla varastojen kehitystoimenpiteitä.

Työn tuloksena koottiin yhteen suorituskykymittarit, jotka on luokiteltu mitattavan asian mukaan ja kohdennettu tämän jälkeen varaston ominaisuuksille. Lisäksi mittarit on kohdennettu kehitystoimenpiteille. Näin varaston toiminnan kehitystoimenpiteiden aloittaminen on helpompaa. Mittariyhteenvedosta huomattiin, että suurin osa toiminnasta vaikuttaa palvelun laatuun, joten on järkevää pohtia kehitystoimenpiteitä tämän mukaan. Kehitystoimenpiteissä löydettiin selkeä jako: oman toiminnan kehittäminen puhtaasti ominaisuuksia tarkastelemalla sekä varastojen suorituskyvyn ja suorituskykymittariston parantaminen teollisuus 4.0:n avulla. Konkreettiset kehitystoimenpiteet liittyivät niin käytettyyn tietojärjestelmään, automaation tasoon, työntekijöihin kuin varaston tilankäyttöön ja layouttiin. Tärkeimmät kehitettävät ominaisuudet, jotka tutkimuksissa löydettiin, olivat tuottavuus, tilan hyödyntäminen ja käytettävät tietojärjestelmät. Kehitystoimenpiteiden lisäksi löydettiin varaston toimintoihin vaikuttavia tekijöitä, joista merkittävimmät olivat varastojen tilankäyttö ja työvoima. Toiminnassa huomioon otettavien tekijöiden ja toimintojen määrä on siis suuri, kun tavoitteena on varastojen suorituskyvyn mittaaminen ja parantaminen.

Avainsanat: varasto, varaston suorituskyky, suorituskykymittari, varaston suorituskyvyn mittaaminen, varaston kehittäminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ALKUSANAT

Kiinnostuin toiminnanohjauksesta ja siihen liittyvistä ilmiöistä erityisesti opintojeni toisen vuoden aikana. Niinpä minulle oli jo alusta asti selkeää, että haluan tehdä kandidaatintyöni jostakin toiminnanohjauksen aiheesta. Aiheeksi valikoitui varaston suorituskyvyn arviointi, ja koska omat opintoni ja kesätyökokemukseni sijoittuvat valmistavaan teollisuuteen, halusin tarkastella sitä erityisesti tuotantonäkökulmasta. Kandidaatintyö eteni jouhevasti kevään aikana muiden projektien ohella ja sain työni valmiiksi haluamassani aikataulussa. Kirjoitusprosessin aikana minulle myös selkeytyi työn tavoitteet ja opin paljon sekä työn aiheesta että tieteellisestä kirjoittamisesta ja kirjallisuuskatsauksen tekemisestä. Haluan kiittää kurssihenkilökuntaa ja kanssaopiskelijoita tuesta kandidaatintyön kirjoitusprosessin ja kevään muiden projektien aikana.

Tampereella, 29.4.2024

Riina Saari

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Työn tavoite	1
1.2 Tutkimusmetodologia	2
1.3 Työn rakenne	3
2. VARASTOT JA NIIDEN SUORITUSKYKY	4
2.1 Varastojen käyttö tuotannon tukena yrityksissä ja suoritettavat varasto- operaatiot	4
2.2 Varastojen ominaisuudet	6
2.3 Suorituskyky ja suorituskyvyn mittarit	8
3. VARASTOJEN SUORITUSKYVYN KEHITTÄMINEN MITTAAMISEN AVULLA ..	11
3.1 Suorituskykymittariston kokoaminen	11
3.1.1 Aika	11
3.1.2 Tuottavuus	13
3.1.3 Kustannukset	14
3.1.4 Asiakastyytyväisyys	15
3.1.5 Kestävyys	16
3.2 Varastojen suorituskykymittaristo	17
3.3 Varastojen kehittäminen suorituskykymittariston perusteella	19
3.3.1 Teollisuus 4.0 varastojen toiminnan kehittämisessä	21
3.3.2 Varasto-operaatioiden ja varaston ominaisuuksien kehitystoimenpiteet	22
4. PÄÄTELMÄT	25
LÄHTEET	28

1. JOHDANTO

1.1 Työn tavoite

Varastot ovat tiloja, joissa yritykset säilyttävät varaston käyttötarkoituksen mukaisia tavaroita ja materiaaleja halutun aikaa, ja joista siellä säilytetyt tavarat toimitetaan asiakkaalle (Baglio et al. 2023). Varastojen suorituskyvyn ymmärtäminen on tärkeää, sillä tarve varastoille kasvaa jatkuvasti ja varastojen halutaan olevan luotettavia ja tehokkaita (Hanafiah et al. 2022). Valmistavassa teollisuudessa varastot ovat yksi kustannuksia aiheuttava tekijä, mitä voidaan hallita varastohallinnalla (Sun et al. 2021). Varastohallinnan tarkoitus on lisätä yrityksen tuottavuutta ja kontrolloida varastointikustannuksia samalla, kun ylläpidetään hyvä palvelutaso (Hanafiah et al. 2022). Varastohallinnan onnistumista voidaan tarkastella mittaamalla varaston suorituskykyä.

Tällä hetkellä tieto varastojen suorituskykymittaristosta on melko hajanainen ja eri lähteet antavat erilaisia tietoja riippuen esimerkiksi tutkimuksen kohteena olleesta varastosta. Varaston suorituskyvyn mittaaminen on tärkeää, sillä oikeanlaisella mittaamisella pystytään arvioimaan varaston toimintoja kriittisesti (Karim et al. 2021). Jokaisella valmistavan teollisuuden yrityksellä on varastoja, joiden toiminta vaikuttaa merkittävästi yrityksen toimintaan. (Staudt et al. 2015) Niiden suorituskykyä on parannettava, jotta varastot olisivat järkeviä, ylimääräisiä kustannuksia ei syntyisi ja asiakastytyväisyys pysyisi hyvällä tasolla (Baglio et al. 2023). Yrityksen toiminnassa varastot ovat yleensä lähes pakollisia, joten on tärkeä optimoida varaston suorituskyky. (Nantee & Sureeyatanapas 2021)

Työn tavoite on koota yhteen kirjallisuudesta löytyviä varastojen suorituskykymittareita mittaristoksi, jonka avulla varaston toimintaa voi kehittää. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Mitä varastojen suorituskykymittareita on ja miten ne voidaan luokitella?
- Mitä suorituskykymittareiden avulla kehitetään varaston toiminnassa?

Suorituskykymittareiden suuren määrän vuoksi tässä työssä käytetään mittarien luokittelua, jonka avulla valitaan kustakin kategoriasta tärkeimmät ja relevantimmat suorituskykymittarit. Luokittelun perusteena käytetään Staudtin et al. (2015) mittauskategorioita ja niitä täydennetään muista lähteistä löytyvällä tiedolla.

Työn tarkoituksena on selvittää, mitä mittareita varaston suorituskyvyn mittaamiseen käytetään, miten suorituskykymittareita luokitellaan ja miten varastoja kehitetään löydettyjen suorituskykymittarien avulla. Lisäksi työssä pohditaan, mitä konkreettisia kehitystoimenpiteitä käytettävän mittariston perusteella varastoissa voidaan toteuttaa. Työn tuloksena saadaan valmis varastojen suorituskykymittaristo sekä varastojen suurimmat kehityskohteet suorituskykymittarien perusteella.

1.2 Tutkimusmetodologia

Työssä tutkittavat varastot on rajattu valmistavan teollisuuden yritysten varastoihin. Varastoissa keskitytään erityisesti siihen, miten ne tukevat tuotantoprosessia. Näkökulmana varaston suorituskyvyn tarkasteluun toimii operatiivisen tason tuotantojohtaja, jonka tavoitteena on virtautettu tuotanto. Varastojen suorituskykymittareita tarkastellaan työssä ja valituista aineistoista siis sen mukaan, miten hyvin mittarit tukevat tuotantoa ja tuotteiden elinkaarta. Luettavat artikkelit on valittu sen mukaan, minkälaisia varastoja niissä käsitellään. Näin artikkeleista löydettyjä mittareita ja kehitystoimenpiteitä voidaan soveltaa valmistavan teollisuuden varastoihin. Lisäksi taustoitukseen luettiin artikkeleita kaikenlaisista varastoista ja kolmannen osapuolen logistiikkayrityksistä, jolloin saatiin kokonaisvaltaisempi kuva varasto-operaatioista ja varastojen ominaisuuksista.

Kandidaatintyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksena Web of Science -tietokannasta. Tiedonhaku on toteutettu etsimällä ensin tietoa teoriaosuuden varastoista ja suorituskyvyn mittaamisesta, jonka jälkeen siirryttiin toteuttamaan systemaattista tiedonhakua erilaisista suorituskykymittareista. Hakutulokset rajattiin artikkeleihin 2020-luvulta. Tätä vanhemmat artikkelit löydettiin helmenkasvatusmenetelmällä alkuperäisistä hakutuloksista. Lisäksi Staudtin et al. (2015) artikkelia käytettiin taustoituksessa alan asiantuntijan suosituksesta ja alan kirjallisuudesta haettiin määritelmiä teoriaosuuteen. Helmenkasvatus toteutettiin kandidaatintyöseminaarin kurssilla esitellyllä tavalla, eli kun luetuista artikkeleista löydettiin relevantti viittaus, luettiin myös artikkeli, johon tekstissä oli viitattu (Schlosser et al. 2006). Myös teoriaosuudessa käytettiin uusia lähteitä, sillä muuttuva maailmantilanne ja automaation lisääntyminen vaikuttaa myös varastojen käyttötapoihin (Hanafiah et al. 2022).

Kirjallisuushakuja toteutettiin erilaisilla hakusanojen yhdistelmillä, jotka on koottu taulukoon 1. Hakutulosten määrä varaston toiminnasta ja varaston suorituskyvyn mittaamisesta oli erittäin suuri, joten artikkelien valinnassa käytettiin apuna tietokannan arviointia artikkelien relevanttiudesta. Näin varmistettiin, että tarkasteltavat artikkelit käsittelevät aihetta mahdollisimman laajasti. Tämän perusteella silmäiltiin kustakin hausta ensimmäisen sadan artikkelin otsikot läpi ja valittiin näistä oleelliset. Tämän jälkeen luettiin

artikkeleista tiivistelmät ja jos artikkeli vaikutti vieläkin vastaavan tutkimuskysymykseen, luettiin koko artikkeli. Jos artikkelissa oli kandidaatintyön kannalta olennaista sisältöä, valittiin se työn lähdeaineistoksi. Valinnoissa suosittiin valmistavan teollisuuden varastoja käsitteleviä artikkeleita.

Taulukko 1. *Hakutulosten lukumäärä.*

Hakulauseke	Web of Science hakutulosten määrä	Valitut artikkelit
warehouse AND ((cost AND performance) OR sustainability OR labour OR performance OR (performance AND measurement) OR key performance indicator OR manufacturing)	2684	19
production warehouse*	10	2
performance measurement	142 889	2
helmenkasvatus	-	3

1.3 Työn rakenne

Varastojen suorituskyvyn mittaamista taustoitetaan luvussa kaksi käsittelemällä varastojen toimintaa ja suorituskykymittareita yleisesti. Näin pystytään tarkastelemaan varastojen nykyistä toimintaa ja ominaisuuksia kokonaisvaltaisesti, jolloin voidaan jo alustavasti miettiä mahdollisia kehitettäviä toimintoja ja operaatioita. Suorituskykymittareita käsitellessä syvennyttään erityisesti mittareiden luokitteluun.

Työn tulokset esitetään luvussa kolme kaksiosaisesti: ensin käydään läpi mittarit valitun luokittelun mukaisesti, jonka jälkeen pohditaan mittareiden avulla kehitettäviä toimenpiteitä. Lisäksi esitellään työkaluja, joilla kehitystoimenpiteet voidaan toteuttaa. Tuloksissa luokitellut suorituskykymittarit kohdennetaan sekä varaston ominaisuuksille että varastoissa toteutettaville kehitystoimenpiteille. Työssä keskitytään mittareihin sisällöllisesti, eikä oteta kantaa siihen, mitkä ovat mittareiden tavoitearvot. Päätelmissä luvussa 3 kerätään työn tulokset yhteen ja pohditaan mahdollisia tulevia tutkimuskohteita.

