



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joonas Ämmälä

Varastointikäytäntöjen vertailu automaattivarastoissa

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK) Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Joonas Ämmälä

Työn nimi alaotsikoineen: Varastointikäytäntöjen vertailu automaattivarastoissa

Ohjaaja: Matti Panula

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 36

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan varastointikäytäntöä Pesimal Oy:n WMS-varastonhallintajärjestelmää varten. Pesimal Oy valmistaa materiaalinhallinta- ja varastointijärjestelmiä paperi-, sellu-, metalli- ja rengasteollisuuteen. Työn tavoitteena oli tutkia erilaisia varastointikäytäntöjä ja selvittää, mikä käytäntö sopisi yrityksen valmistamiin automaattisiin syväkanavavarastoihin.

Teoriaosuudessa tutkittiin erilaisia varastointikäytäntöjä, tutkimusten perusteella tehokas ja joustava käytäntö oli luokkapohjainen varastointikäytäntö.

Työtä varten luotiin oikeaan järjestelmään perustuva testiohjelmisto käyttäen yrityksen varastonhallintajärjestelmän pohjaprojektia. Luokkapohjainen varastointikäytäntö toteutettiin testiohjelmistoon ja käytäntöä testattiin vertaamalla satunnaiseen varastointikäytäntöön käyttämällä yrityksen omaa varastonhallintajärjestelmän simulaattorissa.

Työn lopputuloksena saatiin toteutettua luokkapohjainen käytäntö varastonhallintajärjestelmään. Simuloinnin tuloksena selvisi luokkapohjaisen käytännön vähentävän hyllystöhissin liikeaikoja noin 2–7 % riippuen varaston koosta. Lisäksi käytännön todettiin olevan joustava, helposti hyödynnettävä useissa projekteissa sekä helposti ymmärrettävä, mikä auttaa järjestelmän ylläpitoa ja vianetsintää.

¹ Asiasanat: varastointi, automaatiojärjestelmät, automaattiohjaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Joonas Ämmälä

Title of thesis: Comparison of storage policies in automatic warehouses

Supervisor: Matti Panula

Year: 2024

Number of pages: 36

The thesis studied storage policies for the Pesimal WMS warehouse management system. Pesimal Oy delivers material handling and storage systems for pulp, paper, metal, and tire industries. The goal of the thesis was to study different storage policies and to find a suitable one to be used in the high-bay deep-channel automated storage systems delivered by Pesimal.

In the thesis different storage policies were studied and based on the research, the most prominent and best-performing policy was class-based policy. The class-based policy was found to perform well compared to other policies, offering lower travel times for stacker cranes while also being flexible and easy to implement.

The class-based policy was implemented into the warehouse management system and then tested by simulating a storage system using the internal WMS simulation created by Pesimal. The results of the simulation showed 2–7 % lower travel times for the stacker crane, depending on the size of the warehouse. The policy was found worth considering in future deliveries.

¹ Keywords: warehousing, automation systems, automatic control

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	2
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	8
1.4 Yritysesittely	9
2 AUTOMAATTISET SYVÄKANAVAVARASTOT	10
2.1 Automaattiset varastot.....	10
2.2 Syväkanavavarastot.....	11
2.3 TransRoll-korkeavarasto	12
2.4 Varastonhallintajärjestelmä	13
3 VARASTOINTIKÄYTÄNNÖT	14
3.1 Satunnainen	14
3.2 Tuotteen kysyntä	14
3.3 Tuotteen säilytysaika.....	15
3.4 Korrelaatio.....	15
3.5 Luokkapohjainen	15
3.5.1 ABC luokitus	16
3.6 Käytäntöjen vertailu.....	17
4 LUOKKAPOHJAISEN VARASTOINTIKÄYTÄNNÖN TOTEUTUS	19
4.1 Testiohjelmisto	19
4.2 Ohjelman rakenne	20
4.3 Tiedon kerääminen tuotenimikkeistä	21
4.4 Luokittelu.....	21

4.4.1	Luokittelun kriteeri.....	22
4.4.2	ABC-analyysi	22
4.5	Varastokanavan hyvyyden määrittely.....	23
4.6	Varastokanavien allokointi.....	25
4.7	Varastokanavan valinta	26
4.8	Simulointi.....	27
4.8.1	WMS-simulaattori.....	27
4.8.2	Simuloitava data	27
4.8.3	Alkuvaraston luonti.....	28
4.8.4	Suorituskyvyn mittaus	28
5	TULOKSET	29
6	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	32
6.1	Jatkokehitys.....	32
	LÄHTEET	34

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Pesmel Oy:n automaattinen korkeavarasto yhdistettynä pakkauslinjaan sekä lastausalueille. (Pesmel, 2022).	9
Kuva 2. Automaattivaraston komponentit esiteltynä (perustuu Roodbergen & Vis, 2009, s.3).	10
Kuva 3. TransRoll-korkeavaraston hyllystöhissi (Pesmel, 2022).	12
Kuvio 1. WMS kommunikointi tehtaän yläjärjestelmän ja varaston laitteiden kanssa (soveltaen Faber ym., 2002, s.384)	13
Kuvio 2. Tyypillinen luokkien alueiden jaottelu varastossa (mukaillen Roodbergen & Vis, 2009, s.10).	15
Kuvio 3. ABC-analyysi myyntivolyymin perusteella (Logistiikan maailma, i.a.-a).	16
Kuvio 4. Sivukuva testiohjelmiston varastosta käytävän molemmilta puolilta.	20
Kuvio 5. ABC analyysistä tehty luokittelu.	23
Kuvio 6. Lämpökartta varastopaikkojen hyvyyden määrittelystä.	24
Kuvio 7. Varastokanavat luokiteltuna.	26
Kuvio 9. Luokittelukäytännön ero satunnaiseen hyllystöhissin tehtävien ajoissa simulointijakson aikana.	29
Kuvio 10. Luokkakohtaiset sisään- ja ulossyöttö rullamäärät.	30
Kuvio 11. Luokittelukäytännön ero satunnaiseen varastossa 2.	31
Taulukko 1. ABC luokittelun jaottelu (Logistiikan maailma, i.a.-a).	17

