

Sami Joronen

# KERÄILYN TEHOSTAMINEN TUOTAN- NON VARASTOISSA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kesäkuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Sami Joronen: Keräilyn tehostaminen tuotannon varastoissa  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikka  
Kesäkuu 2023

---

Varastojen minimointi on usein asia, jota käsitellään tuottavassa teollisuudessa. Varastojen minimoinnissa on kuitenkin riskinsä, sillä esimerkiksi lakkojen tai logistiikkaketjun ruuhkautumisen seurauksena materiaalivirta voi katketa. Ilman riittävän suurta varmuusvarastoa materiaalivirran katkeamisesta seuraa tuotannon keskeytyminen, joka johtaa suurin kustannuksiin. Täten voidaan todeta, että varastot eivät tule kokonaan poistumaan käytöstä lähitulevaisuudessa, joten ratkaistavaksi jää miten varastoprosessi saadaan tehokkaaksi, jotta voidaan vapauttaa varastoprosessiin sidottuja resursseja.

Työn tavoitteena on tutkia keräilyn tehostamista tuotannon varastoissa. Keräilyn tehostamista lähdetään tutkimaan ensiksi layout-suunnittelun pohjalta. Layout-suunnittelu on kriittinen vaihe tehokkaan varaston luomisessa, sillä huonon layoutin päälle on mahdotonta rakentaa tehokasta varastoa. Tutkimuksessa tutkitaan yleisiä layoutratkaisuja ja systemaattisen layout-suunnittelun menettelytapaa, jota voidaan käyttää optimaalisen layoutratkaisun valitsemiseen.

Tässä työssä tutkitaan yleisiä ja toimivia työkaluja, joita käytetään virtaustehokkuuden kehittämiseen. Yleisiä työkaluja, joita käsitellään ovat lean-johtamisfilosofian sisältämät työkalut, joita ovat 5S, Just-In Time, sekä pullonkaulaohjaus. Lisäksi käsitellään varastoprosessiin ja keräilyyn spesifisti liittyviä työkaluja ja käytäntöjä, kuten reititys- ja keräilymenetelmiä, sekä luokkapohjaista varastointia.

Työ toteutetaan kuvailevana kirjallisuuskatsauksena, jossa aineistoa on kerätty käyttäen Google Scholar sekä Andor-hakupalveluja. Käytetyt aineistot ovat vertaisarvioituja artikkeleita sekä kirjoja. Aineistojen julkaisuajankohtaa ei ole rajattu, sillä varastoprosessissa ja sen tehostamiseen käytetyissä työkaluissa ei ole tapahtunut suuria muutoksia viime vuosikymmenien aikana, kuitenkin on pyritty käyttämään mahdollisimman tuoreita artikkeleita.

Tutkimuksen tuloksena saatiin, että mikään yksittäinen layoutratkaisu ei ole yleisesti paras. Yleisen parhaan layoutratkaisun sijaan systemaattinen layout-suunnittelu on paras tapa valita varaston layoutratkaisu, sillä sen avulla voidaan selvittää varastoprosessin muuttuja, jonka pohjalta tehdään informoitu päätös layoutista. Tutkimuksen perusteella saatiin myös koottua työkaluja, joiden oikeaoppinen käyttö mahdollistaa keräilyn tehostamisen. Näitä työkaluja on 5S, Just-In Time sekä pullonkaulaohjaus. Lisäksi päädyttiin johtopäätökseen, että ABC-analyysiin perustuva luokkapohjainen varastointi, sekä heuristiikkaan perustuvalla reitityskäytännöillä voidaan huomattavasti tehostaa keräilyä ja täten varastoprosessia.

Avainsanat: layout-suunnittelu, lean, virtaustehokkuus, keräily

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. VARASTON TOIMINTA JA LAYOUT-SUUNNITTELU .....	3
2.1 Varaston toiminta ja tukitoimenpiteet.....	4
2.2 Luokkapohjainen varastointi.....	7
2.3 Klassiset sisäisen layoutin-mallit .....	8
2.4 Modernit sisäisen layoutin mallit.....	11
3. VIRTAUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN .....	13
3.1 Lean varastoissa.....	13
3.2 Tilausten reititys- ja keräilykäytännöt.....	15
4. TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	17
5. YHTEENVETO.....	21
LÄHTEET .....	22

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

ADU	engl. Annual Dollar Usage, vuotuinen dollarien käyttö
JIT	engl. Just-In Time, johtamisfilosofia, jota käytetään teollisuudessa
SKU	engl. Stock Keeping Unit, tunniste varaston seurantaan
SLP	engl. Systematic Layout Planning, järjestelmällinen layout-suunnittelu

# 1. JOHDANTO

Varasto on suuri rakennus, jossa varastoidaan tuotteita ja tavaroita ennen jakelua (Davies, 2008). Vaikka termi varastointi herättää usein negatiivisia mielikuvia, kuten korkeita kustannuksia ja ei-arvoa lisääviä toimenpiteitä, käytännössä kuitenkin useimmat yritykset joutuvat varastoimaan tuotteitaan erinäisistä syistä. Esimerkiksi kappaletavarateollisuudessa tuotantoketjut, jotka on suunniteltu toimimaan Just-in-Time toimitusmenetelmällä työskentelevät usein minimoidulla varastolla. Minimoidun varaston riski on se, että ulkoisten syiden, kuten logistiikan lakkojen vuoksi materiaalit voivat loppua ja kallis tuotanto pysähtyy. Siksi yksi varastoinnin tärkeimmistä syistä kappaletavarateollisuudessa on varmistaa tuotannon jatkuminen. (Hompel, 2006)

Kun yritykset yrittävät parantaa varastojensa tehokkuutta, huomataan usein, että tilausten keräilyssä on eniten kehitettävää. Tilausten keräilyllä tarkoitetaan prosessia, jossa varastosta kerätään tiettyyn tilaukseen tai tuotteeseen vaadittavat tuotteet. Tilausten keräily on varaston operaatioista työläin, kun käytetään manuaalista keräilyä ja kaikista kallein perustaa, kun käytetään automatisoitua keräilyä. (Tompkins et al. 2010) Tyypillisesti varastossa tilauksen keräilyssä kuluu noin 50 % ajasta siirtymisiin (de Koster et al. 2007).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia mahdollisia layoutratkaisuja ja selvittää miten voidaan tehdä informoitu päätös layoutratkaisusta. Lisäksi tutkimuksessa tutkitaan mahdollisia työkaluja ja menetelmiä, joita voidaan käyttää valmiin varaston keräilyn tehostamiseen. Tutkimuksessa käsitellään varastoprosessia kappaletavarateollisuuden, sekä manuaalisen keräilyn näkökulmasta. Näiden tavoitteiden valossa rajataan tutkimuskysymyksiksi:

K1. Millaisia varaston layoutratkaisuja on olemassa ja miten valitaan optimaalinen layout?

K2. Miten varastointi- ja keräilyprosesseja tehostetaan?

Tutkimus on toteutettu kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tarjoaa kattavan yhteenvedon olemassa olevista tutkimuksista ja julkaisuista tietystä aiheesta. (Salminen, 2011) Aineistoa on kerätty Google Scholar sekä Andor-hakupalveluista. Aineistot on rajattu vain vertaisarvioituihin artikkeleihin pyrkimyksenä valita

vain tuoreimpia artikkeleita, mutta koska varastoprosessissa tai sen tehostamiseen käytetyissä työkaluissa ei ole tapahtunut suuria innovaatioita viime vuosien aikana tutkimuksessa käytetään myös vanhempaa kirjallisuutta.

Varastoprosessin perusteiden ymmärtämiseksi työn luvussa 2 käsitellään varastoprosessia, varaston layout-suunnittelua sekä varaston järjestystä. Luku alkaa pohjustamalla käsiteltävät aiheet, jonka jälkeen syvennyttään varaston toimintaan ja mahdollisiin tukitoimenpiteisiin. Varaston toiminnan jälkeen käsitellään metodeja varaston järjestyksen määräämiseen. Luku päätetään esittelemällä klassisia ja moderneja layoutratkaisuja, joita käytetään varastoissa.

Kolmannessa luvussa käsitellään yleisiä työkaluja, joita käytetään virtaustehokkuuden parantamiseksi varastoissa. Ensimmäisenä esitellään lean-johtamisfilosofia ja sen alle lukeutuvat työkalut, joita käytetään yleisesti tuotannossa virtauksen tehostamiseen. Luku päätetään esittelemällä reititys- ja keräilykäytäntöjä, joiden ymmärtäminen on kriittistä tehokkaan varaston toiminnalle.