2. VARASTOT JA NIIDEN SUORITUSKYKY

Varastot ovat tärkeä osa valmistavan teollisuuden toimintaa, sillä ne tukevat valmistavan teollisuuden toimintaa pienentämällä kysyntävaihtelusta aiheutuvaa riskiä (Lyu et al. 2020). Koska tuotantopäälliköiden keskittyminen on tuotannon toiminnoissa ja tuotteiden toimitusketjussa, halutaan varastotoimintojen tukevan tätä tavoitetta. Varastot ovatkin osa toimitusketjun logistiikkaprosesseja (Nantee & Sureeyatanapas 2021). Varastojen halutaan kuitenkin olevan tehokkaita, jotta ne eivät veisi liikaa kustannuksia. Tätä tavoitetta varten tuotantolaitokset kehittävät ja ylläpitävät varasto-operaatioita, näiden suunnittelua ja varastonhallintajärjestelmiä. (Lyu et al. 2020) Näihin kaikkiin liittyy varaston suorituskyky, joka on mitattava kokonaisuus varaston toiminnassa.

Valmistavan teollisuuden tuotannonohjaustavat voidaan jakaa tilausohjaukseen ja varasto-ohjaukseen. Tilausohjauksessa tuotantoprosessi aloitetaan vasta, kun tilaus saatu ja varastoissa on lähinnä komponentteja ja varaosia. Varasto-ohjauksessa taas valmistetaan valmiiksi erilaisia moduuleita lähes valmiiseen tuotteeseen asti ja niistä kootaan tilauksen tullessa valmis tuote. (Lapinleimu 2001, s. 109) Eri ohjaustavoilla varastoja siis käytetään eri tavalla. Mikäli varastoilla on eri käyttötarkoitukset, eroavat niiden suorituskykymittarit myös toisistaan. Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan varastoja kokonaisvaltaisesti, eikä mittareiden valinnassa oteta kantaa varastojen ohjausperiaatteeseen. Nämä on kuitenkin tiedettävä, jotta ymmärtää teollisuuden varastojen toimintaa.

2.1 Varastojen käyttö tuotannon tukena yrityksissä ja suoritettavat varasto-operaatiot

Varastot ovat tiloja, joissa säilytetään sen käyttötarkoituksen mukaisia tavaroita halutun aikaa, ja josta siellä säilytetyt tavarat toimitetaan asiakkaalle (Baglio 2023). Varastoissa valmistellaan materiaali varaston asiakkaille niin, että asiakastarpeet täyttyvät (Rahman et al. 2021) eli toimitusaika sekä materiaalin määrä ja laatu ovat oikeita (Rungruengkulorn & Boonsiri 2022). Varasto voi toimia kokonaisuutena tai se voi olla jakautunut itsenäisiin yksiköihin, joilla on omat suorituskykytavoitteensa. Tämä helpottaa myös erilaisten tuotteiden käsittelyä ja eri asiakkaiden toiveiden toteuttamista. (Dimitrov & Saraceni 2023) Valmistavassa teollisuudessa varastojen tarve on merkittävä, sillä ne varmistavat tarjonnan riittävyyden ja mahdollistavan tuotannon jatkuvuuden (Faveto et al. 2021) myös epävarmoissa tuotantotilanteissa toimien välivarastoina (Lyu et al. 2020). Varastojen tarve on lisääntynyt globalisaation ja globaalin tuotannon myötä, sillä laadukkaita

tuotteita tuotetaan enemmän, mutta niiden kustannukset halutaan pitää matalina (Hanafiah et al. 2022). Koska 2010-luvulla tuotantolaitokset alkoivat panostaa enenevässä määrin varastojen koon minimoimiseen (Lyu et al. 2020), on varastojen suorituskyvyn optimoiminen tärkeää. Kyseisenlainen minimointi on osa JIT-toiminnan (just in time, ”juuri ajallaan”) ydintä, jossa yritetään vähentää syntyvää hukkaa (Lyu et al. 2020).

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltavat varastot rajataan valmistavan teollisuuden varastoihin ja niitä tarkastellaan tuotantojohtajan näkökulmasta. Valmistavassa teollisuudessa käytettävät varastot ovat pääosin tuotannon varastoja. Tuotannon varastot ovat seuraavat: raaka-ainevarasto, keskeneräinen tuotanto ja valmistuotevarasto (Faveto et al. 2021). Nämä voivat olla omia varastojaan, joihin materiaali viedään aina odottamaan seuraavaa työvaihetta. Kuitenkin erityisesti keskeneräisellä tuotannolla käytetään tuotannossa itsessään sijaitsevia puskurivarastoja. Puskurivarastojen tarkoitus on turvata tuotannon jatkuvuus, jolloin siihen ei synny pitkiä taukoja materiaalin noudon vuoksi. Puskurivarastot varmistavat myös laiterikkojen tai muun häiriötilanteen sattuessa, ettei tuotanto pysähdy kuin seinään. (Lyu et al. 2020) Tuotannon varastojen lisäksi valmistavassa teollisuudessa voi olla erilaisia tukitoimintojen varastoja (Faveto et al. 2021), esimerkiksi työkaluvarastot ja varastot, joissa säilytetään tuotantolaitteiden huoltoihin tarvittavia osia ja tarvikkeita. Jälkimmäisen kaltaiset varastot on myös saatettu ulkoistaa alihankkijalle (Faveto et al. 2021). Tuotannon varastojen perimmäinen suorituskykytavoite on toimia tuotannon tukena ja vastata yrityksen ylimmän johdon asettamiin strategisiin tavoitteisiin. Näitä ovat tuotteiden toimittaminen asiakkaille nopeammin ja tehokkaammin, jotta esimerkiksi myynti- ja tuotantotavoitteet täytetään. (Faveto et al. 2021) Tarkempia suorituskykytavoitteita saadaan yksittäisistä suorituskykymittareista, joille on asetettu tavoitearvo. Tuotteiden liikuttamiseksi kansallisissa ja kansainvälisissä toimitusketjuissa ja asiakastyytyväisyyden varmistamiseksi varastoilla on kriittinen rooli. (Demirkiran & Öztürkoğlu 2022)

Varasto-operaatiot ovat toimia, joilla yritys varmistaa varaston tehokkaan käytön ja hallinnan (Salhieh & Alswaer 2021) ja joiden määrittelyllä tarkennetaan varaston tehtävää. Suoritettavat varasto-operaatiot eroavat varastosta ja yrityksestä riippuen (Salhieh & Alswaer 2021), mutta yhtenä runkona voidaan pitää seuraavaa toimien listaa: vastaanotto, paikalleen laitto, poiminta ja toimitus (Demirkiran & Öztürkoğlu 2022). Vastaanotossa tuote saapuu varastoon sisäisen tai ulkoisen toimittajan toimesta, jonka jälkeen se varastoidaan oikealle hyllypaikalle. Poiminta suoritetaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti varaston omaa kiertojärjestystä noudattaen, jonka jälkeen tuote lähetetään asiakkaalle. (Baruffaldi et al. 2020)

Tässä työssä operaatioilla tarkoitetaan edellä lueteltujen toimien listaa, jotka ovat yksittäisten toimintojen kokonaisuuksia ja ne ovat ikään kuin pieniä prosesseja koko varastointiprosessin sisällä. Tehtävät operaatiot voidaan suorittaa manuaalisesti, osin automatisoidusti tai kokonaan automatisoidusti (Faveto et al. 2021). Esimerkiksi tavaroiden poiminta hyllystä voidaan toteuttaa manuaalisesti niin, että operaattori katsoo tietojärjestelmästä tarvittavan tuotteen ja noutaa sen, tai automaattisesti niin, että robotille tulee tieto tarvittavasta materiaalista ja sen sijainnista, jonka se noutaa ja toimittaa haluttuun paikkaan. Varasto-operaatioilla siis varmistetaan materiaalin liike tuotantoprosesseista varastoon oikealle hyllypaikalle ja edelleen oikeaan toimitukseen oikealle asiakkaalle (Faveto et al. 2021). Varaston koosta ja käyttötarkoituksesta riippuen operaatioiden suorittaja voi olla koko ajan sama ja prosessin läpimenoaika hyvinkin lyhyt, tai vaihtoehtoisesti monivaiheinen ja pitkä. Esimerkiksi samaa tuotetta saattaa käsitellä useampi työntekijä ennen sen lähettämistä. (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022)

2.2 Varastojen ominaisuudet

Varastojen ominaisuuksia ovat sijainti, layout, palvelun laatu (Baglio et al. 2023), teknologisuus (Zhen & Li 2022) ja työntekijät (Faveto et al. 2021). Nämä asettavat raamit suorituskyyville (Sarasi et al. 2024). Ominaisuuksia käsitellään kandidaatintyön tulososiossa, kun pohditaan mittariston avulla kehitettäviä toimintoja ja niiden kohdentamista varaston toiminnassa. Lisäksi suorituskyykymittarit kohdistetaan kaikki jollekin varaston ominaisuudelle.

Tässä kandidaatintyössä näkökulmana on operatiivinen tuotantojohtaja, joten varaston ominaisuuksia tarkastellaan sen mukaan, miten varasto tukee tuotantoa. Varastojen ominaisuuksissa painottuvat siis tuotannolliset piirteet ja varastoitavien yksiköiden läpivirtaukseen liittyvät tekijät.

Yksi varaston ominaisuus on sijainti. Varastot ovat rajapintoja toimitusketjussa saapuvalla ja lähtevällä virralla, jolloin ideaali sijainti on virtausten painopisteessä. Näin saadaan pienennettyä esimerkiksi toimituskustannuksia. Hyvällä varaston sijainnilla voidaan myös parantaa sen joustavuutta. (Baglio et al. 2023) Varastojen tulee olla lähellä teollisuutta (Baglio et al. 2023) tai hyvien kulkuyhteyksien varrella (Kang 2020). Nykyiset varastot sijaitsevat alueilla, joilla maankäyttökustannukset ovat alhaiset ja jotka ovat lähellä lentokenttiä, juna- ja rahtiterminaaleja (Kang 2020). Tarvittaessa varastoa pitää myös olla mahdollista laajentaa (Baglio et al. 2023), minkä alhaiset maankäyttökustannukset mahdollistavat. Tämän vuoksi varastot sijaitsevat usein suurten kaupunkien laitamilla, johon kolmannen osapuolen logistiikkayritykset pääsevät helposti, mutta johon työnteki-

jöillä saattaa olla haasteita päästä. Tämä aiheuttaa haasteita osaavan henkilöstön löytämisessä ja johtamisessa, joka taas vaikuttaa varaston tarkkuuteen tilausten täyttämässä ja aikataulussa. (Grover & Ashraf 2023) Näistä ominaisuuksista saatavat kaksi mittaria, toimituskustannukset varastosta ja varaston joustavuus, antavat erilaiset tulokset ideaalista sijainnista. (Baglio et al. 2023) Jälkimmäinen tukee kandidaatintyön näkökulmana olevan tuotantojohtajan tavoitteita paremmin. Tuotantopäällikön näkökulmasta tilausten tarkkuus ja oikea-aikaisuus eivät kuitenkaan ole yhtä relevantteja, sillä ne suuntautuvat enemmän asiakastyytyvyyteen eivätkä niinkään tuotannon toimintaan tai koko toimitusketjuun (Karim et al. 2021).