Taulukko 2. Luokille määritetyt osuudet varaston paikoista.....	25
---	----

Käytetyt termit ja lyhenteet

ABC	Varaston tuotenimikkeiden luokittelukäytäntö.
Hyllystöhissi	Automaattisessa varastossa varastoitavia tuotteita käsittelevä laite. Laite liikkuu varastohyllystöjen välisessä käytävässä.
I/O-piste	In/Out eli varaston sisään- tai ulossyöttöpiste.
Kanava	Syväkanavaraston yksi varastopaikka, johon mahtuu useampi tuote peräkkäin.
Luokka	Luokkapohjaisen varastointikäytännön luokka.
Rulla	Paperi- tai kartonkirulla.
WMS	Warehouse Management System. Varastohallintajärjestelmä, joka ohjaa varaston materiaalivirtaa.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan varastointikäytäntöjä Pesmel Oy:n toimittamien automaattivarastojen WMS-varastonhallintajärjestelmään. Varastointikäytännöllä tarkoitetaan käytäntöä, miten varastopaikka valitaan varastoon saapuvalla tuotteella. Yrityksen WMS-ohjelmistossa on käytetty usein satunnaiseen valintaan perustuvaa käytäntöä, joka on suosittu käytäntö johtuen sen helposta implementoinnista sekä suhteellisen hyvästä suorituskyvystä (Bahrami ym., 2019, s. 391). Lisäksi paikan valintaa on yrityksessä toteutettu kehittäjän omien kokemusten ja harkintojen mukaan erinäisillä säännöillä ja ehdoilla. Tämä on tuonut logiikkaan monimutkaisuutta sekä vaikeuttanut hyödyntämistä tulevaisuudessa. Lisäksi menetelmiä ei ole systemaattisesti vertailtu esimerkiksi simuloimalla, paljonko eri käytännöt vaikuttavat varaston toimintaan ja tehokkuuteen.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tutkia eri varastointikäytäntöjä ja selvittää, mikä käytäntö soveltuisi yrityksen toimittamiin automaattivarastoihin sekä tuoko käytäntö parempaa suorituskykyä. Tavoitteena on toteuttaa soveltuvin käytäntö toimeksiantajan WMS-ohjelmistoon sekä testata simuloimalla yrityksen omalla WMS-simulaattorilla käytännön toimintaa. Lisäksi huomioidaan käytännön toteuttamiseen liittyviä asioita liittyen järjestelmän kehittämiseen, ylläpitoon sekä hyödyntämiseen useissa projekteissa.

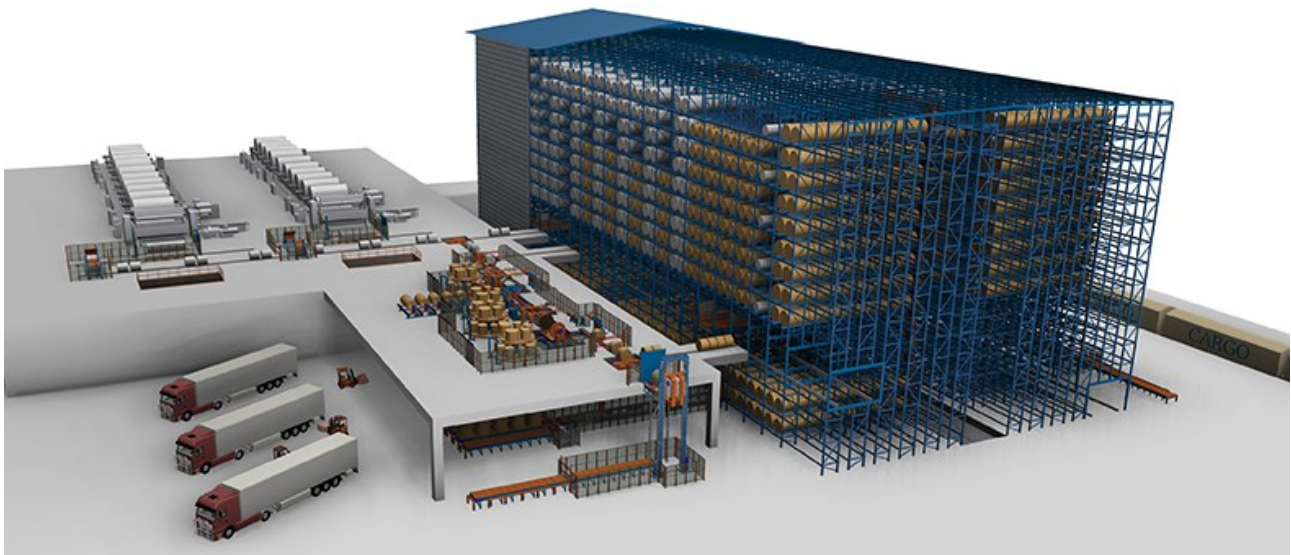
1.3 Työn rakenne

Työn alussa johdannossa käydään läpi työn taustoja, tavoitteita sekä toimeksiantajaa. Teoriaosuudessa käydään aluksi läpi automaattivarastoja, osiossa perehdytään syväkanavavarastoihin sekä Pesmel Oy:n TransRoll-ratkaisuun paperirullien varastoimiseksi. Samassa osuudessa käydään läpi varastonhallintajärjestelmää. Seuraavaksi esitellään aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa esiintyviä varastopaikan valintakäytäntöjä sekä niiden suorituskykyä.

Työn osuudessa esitellään alussa työssä käytettyä testiohjelmistoa. Lisäksi esitellään myös työssä luotavan luokituskäytännön ohjelman rakennetta. Seuraavaksi käydään läpi käytännön ohjelman eri toimintojen toteutukset. Osuuden lopuksi esitellään hieman yrityksen WMS-simulaattoria sekä simuloitavaa dataa. Lopussa käydään läpi simuloinnista saatuja tuloksia sekä pohdintaa työstä ja sen jatkokehityksestä.

1.4 Yritysesittely

Pesmel Oy on Kauhajoella 1978 perustettu yritys, joka erikoistuu materiaalinhallinta- ja logistiikkajärjestelmiin (Pesmel, 2024). Yritys tarjoaa materiaalinhallintajärjestelmiään asiakkailleen ympäri maailmaa sellu-, paperi-, metalli- ja rengasteollisuuteen. Yrityksen toimintojen kulmakiviin kuuluu räätälöidyt ja joustavat ratkaisut. Automaattiset korkeavarastot (kuva 1) on räätälöity asiakkaiden tarpeisiin ja vaatimuksiin. Ratkaisut näkyvät asiakkailta tehokkaampana tilankäyttönä, materiaalivirtana, toimituksien täyttämällä ja lisääntyneellä turvallisuudella. Järjestelmätoimituksia yritys on toimittanut yli 400 viidelle eri mantereelle.