Luvuissa 4 ja 5 pyritään yhdistämään aiemmin käsitellyt aiheet, siten että luvussa 4 tuodaan esille tulokset ja johtopäätökset, joita syntyi varaston virtaustehokkuutta tutkiessa ja luvussa 5 koostetaan päätulokset ja johtopäätökset.

## 2. VARASTON TOIMINTA JA LAYOUT-SUUNNITTELU

Varastoinnilla (engl. warehousing) tai varastoprosessilla tarkoitetaan tapahtumaketjua, jossa tuotteita varastoidaan niille määrättyihin paikkoihin (Ackerman 2012). Tässä työssä käytetään termiä varastoprosessi varastoinnin sijaan selvyuden vuoksi. Varastolla tarkoitetaan rakennusta, jossa varastoidaan tuotteita ja tavaroita ennen jakelua, eli rakennusta, jossa varastoprosessi tapahtuu (Davies 2008). Varastot voidaan raa'asti jakaa kolmeen ryhmään: Tuotannonvarastot, jakelukeskus ja ulkoistettu jakelukeskus (Faber et al. 2013).

Tässä työssä keskitytään kappaletavaraiteollisuuteen ja sen seurauksena keskitytään tuotannonvarastoihin. Tuotannonvarasto on yläkäsite, joka sisältää puskuri-, kausivaihtelun hallinta-, väli-, taloudellisen eräkoon-, kuljetus-, siirto- ja virhevarastot (Haverila et al. 2009). Välivarastolla tarkoitetaan tuotannossa varastoa työvaiheiden välissä, jonka tarkoituksena on tasoittaa tuotantoa tilanteissa, joissa valmistusprosessin työvaiheiden suorittamiseen kuluvat ajat vaihtelevat. Taloudellisen eräkoon varaston tarkoituksena on vähentää tuotannonkustannuksia tilanteessa, jossa tuotantoerän asetusajat ovat pitkiä tai asetuskustannukset ovat suuria, eli käytännössä taloudellisen eräkoon varastot toimivat välivarastona keskeneräiselle tuotannolle kustannusten minimoimiseksi. Kuljetus- ja siirtovarastot ovat tuotteiden pakkaamiseen, lastaukseen ja kuljetukseen tarkoitettuja varastoja, joissa esimerkiksi voidaan valmistella tuotteet kuljetusta varten. Virhevarastoilla tarkoitetaan varastoa, jossa säilötään valmista tai keskeneräistä tuotantoa, jolla voidaan korvata vahingoittuneita tuotteita, jos tuotannossa syntyy laatuvirheitä. On kuitenkin huomioitavaa, että virhevarastojen luomisen sijaan valmistuksessa syntyvien laatuvirheiden korjaaminen on kustannustehokkaampaa. (Haverila et al. 2009)

Layout-suunnittelulla tarkoitetaan prosessia, jossa kaikki tuotantojärjestelmän tuotantotekijät järjestetään fyysisesti siten, että prosessi toimii tehokkaasti ja noudattaa organisaation strategisia tavoitteita (Pérez-Gosende et al. 2021). Osana liiketoiminnan toimintastrategioita layout-suunnittelua pidetään yhtenä tärkeimmistä suunnittelupäätöksistä (Ghassemi & Neghabi, 2015; Kheirkhah et al. 2015; Sun et al. 2018). Tehokkaan layout-suunnittelun on varmistettava, että tuotantotarpeita pystytään noudattamaan lyhyellä, keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä ja pienemmillä kustannuksilla, samalla käyttäen tila tehokkaasti ja takaamalla vuorostaan joustavuus tulevia uudelleenjärjestelyjä varten ja minimoimalla terveys-/turvariskit. Vastakohtana huono layout-suunnittelu voi johtaa pullonkauloihin, ruuhkautumiseen ja huonosti käytettyyn tilaan. (Pérez-Gosende et al. 2021)

Systemaattinen layout-suunnittelu eli SLP (engl. Systematic Layout Planning) on Mutherin (1973) kehittämä menettelytapa layout-suunnitteluun ja se käyttää perustanaan toimintasuhdekaaviota. Toimintasuhdekaavio syntyy analysoimalla eri toimintoja ja niiden suhteita toisiinsa. Se suoritetaan syöttötietojen, kuten tuotteen, määrän, reitin, tuen, ajan (engl. product, quantity, route, support, time) ja toimintojen välisten roolien ja suhteiden ymmärtämisen perusteella. Syöttötietojen avulla voidaan luoda materiaalivirtauskaavio, jota yleisesti kutsutaan Mistä-Minne kaavioksi (engl. From-to-Chart). Mistä-Minne kaavion ja toimintasuhdekaavion avulla luodaan suhdekaavio, joka toimii perustana layoutille. Tämän jälkeen selvitetään aktiviteeteille tarvittava tila ja luodaan näiden perusteella layout-vaihtoehdot. Sen jälkeen vaihtoehdot arvioidaan tilansuunnittelijan kriteereiden perusteella ja valitaan sopiva vaihtoehto. (Tompkins et al. 2010) SLP:tä pidetään yleisesti tehokkaana ja hyödyllisenä työkaluna layout-suunnittelu prosessissa ja se on laajasti käytössä niin akateemisissa kuin käytännön kohteissa (Maina et al. 2018).

## 2.1 Varaston toiminta ja tukitoimenpiteet

Tässä luvussa tutkitaan varaston toiminnan periaatteita sekä aliprosesseja, joista varastoprosessi syntyy. Varaston perusprosessilla tarkoitetaan toimenpiteitä, jotka ovat varaston toiminnalle oleellisia. Perusprosessin lisäksi varastoissa on myös useita muita aliprosesseja, joita ei tapahdu jokaisessa varastossa, mutta niiden ymmärtäminen on tärkeää varastoa suunnitellessa.

Varaston perusprosessi tuotannonvarastossa on erittäin yksinkertainen. Tuotanto tarvitsee toimiakseen raakamateriaaleja, komponentteja ja muita tarvikkeita, joiden tarve vaihtelee tuotannon mukaan. Materiaalit saapuvat varastoon, josta ne siirtyvät tuotannon käytettäväksi. Yleensä saapuneita materiaaleja ei käytetä suoraan, vaan suuri osa niistä varastoidaan, jonka jälkeen varastotyöntekijät keräävät tarvittavat materiaalit tilauksia varten ja täyttävät puskurivarastoja. Eli varaston perusprosessi on tavaroiden vastaanottaminen, varastointi, keräily ja lähettäminen. (Hompel 2006; Klodawski et al. 2017) Perusprosessin lisäksi varaston tehtäviä ovat muun muassa välivarastojen ylläpitäminen, (Fredendall 2016) lähetysten yhteispakkaaminen, pakkaaminen ja kokoaminen (Klodawski et al. 2017).

Varastoprosessin kehittämisessä on ymmärrettävä, että varastoprosessi koostuu komponenteista, joihin liittyy asianmukainen toimintasarja, joka on suoritettava tavoitteiden saavuttamiseksi. Toimintasarjat liittyvät materiaalin tai informaation muuntamiseen työvoimaresurssien avulla. Työvoimaresursseilla tarkoitetaan yleisesti varastotyöntekijöitä,



kuljetusvälineitä, varastolaitteita ja tietovirran hallintatyökaluja. (Kłodawski et al. 2017) Taulukossa 1 esitellään yleisemmät aliprosessit, jotka liittyvät varastoprosessiin. Aliprosessien yhteyteen on merkattu niihin liittyvät aktiviteetit, sekä muutoksen tyyppi joka aktiviteetista seuraa. Muutoksen tyyppiä on kolme kappaletta: aika, paikka ja muoto. Aikamuutoksella tarkoitetaan materiaalien puskurointia ja varastointia. Paikkamuutoksella tarkoitetaan materiaalien siirtämistä ja kuljetusta varaston sisällä. Muotomuutoksella tarkoitetaan materiaalien käsittelyä, kuten yhteispakkaamista, kokoamista ja paketoitua.

Taulukko 1. Varasto prosessin yleisimmät aliprosessit ja aktiviteetit (Mukailtu lähteestä Kłodawski et al. 2017).