Varaston toiminnan kannalta olennaiset ominaisuudet ovat sisäiset ja ulkoiset alueet (Baglio et al. 2020) sekä tila, jonka varasto vie (Lyu et al. 2020). Kyse on siis varaston layoutista (Zhen & Li 2022). Ulkoisiin ja sisäisiin alueisiin kuuluvat esimerkiksi trukkien liikealueet, lastauslaiturit ja materiaalin käsittelyalueet. Lisäksi sisäiset ja ulkoiset alueet kattavat pysäköintialueet, toimistot ja ilmastointitilat. (Baglio et al. 2020) Näistä kuitenkin vain ensimmäiset vaikuttavat varaston suorituskykyyn tuotannollisesta näkökulmasta. Muut ovat varaston tukitoimintoja, eivätkä ne vaikuta välittömästi tuotteiden elinkaariin. Hyvällä varastohallinnalla ja oikeilla suorituskykymittareilla voidaan kehittää tuotteen elinkaaren kannalta olennaisia varastointiominaisuuksia, kuten tuotteiden sijaintia varastossa ja materiaalivirtoja (Grover & Ashraf 2023). Groverin ja Ashrafin (2023) mukaan tilan hyödyntäminen onkin yksi varastojen perusominaisuuksista, sillä se vaikuttaa monien varaston toimintojen onnistumiseen ja näkyy välillisesti suorituskyvyssä. Esimerkiksi varasto-operaatioiden automatisoinnista on suurempi hyöty, kun varaston layout on suunniteltu tehokkaaksi. Sama toimii myös toisinpäin: toimintojen vaatimat työajat vaikuttavat siihen, miten layout kannattaa suunnitella. Layout vaikuttaa kokonaismäärään tuotteita, joka menee prosessin läpi. (Zhen & Li 2022) Suoraan tilankäyttöä on hankala mitata muutoin kuin käytettyjä neliöitä laskemalla.

Koska varastot toimivat valmistavassa teollisuudessa pääosin tuotannon tukena, on yksi ominaisuus palvelun laatu (Baglio et al. 2023). Se liittyy olennaisesti varaston suorituskykyyn. Monilla yrityksillä varastointi- tai logistiikkapalvelut on ulkoistettu (Baglio et al. 2023). Suorituskyvyn mittaaminen on tärkeää riippumatta siitä, onko yrityksellä oma varastopäällikkö vai onko varastointi ulkoistettu. Jälkimmäisessä tapauksessa on kommunikation kannalta olennaista luoda selkeät mittarit suorituskyvylle (Wu et al., Trtílek & Hanák 2021 mukaan), sillä yrityksen työntekijät eivät itse aktiivisesti ole mukana varastotoiminnassa. Näin vältetään väärinymmärrykset ja misinformaatio.

Yhtenä varaston ominaisuutena voidaan pitää sen teknologisuuden tasoa. Älykkäissä varastoissa (engl. smart warehouses) varasto-operaatioiden suunnittelu, toteuttaminen

tai kontrollointi toteutetaan perinteisen tavan sijaan käyttämällä teollisuus 4.0:n tarjoamia teknologioita. Tähän kuuluvat sekä tietojärjestelmät että laitteet. Älykkään varaston pohjana toimii tiedon yhteen liittäminen eri alustoilta, jolloin sitä voidaan käyttää päätöksenteon tukena joka tilanteessa. Käyttäjälle varaston älykkyys näkyy laitteiden automatisoinnissa sekä toiminnan suunnitteluun käytettävissä työkaluissa. (Zhen & Li 2022) Käytettävät tietojärjestelmät mahdollistavat monien toimintojen tarkentumisen automaation lisääntyessä (Trtílek & Hanák 2021). Esimerkki tällaisesta toiminnosta on varastoitavan tuotteen kirjaaminen tietojärjestelmään ja sen seuraaminen järjestelmässä (Sarasi et al. 2024). Älykkään varaston toiminnallisuuksia käsitellään enemmän työn tulososiossa mahdollisina kehityskohteina.

Varaston toimintaan vaikuttavat sen työntekijät. Manuaalisissa ja osinautomoisoiduissa varastoissa työntekijät suorittavat varasto-operaatiot käsin (Faveto et al. 2021), eli työvoiman taidot vaikuttavat varaston suorituskykyyn. Osaavan työvoiman löytämiseen vaikuttaa välillisesti sijainti, sillä kaukana asutuskeskuksista sijaitseviin varastoihin on vaikeampi kulkea (Kang 2020). Automaation lisääntyessä myös automatisoinnin määrä operaatioiden suorittamisessa on kasvanut. Tämä johtuu halusta parantaa varaston suorituskykyä ja varasto-operaatioiden monimutkaistumisesta. Työntekijöiden rooli varasto-operaatioissa on siis muuttunut: työtehtävät ovat erilaisia tai niitä suoritetaan yhteistyössä robottien kanssa. (Zhen & Li 2022) Suorituskykyä mittaamalla saadaan tietoa yksilöiden suoriutumisesta ja voidaan motivoida varastojen työntekijöitä parempiin työsuorituksiin (Rahman et al. 2021). Motivointi voi tapahtua esimerkiksi tavoitteiden asettamisella ja erilaisilla palkitsemisjärjestelmillä.

2.3 Suorituskyky ja suorituskyvyn mittarit

Suorituskyvyllä tarkoitetaan kykyä saavuttaa tietty kriteereissä määritetty taso sekä aikaa ja tapaa, jolla kyseiseen suoritukseen päästään (Lebas, Govindan et al. 2022 mukaan). Suorituskyvyn mittaamisella tarkoitetaan prosessia, jossa määritetään mitattavan asian suorituskyvyn tehokkuus ja vaikutukset (Neely et al., Trtílek & Hanák 2021 mukaan). Suorituskyvyn parantaminen on prosessi, joka aloitetaan aina nykytilan määrittämisellä. Tähän käytetään suorituskykymittareita. (Tokat et al. 2022) Koska suorituskyvyn arviointi on tärkeää julkisissa organisaatioissa missioiden ja tavoitteiden saavuttamiseksi (Yu et al. 2023), on se olennainen osa myös yksityisten yritysten toimintaa, joihin valmistava teollisuus kuuluu. Varaston suorituskykyä mittaamalla pystytään lisäämään tuottavuutta ja tarkkuutta niin, että kustannukset pysyvät kohtuullisina ja asiakaspalvelu parantuu (Karim et al. 2021). Suorituskyvyn mittaaminen voi olla jatkuvaa tai sitä voidaan toteuttaa jaksollisesti, esimerkiksi vuosittain (Yu et al. 2023).

Mittaamisen tarkoituksena on selvittää, miten nykyiset järjestelyt edesauttavat yrityksen tarkoitusta ja arvoja sekä miten ne ovat osallisena näissä (Cannings & Hills 2012). Käytettäville mittareille päätettävät tavoitearvot ovat peräisin alan kansainvälisestä liiketoiminnasta ja toimivat ohjeena oman toiminnan kehittämiseksi (Demirkıran & Öztürkođlu 2022). Näin toimintaa voidaan kehittää, kun tiedetään muutoksen suunta. Tavoitearvo voi olla ylä- tai alaraja tai näiden yhdistelmä, eli väli, johon suorituskyvyn pitäisi osua. (Tokat et al. 2022) Mittareiden avulla siis verrataan nykytilaa siihen, miten asioiden pitäisi olla. Tähän apuna käytetään prosessiin kulunutta panosta ja sen avulla aikaansaatu tuotosta. (Karim et al. 2021)

Käytettävät mittarit on valittava niin, että prosessi kuvautuu niiden avulla mahdollisimman tehokkaasti. Oikeaoppisesti luodulla mittarijärjestelmällä pystytään merkittävästi vaikuttamaan varaston suorituskyvyn kehittämiseen ja yksittäisten toimien parantamiseen. Omasta toiminnasta luodulla mittarijärjestelmällä saadaan arvokasta tietoa varaston johtamiseen, jonka avulla kehittää oman varaston suorituskykyä sekä varaston nykyaikaisuutta ja tarkoituksenmukaisuutta. (Salhieh & Alswaer 2021) Kaikissa tapauksissa mittarijärjestelmää ei kuitenkaan välttämättä pystytä luomaan itse, jolloin on tyydyttävä valmiisiin suorituskykymittaristoihin, joita tässä kandidaatintyössä käydään läpi. Mittarit voivat myös muuttua ja parantua ajan kuluessa. Erityisesti nopealla digitalisatiolla on suuri vaikutus suorituskykymittareihin, sillä näin mittareista saadaan helpompia käyttää ja niiden tulokset ovat yksinkertaisempia tulkita. (Trtílek & Hanák 2021) Myös varastoinnin volyymin kasvaessa mittareiden kehittyminen on olennaista suoritus- ja kilpailukyvyn ylläpitämiseksi (Baruffaldi et al. 2020). Näin käytettävä mittaristo päivittyy sen käyttötarpeiden mukaan.

Suorituskykymittareiden avulla mallinnetaan varastojen toimintaa. Käytettävien mittareiden valinnassa on otettava huomioon, että useat varastojen toiminnot linkittyvät toisiinsa ainakin osittain. Tästä syystä yritysten mitatessa koko varastosysteeminsä suorituskykyä, voidaan valita vain muutama mittari, jotka kokoavat alleen lähes kaikki varaston toiminnot. Näitä olennaisimpia mittareita nimitetään avainsuorituskykymittareiksi (engl. key performance indicator, KPI). (Faveto et al. 2021) Ne mittaavat toimintoja ja ominaisuuksia, jotka vaikuttavat eniten varaston suorituskykyyn (Sarasi et al. 2024). Tässä kandidaatintyössä puhutaan selkeyden vuoksi suorituskykymittareista. Demirkıranin ja Öztürkođlun (2022) mukaan suorituskykymittarit eroavat toisistaan sen mukaan, missä toimintaympäristössä niitä käytetään. Näitä ovat esimerkiksi maantieteellisen sijainti ja yhteiskunnan kehitysaste (Demirkıran & Öztürkođlu 2022). Tässä kandidaatintyössä maantieteellistä rajausta ei tehdä, sillä halutaan keskittyä valmistavan teollisuuden alaan kokonaisvaltaisesti.

Kun mittarit on päätetty, on niistä koostettava yhtenäinen mittaristo. Tämän voi toteuttaa luomalla mittareista jonkinlainen malli tai luokittelemalla mittarit ryhmiin. Salhieh ja Alswaer (2021) ovat koonneet mittareiden avulla varaston kypsyysmallin, jonka avulla varaston suorituskykyä voidaan tarkastella. Kypsyysmalli on työkalu, jonka avulla yritys voi arvioida toimintansa nykytilaa ja tehdä parannuksia. Malli listaa käytettävät suorituskykymittarit ja niiden tavoitearvot. Yritykset käyttävät kypsyysmalleja usealla liiketoiminta-alueella, sillä malli toimii vertailuarvona ja sen avulla määritellään kehitettävät tekijät. (Salhieh & Alswaer 2021) Abideen ja Mohamad (2020) taas esittelevät erillisten tapahtumien simulointimallin, jossa kunkin varasto-operaation toiminnot eritellään. Näin saadaan yksityiskohtainen kuva varaston toiminnasta, sillä jokaisesta toiminnosta luetellaan parametrit, jotka työn suoritukseen vaikuttavat. Tarpeeksi yksityiskohtaisilla lähtötiedoilla saadaan realistinen kuva varaston suorituskyvystä, sillä tällöin myös käytettäviä mittareita voi olla useita. (Abideen & Mohamad 2020). Koska erilaisten mallien luominen on pitkä prosessi (Salhieh & Alswaer 2021), saattavat monet yritykset päätyä toisenlaiseen mittarien jäsentelyyn. Käytettävät mittarit voi luokitella erilaisin kriteerein.

Eräs tapa luokitella käytettävät mittarit on tarkastelemalla suorituskykyä eri ulottuvuuksien kautta. Varastojen tapauksessa näitä ulottuvuuksia ovat tuottavuus, kustannukset, joustavuus, aika, turvallisuus sekä sosiaalinen ja ympäristöllinen suorituskyky (Staudt et al. 2015, Hanafiah et al. 2022) sekä rahoitus, tuotanto, hyötysuhde ja johdonmukaisuus (Frazelle, Rahman et al. 2021 mukaan). Staudt et al. (2015) jakavat mittarit suoriin ja epäsuoriin, jonka jälkeen mittareita tarkastellaan aiemmin mainittujen ulottuvuuksien kautta. Suorilla mittareilla tarkoitetaan kvantitatiivisia mittareita, joiden tulokset ovat numeroarvoja. Epäsuorien mittarien tulokset ovat kvalitatiivisia, eli niiden tulkinta on hie-man monimutkaisempaa. (Staudt et al. 2015) Faveto et al. (2021) taas käyttävät mittareiden jaon perusteena triple bottom line -viitekehystä, jossa mittarit on jaettu kolmeen näkökulmaan: sosiaalinen, ekologinen ja taloudellinen. Tähän yhdistetään Anthonyn kolmitasoinen pyramidimalli, jonka tasot ovat operatiivinen, taktinen ja strateginen. Tuloksena saadaan kolmirivinen ja -sarakkeinen matriisi. (Faveto et al. 2021) Ulottuvuuksien ja mittareiden luokittelun valinta ja painotus voi olla eri riippuen siitä, minkälaista tietoa varaston suorituskyvystä halutaan saada.