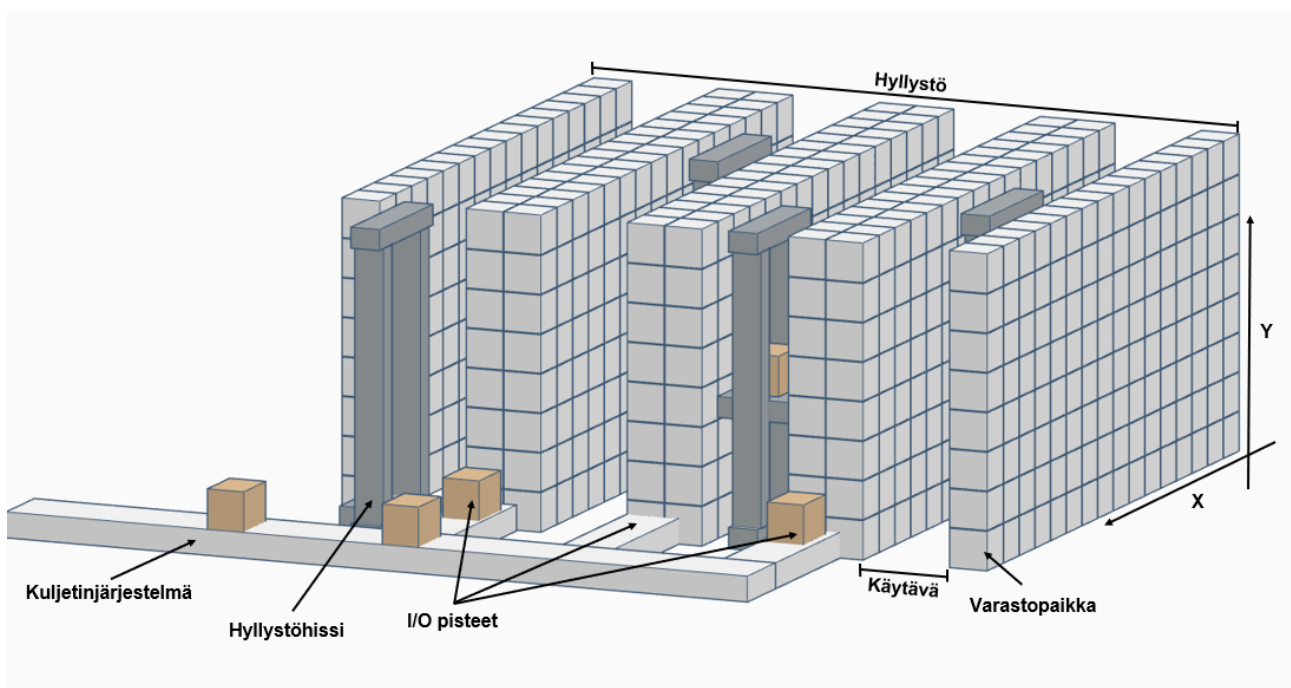
Kuva 1. Pesmel Oy:n automaattinen korkeavarasto yhdistettynä pakkauslinjaan sekä lausausalueille (Pesmel, 2022).

2 AUTOMAATTISET SYVÄKANAVAVARASTOT

2.1 Automaattiset varastot

Automaattiset varastot ovat tietokoneohjattuja varastoja, jotka hoitavat erilaiset varaston operaatiot automaattisesti. Automaattisia varastoja on ollut käytössä jo 1950-luvulta lähtien laajasti jakelu- ja tuotantoympäristöissä (Roodbergen & Vis, 2009, s. 1). Automaattisista varastoista käytetään usein nimitystä AS/RS (automated storage and retrieval system) eli automaattinen varastointi- ja hakujärjestelmä.

Automaattinen varasto koostuu hyllystä, jonka välisessä käytävässä kulkee hyllystöhissi (Roodbergen & Vis, 2009, s. 3). Hyllystö on metallinen rakenne, joka sisältää varastointipaikkoja, joihin varastoitavat tuotteet voidaan varastoida. Korkeavarastossa hyllystöjen korkeudet ovat tyypillisesti 20–40 metriä (Azadeh ym., 2017, s. 2). Hyllystöhissi käsittelee tuotteita varastossa kulkemalla hyllystöjen välisissä käytävissä. Hyllystöhissin ajo käytävällä sekä nostoliike tapahtuu samanaikaisesti (de Koster, 2018, s. 33). Tuotteet syötetään varastoon sisään ja varastosta ulos I/O-pisteistä, jotka ovat yleisesti kuljetinjärjestelmiä.



Kuva 2. Automaattivaraston komponentit esiteltynä (perustuu Roodbergen & Vis, 2009, s. 3)

Automatisoidussa varastossa on useita hyötyjä normaaliin varastoon verrattuna. Roodbergen ja Visin (2009, s. 1) mukaan hyötyjä ovat säästöt työvoimassa ja tilankäytössä, luotettavuudessa sekä virheitten määrässä. Richards (2022, s. 335) toteaa myös automaattisissa varastoissa olevan useita haittapuolia, kuten suuret investointikulut, huonompi joustavuus, lisättävä laaduntarkastus varastoon syöttäessä sekä järjestelmävirheet, jotka voivat pysäyttää varaston.

Erilaisia automaattivarastojärjestelmiä on olemassa laajasti. Yleisin ja yksinkertaisin on järjestelmä, jossa joka käytävällä kulkee yksi hyllystöhissi, joka pystyy käsittelemään yhtä tuotetta kerrallaan (Roodbergen & Vis, 2009, s. 3). Tässä työssä keskitytään laajemmin automaattisiin syväkanavavarastoihin.

2.2 Syväkanavavarastot

Syväkanavavarastolla tarkoitetaan varastoa, jossa varastokanavaan varastoidaan tuotteita peräkkäin. Verrattuna normaaliin varastoon, jossa yhdelle paikalle voidaan säilöä vain yksi tuote, syväkanavarastossa on vähemmän käytäviä, suurempi määrä tuotteita pinta-alaan nähden, näin voidaan säilöä suurempi määrä tuotteita tuotenimikettä kohden (Mulcahy & Sydow, 2008, s. 19). Tällaiset varastot ovat suosittuja, kun varaston pinta-alan pienentäminen on suurin prioriteetti (Azadeh ym., 2017 s. 13).

Azadehin ym. (2017, s. 14) mukaan automaattisissa syväkanavavarastoissa tuotteita voidaan käsitellä varastokanavassa kolmella tavalla. Push-Back-hyllystössä tuotteet varastoidaan mekaanisesti työntämällä tuotteita varastokanavaan. Kanava on hieman kalteva, jolloin painovoiman avulla tuote siirtyy kanavan etuosaan. Kuljettimella toimivassa hyllystöissä kanavissa on kuljetin, joka siirtää tuotteita kanavassa. Satelliittipohjaisessa järjestelmässä tuotteiden siirtely hoituu vaunulla, joka irtautuu hyllystöhissistä tai kulkee vapaasti varastokanavassa. Vaunu ottaa tuotteet kyytiin ajamalla tuotteen alle ja nostamalla sen ylös, jonka jälkeen vaunu palaa hyllystöhissin kyytiin. Tuotteiden jättö kanavaan onnistuu päinvastaisella operaatiolla.

Syväkanavarastossa toteutuu yleensä last-in-first-out eli LIFO-periaate. Kanavaan viimeiseksi varastoitu tuote otetaan ensin, sillä kanavaa voidaan operoida yleensä vain

yhdeltä puolelta (Mulcahy & Sydow, 2008, s. 183). Syväkanavavaraston suurimmaksi ongelmaksi muodostuu juuri LIFO-periaate, mikä tarkoittaa, että kanavasta on tuotteet otettava joko LIFO-periaatteen mukaan tai siirtämällä halutun tuotteen edestä muut tuotteet pois (Azadeh ym., 2017, s. 14).

2.3 TransRoll-korkeavarasto

TransRoll-korkeavarasto on Pesmel Oy:n ratkaisu paperirullien varastointiin. Varastot perustuvat syväkanavatekniikkaan, joka soveltuu suureen varastointivolyymiin. Rullia voidaan varastoida riippumatta rullan mitoista tai pakkaustavasta (Pesmel, 2020, s. 6). Hyllystöhissit pystyvät suorittamaan lähes 50 varastointitehtävää tunnissa. Hyllystöhissin kyydissä oleva vaunu voi käsitellä 1–8 rullaa kerralla riippuen rullan leveydestä, joten rullavirta yhtä hyllystöhissiä kohden voi olla parhaimmillaan 400 rullaa tunnissa.