Aliprosessi	Aktiviteetti	Muutos
Vastaanotto	Lastin purku	Paikka
	Lastin tunnistus ja valvonta	Aika
	Puskurointi	Aika
Säilöminen	Kuljetus varastoalueelle	Paikka
	Yksikkökuormien sijoittaminen varastointi paikkaan	Paikka
Varastointi	-	Paikka
Täydennys	Kuljetus keräilyalueelle	Paikka
	Yksikkökuormien muuntaminen tilauskeräilyssä tarjottuun muotoon	Muoto
	Keräily paikkojen täydennys	Paikka
	Jäljellä olevien yksikkökuormien sijoittaminen varastointipaikkaan Tyhjien säiliöiden sijoittaminen valittuun paikkaan	Paikka Paikka
Tilausten keräily	Keräily paikkojen täydennys	Paikka
	Tavaroiden valmistelu keräilyä varten	Muoto
	Tavaroiden keräily	Paikka
	Poimittujen yksikkökuormien valmistelu kuljetusta varten	Muoto
	Valmisteltujen yksikkökuormien kuljetus keräilyalueelle Valmisteltujen yksikkökuormien kuljetus puskuriin	Paikka Paikka
Yhteispakkaus	Yksikkökuormien kuljetus yhteispakkausasemille	Paikka
	Tuotteiden valmistelu yhteispakkausta varten	Muoto
	Uuden SKU:n luominen	Muoto
	Paketointi, etiketöinti, merkitseminen Valmisteltujen yksikkökuormien kuljetus puskuriin	Muoto Paikka
Kokoaminen, purkaminen, lajittelu	-	Muoto
Kuljetus	Puskurointi	Aika
	Lastin tunnistus ja valvonta	Aika
	Lastaus	Paikka
Materiaalin palautuspolitiikka	Puskurointi	Aika
	Lastin tunnistus ja valvonta	Paikka
	Lastaus	Paikka
Yhteen lastaus	Siirto syöttöpuskurista lähtöpuskuriin	Paikka

Taulukosta voidaan huomata, että vaikka varaston perusprosessi on yksinkertainen niin aliprosessien sisällä on useita mahdollisia aktiviteetteja, jotka lisäävät varastoprosessin kompleksisuutta. Taulukosta huomataan myös, että paikan muunnos on yleisin muutoksen tyyppi, joka korostaa layout-suunnittelu ja sisäisen järjestelyn tärkeyttä. Muodonmuutokset ovat myös yleisiä ja niiden suorittamiseen on tärkeää varata tilaa, kun layout-ratkaisua valitaan.

## 2.2 Luokkapohjainen varastointi

Luokkapohjainen varastointi on käytännössä yleisimmän käytetty varastointikäytäntö ja se tarkoittaa tuotteiden määrittelyä kategorioihin, jonka perusteella niille määritetään sijainti varastossa. (Yu et al. 2015)

ABC-analyysi on yksi eniten käytetyistä tekniikoista varastonhallinnassa. Sen tarkoituksena on määrittellä varaston tuotteet kolmeen kategoriaan: kategoriaan A kuuluu varaston käytetyimmät tuotteet, kategoriaan B kuuluu kohtalaisesti käytetyt tuotteet ja kategoriaan C kuuluu vähiten käytetyt tuotteet. ABC-luokituksen perusideana on suuren tavaramäärän helppo ja tehokas luokittelu luokkiin, jonka perusteella tuoteluokalle voidaan tehdä hallintakäytäntö. Varaston kontekstissa hallintakäytännöllä tarkoitetaan tässä tapauksessa tuotteen sijaintia varastossa. (Yu et al. 2015)

Perinteisessä ABC-analyysissä tuotteiden luokitteluun käytetään ADU:ta (engl. Annual Dollar Usage) eli vuotuista rahamäärän käyttöä. Kuitenkin viime aikoina on huomattu, että tuotteiden luokitteluun liittyy muitakin merkittäviä kriteerejä kuten: tilauskustannus, kriittisyys, läpimenoaika, vanhentuminen, korvattavuus, tilauskoko, ym. Minkä perusteella tuotteiden luokittelu on suositeltavaa tehdä mittaamalla yhdistelmäpistemäärä tuotteelle, joka koostuu useiden kriteerien pistemääristä ja kriteerien painoarvoista. Monikriteeri arvioinnissa on kuitenkin huomioitavaa riski, että jokin tuote saa jossain kriteerissä korkean arvosanan, jonka seurauksena se saa korkeamman luokituksen, vaikka todellisuudessa se ei sitä ansaitse. (Douissa & Jabeur 2020) Varaston virtaustehokkuuden kannalta tärkeitä kriteerejä, jotka kannattaa ottaa huomioon on esimerkiksi tuotteen fyysinen koko, virtausmäärä ja varastointi menetelmä.

ABC-analyysin sijaan tuotteiden paikkojen määrittelyyn voidaan käyttää myös yksinkertaista heuristiikkaa. Seuraavissa kappaleissa käsitellään Halesin (2006) esittelemiä yleisiä heuristisia menetelmiä.

Tuotteen tai materiaalin ominaisuuksien mukaan, jossa sijoitetaan esimerkiksi suuret ja pienet, kevyet ja painavat, vaaralliset ja vaarattomat, kalliit ja halvat, kausi ja ei-kausi tuotteet omiin paikkoihinsa. Tässä heuristiikassa on huomioitavaa, että vaikka fyysiset

ominaisuudet usein määrittelevät säilöntätavan niin käsitteellisesti tuotteet säilötään ominaisuuksien eikä säilöntätavan mukaan. Lisäksi on huomioitavaa, että tämä heuristiikka tuotteiden sijaintien määrittämisessä ei toimi varastossa, jossa säilöttävät tuotteet ovat fyysisesti samanlaisia. Esimerkiksi jos tuotteiden koko on yhtenevä tai yksikkökoko on standardi.

Tilauksen ominaisuuksien mukaan, jossa materiaali ryhmitetään lopputuotteen, reitityksen tai prosessin mukaan. Esimerkiksi kappaletavarateollisuudessa yritys tuottaa useampaa tuotetta niin varasto järjestetään siten, että yksittäisen tuotteen komponentit ovat säilötty keskitetysti yhteen paikkaan. Tässä heuristiikassa on huomioitavaa, että se ei ole tehokas, jos tuotanto ei ole monimuotoinen.

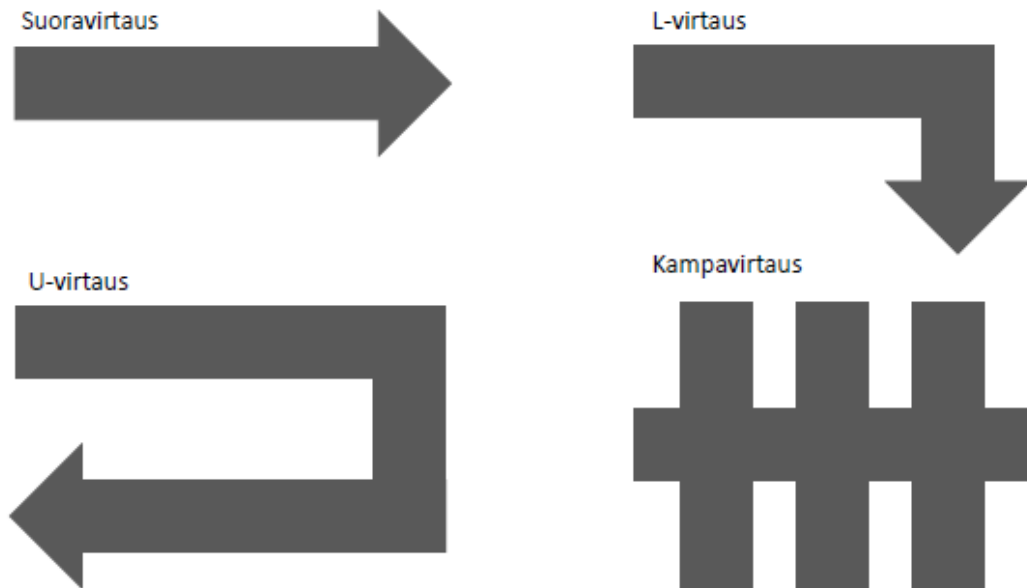
Asiakkaan tai toimittajan mukaan, jossa luodaan varastoalueita tuotteille, jotka ovat uniikkeja jollekin yhdelle asiakkaalle tai toimittajalle. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltavaa tilanteissa, joissa asiakkaita on useita tai tuotteet ovat samanlaisia. Esimerkkejä varastoista, joissa tämä heuristiikka toimii hyvin on projektiliiketoiminta, jossa materiaalit ryhmitetään projektien mukaan sekä sopimusvarastot, jossa tuotteet ryhmitetään asiakkaan mukaan.