Koska tämän kandidaatintyön tavoitteena oli suorituskykymittarien löytämisen lisäksi selvittää, miten mittareita voidaan luokitella, luodaan mittaristo tarkastelemalla luokittelumahdollisuuksia. Mittareille etsitään kaksi luokittelumahdollisuutta, jolloin ne voidaan kohdentaa tarkemmin. Tehtyihin valintoihin perehdytään tarkemmin työn tulososiossa.

3. VARASTOJEN SUORITUSKYVYN KEHITTÄMINEN MITTAAMISEN AVULLA

3.1 Suorituskykymittariston kokoaminen

Työssä mittaristoa tarkastellaan varaston eri ominaisuuksien kautta. Ominaisuuksia on käsitelty luvussa 2.2. Tuotantopäällikön on tiedettävä, miten käytetyt resurssit ja tehty työ vaikuttavat varaston suorituskykyyn (Karim et al. 2021), jotta ne voidaan allokoida paremmin toiminnan suunnittelussa (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022). Varastojen ominaisuuksien perusteella valitaan mittarit, jotka kuvaavat kunkin ominaisuuden suorituskykyä parhaiten ja joiden yhdistelmänä saa kokonaisvaltaisimman kuvan varastosta. Valintaperusteena käytetään tuotantopäällikön näkökulmaa ja sitä, miten hyvin mittarit tukevat tuotannon toimintaa. Kuhunkin kategoriaan valitaan ne mittarit, jotka on kirjallisuudessa arvioitu tärkeimmiksi, esimerkiksi AHP-metodia (engl. analytical hierarchy process) käyttäen (Rahman et al. 2021, Sarasi et al. 2024). Soveltuvia mittareita ovat Aasian tuottavuusorganisaation (Karim et al. 2021) mukaan rahoitusmittareiden lisäksi tuottavuutta ja arvoa lisäävät mittarit. Myös muut näkökulmat, kuten asiakastytyvyisyys, otetaan huomioon.

Pohjana mittareiden luokitteluun käytetään Staudtin et al. (2015) kategorioita, johon on yhdistetty Frazellen (Rahman et al. 2021) luokittelut. Lisäksi mittareita tutkitaan kestävyysnäkökulmasta, sillä se on tärkeä kilpailukyvyyn lähde (Bajec et al. 2020). Kestävyyttä on tarkasteltu sosiaalisesta ja ekologisesta näkökulmasta (Faveto et al. 2021). Etsittävät mittarit ovat pääosin suoria mittareita. Suorat mittarit ovat kvantitatiivisesti arvioitavia (Staudt et al. 2015). Koska tämän kandidaatintyön aiheena on pohtia mittareiden avulla kehitettäviä toimintoja, luokitellaan löydetty mittarit lisäksi eri ulottuvuuksiin sen perusteella, mitä osaa varaston toiminnasta ne mittaavat. Näin käytettävien mittareiden avulla pystytään löytämään pullonkaula toiminnasta ja keskittyä kriittisiin toimenpiteisiin toimintaa kehittäessä. Luokittelu näkyy taulukossa 2.

3.1.1 Aika

Aika on olennainen osa varastojen toimintaa, sillä näillä mittareilla mitataan varasto-operaatioihin kulunutta aikaa. Mittareiden tuloksista nähdään, millä tasolla suorituskyvyssä ollaan ja niistä saadun datan perusteella voidaan tehdä muutoksia toimintaan (Tokat et al. 2022). Esimerkiksi operaatioiden suoritus tapaa saatetaan muuttaa manuaalisesta osinautomatisoituun tai kokonaan automatisoituun (Faveto et al. 2021), jos toiminta näin

nopeutuu. Ajan minimoiminen ei kuitenkaan saa olla ainoa tavoite, vaan varasto-operaatioiden perustarkoitus pitää täytyä: oikean tavaran on oltava oikeassa paikassa ja oikealla asiakkaalla oikeaan aikaan (Faveto et al. 2021). Koska aikaan liittyviin mittareihin liittyy konkreettisia numeroarvoja, ovat ne suoria mittareita (Staudt et al. 2015).

Varastojen suorituskykyyn vaikuttavat aikaa mittaavat mittarit ovat

- tahtiaika (Abideen & Mohamad 2020, Rungruengkultorn & Boonsiri 2022),
- läpimenoaika (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022),
- odotusaika (Rahman et al. 2021),
- aika, joka kuluu tuotteen vastaanottamiseen (Frazelle, Karim et al. 2021 mukaan) ja aika, joka kuluu tuotteen poimimiseen (Baruffaldi et al. 2020) sekä
- toimitusaika (Demirkıran & Öztürkoğlu 2022).

Tahtiaika, (engl. cycle time) kertoo työvaiheeseen käytetyn ajan yhtä suoritetta kohti (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022). Se mitataan suorituksen alusta sen lopettamiseen. ”Takt time” on tavoite tahtiajalle. Se kertoo maksimiajan, jota yhteen työvaiheeseen voidaan käyttää, jotta asiakaskysyntään pystyttäisiin vastaamaan (Abideen & Mohamad 2020). Läpimenoaika on aika, joka tuotteella kuluu prosessin alusta sen loppuun (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022), eli siihen vaikuttavat myös tahtiaika, odotusaika sekä tuotteen vastaanottamiseen ja poimimiseen kuluvat ajat. Varastointikontekstissa läpimenoajalla tarkoitetaan koko varastointiprosessiin kulunutta aikaa, eli aikaa, joka kuluu siitä, kun tuote saapuu varastoon siihen, kun tuote lähtee varastosta asiakkaalle. Yksittäisten mittarien parantaminen tähtää tämän mittarin parantamiseen. Läpimenoaikaan vaikuttaa tahtiajan lisäksi myös eri toimintojen ja operaatioiden väliset odotusajat (Rahman et al. 2021). Odotusaika on aikaa, kun tuotetta ei työestetä aktiivisesti. (Sarasi et al. 2024). Se voi johtua esimerkiksi jonottamisesta ja laitteilla tapahtuvista myöhästymisistä, jotka aiheutuvat laitteista itsestään tai tuotteiden kuljetuksessa tapahtuvista myöhästymisistä (Abideen & Mohamad 2020). Vastaanottamiseen kuuluva aika määrittää osaltaan myös varaston kapasiteettia, sillä se vaikuttaa siihen, paljonko tuotteita varasto voi ottaa vastaan (Sarasi et al. 2024). Aika, joka kuluu tuotteen poimimiseen, aiheuttaa suurimman osan varaston operationaalista kustannuksista (Bartholdi & Hackman, Baruffaldi et al. 2020 mukaan), joten sen kehittäminen vaikuttaa merkittävästi varaston kustannuksiin. Kyseinen aika kuuluu tärkeimpiin mittareihin, kun arvioidaan varaston tehokkuutta (Zhen & Li 2022).

Koska ajan mittareita on useita, saadaan kaikkia käyttämällä laaja kuva varaston suorituskyvystä ja toiminnasta. Mittareiden käyttö vaikuttaa myös siihen, kuinka tarkka kuva

suorituskyvystä saadaan, sillä osaa mittareista voidaan soveltaa joko koko prosessiin, operaatioihin tai jopa yksittäisiin toimintoihin (Salhieh & Alswaer 2021). Esimerkiksi tahtiaika, ”cycle time”, on yksi tällaisista mittareista, jota voidaan tarkastella jokaisella tasolla (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022). Kun jokaiselle toiminnan tasolle on tahtiajalle asetettu myös tavoitearvo, ”takt time” (Abideen & Mohamad 2020), on tuotannon suorituskyvyn arviointi yksinkertaisempaa. Monet ajan mittareista liittyvät asiakkaille tehtyihin lupauksiin ja aikatauluihin, joita on näiden pohjalta luotu (Salhieh & Alswaer 2021). Asiakkaiden tyytyväisyyden ylläpito on tärkeää yrityksen toiminnan ja kannattavuuden kannalta, joten varasto-operaatioiden on tuettava tätä (Baglio et al. 2023).

3.1.2 Tuottavuus

Tuottavuudella tarkoitetaan saavutetun tuotoksen suhdetta sitä varten annettuun panokseen (Karim et al. 2021). Mittaamisen tarkoituksena on selvittää, pystytäänkö haluttu lopputuote tuottamaan tehokkaasti ja laadukkaasti pienemmällä työpanoksella (Kaydos, Rahman et al. 2021 mukaan). Tuottavuutta voidaan mitata myös osittain varastointiprosesseissa tai pelkän arvoa tuottavan työn tuottavuutta (Stainer, Karim et al. 2021 mukaan). Rahmanin et al. (2021) mukaan tuotettaviin yksiköihin vaikuttavat varaston ominaisuuksista työvoima, laitteet, tila ja tietojärjestelmät. Nämä voidaan asettaa hierarkkiseen järjestykseen sen mukaan, mikä osa-alue on oman toiminnan ja tuottavuuden kannalta tärkein (Rahman et al. 2021). Tuottavuutta mitataan seuraavilla mittareilla:

- varastosta lähtevä materiaali
- myöhästyneet toimitukset ja
- käsitellyt tilaukset per työntekijä (Karim et al. 2021) sekä
- vastaanotetut tilaukset (Sarasi et al. 2024) ja
- varaston tilan hyödyntämisaste (Rahman et al. 2021, Sarasi et al. 2024).

Neljä ensimmäistä mittaria ilmaistaan kappalemäärissä ja usein jotakin aikayksikköä kohden. Varastosta lähtevällä materiaalilla tarkoitetaan siis absoluuttista varastosta lähtevän tavaran määrää (Tokat et al. 2022) ja se voidaan ilmaista myös keskiarvona. Myöhästyneillä toimituksilla tarkoitetaan kysyntää, johon ei pystytä vastaamaan määräajassa (Tokat et al. 2022). Operatiivisen tason tuottavuutta voidaan tarkastella mittaamalla kunkin työntekijän käsittelemien tilausten määrää. Mittari ei suoraan ole työvoiman tuottavuus, sillä yksittäiseen työntekijään vaikuttavat muutkin tekijät kuin työntekijästä itsestään riippuvat. (Karim et al. 2021) Mittari voi kuitenkin tuottaa suuntaa antavaa tietoa esimerkiksi työntekijöiden motivaatiosta ja taidoista. Vastaanotetut tilaukset ovat vas-

taanottoprosessissa vastaanotettuja tuotteita, eli niitä on jo käsitelty prosessissa. Tuotteita voi saapua varastoon enemmänkin, mutta niiden vastaanottoa ei ehditä käsittelemään samassa tahdissa. (Sarasi et al. 2024)

Yllä listattujen mittarien lisäksi tuottavuuteen vaikuttaa käytettyjen laitteiden käyttöaste (Karim et al. 2021), sillä tuotettavien kappaleiden määrä on suurempi, mikäli laitteita hyödynnetään mahdollisimman paljon, sekä käytettävä varastonhallintajärjestelmä (Rahman et al. 2021). Laitteiden käyttöaste ja tilan hyödyntämisaste saadaan vertaamalla käytettyä kapasiteettia maksimikapasiteettiin (Karim et al. 2021). Tuotettujen kappaleiden määrää voidaan lisätä myös suurentamalla laitteiden maksimikapasiteettia. Esimerkiksi erilaiset teknologiat mahdollistavat koneiden kehityksen (Trtílek & Hanák 2021). Varastonhallintajärjestelmä ei suoraan ole mittari, mutta sen tehokkuus ja toiminnallisuudet liittyvät varaston suorituskykyyn, joten useat varastopäälliköt pitävät sitä tärkeänä tekijä varaston suorituskykyä tutkittaessa (Rahman et al. 2021).