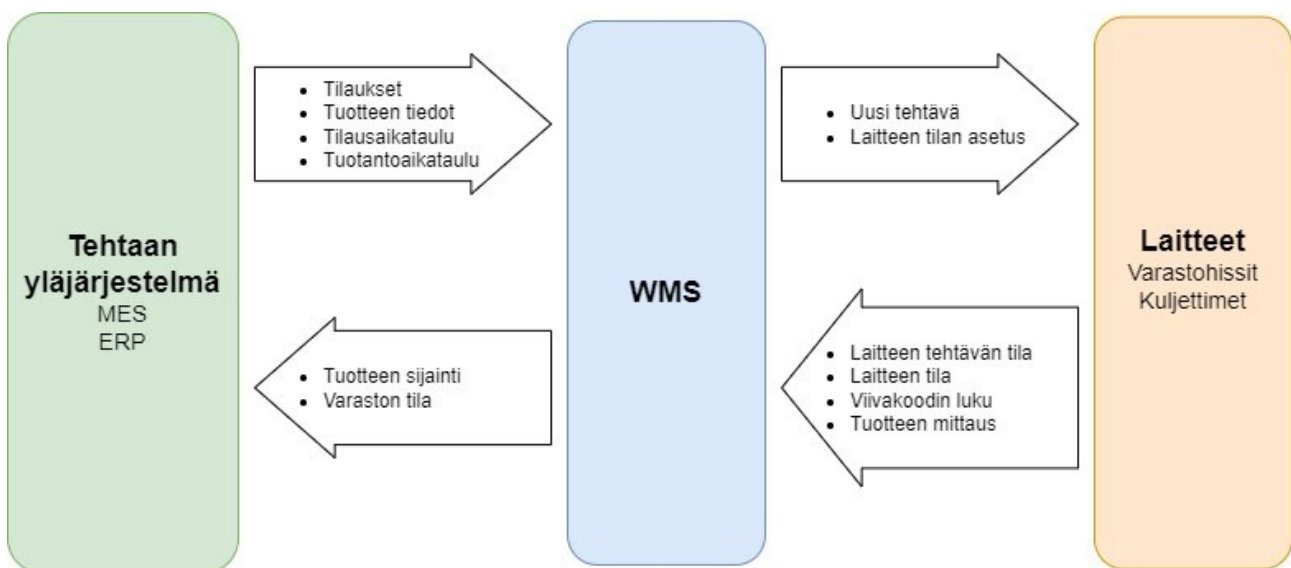


Kuva 3. TransRoll-korkeavaraston hyllystöhissi (Pesmel, 2022).

2.4 Varastonhallintajärjestelmä

Varastonhallintajärjestelmä eli WMS ohjaa materiaalivirtaa tuotannon, varaston, jatkokäsittelyn ja kuljetuksen välillä (Pesmel, 2020, s. 6). Faberin ym. (2002, s.382) mukaan varastonhallintajärjestelmän hyötyjä ovat mm. varaston lisääntynyt tehokkuus, tehokkaampi tilankäyttö sekä virheiden vähentäminen.

Automaattisissa varastoissa WMS ohjaa varaston laitteita valittuihin varastopaikkoihin (Mulcahy & Sydow, 2008, s. 65–66). WMS saa laitteelta tietoa tehtävän tilasta ja tehtävän onnistuessa data voidaan siirtää laitteen antamien tietojen mukaan oikeaan varastopaikkaan. WMS-järjestelmän on kommunikoitava myös muiden järjestelmien kanssa saadaksesen ja lähettääkseen tietoa mm. tilauksista, tuotannonhallinnasta ja kuljetuksista. (Faber ym., 2002, s. 384). Usein toiminnot ovat integroitu ERP (enterprise resource planning)-toiminnanohjausjärjestelmään.



Kuvio 1. WMS-järjestelmän kommunikointi tehtaan yläjärjestelmän ja varaston laitteiden kanssa (soveltaen Faber ym., 2002, s. 384).

3 VARASTOINTIKÄYTÄNNÖT

Varastointikäytännöllä viitataan käytäntöön, miten eri tuotteet tulisi sijoitella varastoon optimaalisen suorituskyvyn saavuttamiseksi, käsittelykustannuksien vähentämiseksi ja varaston tilankäytön parantamiseksi (Reyes ym., 2019, s. 2). Hausmann ym. (1976, s. 638) ja Bahrami ym. (2019, s. 391–394) esittävät useita käytäntöjä varastopaikan valintaan, näistä yleisimpiä ovat satunnainen, kysyntään perustuva, säilytysaikaan perustuva, korrelaatio sekä luokkapohjainen käytäntö.

3.1 Satunnainen

Satunnaisessa käytännössä tuotteet sijoitellaan varastopaikkoihin satunnaisesti. Käytännössä tuotteet sijoitellaan joko täysin satunnaisesti tai valitsemalla lähin vapaa varastopaikka. Bahramin ym. (2019, s. 391) mukaan satunnainen käytäntö on suosittu ratkaisu käytännön toteutuksissa. Se on yksinkertainen toteuttaa, on immuuni kysynnän ja valikoiman muuttumiselle sekä takaa eri käytävien tasaisen käytön. Satunnainen käytäntö kuitenkin vähentää varaston suorituskykyä, sillä tuotteista saatuja tietoja ei hyödynnetä (mts. 392). Satunnaista käytäntöä käytetään usein vertailukohtana muiden käytäntöjen suorituskyvyn mittaamiseen.

3.2 Tuotteen kysyntä

Tuotteen kysyntään perustuvassa käytännössä varastopaikat valitaan tuotteille tuotteen kysynnän mukaan (Roodbergen & Vis, 2009, s. 8–9). Suuren kysynnän tuotteet asetetaan nopeimmille paikoille lähelle I/O-pisteitä, kun taas pienen kysynnän tuotteet sijoitetaan kauemmas I/O-pisteestä. Käytännön toteuttamiseen tarvitaan tuotteiden kysynnästä mahdollisimman tarkka arvio. Kysyntä voidaan määritellä tuotteen vaatiman varastotilan ja tuotteen tilausmäärän suhteella. Käytännön heikkoutena on kysynnän muutokset, mikä voi vaatia varaston uudelleenjärjestelemistä palauttaakseen käytäntöön perustuvan järjestyksen (Bahrami ym., 2019, s. 392).

3.3 Tuotteen säilytysaika

Säilytysaikaan perustuvassa käytännössä huomioidaan tuotteen säilytysaikaa DOS (duration of stay) varastossa (Bahrami ym., 2019, s. 392). Käytännössä suositetaan parempia varastopaikkoja tuotteille, joilla on pieni säilytysaika. Muihin käytäntöihin verrattuna säilytysajan määrittely vaatii eniten dataa tuotenimikkeestä säilytysajan määrittämiseksi.