Käyttöasteen tai suosion mukaan, joka toimii vastaavalla tavalla kuin ABC-analyysin avulla järjestetty varasto. Tämä heuristiikka toimii hyvin, kun varastoitavien materiaalin käyttöasteiden välillä on suuria eroja. Huomioitavaa on, että tämä ei toimi varastossa, jossa säilötään esimerkiksi varaosia, sillä kaikki tuotteet ovat hitaasti liikkuvia ja toisaalta tämä heuristiikka ei myöskään toimi varastoissa, jossa sisältö vaihtuu tiheästi, kuten joissain elintarvikevarastoissa.

Säilöntätavan ja käsittelytavan mukaan, jossa tuotteet ryhmitetään niiden käsittelyyn vaadittavien kaluston mukaan. Tämä heuristiikka ei toimi, jos säilöttävät tuotteet tai niiden käsittelytapa ovat yhtenäisiä. Esimerkkejä on lattiapinot yhdessä, lavatelineet, työntötelineet, kapeat käytävät ja roskahyllyt.

### **2.3 Klassiset sisäisen layoutin-mallit**

Varaston sisäinen layout noudattaa yleisesti jotain seuraavista klassisista tyypeistä: Suoravirtaus, U-virtaus, L-virtaus tai kampavirtaus. Virtausmalli valitaan analysoimalla varastoitavia tuotteita, niiden määrää ja reititystä. (H Lee Hales, 2006) Kuvassa 1 esitellään klassiset sisäisen layoutin-mallit.



**Kuva 1.** Klassiset virtausmallit.

Suoravirtaus tai läpivirtaus malli, jossa sisäänkäynti ja uloskäynti ovat asetettu varaston vastakkaisiin pätyihin. Tässä mallissa minimoidaan tavaran siirtymismatka, sillä tavara ei yleisesti joudu siirtymään enempää kuin varaston pituuden verran säilönnän aikana. Suoravirtaus mallin rakennuksen ja tontin valinnassa on huomioitava, että alueen kehittämiskustannukset ovat suuret kapasiteettiin verrattuna, sillä on varattava tilaa kuljetusajoneuvojen tulemiselle, kääntymiselle ja lähtemiselle. (Mohsen & Hassan 2002; Hales 2006)

U-muotoisessa virtauksessa sisäänkäynti ja uloskäynti tai satamat ovat asetettu varaston yhdelle seinustalle. Tässä mallissa säästetään fyysisen tilantarpeessa ja varaston kehityskuluissa. Vastaanoton ja lähettämön asettaminen samalle seinustalle myös vähentää operationaalisia kuluja, sillä satama henkilökunta pystyy joustavasti työskentelemään kaikkien satamien välillä. Heikkoutena tässä mallissa on se, että tuotteet U-mallin perällä joutuvat kulkemaan kaksinkertaisesti varaston pituuden tai leveyden verran säilönnän aikana. Lisäksi U-mallissa voi syntyä vaikeuksia, jos varastossa käytetään keräilyssä tai lajittelussa kuljetushihnaa. (Mohsen & Hassan 2002; Hales 2006)

L-muotoisessa virtauksessa sisäänkäynti ja uloskäynti on asetettu vierekkäisille seinustoille. Tämä malli on tehokkain, kun tuotteet vastaanotetaan yhdellä tavalla ja lähetetään toisella, kuten esimerkiksi tilanteessa, jossa tuotteet saapuvat kuorma-autolla ja lähtevät junalla. Tuotannonvaraston näkökulmasta hyöty tässä layoutissa on se, että erittäin kiinteät tai vaaralliset tuotteet voidaan sijoittaa layoutin nurkkaan. (H Lee Hales, 2006)

Kampavirtauksessa varaston hyllyrivit asetetaan keskelle varastoa, siten että yleisesti keskellä kulkee pääkäytävä, josta lähtee sivusuunnassa sivukäytäviä, sisäänkäynti ja uloskäynti voidaan käytännössä asettaa mille tahansa seinustalle. Kampamalli mahdollistaa nostimen tehokkaan käytön ja lattia säilönnän. Kampamallissa maksimoidaan tilan kapasiteetti, jonka takia sitä erityisesti käytetään korkean volyymin irtto- ja yksikkökuormien varastointiin, kuten puutavara-tehtaissa, terästehtaissa ja romutehtaissa. (H Lee Hales, 2006)

## 2.4 Modernit sisäisen layoutin mallit

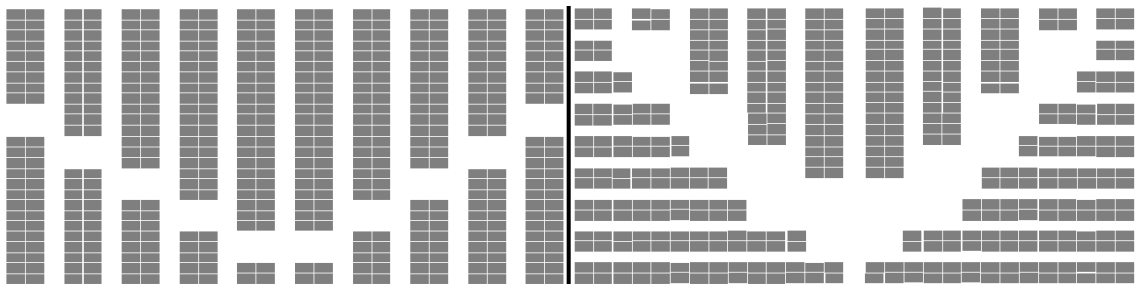
Varastoissa on usein käytössä kampavirtausmalli, jossa on rinnakkain keräilykäytäviä ja yksi tai useampi siirtymiskäytävä, joka kulkee ortogonaalisesti varaston läpi, mutta siinä ei säilötä tuotteita (Gue & Meller, 2009). Pohlin et al. (2009) mukaan yksikkökuormavarastoissa, joissa tuotteet vastaanotetaan, säilötään ja käsitellään yleisesti trukkilavoilla ortogonaalinen siirtymiskäytävä heikentää varaston virtaustehokkuutta sillä se käytännössä siirtää puolet tuotteista kauemmaksi nouto- ja talletuspisteistä. On kuitenkin huomioitavaa, että jos keräilykierros on suhteellisen pieni niin ortogonaalinen poikkikäytävä pienentää kokonaissiirtymää, koska se luo enemmän mahdollisia reittejä poimintakierrokselle. Keskikäytävän hyöty jää pois, kun tilauksen koko on suuri varaston kokoon nähden, jolloin keräilijä joutuu kulkemaan jokaisen keräilykäytävän läpi käyttämättä keskikäytävää ollenkaan. (Pohl et al., 2009)

Gue & Meller (2009) kuvailivat moderneja varaston layout malleja, joissa rinnakkaisten keräilykäytävien ja ortogonaalisten siirtymiskäytävien välisiä suhteita lievennettiin. He käsitelivät ei-ortogonaalisen siirtymiskäytävän luomista, sekä mahdollisia hyllyjen orientaatiota.

Lopputuloksena he kehittivät epälineaarista optimointimalleista kaksi layout mallia:

1. Lentävä-V malli, joka sisältää siirtymiskäytävän, joka ulkonee vinosti osittain lineaarisesti nouto- ja talletuspisteen kautta. Lentävä-V malli tarjosi noin 10 prosentin parannuksen virtaustehokkuudessa klassiseen varastoon verrattuna.
2. Kalanruotomalli, jossa lähes vastaavasi varaston läpi kulkee V:n muotoinen siirtymiskäytävä, mutta V:n vasemmalla ja oikealla puolella olevat keräilykäytävät ovat käännetty sivuttain. Kalanruoto malli tarjoaa noin 20 prosentin kehityksen siirtymismatkaan verrattuna vastaavan kokoiseen klassiseen varastoon. (Gue & Meller 2009)

Kuvassa 2 esitellään Guen & Mellerin kehittämät mallit.