3.1.3 Kustannukset

Varaston toiminta aiheuttaa kustannuksia, jotka voivat olla suoria tai vaihtoehtoisia. Suoria kustannuksia ovat esimerkiksi laitteisiin, raaka-aineisiin ja aikaan kuuluvat kustannukset. Toteutuvien kustannusten lisäksi on pohdittava myös vaihtoehtoisia kustannuksia, jotta varaston suorituskyky paranisi. Näin pystytään valitsemaan kehitystoimenpiteet, joita varastonhallinnassa toteutetaan. Vaihtoehtoisilla kustannuksilla tarkoitetaan parhaimman hylätyn vaihtoehdon arvoa, ja vaikka ne tuntuvat suurilta heti päätöksen jälkeen, pienenee niiden arvo ajan kuluessa. Tähän vaikuttavat osaltaan tehtyjen kehitystoimenpiteiden vaikutukset. (Sun et al. 2021) Tähän kandidaatintyöhön valittuja mittareja voi käyttää sekä toteutuneiden toimenpiteiden että vaihtoehtoisten toimenpiteiden arvon arviointiin. Olennaista on, että omasta toiminnasta saadaan dataa, jonka perusteella kehittää varasto-operaatioita. Varaston suorituskyvyn kustannusmittareita ovat

- myöhästymisistä aiheutuneet tulon menetykset,
- kustannukset per tuote tai tilaus (Karim et al. 2021),
- varaston sisäiset kuljetuskustannukset (Baruffaldi et al. 2020) ja
- työntekijäkustannukset (Dimitrov & Saraceni 2023).

Myöhästymisistä aiheutuneita tulonmenetyksiä ei voi suoraan ajatella kustannuksina, sillä siinä ei suoraan makseta mitään, vaan saatu tuotto pienenee (Karim et al. 2021). Kustannukset per tuote voidaan laskea esimerkiksi valmistuskustannuksina (Karim et al. 2021), jakelukustannuksina (Demirkıran & Öztürkođlu 2022) tai näiden yhdistelmänä.

Varaston sisäisiin kuljetuskustannuksiin kuuluu tuotteiden paikalleen laitosta ja poiminnasta aiheutuneet kustannukset. Nämä aiheuttavat yli puolet varaston operatiivisista kustannuksista ja ne riippuvat kuljetusta kokonaismatkasta. (Bartholdi & Hackman, Baruffaldi et al. 2020 mukaan) Työntekijöistä aiheutuviin kustannuksiin kuuluu palkkojen ja muiden sivukustannuksien lisäksi toiminnassa tapahtuneet virheet ja niistä aiheutuneet kustannukset (Staudt et al. 2015). Näitä kustannuksia seuraamalla pystytään vertaamaan manuaalisesti ja automatisoidusti tehdyn työn kustannuseroja (Dimitrov & Saraceni 2023). Lisäksi työntekijöiden tekemä ylityö ja poissaolot aiheuttavat kustannuksia (Demirkıran & Öztürkođlu 2022).

3.1.4 Asiakastyytyväisyys

Varastot palvelevat aina jonkinlaista asiakasta, joko yrityksen sisäisesti tai lopputuotteiden tapauksessa ulkoisesti. Tämän vuoksi palvelun laatu onkin tärkeä osa varaston suorituskykyä ja varastojen suorituskykyä ja palvelun laatua mitataan osittain samoilla mittareilla. (Baglio et al. 2023) Laadulla voidaan tarkoittaa myös tuotteiden ominaisuuksia (Govindan et al. 2022). Tuotantopäällikköä kiinnostaa erityisesti tuotteiden laadulliset ominaisuudet, joita voidaan mitata varasto-operaatioiden aikana vaurioituneiden tuotteiden lukumäärällä (Sarasi et al. 2024). Tässä luvussa keskitytään kuitenkin enemmän varaston laatuun palvelunäkökulmasta ja toiminnan tarkkuuteen asiakasnäkökulmasta.

Tyytyväiset asiakkaat ovat suuri osa yrityksen toimitusketjua (Govindan et al. 2022), eli kun asiakastyytyväisyys on hyvä, tulee tuotantoonkin enemmän tilauksia. Nykyisten asiakkaiden tyytyväisyys nostaa yrityksen mainetta, jolloin se näyttyy houkuttelevampana myös muille potentiaalisille asiakkaille (Sun et al. 2021). Asiakastyytyväisyyteen vaikuttavia mittareita ovat tilausten oikeellisuus sekä sisällössä että toimituskohteessa (Frazelle, Karim et al. 2021 mukaan). Kyseiset mittarit voidaan laskea joko prosenttiosuutena tai absoluuttisena määränä. Varastossa tapahtuva tuotteiden käsittely on olennainen tekijä paitsi tilausten oikeellisuudessa, myös tilausten laadussa ja vaurioitumattomuudessa (Sun et al. 2021). Lisäksi esimerkiksi aiemmin mainittu toimitusaika ja tuotteen kustannukset, eli asiakkaalle näkyvä hinta, vaikuttavat asiakastyytyväisyyteen (Demirkıran & Öztürkođlu 2022).

Joustavuus tarkoittaa kykyä reagoida muutoksiin ja mukautua asiakkaiden toiveisiin (Beamon, Staudt et al. 2015 mukaan). Yllättäviä tilanteita voivat olla esimerkiksi hätätilanteet ja äkilliset muutokset materiaalitarpeissa (Zhen & Li 2022). Joustavuutta voi olla hankala mitata (Gunasekaran & Kobu, Staudt et al. 2015 mukaan), mutta sen toteutuminen vaikuttaa varaston suorituskykyyn ja varaston toiminnan tavoitteeseen asiakastyytyväisyyteen (Baglio et al. 2023).

3.1.5 Kestävyys

Kestävyyttä voidaan tarkastella kolmesta näkökulmasta: ympäristöllinen, sosiaalinen ja taloudellinen. Kestävyydellä tarkoitetaan, että nykyhetkessä tehtävät toiminnot tehdään niin, ettei niistä aiheudu haittaa tuleville sukupolville. Se siis on kyky ylläpitää olosuhteet samanlaisena, ellei jopa paranna niitä. (Dimitrov & Saraceni 2023) Jos yritys haluaa korkeamman suorituskyvyn ja pärjätä paremmin markkinoilla, on kaikkien näiden ulottuvuuksien välillä oltava tasapaino. (Bajec et al. 2020) Varastojen ominaisuudet vaikuttavat yleensä useampiin kestävyiden osa-alueisiin samanaikaisesti (Amjed & Harrison, Bajec et al. 2020 mukaan), minkä vuoksi jonkin mittarin mukaan varaston kehittäminen kehittää yleensä myös muita mittareita. Koska aiempien kategorioiden mittareissa käsitellään myös taloudellisen kestävyiden puolta, on tähän valittu mittareita pelkästään sosiaalisesta ja ekologisesta näkökulmasta. Muiden kategorioiden mittarit vaikuttavat taloudellisen ulottuvuuden lisäksi välillisesti ekologiseen ulottuvuuteen. Bajec et al. (2020) ovat valinneet nelivaiheisella metodilla tärkeimmät varastoinnin ekologisen ja sosiaalisen kestävyiden mittarit keräämällä mittarit kirjallisuuskatsauksena ja sen jälkeen haastattelella eri alojen asiantuntijoita. Sekä ekologisen että sosiaalisen kestävyiden mittarit on jaettu useampaan kategoriaan sen mukaan, mihin varaston toimintoihin ne vaikuttavat (Bajec et al. 2020). Koska tässä kandidaatintyössä halutaan mittareiden kuvastavan kokonaisvaltaisesti varaston toimintaa, valitaan tasatilanteessa käytettävät mittarit eri kategorioista. Kestävyiden mittarit, joilla saadaan kokonaisvaltainen kuva varaston ekologisesta ja sosiaalisesta kestävyidestä ovat

- kasvihuonekaasupäästöt,
- veden kulutus,
- sähkön kulutus,
- terveys- ja turvallisuuskoulutusten määrä
- työtapaturmat. (Bajec et al. 2020)

Päästöjen mittaaminen ja vähentäminen on tärkeää, sillä varastointioperaatiot aiheuttavat toimitusketjuissa toiseksi suurimman osan ympäristön saastumisesta. Kestävyiden mittarit keskittyvät päästöjen lisäksi ympäristöressurssien käyttöön ja työntekijöiden hyvinvointiin. (Bajec et al. 2020). Koska ylläluetellut mittarit olivat eri alojen ammattilaisten mielestä tärkeimpiä ja relevanteimpia (Bajec et al. 2020), kannattaa näihin panostaa varaston suorituskykyä kehitettäessä. Ekologisen kestävyiden lisäksi resurssien kulutuksella on myös taloudellinen näkökulma, sillä mitä enemmän niitä käyttää, sitä korkeam-

mat ovat kustannukset (Dimitrov & Saraceni 2023). Usein ekologisia ja sosiaalisia mittareita säätelevät lait ja määräykset (Nantee & Sureeyatanapas 2021), mutta pelkkään raja-arvoon pääseminen ei välttämättä aina riitä.

3.2 Varastojen suorituskykymittaristo

Suorituskykymittarit luokiteltiin edellisessä alaluvussa viiteen eri luokkaan. Löydetyt mittarit mittaavat kukin hieman erilaista osaa varaston toiminnasta ja ne voidaankin luokitella myös luvussa 2.2 esiteltujen varastojen ominaisuuksien mukaan. Taulukkoon 2 on koottu kandidaatintyössä löydetyt varaston suorituskykymittarit mitattavan ulottuvuuden ja varaston ominaisuuksien mukaiseen matriisiin. Jotkut tietyn mittauskategorian mittarit sopivat useampaan varaston ulottuvuuteen, jolloin lajitteluperusteena käytettiin kirjallisuudesta löydettyjä esimerkkejä, esimerkkien määrää ja relevanttiutta.

Taulukko 2 on kandidaatintyössä koottu mittaristo varaston suorituskyvyn mittaamisesta. Taulukosta nähdään, mitä mittarit mittaavat ja mihin varasto-operaatioihin ja varastojen ominaisuuksiin mittarit keskittyvät. Kun mittaristoa käytetään, löydetään tuloksista tärkeimmät kehitettävät toiminnot helposti. Layout on jaettu sisäisiin ja ulkoisiin alueisiin (Baglio et al. 2020, Zhen & Li 2022) ja siihen on sisällytetty myös varastoissa käytettävät laitteet (Sarasi et al. 2024). Teknologisuus tarkoittaa varastoissa käytettäviä järjestelmiä, automaation tasoa sekä näiden mahdollistamaa toiminnan laatua ja tuottavuutta (Trtílek & Hanák 2021, Zhen & Li 2022). Mikäli tuottavuutta voidaan jotakin teknologista ominaisuutta muuttamalla lisätä, on mittari luokiteltu tähän.

Mittariston luomisen jälkeen sitä on myös tarkasteltava kriittisesti, jotta se mittaa varmasti oikeaa asiaa ja siitä viestitään oikein varastohallintajärjestelmissä (Karim et al. 2021). Viestintää voidaan toteuttaa yrityksen sisäisissä kanavissa, esimerkiksi käytössä olevissa tietojärjestelmissä (He et al. 2021).

Kun käytettävät mittarit on päätetty, on vielä päätettävä, miten ne implementoidaan käytäntöön. Koska tämän kandidaatintyön tarkoitus on vain löytää varaston suorituskykyä kuvaavat mittarit ja niiden avulla kehitettävät toiminnot varastossa, ei mittareiden implementointia ja käyttöä läpikäydä niin syvästi. Mahdollisuuksia on kuitenkin monia, esimerkiksi kypsyysmalli (Salhieh & Alswaer 2021) tai erillisten tapahtumien simulointimalli (Abideen & Mohamad 2020).

Taulukko 2. Varaston suorituskykymittarit kohdennettuna varaston ominaisuuksille.