3.4 Korrelaatio

Korrelaatioon perustuvassa käytännössä samankaltaisia tai usein samaan tilaukseen kuuluvia tuotteita säilötään lähelle toisiaan (Bahrami ym., 2019, s. 393). Käytännön toteuttaminen vaatii tarkkaa dataa tuotteiden korrelaation laskemiseksi.

3.5 Luokkapohjainen

Luokkapohjaisessa käytännössä tuotenimikkeet jaetaan eri luokkiin sopivien kriteereiden mukaan. Kriteereitä voivat olla esimerkiksi kokonaismyynti, menekki, myyntikate tai määrä (Logistiikan maailma, i.a.-a). Varasto jaetaan luokkien mukaisesti eri alueisiin ja luokkaan kuuluvat tuotteet varastoidaan luokkaan kuuluville varastopaikoille satunnaisesti alueen sisällä (Roodbergen & Vis, 2009, s. 9).



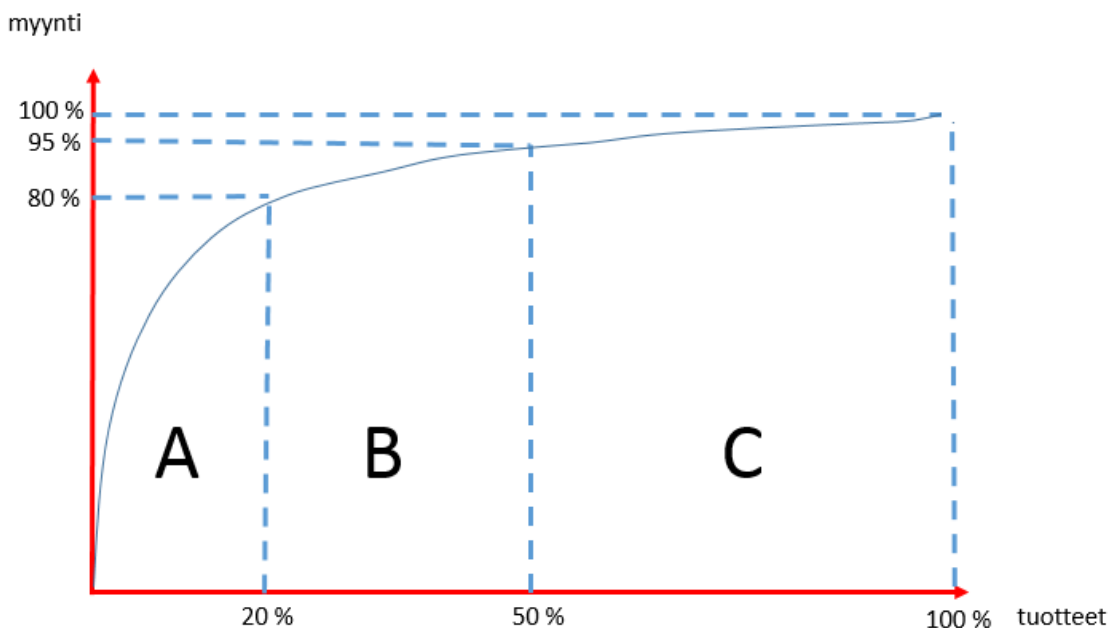
Kuvio 2. Tyypillinen luokkien alueiden jaottelu varastossa (mukaillen Roodbergen & Vis, 2009, s. 10).

Luokkapohjainen varastointi on suosittu johtuen yksinkertaisesta implementoinnista ja kyvystä toimia laajalla tuotekirjolla sekä tuotteiden kysynnän muutoksissa (Bahrami ym., 2019, s. 393). Roodbergen ja Visin (2009, s. 9) mukaan suurin hyöty luokkapohjaisessa menetelmässä on suurempi varaston tehokkuus johtuen nopeammin liikkuvien tuotteiden säilytyksestä lähempänä I/O-pisteitä. Lisäksi luokkapohjainen käytäntö säilyttää matalan varastotilan tarpeen sekä joustavuuden, jota satunnainen käytäntö tarjoaa.

3.5.1 ABC luokitus

Luokkapohjaista menetelmää, jossa on kolme luokkaa, kutsutaan yleensä ABC-varastoinniksi (Roodbergen & Vis, 2009, s. 9). A-luokan tuotteet ovat nopeimmin liikkuvia tuotteita, seuraavat B-luokan jne. Luokkien määrittelemiseksi käytetään usein ABC-analyysiä.

ABC-analyysi on yksi yleisimmistä varastonohjauksessa käytetyistä analyyseistä. Analyysissä luokitellaan varastoitavat tuotenimikkeet jonkin kriteerien perusteella esim. myyntikate, volyymi tai varastokustannukset. Luokittelun perusteella voidaan siten päättää kunkin luokan varastoinnista. Analyysi perustuu Pareton lakiin, jonka perusteella 20 % tuotenimikkeistä aiheuttaa 80 % varaston tapahtumista (Mulcahy & Sydow, 2006, s. 62).



Kuvio 3. ABC-analyysi myyntivolyymin perusteella (Logistiikan maailma, i.a.-a).

Luokittelu voidaan tehdä tarpeen mukaan useampaan luokkaan. Yun ym., (2015, s. 14) mukaan optimaalinen määrä luokkia luokkapohjaisessa käytännössä on 2–5 luokkaa. Yleinen lähtökohta ABC-luokittelulle on taulukossa 7 esitetty jaottelu (Logistiikan maailma, i.a.-a).

Taulukko 1. ABC luokittelun jaottelu (Logistiikan maailma, i.a.-a).

Luokka	A	B	C	D
Kokonaismyynti	50 %	30 %	18 %	2 %

3.6 Käytäntöjen vertailu

Useissa tutkimuksissa, joissa on simuloitu tai laskettu valintakäytäntöjen suorituskykyä, tuloksena on selvinnyt luokkapohjaisen sekä kysyntään perustuvien käytäntöjen suoriutuvan paremmin kuin satunnaisen menetelmän (Roodbergen & Vis, 2009, s. 8–9). Esimerkiksi Hausmannin ym. (1976, s. 638) tutkimuksen mukaan merkittäviä vähennyksiä hyllystöhissin ajoaikaan automaattisissa varastoissa voidaan saada käyttäen luokkapohjaista käytäntöä satunnaisen käytännön sijaan. Luokkapohjaisessa käytännössä käytetään usein tuotteen kysyntään perustuvaa luokittelua. Myös vaihtoehtoisia luokittelutapoja on olemassa. Kulturel ym. (1999, s. 12) vertasivat kahta luokkapohjaista menetelmää, joissa ensimmäisessä luokat määriteltiin tuotteen kysynnän mukaan ja toisessa tuotteen säilytysajan (DOS) mukaan. Tutkimuksesta selvisi kysynnän mukaan luokitellun menetelmän suoriutuvan paremmin, erojen ollessa kuitenkin hyvin pieniä etenkin suuremmalla nimikkeiden määrällä.