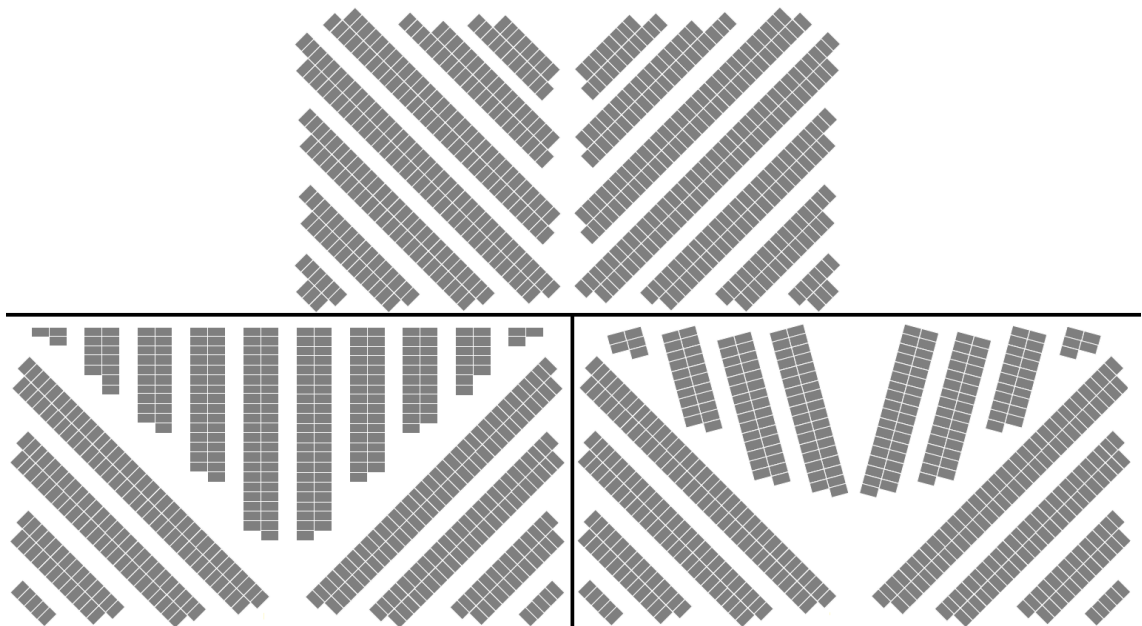


**Kuva 2.** Vasemmalla lentävä-V ja oikealla kalanruoto

Öztürkoğlun et al. (2012) tutkimuksessa tuotiin esille kolme parannus Guen & Mellerin (2009) malleihin:

1. Chevronmalli on optimaalinen yhden poikkikäytävän layout malli, jossa keräilykäytävä aukeavat poikkikäytävän molemmille puolille, 45 ja 135 asteen kulmissa.
2. Lehtimalli on optimaalinen kahden poikkikäytävän layout malli, jossa poikkikäytävät aukeavat V:n mallisesti ja keräilykäytävät ovat vinosti poikkikäytävää vasten.
3. Viimeisenä perhosmalli, joka on chevronmallin ja lehtimallin yhdistelmä, jossa on keskeinen poikkikäytävä kuten chevronissa ja kaksi vinoa käytävää kuten lehtimallissa.

Kuvassa 3 esitellään Öztürkoğlun et alin. mallit, jotka perustuvat Guen & Mellerin malleihin.



**Kuva 3.** Ylhäällä Chevronmalli, vasemmalla alhaalla lehtimalli ja oikealla alhaalla perhosmalli

Voidaan huomata, että Öztürkoğlun et alin. kehittämät mallit eroavat klassisista malleista dramaattisesti, kun taas Guen & Mellerin malleissa muutokset keskittyivät keskikäytävän muotoon ja hyllyjen orientaatioon.



### 3. VIRTAUSTEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Virtaustehokkuus on Lean-tuotannossa käytetty termi, joka viittaa lisäarvoa tuovan ajan suhteeseen prosessin suorittamiseen kuluvaan kokonaisaikaan. Käytännössä se mittaa tuotteen tai palvelun arvon lisäämiseen käytettyä aikaa verrattuna lisäarvoa tuottamattomiin toimintoihin, kuten odottamiseen, työskentelyyn tai tarpeettomaan liikkumiseen käytettyyn aikaan. (George 2005) Varaston kontekstissa siirtymiseen kulunut aika on yksi suurimmista lisäarvoa tuottamattomista toiminnoista eli hukasta (Bartholdi & Hackman 2005).

Virtauksen tehokkuus on lean-tuotannon kriittinen osa, koska se vaikuttaa suoraan läpimenoaikaan, tuottavuuteen ja laatuun. Kun tehtävä tai prosessi on virtaustehokas, se voidaan suorittaa lyhyemmässä ajassa ja siinä on vähemmän vikoja, mikä johtaa alhaisempiin kustannuksiin ja parempaan asiakastytyväisyyteen. (Gupta et al. 2022)

#### 3.1 Lean varastoissa

Lean on systemaattinen lähestymistapa hukan vähentämiseen, joka pyrkii jatkuvaan prosessin parantamiseen ja tuotannon ylläpitämiseen asiakkaiden vaatimusten mukaisesti (Singh & Kumar 2020). Tässä kappaleessa käsitellään leaniin liittyviä työkaluja, joita voidaan käyttää virtaustehokkuuden ja asiakastytyväisyyden kehittämiseen varaston kontekstissa.

5S on osa lean-ajattelua ja sen ytimenä on poistaa prosessin osia, jotka eivät lisää arvoa. Prosessin osat, jotka eivät tuo lisäarvoa löydetään luomalla standardi malleja pakolliselle työlle. 5S tulee sanoista: Sort, Set In Order, Shine, Standardize, Sustain, eli suomeksi lajittele, aseta järjestykseen, kiillota, standardoi ja yllä pidä. 5S mallin avulla voidaan vähentää siirtymisiä, parantaa turvallisuutta ja tarvikkeiden luotettavuutta sekä sen avulla voidaan säästää tilaa. (Visco 2016)

Just-In Time (JIT) valmistus on tuotantostrategia, jossa painotetaan tavaroiden ja palveluiden tuotantoa juuri sillä hetkellä, kun niitä tarvitaan. JIT on Japanista peräisin oleva varastonhallintafilosofia, jota käytetään nykyään laajalti valmistavassa teollisuudessa. Se keskittyy tuotantoprosessien hukan eliminointiin varmistamalla, että vain tarvittavat resurssit ovat saatavilla oikeassa paikassa, oikeaan aikaan ja oikeassa määrässä. JIT tuotantostrategiaan kuuluu seuraavat avainelementit:

1. Imuohjaus, jossa tuotanto käynnistetään vasta kun asiakastilaus on vastaanotettu, sen sijaan, että luotetaan kysynnän ennusteisiin.

2. Jatkuva parantaminen, jonka tavoitteena on lyhentää läpimenoaikaa, lisätä tehokkuutta ja eliminoida jätteitä tuotantoprosessista.
3. Kanban-järjestelmä, jota käytetään materiaalien ja komponenttien virtauksen ohjaamisen tuotantoprosessin läpi. Kanban-järjestelmässä käytetään visuaalisia signaaleja osoittamaan esimerkiksi, milloin lisävarastoa tarvitaan ja milloin tuotannon tai muiden prosessien pitäisi alkaa.
4. Laadunvalvonta, joka on olennainen osa JIT-tuotantoa, ja se saavutetaan varmistamalla, että jokainen tuotantoprosessi suoritetaan oikein ensimmäisellä kerralla.

Voidaan huomata, että JIT-tuotannossa on monia etuja, kuten lisääntynyt tehokkuus, pienemmät varastokustannukset ja parempi laatu. Sillä on kuitenkin myös joitain haittoja kuten tarve luotettaville toimittajille ja häiriömahdollisuus, jos materiaalitilauksissa ilmenee virheitä. (Ohno 2019)

Vaikka JIT termi yleensä yhdistetään tuotannon tehostamiseen niin sitä voidaan myös soveltaa varaston virtaustehokkuuteen. Varaston kontekstissa JIT-periaatteen hyötyjä on:

1. JIT-periaatteita noudattava varasto suunnittelee hankinnat siten, että tuotteita saapuu varastoon vain silloin kuin niitä tarvitaan. Käytännössä yritys pyrkii pitämään varastonsa mahdollisimman pieninä, kuitenkin siten, että on varmuusvarastoa, jotta tuotanto ei pysähdy tilanteessa, jossa ulkoisista syistä hankinnat myöhästyvät. Näin pystytään vähentämään varastonhallintakustannuksia ja estämään ylimääräistä varastoa. (Lyu et al. 2020)
2. Keräily- ja pakkausprosessissa työntekijät valitsevat vain tilauksiin tarvittavat tuotteet sen sijaan, että keräisivät ja varastoisivat tuotteita tulevia tilauksia varten. Tämä vähentää varastotilan tarvetta ja vähentää vanhenemisriskiä. (Idayani et al. 2019)
3. Varasto lähettää tuotteita vain silloin, kun asiakas niitä tarvitsee, sen sijaan, että lähetettäisiin suuria määriä ja säilytetään asiakkaan varastossa. Tämä voi auttaa vähentämään asiakkaan varastokustannuksia ja lisäämään asiakastytyväisyyttä. (Lyu et al. 2020)
4. Tuotteita siirretään varastossa vain silloin, kun niitä tarvitaan, mikä vähentää kuljetukseen kuluvaa aikaa ja tarvittavaa varastointitilaa. (Anwar & Nagi 1998)