		Varaston ominaisuus				
		Sijainti	Layout, sisäiset ja ulkoiset alueet	Palvelun laatu	Teknologisuus	Työntekijät
Mittauskategoria	Aika		Läpimenoaika (<i>Rungruengkultorn & Boonsiri 2022</i>) Odotusaika (<i>Rahman et al. 2021</i>)	Toimitusaika (<i>Demirkiran & Öztürkoğlu 2022</i>)	Tahtiaika (<i>Abideen & Mohamad 2020, Rungruengkultorn & Boonsiri 2022</i>)	Tuotteen vastaanottamiseen ja poimimiseen kuluva aika (<i>Baruffaldi et al. 2020; Frazelle, Karim et al. 2021 mukaan</i>)
	Tuottavuus	Vastaanotetut tilaukset (<i>Sarasi et al. 2024</i>) Varastosta lähtevä materiaali (<i>Karim et al. 2021</i>)	Varaston tilan hyödyntäminenaste (<i>Frazelle, Karim et al. 2021 mukaan</i>)	Myöhästyneet toimitukset (<i>Karim et al. 2021</i>)		Käsitellyt tilaukset per työntekijä (<i>Karim et al. 2021</i>)
	Kustannukset		Varaston sisäiset kuljetuskustannukset (<i>Baruffaldi et al. 2020</i>)	Kustannus per tuote tai tilaus Myöhästymisestä aiheutuneet tulonmenetykset (<i>Karim et al. 2021</i>)		Työntekijäkustannukset (<i>Dimitrov & Saraceni 2023</i>)
	Asiakastytyvyisyys			Tilausten oikeellisuus (<i>Frazelle, Karim et al. 2021 mukaan</i>) Vaurioituneet tuotteet (<i>Sun et al. 2021</i>) Joustavuus (<i>Beamon, Staudt et al. 2015 mukaan</i>)		
	Kestävyys				Kasvihuonekaasupäästöt Veden kulutus Sähkön kulutus (<i>Bajec et al. 2020</i>)	Terveys- ja turvallisuuskoulutusten määrä Työtapaturmat (<i>Bajec et al. 2020</i>)

3.3 Varastojen kehittäminen suorituskykymittariston perusteella

Käytettävillä mittareilla saadaan tietoa varaston suorituskyvystä. Tämän vuoksi mittareiden tavoitearvojen saavuttamista on seurattava jotenkin. Näin nähdään, mitkä mittarit ovat painopisteessä, kun varastojen toiminnan kehitystoimenpiteitä aletaan miettiä. (Sarasi et al. 2024) Jotta varaston suorituskyky paranisi, on tehtävä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat mitattaviin toimintoihin. Parannustoimenpiteet voidaan tehdä kehittämällä olemassa olevia varastoja tai mittareista saatua dataa voidaan käyttää uusien varastojen perustamisvaiheessa (Dimitrov & Saraceni 2023). Yritysten mukaan tärkeimmät varastojen suorituskykymittarit ovat työn tuottavuus ja laitteiden käyttöaste (Laosirihongthong et al., Karim et al. 2021 mukaan), jotka tukevat myös kandidaatintyön rajausta, tuotantopäällikön näkökulmaa varaston suorituskyvystä. Näin ollen luultavasti tuottavuuden suorituskykymittareihin halutaan panostaa.

Mittareista saatavien tulosten perusteella omaa toimintaa voidaan kehittää. Koska tässä kandidaatintyössä tuotantopäällikön tavoitteena on virtautettu tuotanto, karsitaan arvoa tuottamatonta toimintaa. Rungruengkultornin ja Boonsirin (2022) mukaan tämä tehostaa työntekijöiden allokointia halutuille työpisteille ja parantaa työympäristöä. Näin saadaan työntekijöiden käyttöastetta lisättyä ja osaamista hyödynnettyä paremmin sekä huomataan, mikäli työntekijöitä on ylimääräisiä (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022). Työntekijöitä vähentämällä kustannuksetkin vähenevät. Varastointiprosessia yksinkertaistamalla saadaan poistettua päällekkäisiä toimintoja, joka tekee prosessista dynaamisemman. Taulukossa 3 on lueteltu kehitystoimenpiteitä ja jokainen mittari on kohdennettu toimenpiteelle, jota se mittaa. Osa mittareista soveltuu useampaankin kehitystoimenpiteeseen, jolloin on valittu sopivin kehitystoimenpide.

Mahdollisia toimenpiteitä toiminnan kehittämiseksi ovat lean- ja hukkamenetelmien implementointi varastoympäristössä sekä 5S:n mukaiset toiminnot: lajittele, järjestä, kiillota, standardoi ja ylläpidä (Salhieh & Alswaer 2021). Näiden lisäksi kehitystoimenpiteitä voi pohtia suoraan mittareiden perusteella esimerkiksi tiettyyn toimintoon tai varaston ominaisuuteen, esimerkiksi teknologisuuteen, liittyen, kuten taulukosta 3 nähdään. Taulukossa 3 lueteltuja varaston kehitystoimenpiteitä käydään läpi konkreettisemmin seuraavissa luvuissa. Varaston kehitystoimenpiteiden lisäksi myös mittariston kehittäminen on tärkeä osa mittausjärjestelmän käyttöä (Trtílek & Hanák 2021).

Taulukko 3. Varastojen kehitystoimenpiteiden mittarit.

Varaston kehitystoimenpiteet	Suorituskykymittari
Teollisuus 4.0	Työntekijäkustannukset (<i>Dimitrov & Saraceni 2023</i>) Joustavuus (<i>Beamon, Staudt et al. 2015 mukaan</i>) Kasvihuonekaasupäästöt Veden kulutus Sähkön kulutus (<i>Bajec et al. 2020</i>)
Tiedon siirto yrityksessä Työntekijöiden kouluttaminen ja työtapojen standardointi	Käsitellyt tilaukset per työntekijä (<i>Karim et al. 2021</i>) Terveys- ja turvallisuuskoulutusten määrä Työtapaturmat (<i>Bajec et al. 2020</i>)
Layoutin muutos Simulointi	Tahtiaika (<i>Abideen & Mohamad 2020, Rungruengkultorn & Boonsiri 2022</i>) Odotusaika (<i>Rahman et al. 2021</i>)
Operaatioiden tehostaminen	Läpimenoaika (<i>Rungruengkultorn & Boonsiri 2022</i>) Varastosta lähtevä materiaali (<i>Karim et al. 2021</i>)
Työvaiheiden automatisointi	Vastaanotetut tilaukset (<i>Sarasi et al. 2024</i>) Myöhästyneet toimitukset Myöhästymisistä aiheutuneet tulonmenetykset (<i>Karim et al. 2021</i>) Tilausten oikeellisuus (<i>Frazelle, Karim et al. 2021 mukaan</i>) Vaurioituneet tuotteet (<i>Sun et al. 2021</i>)
Tilaratkaisuiden muutos, esimerkiksi hyllyjärjestelmät	Varaston tilan hyödyntämistäaste (<i>Rahman et al. 2021, Sarasi et al. 2024</i>)
Ulkoistaminen	Toimitusaika (<i>Demirkıran & Öztürkođlu 2022</i>) Kustannukset per tuote tai tilaus (<i>Karim et al. 2021</i>)
Tuotteiden priorisointi sijoittelussa	Aika, joka kuluu tuotteen vastaanottamiseen (<i>Frazelle, Karim et al. 2021 mukaan</i>) Aika, joka kuluu tuotteen poimimiseen Varaston sisäiset kuljetuskustannukset (<i>Baruffaldi et al. 2020</i>)

3.3.1 Teollisuus 4.0 varastojen toiminnan kehittämisessä

Käytettävää mittausjärjestelmää voidaan kehittää, sillä toiminnan luonteen muuttuessa myös mittariston on vastattava muutokseen. Mittareiden tarkkuuteen voidaan vaikuttaa uusien teknologioiden avulla, sillä automatisoidut tietomallit ja teollisuus 4.0 kehittyvät koko ajan. (Trtílek & Hanák 2021) Teollisuus 4.0:lla tarkoitetaan internet- ja älykkyyss pohjaisia järjestelmiä teollisuuden laitteissa. Näiden teknologioiden avulla mittausprosessit tarkentuvat ja tehostuvat, ja niitä voidaan myös muokata joustavamiksi eri tarkoituksia varten. (Nantee & Sureeyatanapas 2021) Järjestelmiä on sovellettu myös varastojen toiminnassa (Nantee & Sureeyatanapas 2021), sillä joillakin yrityksillä on jo käytössä itsenäisesti toimivia robotteja varastohallinnan apuna (Grover & Ashraf 2023). Näillä voi olla suoraa vaikutusta varastojen suorituskykyyn tai ne saattavat tuottaa yksityiskohtaisempaa tietoa varastojen suorituskyvyn mittaamiseen käytettävien mittareiden tuloksista.

Jotta valituista mittareista saataisiin suurin hyöty, on niitä varten kerättävän tiedon oltava laadukasta, ajankohtaista ja helposti saatavilla, erityisesti jos yksityiskohtia on paljon (Baruffaldi et al. 2020). Älykkäiden varastojen tietoverkosto ulottuu kaikkialle yrityksen toimintoihin. Esineiden internet (engl. internet of things”, IoT) mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon varasto- ja tuotantotoimenpiteistä, joka yrityksen järjestelmissä kootaan yhteen muista tietojärjestelmistä saatavan tiedon kanssa. (He et al. 2021) Näitä järjestelmiä ovat esimerkiksi varastojen lähetysjärjestelmät ja tuotannonohjausjärjestelmät (He et al. 2021) sekä varastohallintajärjestelmä (Rahman et al. 2021). Järjestelmissä oleva reaaliaikainen tieto parantaa tuotantopäällikön kokonaiskuvaa varastoinnista, sillä se helpottaa materiaalin määrän ja sijainnin määrittämistä (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022). Käytettäviä tietojärjestelmiä kehittämällä voidaan parantaa varaston tuottavuutta ja tarkkuutta, sillä tietojärjestelmät vaikuttavat lähes kaikkiin varasto-operaatioihin (Rahman et al. 2021). Kaikkialla saatavilla oleva tieto mahdollistaa kokonaisvaltaisen kuvan yrityksen toiminnasta. Vaikka varastohallinnan suorituskyvyn mittaamiseen käytettäisiin edelleen vain varasto-operaatioihin liittyviä muuttujia, saattaa kaikkialle ulottuva tietojärjestelmäverkosto tarjota taustatietoa ja syitä ilmiöille. (He et al. 2021) Myös tuotantopäällikköä kiinnostaa tämä näkökulma varaston suorituskyvyssä, sillä tuotanto-operaatiot ovat toimintoja, joihin hänellä on vaikutusta.

Älykästä teollisuutta voidaan käyttää monien eri mittareiden parantamiseen. Älykkäällä teknologialla voi hallita materiaalin kiertoa varastoissa, joka vaikuttaa varastojen resursien käyttöön (Nantee & Sureeyatanapas 2021). Näihin resursseihin voidaan laskea työvoima ja laitteet (Rahman et al. 2021) sekä ympäristöresurssit (Bajec et al. 2020). Tämän

lisäksi älykästä teollisuutta ja teollisuus 4.0:aa voidaan käyttää parantamaan työntekijöiden suorituskykyä, asiakastytyvyyttä ja toimittaja-arviointia sekä pienentämään varastojen ja varmuusvaraston kokoja ja varastoinnista syntyviä kustannuksia (Govindan et al. 2022).