Odotetut säästöt hyllystöhissin liikeajoissa luokkapohjaisessa käytännössä riippuvat varastoitavien tuotenimikkeiden ABC-käyrästä. Yun ja de Kosterin (2009, s. 206) tutkimuksen mukaan syväkanavavarastossa kahden luokan luokittelukäytännössä säästöt hyllystöhissin ajomatassa ovat suurempia verrattuna satunnaiseen käytäntöön riippuen ABC-käyrän vinoudesta. Esimerkiksi ABC-käyrä, jossa 20 % tuotteista vastaa 50 % varaston tapahtumista, odotettu parannus liikeajoissa on noin 10 %. Kun taas käyrä, jossa 20 % tuotteista vastaa 80 % varaston tapahtumista, parannus on noin 29 %.

Varaston suunnitteluun varastointikäytännöllä ei ole vaikutusta. Zaerpourin ym. (2013, s. 6898) tutkimuksen perusteella varaston optimaaliset mitat ovat riippumattomia varastointikäytännöstä. Tällöin varastointikäytännöllä ei ole vaikutusta varaston suunnitteluun, ja suunnittelussa voidaan käyttää apuna esim. satunnaista käytäntöä.

4 LUOKKAPOHJAISEN VARASTOINTIKÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

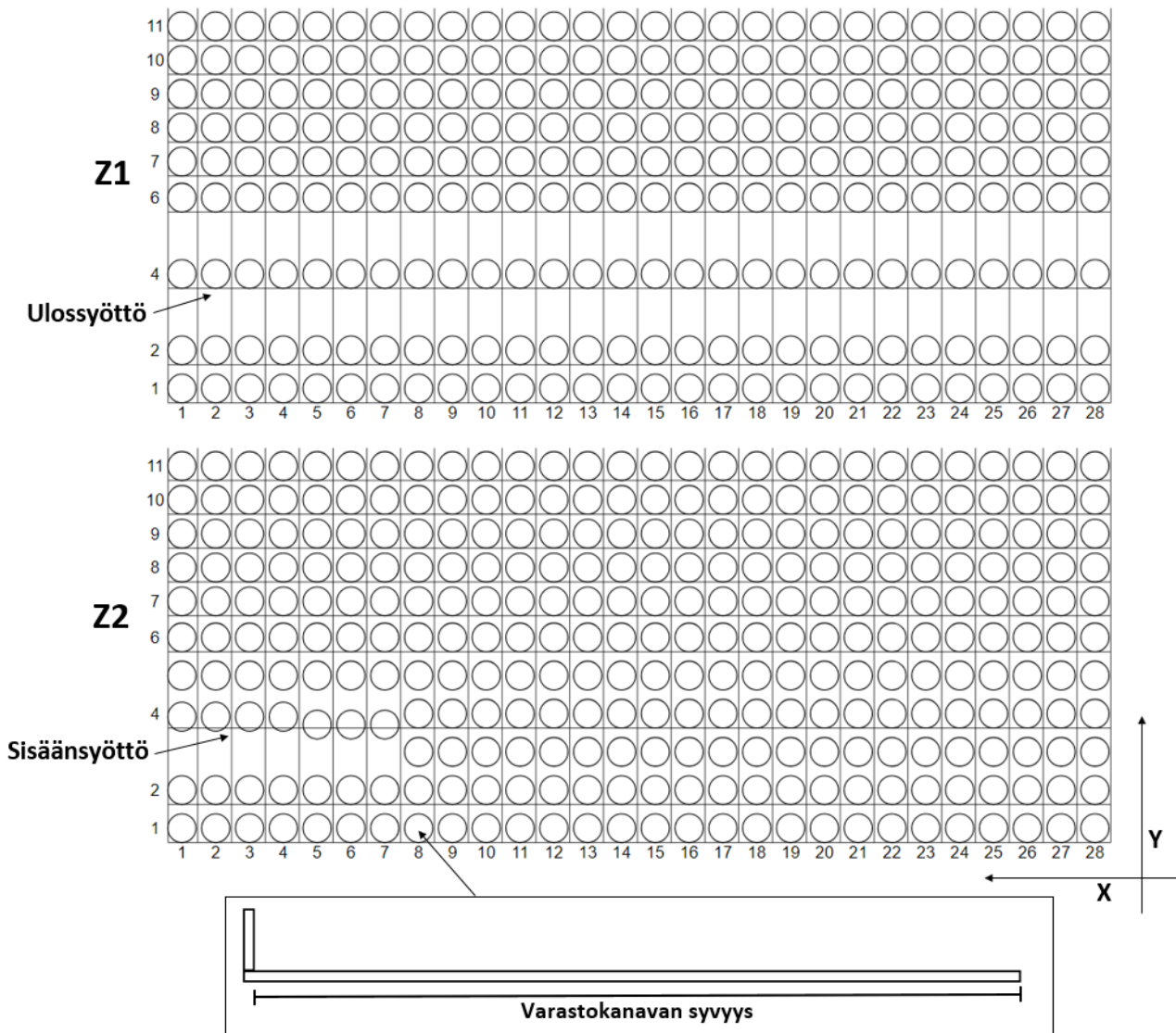
Varastointikäytäntöjen tutkimuksen pohjalta selvisi luokkapohjaisen käytännön olevan soveltuvien yrityksen valmistamiin järjestelmiin. Luokkapohjaisen käytännön todettiin aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa vähentävän hyllystöhissin liikeaikoja eniten verrattuna muihin käytäntöihin. Lisäksi käytäntö tarjoaa satunnaisen käytännön joustavuuden, joka vähentää riskiä, että käytäntö huonontaisi väärin toteutettuna tai väärillä tiedoilla varaston suorituskykyä.

Seuraavassa osiossa WMS-ohjelmistoon kehitetään uusi ohjelma luokkapohjaisen käytännön toteutusta varten. Käytännön toimivuuden testausta varten luodaan lisäksi testiohjelmisto, jota pystytään simuloimaan yrityksen WMS-simulaattorilla.

4.1 Testiohjelmisto

Testausta varten luotiin testiohjelmisto, jossa on simuloitu TransRoll-paperirullavarasto. Sovellus kehitettiin WMS-ohjelmiston pohjaprojektista, joka sisältää tarvittavat toiminnot ympäristön luomista varten.

Simuloitu varasto sisältää yhden käytävän, jossa on yksi hyllystöhissi sekä kaksi puolta, jota kuvataan nimillä Z1 ja Z2. Varasto sisältää 4 kuljettimella toimivaa sisäänsyöttöpaikkaa, jotka sijaitsevat Z2-puolella kerroksessa 4. Z1-puolella kerroksessa 3 on varaston ulossyöttöpaikat. Simulaatiossa rullat siirtyvät tietyn ajan jälkeen ulossyöttökanavista järjestelmästä ulos. Työssä simulointiin kahta eri varaston kokoa. Ensimmäisessä varastossa varastopaikkoja eli varastokanavia on 521 ja kanavien syvyys on 18,6 metriä. Toisessa varastossa varastokanavia on 929 ja kanavien syvyys on 10 metriä.