Kaiken kaikkiaan JIT-periaatteiden avulla voidaan saada varasto toimimaan tehokkaammin vähentämällä varastonpidätuskustannuksia, parantamalla materiaalin ja tuotteiden virtausta ja vähentämällä vanhentumisriskiä. (Idayani et al. 2019)

Pullonkaulaohjaus on johtamisfilosofia, joka keskittyy ketjun heikoimpiin renkaisiin parantaakseen järjestelmien suorituskykyä (Şimşit et al. 2014). Yleisiä pullonkauloja varastoprosessissa ovat:

1. Rajoitettu varastotila, josta voi seurata koko varastoprosessin tehottomuus, sillä kulkeminen ja tyhjien varastopaikkojen löytäminen vaikeutuu, jonka seurauksena tuotteiden säilöminen hidastuu (Shi et al. 2018).
2. Riittämättömät laitteet, jos varasto prosessissa käytettävät laitteet ovat vanhentuneita tai riittämättömiä siitä voi seurata viivästyksiä ja prosessin tehottomuutta (Samattapong, 2017).
3. Hitaat käsittelyajat, kuten jos keräily tai pakkaus on tehotonta tai hidasta niin se voi johtaa pitkiin toimitusaikoihin tai viivästyksiin tavaroiden toimituksessa (Fabianova et al. 2021).
4. Tehoton varastonhallinta, jos varastonhallintakäytäntö on heikko siitä voi seurata epätarkkoja inventaarioita, jotka voivat johtaa varaston yli- tai alivarastointiin (Samattapong, 2017).

Soveltamalla pullonkaulaohjaus metodologiaa varastoprosessissa voidaan tunnistaa ja poistaa sen suorituskykyä rajoittavat toimenpiteet, mikä johtaa tehokkaampaan varaston toimintaan. (Simatupang et al. 2004; Chou et al. 2012)

### **3.2 Tilausten reititys- ja keräilykäytännöt**

Tilausten keräilyä on jo pitkään pidetty työläimpänä ja kalleimpana tehtävänä varasto prosessissa. On arvioitu, että tilausten keräilystä koostuu jopa 55 % varaston koko toimintakuluista. (de Koster et al. 2007) Tilausten keräilyyn tehostamiseksi on kehitetty tilausten keräilyjärjestelmiä (engl. Order Picking Systems) (Frazelle 2016). Vaikka tilausten keräilyjärjestelmät usein yhdistetään automatisoituun keräilyyn niin tilausten keräilyjärjestelmien käyttö manuaalisessa keräilyssä on suositeltavaa ruuhkautumisen estämiseksi (Huber 2011).

Tilausten keräilyjärjestelmää suunnitellessa on huomioitava suoritusteho, jota voidaan mitata joko laskemalla suoritettut tilaukset tai valmiiden tilausrivien lukumäärä ajanjaksoa

kohti (Huber 2011). Keräilyjärjestelmää suunnitellessa olennainen päätös on keräilykäytännön valitseminen. Tompkins et al. (2010) kategorisoi kolme tärkeintä keräilykäytäntöä:

1. Erillinen keräily, jossa työntekijä poimii yhden tilauksen yhdellä kierroksella
2. Eräkeräily, jossa työntekijä kerää useamman tilauksen yhdellä kierroksella
3. Vyöhykekeräily, jossa työntekijät jaetaan varastoon vyöhykkeille, josta he keräävät tuotteet tilauksia varten

Jokaisella menetelmällä on luontaisesti hyvät ja huonot puolensa. Erillinen keräily on yksinkertaista toteuttaa, eikä se ole altis laatuvirheille, mutta se vaatii muihin keräilykäytäntöihin verrattuna enemmän työvoimaa. Eräkeräilyssä on korkeampi tehokkuus kuin erillisessä keräilyssä, mutta siinä on suurempi riski laatuvirheille, sekä ruuhkautumiselle. Vyöhykekeräilyssä on korkea tuottavuus, kunhan varaston kapasiteetti on riittävän suuri, jotta työntekijät pysyvät kiireisinä. Vyöhykekeräilyn heikkoutena on se, että se vaatii tilausten jatkolajittelua, mikä voi johtaa käyttökustannusten nousemiseen. (Gue et al. 2006)

Keräilykäytäntöjen lisäksi tärkeä tekijä varaston virtaustehokkuutta miettiessä on keräilijän reitityskäytäntö. Huber (2011) esittelee kirjassaan kaksi yleisintä keräilykäytäntöä:

Ensimmäisenä on optimaalinen reititys, jossa muutetaan varastorakennus kaavioiksi, graafeiksi ja algoritmeiksi, joiden avulla voidaan laskea lyhin eli optimaalisen keräily reitti. Optimaalisen reitityksen ongelmana on se, että jos varasto on suuri tai siellä varastoidaan useita eri tuotteita, optimaalisen reitin laskeminen muuttuu erittäin työlääksi ja vaikeaksi prosessiksi. Lisäksi optimaalinen reitti voi usein vaikuttaa epäloogiselta keräilijöiden mielestä, jonka seurauksena he poikkeavat annetusta reitistä. (Huber 2011)

Toinen ja yleisin keräilykäytäntö perustuu heuristiikkaan. Toisin kuin optimaalinen reititys, heuristiikan avulla tehty reititys johtaa lähes aina epäoptimaaliseen reittiin. Heuristiikan avulla saadaan kuitenkin yleisesti suunniteltua riittävän hyvä reitti, eikä sen suunnitteluun mene lähes ollenkaan aikaa tai resursseja. Keräilijän kannalta heuristiset reitit ovat helposti ymmärrettäviä ja seurattavia, jonka seurauksena laatuvirheet vähenevät ja työturvallisuus paranee. Yleinen heuristinen reitityskäytäntö on s-muotoinen reitityskäytäntö, jossa keräilijät siirtyvät varaston läpi käytävä kerrallaan siten, että he tulee käytävään yhdestä päästä ja poistuvat toisesta. S-muotoista reititystä voidaan kehittää siten, että käytävät, joissa ei ole tilaukseen kuuluvia tuotteita ohitetaan kokonaan. (Huber 2011)

## 4. TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa käsitellään aiemmin työssä käsiteltyjä aiheita. Luvun tarkoituksena on esitellä työssä käsitellyt aiheet lyhyesti ja tehdä niistä havaintoja ja johtopäätöksiä. Havainnot on kategorisoitu tutkimuskysymysten mukaan.

K1. Mikä on varaston sisäinen layout ja mitkä ovat sen valintaperusteet?

Sisäisellä layoutilla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän tuotantotekijöiden fyysistä paikkaa tilassa. Varaston kontekstissa tällä tarkoitetaan yleensä hyllykköjen, keräilypisteiden ja satamien sijaintia varastossa. Yleinen käsitys varaston layoutin valitsemiseen perustuu Mutherin (1973) systemaattisen layout-suunnittelun menettelytapaan, jossa valintaperusteet syntyvät varastoitavien tuotteiden, niiden määrän, reitityksen, tarvittavan tuen ja ajan mukaan. Kuitenkin voidaan argumentoida, että varastoprosessi on suhteellinen yksinkertainen ja sen takia sisäinen layout voidaan valita yksinkertaisesti heuristiikalla valitsemalla yksi etabloituneista layout-malleista. Heuristiikkaan perustuva layoutratkaisun valitseminen kuitenkin johtaa lähes aina toimivaan, mutta epäoptimaaliseen ratkaisuun.

Jos varaston sisäinen layout halutaan valita heuristiikalla, niin klassisille layouteille on jokaiselle löytynyt jo oma uniikki käyttötarkoitus:

1. Suoravirtaus on tehokkain vaihtoehto, kun varaston tarvittava kapasiteetti on matala ja lopputuotteen jalostus on nopeaa. Esimerkiksi terminaalissa, jossa kapasiteetti on matala ja jalostusaste matala.
2. U-malli on tehokas vaihtoehto, kun varaston tarvittava kapasiteetti on keskisuuri ja tuotteiden käyttökatteissa on suuria eroja. U-mallissa voidaan asettaa suuren käyttökatteen tuotteet lähelle satamia ja matalan käyttökatteen tuotteet voidaan sijoittaa varastorakennuksen perälle, näin pystytään vähentämään kokonaissiirtymiä tehokkaasti.
3. L-muodon etu on tilanteissa, joissa tuotteet lähtevät ja tulevat eri metodeilla. Esimerkiksi terminaalissa, jossa tuotteet saapuvat junalla ja poistuvat kuorma-autolla.
4. Kampamallin etu syntyy sen suuresta kapasiteetista, asettamalla varastohyllyt kampamuotoon saadaan hyödynnettyä tila kokonaisuudessaan.