3.3.2 Varasto-operaatioiden ja varaston ominaisuuksien kehitystoimenpiteet

Varaston työntekijät ovat ominaisuus, joka vaikuttaa moniin mittareihin ja varaston suorituskykyyn (Rahman et al. 2021). Esimerkiksi tuottavuuden muodostumisessa työntekijät ovat isossa osassa. Jotta työntekijöiden suorituskyky kehittyisi, on kommunikaation eri osastojen ja sidosryhmien välillä oltava toimivaa. Tiedonsiirto voi tapahtua hiljaisesti työntekijöiden kanssakäymisessä tai tietojärjestelmien kautta. (Sarasi et al. 2024) Työntekijöitä on myös koulutettava (Sarasi et al. 2024), aivan niin kuin tietojärjestelmiä on päivitettävä (Rahman et al. 2021). Kouluttaminen on laitteisiin ja tietojärjestelmiin perehdyttämistä, päivitysten opettamista ja työtapojen standardoimista. Standardoimalla työtavat saadaan suorituskykymittarien tuloksista vertailukelpoisempia. Samalla myös osaamistaso kasvaa, jolloin turvallisuus paranee ja työtaturmat vähenevät. Alhainen työtaturmien määrä on merkki hyvän suorituskyvyn varastosta. (Sarasi et al. 2024) Se kertoo myös varaston sosiaalisesta kestävydestä (Bajec et al. 2020). Vuosittaisten työtaturmien määrän mittaamisen lisäksi myös muut kehitystoimenpiteet edistävät turvallisuutta varastoissa. Näitä kehitystoimenpiteitä ovat edellä mainittu standardointi, varaston yleinen siisteystaso sekä layout. Myös järjestelemällä varastointitoimintoja uudelleen turvallisuus lisääntyy. (Salhieh & Alswaer 2021)

Varaston layoutia kehitettäessä muutetaan varaston sisäisiä ja ulkoisia alueita (Zhen & Li 2022). Tähän kuuluvat varastointi- ja materiaalien käsittelylaitteet, jotka vaikuttavat varaston resurssien käyttöön (Sarasi et al. 2024). Layoutin kehitys toteutetaan esimerkiksi läpimenoajan parantamiseksi (Abideen & Mohamad 2020). Mallintamalla varastointiprosessi visuaalisesti parannetaan operaatioiden turvallisuutta, kehitetään kokonaistehokkuutta ja vähennetään kustannuksia. (He et al. 2021) Varaston layoutin muutos kannattaakin ensin testata rakentamalla erilaisia virtuaalisia simulointimalleja ja tämän jälkeen vasta implementoida varastoon. Samalla pystytään vähentämään myös ei-arvoa tuottavan työn osuus varasto-operaatioista. (Abideen & Mohamad 2020)

Yksi tarkasteltavista mittarikokonaisuuksista oli aika. Koska varastointioperaatiot muodostavat prosessin, vaikuttavat useat mittarit toisiinsa ainakin välillisesti. Läpimenoaika kertoo, kuinka kauan tuote on varastossa, eli kuinka kauan sille suoritettaviin varasto-

operaatioihin kuuluu kokonaisuudessaan aikaa (Abideen & Mohamad 2020). Läpimenoaikaan vaikuttaa varastosta lähtevän materiaalin määrä, sillä varasto-operaatiot on suunniteltava ja aikataulutettava tuotteiden määrän mukaan (Rahman et al. 2021). Suoritettavat varasto-operaatiot ovat vastaanotto, varastointi ja toimitus. Näistä varastointitehtävä voidaan jakaa useaan yksittäiseen toimintoon, kuten numerokoodaamiseen, paikan etsimiseen, hyllyttämiseen ja poimintaan. (Demirkıran & Öztürkoğlu 2022) Näitä operaatioita ja toimintoja tehostamalla voidaan parantaa läpimenoaikaa. Aikoja kehittäessä tuotteet priorisoidaan asiakkaiden tärkeyden mukaan (Zhen & Li 2022), jolloin myös asiakastytyväisyys lisääntyy. Läpimenoaikaa kehittämällä pystytään paremmin ennustamaan tuotettujen tuotteiden kokonaismäärä. Ennustettavuutta parantamalla lisätään myös sidosryhmien tyytyväisyyttä varastoihin, sillä asiakastarpeet pystytään täyttämään paremmin ja kuljetusyritysten odotusaika pienenee. Myös varaston omat toiminnot sujuvat ennustettavuuden parantuessa dynaamisemmin, ilman ylimääräisiä pullonkauloja tai odotusaikoja. (Rahman et al. 2021)

Eräs tapa lyhentää läpimenoaikaa on varastointitehtävän poistaminen kokonaan operaatioista. Tätä kutsutaan ristitelakoinniksi (engl. cross-docking). Ristitelakointiprosessissa materiaali vastaanotetaan vastaanottoalueella, järjestellään uudelleen muiden saapuneiden materiaalien kanssa lähetysalueelle ja suoraan tämän jälkeen lähetetään asiakkaalle. Menetelmä lyhentää selvästi tuotteen läpimenoaikaa, sillä varastointi ja siihen liittyvät toiminnot saattavat olla hyvinkin aikaa vieviä. Parhaiten ristitelakointi soveltuu isoille JIT-toimintaa harjoittaville yrityksille tilanteisiin, kun kysyntä on melko matalaa ja stabiilia. (Lyu et al. 2020)

Automatisoimalla työvaiheita vähennetään inhimillisiä virheitä ja tieto löydetään nopeammin (Rungruengkultorn & Boonsiri 2022). Lisäksi automatisoimalla varasto-operaatioita voidaan esimerkiksi trukkien reittejä optimoida (He et al. 2021). Tämän voi toteuttaa RFID-tekniikalla, joka lisäksi parantaa toimitustarkkuutta automatisoimalla asiakkaan ja määränpään tarkistamisen (Lyu et al. 2020). RFID-tekniikka (radio frequency identification, suom. radiotaajuustunnistus) tunnistaa tuotteet automaattisesti ja lisää ne yrityksen tietojärjestelmään (Zhen & Li 2022) käyttämällä tuotteeseen liitettyä tunnistustägiä (Lyu et al. 2020). Tekniikka lisää varaston tehokkuutta parantamalla tiedon kulkua eri varasto-operaatioiden välillä (Zhen & Li 2022).

Varaston varastointitilan määrittävät käytetty hyllyjärjestelmä, varastointia varten hyväksytty lattiapinta-ala ja käytössä oleva automaattioratkaisu. Tilankäytön hyödyntämisellä pystytään parantamaan varaston suorituskykyä ja käytettävyyttä. (Rahman et al. 2021) Riippuen tuotantolaitoksesta varaston tilantarve saattaa erota hyvinkin paljon. Ratkaisu

omaan tilanpuutteeseen tai korkeisiin vuokratukustannuksiin tilasta on varaston ulkoistaminen joko toimittajalle (Lyu et al. 2020) tai kolmannelle osapuolelle (Baglio et al. 2023). Varaston ulkoistamisessa kolmannelle osapuolelle hyötynä on, että yritys voi keskittyä omaan ydintoimintaansa (Baglio et al. 2023). Lisäksi vahvat suhteet sidosryhmiin luovat kilpailuetua. Kun varastointi ulkoistetaan toimittajalle, saa toimittaja paremman kuvan asiakaskysynnästä ja toimitusketjusta, kun jälleenmyyjien tilauksia täytetään omista varastoista. Tämä vahvistaa toimittajan asemaa markkinoilla, vaikka se toimiikin tuotantoyrityksen alaisena. (Lyu et al. 2020) Kolmas osapuoli on usein logistiikkayritys, jonka toimintaan kuuluu toimituksien lisäksi varastointi (Baglio et al. 2023) tai varastohub, jossa usean eri tuotantolaitoksen tuotteita varastoidaan ja välitetään toimittajille (Lyu et al. 2020). Kolmas osapuoli saa usein strategista hyötyä tarjoamalla kyseistä palvelua (Baglio et al. 2023), mikä palvelee teollisuusyrityksiä, jotka eivät itse pysty tai halua varastoida tuotteitaan tai materiaalejaan. Päinvastaisessa tapauksessa, mikäli tilaa on liikaa, voidaan myös ylimääräinen tila vuokrata kolmannelle osapuolelle (Rahman et al. 2021).

Koska varaston sisäistä logistiikkaa mitattiin useammallakin mittarilla eri kategorioissa, vaikuttaa sen kehittäminen merkittävästi varaston suorituskykyyn. Sisäiseen logistiikkaan kuluva aikaa voi vähentää optimoimalla paikalleen laitton ja erityisesti poiminnan reittejä ja järjestystä, jolloin kokonaisuudessaan kuljettu matka pienenee. (Baruffaldi et al. 2020) Reittien lisäksi tuotteita voidaan poimia useampia kerralla (Zhen & Li 2022). Jo pelkästään ajan väheneminen vaikuttaa sisäisestä logistiikasta aiheutuviin kustannuksiin, mutta lisää säästöjä saadaan päivittämällä käytettävää laitteistoa (Baruffaldi et al. 2020). Tässäkin siis uusien teknologioiden käyttöönotto parantaa varaston suorituskykyä. Lisäksi sisäiseen logistiikkaan kuluva aikaa voidaan Baruffaldin et al. (2020) mukaan lyhentää arvottamalla ja luokittelemalla varastoitavia tuotteita sen mukaan, kuinka nopeasti ne on toimitettava. Tämän voi toteuttaa esimerkiksi jakamalla varaston sektoreihin, joiden tuotteiden haluttu toimitusnopeus vaihtelee, ja sijoittelemalla nämä sektorit eri etäisyyksille lähetyspisteestä (Baruffaldi et al. 2020). Lisäksi sijoittelussa kannattaa ottaa huomioon, mitkä tuotteet muodostavat kokonaisuuden asiakkaalle ja toimitetaan yhdessä. Nämä voidaan sijoittaa joko toistensa lähelle varastoon tai koota näistä jo valmiiksi kokonaisuuksia asiakkaalle. (Salhieh & Alswaer 2021)

4. PÄÄTELMÄT

Kandidaatintyössä löydettiin 22 kappaletta varaston suorituskykymittareita, jotka luokiteltiin kahdella tavalla: mittauskategorian eli mitattavan asian ja varaston ominaisuuden mukaan. Työssä käsitellyt mittauskategorioita olivat aika, tuottavuus, kustannukset, laatu ja asiakastyytyväisyys sekä kestävyys (Staudt et al. 2015, Faveto et al. 2021). Löydetty mittarit on koottu mittauskategorian mukaiseen taulukkoon 4.

Taulukko 4. Varaston suorituskykymittarit.

Mittauskategoria	Varaston suorituskykymittari	Lähde
Aika	Tahtiaika Läpimenoaika Odotusaika Tuotteen vastaanottamiseen ja poimimiseen kuluva aika Toimitusaika	Abideen & Mohamad 2020; Baruffaldi et al. 2020; Frazelle, Karim et al. 2021 mukaan; Rahman et al. 2021; Demirkıran & Öztürkođlu 2022; Rungruengkultorn & Boonsiri 2022
Tuottavuus	Varastosta lähtevä materiaali Myöhästyneet toimitukset Käsitellyt tilaukset per työntekijä Vastaanotetut tilaukset Tilan hyödyntämisaste	Karim et al. 2021, Rahman et al. 2021, Sarasi et al. 2024,
Kustannukset	Myöhästymisistä aiheutuneet tulonmenetykset Kustannukset per tuote tai tilaus Varaston sisäiset kuljetuskustannukset Työntekijöistä aiheutuvat kustannukset	Baruffaldi et al. 2020, Karim et al. 2021, Dimitrov & Saraceni 2023
Asiakastyytyväisyys	Tilausten oikeellisuus Vaurioituneet tuotteet Joustavuus	Beamon, Staudt et al. 2015 mukaan; Frazelle, Karim. et al 2021 mukaan, Sun et al. 2021
Kestävyys	Kasvihuonekaasupäästöt Veden kulutus Sähkön kulutus Terveys- ja turvallisuuskoulutusten määrä Työtapaturmat	Bajec et al. 2020

Mittareita pystytään jakamaan useampaan mittauskategoriaan tai niitä voidaan käyttää osana erilaisia viitekehyksiä (Abideen & Mohamad 2020, Salhieh & Alswaer 2021). Koska työn tavoitteena ja yhtenä tutkimuskysymyksenä oli löytää erilaisia luokitteluja,

päädyttiin valitsemaan valmiiden viitekehysten ja mallien luomisen sijasta luokitteluperusteiksi mittauskategoriat. Kirjallisuuskatsauksella löydetyt mittarit luokiteltiin mittauskategorioiden lisäksi varaston ominaisuuksille, joita olivat sijainti, layout, palvelun laatu, teknologisuus ja työntekijät (Sarasi et al. 2024). Näin löydettiin tärkeimmät kehityskohdeet. Jokainen mittari yhdistettiin myös konkreettiseen varaston toiminnan kehitystoimenpiteeseen taulukossa 3.