Kuvio 4. Sivukuva testiohjelmiston varastosta käytävän molemmilta puolilta.

4.2 Ohjelman rakenne

WMS-ohjelmistoon kehitettiin uusi ohjelma, joka hoitaa luokituskäytäntöön tarvittavat toiminnot. Ainoa ennalta määriteltävä asia on käytettävät luokat, niiden määrä sekä jaottelu. Ohjelma koostuu neljästä eri toiminnosta.

1. Tiedon kerääminen tuotenimikkeistä
2. Nimikkeiden luokittelu ABC-analyysin avulla
3. Varastokanavien hyvyden määrittely
4. Varastokanavien allokointi

Ohjelmaa suoritetaan säännöllisin väliajoin, jolloin pystytään vastaamaan tuotenimikkeiden vaihteluun sekä niiden menekin muutoksiin. Ohjelman suorittamisen jälkeen saadaan tietoon jokaisen tuotenimikkeen sekä jokaiselle varastokanavalle määritelty luokka. Näiden tietojen avulla WMS-ohjelmiston varastokanavanvalintaan voidaan lisätä luokitukseen perustuva ehto, jolla saadaan toteutettua luokitukseen perustuva käytäntö.

4.3 Tiedon kerääminen tuotenimikkeistä

Luokkapohjaisen käytännön toteuttamiseen tarvitaan dataa varastoitavista tuotenimikkeistä. Dataa voidaan kerätä WMS-ohjelmiston tietokannasta tai mistä tahansa saatavilla olevasta raportista. Laskenta tehdään laskemalla sopivalta aikaväliltä jokaiselta päivältä jokaisen tuotenimikkeen tuotettu määrä, tilattu määrä sekä paljonko tuotetta oli varastoitu päivän päätteeksi. Lopuksi kerätystä päivittäisestä datasta saadaan laskettua tuotenimikkeistä seuraavat tiedot:

- Varastoitu metrimäärä keskimäärin, maksimimetrit sekä minimimetrit
- Tilattu määrä päivittäin keskimäärin
- Tilattu määrä yhteensä
- Tilauksien määrä yhteensä
- Tuotettu määrä päivittäin keskimäärin
- Tuotettu määrä yhteensä
- Tuotenimikkeen säilytysaika keskimäärin.

4.4 Luokittelu

Roodbergen ja Visin (2009, s. 9) mukaan suunnittelijan on päätettävä luokkapohjaisen käytännön implementoimiseksi luokkien määrä sekä jaottelu. Luokille asetetaan lisäksi tärkeys, jota käytetään ohjelman muissa toiminnoissa tunnistamaan luokkien tärkeysjärjestys. Tämän avulla halutessa voidaan käyttää luokkien nimeämiseen muuta käytäntöä. Luokitus voi olla esimerkiksi taulukon 2 kaltainen. Tuotenimikkeiden luokkien määrittäminen toteutetaan ABC-analyysin avulla.

Taulukko 2. Luokkien määrittely.

Luokka	A	B	C	D	E
Tapahtumat	50 %	30 %	15 %	4 %	1 %
Tärkeys	5	4	3	2	1

4.4.1 Luokittelun kriteeri

Luokkapohjaisessa käytännössä on määriteltävä kriteeri, jolla tuotteet luokitellaan. Varastoinnin kannalta oleellinen kriteeri on, paljonko tuote aiheuttaa varastossa tapahtumia, tämä tarkoittaa automaattivarastossa hyllystöhissin suorittamien tehtävien määrää. Työssä käsiteltävässä paperirullavarastossa rullat vaihtelevat leveydeltään, jolloin rullia käsittelevä TransRoll-vaunu voi ottaa useamman rullan kyytiin riippuen rullien leveydestä. Kriteerinä ei voida siis käyttää pelkästään toimitettujen rullien määrää.

Esimerkiksi, jos kolmea erilevyistä rullaa on tilattu jossain ajanjaksossa kaikkia yhteensä 100 kpl, hyllystöhissin TransRoll-vaunun pituus on 5 m ja rullien välille jätettävä etäisyys on 100 mm, arvio tehtävien määristä on seuraavanlainen.

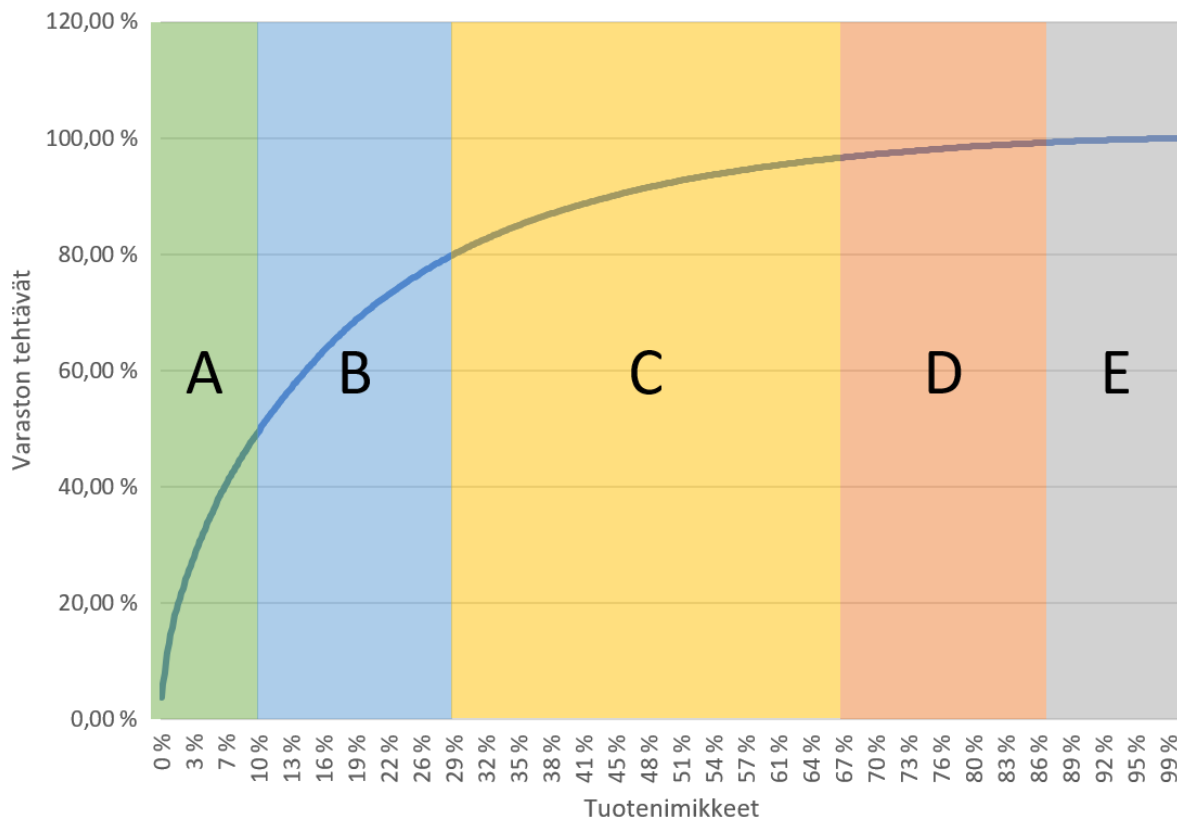
- Leveydeltään 2500 mm rullaa mahtuu 1 kappaale, mikä tarkoittaa 100 tehtävää
- Leveydeltään 2400 mm rullaa mahtuu 2 kappaletta, mikä tarkoittaa 50 tehtävää
- Leveydeltään 1000 mm rullaa mahtuu 4 kappaletta, mikä tarkoittaa vain 20 tehtävää

Samaa tuotenimikettä pyritään varastoimaan aina samaan kanavaan peräkkäin mahdollisimman monta, joten arviointi tehtävien määrästä pätee hyvin, mutta ei ole täydellinen sillä aina ei ole mahdollisuutta ottaa maksimimäärä rullia vaunun kyytiin.