Vastakohtana vakiintuneille klassisille malleille on modernit mallit. Modernit mallit ovat käytännössä vaihtoehto kampavirtaukselle niiden virtausmallien ja kapasiteetin takia, ja

työn tulosten perusteella näitä voidaan käsitellä yhdessä, sillä niiden erot käyttötarkoituksessa ja virtaustehokkuudessa ovat marginaaliset. Etu moderneilla malleilla on se, että ne ovat pärjänneet simulaatioissa kampamallia paremmin.

Moderneille malleille voidaan työn tulosten perusteella argumentoida kaksi suurta heikkoutta. Ensinnäkin modernit layoutit ovat suhteellisen uusia, joten niiden implementointi valmiiseen varastoon vaatii sisäisen layoutin uudelleen järjestämistä, johon kuuluu työvoimaresursseja ja syntyy kustannuksia. Toiseksi työssä esitetyt klassiset varastointilayoutit vaikuttavat yksinkertaisemmilta omaksuttaviksi moderneihin layoutteihin verrattuna, minkä seurauksena työntekijät voivat olla niissä tehokkaampia. Viimeiseksi tutkimuksen aikana ei löytynyt esimerkkejä varastoista, joissa olisi käytetty moderneja malleja, vaikka mallit kehitettiin yli kymmenen vuotta sitten, joka viittaa siihen, että moderneihin malleihin siirtyminen ei ole vielä kannattavaa niiden kompleksisuuden takia, vaikka ne ovat pärjänneet simulaatioissa paremmin.

K2. Mitä työkaluja on käytettävissä, kun varastoprosessia kehitetään ja miten niitä käytetään?

Kun käsitellään virtaustehokkuutta ja sen kehittämistä on huomioitava, että tehokkaan prosessin saamiseksi prosessin perusteet ovat oltava kunnossa. Kun käsitellään varastoprosessia perusteilla, tarkoitetaan varastoprosessin ymmärtämistä ja tehokasta layoutratkaisua. Kun tuotteiden järjestely, sisäinen layout ja työkalut ovat valittu siten, että varastoprosessi on jo toimiva ja noudattaa organisaation strategisia tavoitteita voidaan vasta silloin siirtyä jatkokehittämiseen.

Luvussa 3 tuotiin esille yleisiä ja tehokkaita työkaluja virtaustehokkuuden kehittämiseksi. Ensimmäisenä esiteltiin lean-johtamisfilosofiaa ja sen sisältämiä työkaluja, kuten 5S, JIT ja pullonkaulaohjaus.

Kun tutkitaan 5S:ää voidaan huomata, että se on suhteellisen yksinkertainen implementoida ja sen implementoinnista on huomattavaa hyötyä, joten sen periaatteiden noudattaminen on virtaustehokkuuden kannalta hyödyllistä. Kun työkaluilla ja tavaroilla on omat paikkansa ja ne ovat järjestyksessä säästytään turhalta etsimiseltä. Kun työpiste ja työpaikka on siisti niin työolosuhteet, moraalit ja työturvallisuus paranevat. Kun aliprosesseilla on standardimenetelmät, voidaan välttää laatuvirheitä. Käytännössä 5S:n säännösten seuraaminen motivoituneelle ja tehokkaalle työyhteisölle tulee luonnostaan, vaikka 5S ei olisi terminä tuttu.

Just-In Time tuotantostrategia ei suoraan vaikuta yksittäisen varastotyöntekijän toimintaan, vaan sen implementointi on organisaation tuotannon-, hankinnan- ja myynninsuun-

nittelijoiden harteilla. Vaikka JIT:n avainelementit ovat imuohjaus, jatkuvan parantaminen, kanban-järjestelmä ja laadunvalvonta niin sen tarkoitus on se, että resurssit ovat juuri oikeaan aikaan ja oikeissa määrin oikeissa paikoissa ja nämä avainelementit avustavat tarkoituksen saavuttamista. JIT:ssä on huomioitavaa, se että vaikka nämä avainelementit ovat periaatteeltaan kaikki positiivisia ja täydellisessä maailmassa niiden implementoinnissa ei ole riskejä niin varastojen minimoimisessa syntyy riski ulkoisten häiriöiden vaikuttamiselle virtaustehokkuuteen. Esimerkiksi tilanteissa, joissa materiaali-toimittaja ei ole luotettava, jonka seurauksena tuotanto joudutaan keskeyttämään.

Kun lean-johtamisfilosofia sisältää yleisesti päteviä prosessin tehostamistyökaluja niin reititys- ja keräilykäytännöt ovat spesifisti varastoprosessin kehittämiseen käytettäviä työkaluja. Tompkinsin et al. (2010) esittelemät keräilykäytännöt, jotka ovat erillinen-, erä- ja vyöhyke keräily ovat kaikki toimivia menetelmiä keräilyn standardoimiseksi, eikä voida yleisesti todeta, että yksi on niistä tehokkain vaan jokaiselle niistä löytyy oma käyttökohte. Erillistä keräilyä voidaan käyttää esimerkiksi tuotannoissa, joissa luodaan yksittäisiä suurempia kokonaisuuksia, jolloin keräilyä suoritetaan harvemmin ja keräiltäviä artikkeleita on useita. Erä keräily toimii lähes vastakohtana erilliskeräilylle, siten että sen käyttö on hyödyllistä esimerkiksi, jos luodaan useampia yksinkertaisia tuotteita. Viimeiseksi vyöhyke keräily taas on tehokkainta, kun tuotanto on yksinkertaista ja keräilykapasiteetti on suuri, kuten esimerkiksi yksinkertaisissa liukuhihna tuotannoissa.

Reitityskäytännöissä vaihtoehtoina oli optimaalinen reititys ja heuristiikkaan perustuva reititys. Optimaalinen reititys perustuu varastosimulointiin ja algoritmeihin ja tämän seurauksena sen implementointi on erittäin haastavaa ja kallista tilanteissa, joissa varaston kapasiteetti on suuri. Kirjallisuuteen tukeutuen voidaan yleisesti sanoa, että heuristiikkaan perustuva reitityskäytäntö on parempi vaihtoehto. Huber (2011) perusteli tämän sillä, että heuristiikkaan perustuva reititys on työntekijöille loogisempaa, joten laatuvirheet vähenevät ja tehokkuus paranee vaikkakin optimaalinen reititys on teoriassa parempi.

Keräilyyn kuluu noin 50 % varaston työvoimaresursseista (de Koster et al. 2007). Tämän takia varastoprosessin virtaustehokkuuteen liittyvässä kirjallisuudessa keskitytään keräilyyn, jonka takia tässäkin työssä keskityttiin keräilyn tehostamiseen. Ei voida kuitenkaan unohtaa sitä toista noin 50 %, joka kuluu muihin aliprosesseihin kuin keräilyyn. Seuraavaksi käsitellään lyhyesti muita tekijöitä, joilla voidaan lisätä virtaustehokkuutta varastoprosessissa.

Asianmukaisten työkalujen lisääminen voi tehostaa virtaustehokkuutta. Esimerkiksi viivakoodiskannereiden avulla voidaan nopeuttaa huomattavasti vastaanotto- ja lähetysprosessia. Lisäksi laadunvalvonta- ja pakkausprosessi ovat prosesseja, jotka voidaan suhteellisen pienellä investoinnilla automatisoida käyttämällä pakkauskoneita ja automaattisia tarkastuskoneita.

Myös aikaisemmin käsiteltyjen yleisten työkalujen kuten leanin sisältämän 5S:n soveltaminen kaikkiin aliprosesseihin on hyödyllistä, sillä standardimalleilla voidaan vähentää laatuvirheitä, joka lisää virtaustehokkuutta. Lisäksi työpisteiden järjestys ja ergonomia lisää työntekijöiden tyytyväisyyttä ja virtaustehokkuutta. On kuitenkin huomioitavaa, että kun tehdään investointeja virtaustehokkuutta parantaviin työkaluihin ja työpisteisiin niin siihen kuluu resursseja, mutta se maksaa itsensä takaisin ajan kuluessa.