Kandidaatintyön tulosten perusteella suurin osa varaston suorituskykymittareista kohdistuu varaston palvelun laatuun. Tätä tukee väite, jonka mukaan varaston suorituskyvyllä ja palvelun laadulla on samoja mittareita (Baglio et al. 2023). Tulos on järkevä, sillä varastojen suorituskykytavoitteet liittyvät asiakkaiden tarpeiden täyttämiseen (Faveto et al. 2021) ja varastojen toimintaa toteutetaan asiakkaita varten (Rahman et al. 2021). Mikäli halutaan siis keskittyä asiakastyytyvyyteen, kannattaa ensisijaisesti panostaa taulukon 2 kolmannen sarakkeen mittareihin. Yksittäistä merkittävintä mittaria työssä ei löydetty, sillä tärkein mittari riippuu varaston tavoitteista (Karim et al. 2021). Olennaisimmiksi mittareiksi nostettiin tuottavuus kokonaisuudessaan (Tokat et al. 2022), tilan ja laitteiden hyödyntämisaste (Karim et al. 2021) sekä näitä tukemaan varastohallinnassa käytettävät tietojärjestelmät (He et al. 2021, Rahman et al. 2021).

Tulosten mukaan eniten varaston suorituskykyyn vaikuttavat tekijät ovat varastojen sisäinen logistiikka sekä varastojen työntekijät, sillä näihin varaston ominaisuuksiin löydettiin eniten mittareita. Jälkimmäinen tuloksista oli hieman yllättävä, sillä alkuoletuksena oli, että suuren koko luokan yrityksissä varastotoiminta halutaan pitää inhimillisistä tekijöistä riippumattomana. Monet yritykset ovatkin ratkaisseet ongelmat standardoimalla operaatioita ja toimintoja (Salhieh & Alswaer 2021). Sisäiseen logistiikkaan kuuluu useita asioita, jotka näkyvät varasto-operaatioiden käytännön toteutuksessa, joten on loogista, että se vaikuttaa paljon varaston suorituskykyyn. Sisäisessä logistiikassa kannattaa kehittää erityisesti tilankäyttöastetta (Karim et al. 2021) ja panostaa layoutin tehokkuuteen (Abideen & Mohamad 2020).

Merkittävimmat parannukset varaston suorituskykyyn saadaan ottamalla uusia teknologioita käyttöön varastointiprosesseissa (Trtílek & Hanák 2021). Taulukon 3 mukaan teknologisuus ja automaatio vaikuttavat välillisesti useisiin varaston toimintoihin (Govindan et al. 2022). Tämä huomattiin, kun tutkittiin kehitysehdotuksia varaston toimintaan, sillä teknologiset sovellukset ja apuvälineet olivat merkittävässä osassa uusimpien tutkimuksien kehitysideoita. Näihin myös kohdistettiin määrällisesti eniten varaston suorituskyky-mittareita taulukossa 3. Soveltamalla mittaamiseen ja varastointiprosessiin uusinta teknologiaa, saadaan mittareista tarkempia ja varaston suorituskykyä nostettua (Faveto et al. 2021, Karim et al. 2021, Trtílek & Hanák 2021).

Tuloksiin on valittu vain kandidaatintyön kannalta oleelliset suorituskykykymittarit, mutta todellisuudessa määrä on hyvin paljon suurempi. Erilaisella luokittelulla ja valintaperusteilla suorituskykykymittarit voivat olla hyvinkin erilaisia. Kandidaatintyön tuloksista nähdään myös, että varastojen suorituskyvyn arviointi ja toiminnan kehittäminen ei ole yksinkertaista, sillä ne vaativat niin taustatyötä kuin aktiivista oman toiminnan ja mittausjärjestelmän arviointia. Valmiista mittaristosta voivat valmistavan teollisuuden yritykset valita oman toimintansa arviointiin sopivimmat.

Yllättävää tuloksissa oli, että ennakkoon itsestänselvyytenä pidetyt mittarit eivät nouse alan kirjallisuudessa esille, vaikka niitä on käsitelty opinnoissa useammallakin kursilla. Näitä mittareita ovat esimerkiksi varaston kiertonopeus ja varastoon sitoutunut pääoma. Yksi syy tälle voi olla kandidaatintyössä valittu tuotantopäällikön näkökulma, jonka perusteella aineisto ja mittarit valikoituivat. Tuotantotalouden kursseilla on käynyt ilmi, että näitä mittareita käytetään johdon laskentatoimen tukena, kun suunnitellaan yrityksen toimintaa kokonaisuudessaan. Nämä eivät siis todennäköisesti tuotannosuunnittelunäkökulmasta ole yhtä olennaisia, jonka vuoksi ne eivät nousseet alan kirjallisuudessa esille.

Tulevissa tutkimuksissa ja kirjallisuuskatsauksissa varaston suorituskyvystä mielenkiintoisia tutkimuskohteita olisivat mielestäni esimerkiksi varastonhallinnassa käytettävät teknologiat sekä teollisuus 4.0:n tarjoamat mahdollisuudet suorituskyvyn mittaamiselle. Lisäksi suorituskykyyn ja sen mittaamiseen voidaan syventyä tarkemmin esimerkiksi tarkastelemalla jotakin tiettyä varasto-operaatiota koko prosessin sijasta. Näin saataisiin yksityiskohtaisempi kuva varaston toiminnasta. Mikäli esimerkiksi yritys tunnistaa mittariston perusteella toiminnassaan selkeän kehityskohteen, voisi olla mielenkiintoista tutkia yksittäistä varasto-operaatiota kokonaisvaltaisesti. Tällöin käsittelyssä olisi koko operaation prosessi, sen vaatimat resurssit ja rajoitukset, lopputulos ja tietysti mittarit, joilla arvioida koko toimintaa.

LÄHTEET

- Abideen, A., & Mohamad, F. B. (2021). Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation. *Journal Of Modelling In Management*, 16(1), 70–102. <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2019-0159>
- Baglio, M., Creazza, A., & Dallari, F. (2023). The "Perfect" Warehouse: How Third-Party Logistics Providers Evaluate Warehouse Features and Their Performance. *Applied Sciences-Basel*, 13(12), 6862. <https://doi.org/10.3390/app13126862>
- Baglio, M., Perotti, S., Dallari, F., & Garagiola, E. R. (2019). Benchmarking logistics facilities: A rating model to assess building quality and functionality. *Benchmarking-An International Journal*, 27(3), 1239–1260. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2019-0029>
- Bajec, P., Tuljak-Suban, D., & Bajor, I. (2020). A Warehouse Social and Environmental Performance Metrics Framework. *Promet-Traffic & Transportation*, 32(4), 513–526.
- Baruffaldi, G., Accorsi, R., Manzini, R., & Ferrari, E. (2020). Warehousing process performance improvement: A tailored framework for 3PL. *Business Process Management Journal*, 26(6), 1619–1641. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2019-0120>
- Cannings, A., & Hills, T. (2012). A framework for auditing HR: Strengthening the role of HR in the organisation. *Industrial and Commercial Training*, 44(3), 139–149. <https://doi.org/10.1108/00197851211216745>
- Demirkiran, Y., & Ozturkoglu, O. (2022). Key Performance Measures and Digital-Era Technologies in Warehouses. *Operations And Supply Chain Management-An International Journal*, 15(2), 193–204.
- Dimitrov, L., & Saraceni, A. (2023). Ranking model to measure energy efficiency for warehouse operations sustainability. *Journal Of Cleaner Production*, 428, 139375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139375>
- Faveto, A., Traini, E., Bruno, G., & Lombardi, F. (2021). Development of a key performance indicator framework for automated warehouse systems. *Ifac Papersonline*, 54(1), 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.013>
- Govindan, K., Kannan, D., Jorgenser, T. B., & Nielsen, T. S. (2022). Supply Chain 4.0 performance measurement: A systematic literature review, framework development, and empirical evidence. *Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review*, 164, 102725. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102725>
- Grover, A. K., & Ashraf, M. H. (2023). Leveraging autonomous mobile robots for Industry 4.0 warehouses: A multiple case study analysis. *International Journal Of Logistics Management*. <https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2022-0362>
- He, H., Wang, X., Peng, G., Xu, D., Liu, Y., Jiang, M., Wu, Z., Zhang, D., & Yan, H. (2021). Intelligent logistics system of steel bar warehouse based on ubiquitous information. *International Journal Of Minerals Metallurgy And Materials*, 28(8), 1367–1377. <https://doi.org/10.1007/s12613-021-2325-z>
- Kang, S. (2020). Warehouse location choice: A case study in Los Angeles, CA. *Journal Of Transport Geography*, 88, 102297. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.08.007>
- Karim, N. H., Rahman, N. S. F. A., Hanafiah, R. M., Hamid, S. A., Ismail, A., Abd Kader, A. S., & Muda, M. S. (2021). Revising the warehouse productivity measurement indicators: Ratio-based benchmark. *Maritime Business Review*, 6(1), 49–71. <https://doi.org/10.1108/MABR-03-2020-0018>

- Lapinleimu, I. (2001). *Ideaalitehdas: Tehtaan suunnittelun teorian kiteytys* (2. hiukan korj. p.). en tek-nillinen korkeakoulu.
- Lyu, Z., Lin, P., Guo, D., & Huang, G. Q. (2020). Towards Zero-Warehousing Smart Manufacturing from Zero-Inventory Just-In-Time production. *Robotics And Computer-Integrated Manufacturing*, 64, 101932. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101932>
- Md Hanafiah, R., Karim, N. H., Abdul Rahman, N. S. F., Abdul Hamid, S., & Mohammed, A. M. (2022). An Innovative Risk Matrix Model for Warehousing Productivity Performance. *Sustainability*, 14(7), 4060. <https://doi.org/10.3390/su14074060>
- Nantee, N., & Sureeyatanapas, P. (2021). The impact of Logistics 4.0 on corporate sustainability: A performance assessment of automated warehouse operations. *Benchmarking: An International Journal*, 28(10), 2865–2895. <https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2020-0583>
- Rahman, N. S. F. A., Karim, N. H., Hanafiah, R. M., Hamid, S. A., & Mohammed, A. (2023). Decision analysis of warehouse productivity performance indicators to enhance logistics operational efficiency. *International Journal Of Productivity And Performance Management*, 72(4), 962–985. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2021-0373>
- Rungruengkultorn, P., & Boonsiri, S. (2022). Warehouse Processes Improvement Using Lean Six Sigma and RFID Technology. *International Journal Of Mathematics And Computer Science*, 17(3), 1175–1186.
- Salhieh, L., & Alswaer, W. (2021). A proposed maturity model to improve warehouse performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(8), 3724–3746. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2021-0043>
- Sarasi, V., Chaerudin, I., & Nurfauzia, F. (2024). Performance of omnichannel warehouse of Muslim fashion company in Indonesia based on workforce, equipment, space, and information system aspects. *Cogent Social Sciences*, 10(1), 2302214. <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2302214>
- Schlosser, R. W., Wendt, O., Bhavnani, S., & Nail-Chiwetalu, B. (2006). Use of information-seeking strategies for developing systematic reviews and engaging in evidence-based practice: The application of traditional and comprehensive Pearl Growing. A review. *International Journal Of Language & Communication Disorders*, 41(5), 567–582. <https://doi.org/10.1080/13682820600742190>
- Staudt, F. H., Alpan, G., Di Mascolo, M., & Rodriguez, C. M. T. (2015). Warehouse performance measurement: A literature review. *International Journal Of Production Research*, 53(18), 5524–5544. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030466>
- Sun, J., Zhang, F., Lu, P., & Yee, J. (2021). Optimized modeling and opportunity cost analysis for overloaded interconnected dangerous goods in warehouse operations. *Applied Mathematical Modelling*, 90, 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.09.007>
- Tokat, S., Karagul, K., Sahin, Y., & Aydemir, E. (2022). Fuzzy c-means clustering-based key performance indicator design for warehouse loading operations. *Journal Of King Saud University-Computer And Information Sciences*, 34(8), 6377–6384. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.08.003>
- Trtilek, P., & Hanak, T. (2021). Contracts' Performance Measurement in Czech Construction Companies. *Civil And Environmental Engineering Reports*, 31(4), 214–236. <https://doi.org/10.2478/ceer-2021-0058>
- Yu, S., Shin, G.-H., & Kim, S. (2023). The Impact of Government Performance Evaluation on Environmental Performance in Organizations. *Public Performance & Management Review*, 46(4), 771–792. <https://doi.org/10.1080/15309576.2023.2184400>

Zhen, L., & Li, H. (2022). A literature review of smart warehouse operations management. *Frontiers Of Engineering Management*, 9(1), 31–55. <https://doi.org/10.1007/s42524-021-0178-9>