## 5. YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli selvittää metodeja keräilyn tehostamiseen kappaletavarateollisuuden varastoissa. Työ toteutettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena, jossa aineistoa kerättiin johdannossa esitetyllä tavalla. Aineistojen perusteella pyrittiin selvittää mahdollisia layoutratkaisuja varaston sisäiselle layoutille, sekä selvittää miten optimaalinen layout valitaan. Lisäksi pyrittiin löytää työkaluja ja menetelmiä, joilla pystytään parantamaan valmiin varaston virtaustehokkuutta keskittymällä keräilyprosessin tehostamiseen.

Keskeisenä havaintona layout-suunnittelusta oli se, että klassiset mallit täyttävät jokainen oman käyttötarkoituksensa, joista kampamalli oli kirjallisuudessa yleisin käytetty varastoinnin muoto kappaletavarateollisuudessa. Lisäksi keskeistä oli se, että vaikka modernit mallit olivat pärjänneet simulaatioissa klassisia malleja paremmin, niin työn puitteissa ei löytynyt case-tutkimuksia tai käytännön esimerkkejä modernien mallien implementoinnista, joka luultavasti johtuu klassisten mallien vahvasta asemasta varastoympäristössä.

Työssä lisäksi käsiteltiin virtaustehokkuuden parantamista lean-johtamisfilosofia ja tilausten reititys- ja keräilykäytäntöjen avulla. Todettiin, että näiden työkalujen implementointi on lähes poikkeuksetta hyödyllistä, mutta kuitenkin on huomioitavaa, että jos organisaatio ei ymmärrä omaa varastoprosessia tai layoutratkaisu ei ole organisaation vaatimusten mukainen niin virtaustehokkuutta parantavien työkalujen käyttö ei saa tehottomasta varastosta tehokasta.

Tutkimus suoritettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena ja lähteiden määrä on suhteellisen suuri, joten voidaan todeta, että se on aineistonsa puolesta validi. Koska kyseessä oli opinnäytetyö niin henkilöstöresurssit ja aika oli rajattua, jonka seurauksena työn laajuutta ja tutkimuskysymyksiä oli rajattava.

Aiheeseen liittyen on vielä kaksi asiaa mistä voisi tehdä jatkotutkimusta. Ensinnäkin, jos aihepiiriin lisätään keräilyn automatisointi niin se toisi tutkimukseen uuden ulottuvuuden ja modernisoisi aiheetta. Toiseksi case-tyyppinen tutkimus varastoihin, joissa käytetään moderneja layoutteja toisi konkretiaa moderneihin layoutteihin, sillä ne ovat tällä hetkellä lähinnä teorian tasolla.

## LÄHTEET

- Ackerman, K. B. (1997) *Practical handbook of warehousing*. 4th ed. New York (NY): Chapman & Hall.
- Anwar, M. F. & Nagi, R. (1998) Integrated scheduling of material handling and manufacturing activities for just-in-time production of complex assemblies. *International journal of production research*. [Online] 36 (3), 653–681.
- Bartholdi, H. & Hackman, S.T. (2005) 'Warehouse & Distribution Science'.
- Chou, Y.-C. et al. (2012) Identifying inventory problems in the aerospace industry using the theory of constraints. *International journal of production research*. [Online] 50 (16), 4686–4698.
- Davies, N. & Jokiniemi, E. (2008) *Dictionary of architecture and building construction*. Amsterdam: Elsevier.
- Douissa, M. R. & Jabeur, K. (2020) A non-compensatory classification approach for multi-criteria ABC analysis. *Soft computing (Berlin, Germany)*. [Online] 24 (13), 9525–9556.
- EC, M., & Keraita, J. N. (2018). Improvement of Facility Layout Using Systematic Layout Planning.
- Faber, N. et al. (2013) Organizing warehouse management. *International journal of operations & production management*. [Online] 33 (9), 1230–1256.
- Fabianova, J. et al. (2021) Solving the bottleneck problem in a warehouse using simulations. *Acta logistica*. [Online] 8 (2), 107–116.
- Frazelle, E. (2016) *World-class warehousing and material handling*. Second edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Fredendall, L. D. & Thürer, M. (2016) *An Introduction to Lean Work Design: Standard Practices and Tools of Lean, Volume II*. New York: Business Expert Press.
- George, M. & George, M. L. (2005) *The lean Six Sigma pocket toolbox : a quick reference guide to nearly 100 tools for improving process quality, speed, and complexity*. 1st edition. Michael L. George (ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ghassemi Tari, F. & Neghabi, H. (2015) A new linear adjacency approach for facility layout problem with unequal area departments. *Journal of manufacturing systems*. [Online] 3793–103.

- Gue, K. R. & Meller, R. D. (2009) Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE transactions*. [Online] 41 (3), 171–182.
- Gue, K. R. et al. (2006) The effects of pick density on order picking areas with narrow aisles. *IIE transactions*. [Online] 38 (10), 859–868.
- Gupta, M. et al. (2022) Integrating Theory of Constraints, Lean and Six Sigma: a framework development and its application. *Production planning & control*. [Online] ahead-of-print (ahead-of-print), 1–24.
- H Lee Hales (2006) Put your Warehouse in order. *Industrial Engineer*. 38 (2), 34–35.
- Hompel, M. & Schmidt, T. (2006) *Warehouse Management: Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg.
- Huber, C. (2011) *Throughput Analysis of Manual Order Picking Systems with Congestion Consideration*. KIT Scientific Publishing.
- Idayani, D. et al. (2019) Optimal control of procurement policy optimization with limited storage capacity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. [Online] 243 (1), 12044–.
- Kheirkhah, A. et al. (2015) Dynamic Facility Layout Problem: A New Bilevel Formulation and Some Metaheuristic Solution Methods. *IEEE transactions on engineering management*. [Online] 62 (3), 396–410.
- Kłodawski, M. et al. (2017) ‘The Issues of Selection Warehouse Process Strategies’, in *Procedia Engineering*. [Online]. 2017 Vilnius: Elsevier Ltd. pp. 451–457.
- de Koster, R. et al. (2007) Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*. [Online] 182 (2), 481–501.
- Lyu, Z. et al. (2020) Towards Zero-Warehousing Smart Manufacturing from Zero-Inventory Just-In-Time production. *Robotics and computer-integrated manufacturing*. [Online] 64101932–.
- Mohsen, & Hassan. (2002). A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20(13/14), 432-440.
- Muther, R. (1973) *Systematic layout planning*. Second edition. Kansas City: Management & Industrial Research Publications.
- Ohno, T. (2019) *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time*. CRC Press.

- Öztürkoğlu, Ö. et al. (2012) Optimal unit-load warehouse designs for single-command operations. *IIE transactions*. [Online] 44 (6), 459–475.
- Pérez-Gosende, P., Mula, J. and Díaz-Madroño, M. (2021) 'Facility layout planning. An extended literature review', *International Journal of Production Research*, 59(12), pp. 3777–3816.
- Pohl, L.M., Meller, R.D. and Gue, K.R. (2009) 'An analysis of dual-command operations in common warehouse designs', *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(3), pp. 367–379.
- Salminen, A. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus?: Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin.
- Samattapong, N. (2017) 'An efficiency improvement in warehouse operation using simulation analysis', *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 273(1).
- Shi, Y., Guo, X. and Yu, Y. (2018) 'Dynamic warehouse size planning with demand forecast and contract flexibility', *International Journal of Production Research*, 56(3), pp. 1313–1325.
- Simatupang, T.M., Wright, A.C. and Sridharan, R. (2004) 'Applying the theory of constraints to supply chain collaboration', *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(1), pp. 57–70.
- Şimşit, Z.T., Günay, N.S. and Vayvay, Ö. (2014) 'Theory of Constraints: A Literature Review', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 150, pp. 930–936.
- Singh, S. and Kumar, K. (2020) 'Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008–2018)', *Ain Shams Engineering Journal*, 11(2), pp. 465–471.
- Sun, X. et al. (2018) 'On GPU Implementation of the Island Model Genetic Algorithm for Solving the Unequal Area Facility Layout Problem', *Applied Sciences*, 8(9), p. 1604.
- Haverila, M. et al. (2009) *Teollisuustalous. 6. p. Tampere: Infacs johtamistekniikka*.
- Tompkins, J. A. et al. (2010) *Facilities planning*. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley.
- Visco, D. (2016) *5S made easy: a step-by-step guide to implementing and sustaining your 5S program*. Portland: CRC Press.
- Yu, Y., de Koster, R.B. and Guo, X. (2015) 'Class-Based Storage with a Finite Number of Items: Using More Classes is not Always Better', *Production and operations management*, 24(8), pp. 1235–1247.