4.4.2 ABC-analyysi

Tuotenimikkeet järjestetään tuotenimikkeistä kerätyn datan perusteella laskevaan suuruusjärjestykseen arvioidun tehtävämäärän mukaan. Tästä järjestyksestä lasketaan aluksi A-luokkaan kuuluvat tuotenimikkeet laskemalla paljonko 50 % on kokonaissummasta ja

asettamalla siihen kuuluvat tuotenimikkeet luokkaan A. Esimerkiksi kuviossa 5 nähdään, että luokka A sisältää 10 % kaikista tuotenimikkeistä ja aiheuttaa noin 50 % kaikista varaston tehtävistä. Sama toimenpide tehdään seuraavaksi luokalle B jne. Tämä toimenpide toteutetaan määriteltyjen luokkien perusteella. Kuviossa 5 on esitetty lopullinen ABC-käyrä luokitteluneineen. ABC-analyysin jälkeen tuotenimikkeille voidaan määritellä luokka.



Kuvio 5. ABC-analyysistä tehty luokittelu.

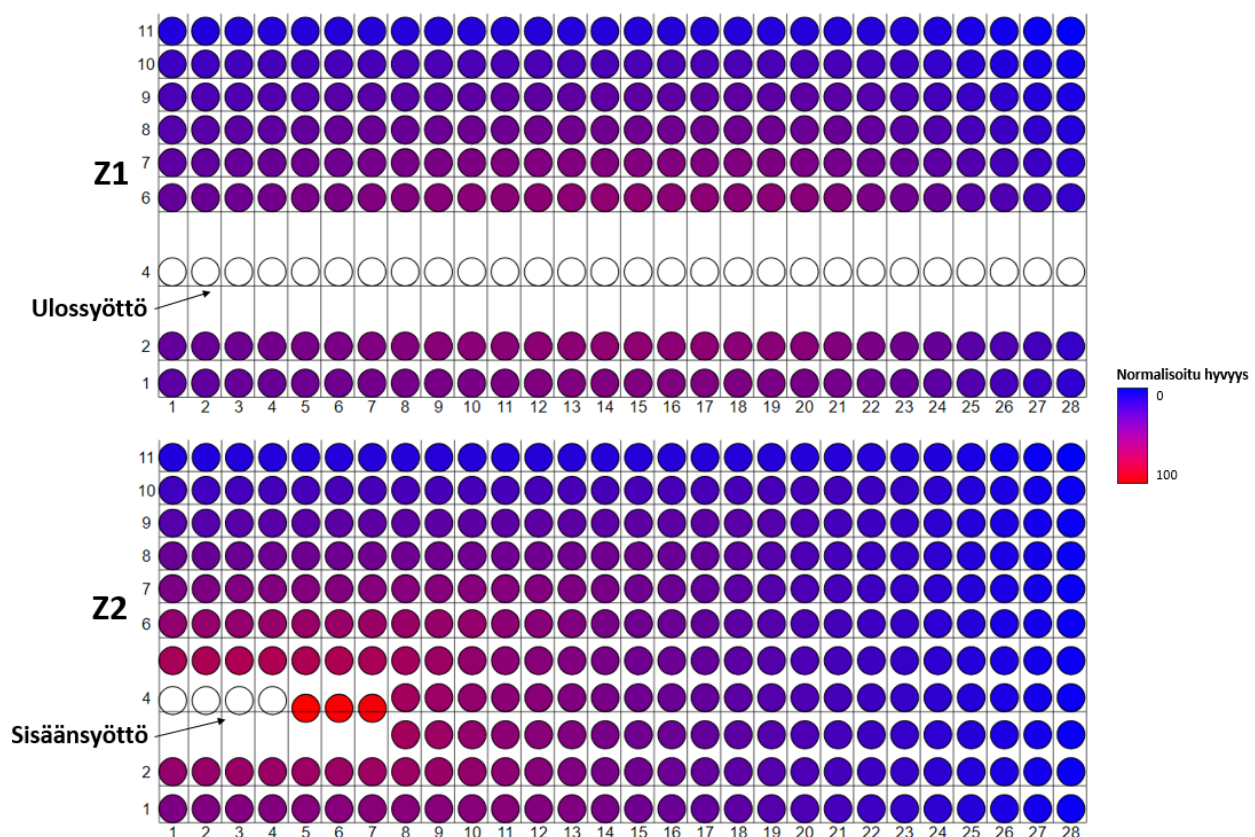
4.5 Varastokanavan hyvyyden määrittely

Luokkapohjaisessa käytännössä luokille on allokoitava varastosta luokkaan kuuluvat varastokanavat. Tärkeimmälle ja nopeimmin kiertävälle luokalle valitaan varastosta parhaimmat kanavat, jolloin tehtäviin kuluva aika saadaan vähennettyä (Roodbergen ym., 2009, s. 9). Ensimmäiseksi on siis määriteltävä, mitkä ovat varastossa hyviä ja nopeita varastokanavia.

Varastokanavan hyvyyteen vaikuttaa ensisijaisesti sen sijainti suhteessa I/O-pisteisiin. Mikäli I/O-pisteet olisivat kaukana toisistaan, olisi määriteltävä suositaanko tilausten

toimitusten nopeutta, jolloin tärkeimmät tuotteet kannattaisi sijoitella lähemmäksi ulossyötöpaikkaa. Kanavan hyvyyteen voi vaikuttaa myös monta muuta tekijää mm. useamman saman käytävän hyllystöhissien operoimien alueiden päällekkäisyys, jolloin välissä oleva alue olisi vaikeammin saavutettavissa, sillä hyllystöhissit joutuvat väistellä toisiaan. Työssä käsiteltävässä varastossa on kuitenkin vain yksi hyllystöhissi.

Varastokanavan hyvyys määritellään laskemalla hyllystöhissin liikkeisiin kuluva aika varastokanavasta kaikkiin I/O pisteisiin. Hyllystöhissin liikkeisiin kuuluu sivuttaisliike eli X-liike, nosto eli Y-liike, vaunun ajo varastokanavaan sekä kääntöpöydän kääntäminen. Hyllystöhissi voi suorittaa X- ja Y-liikkeet sekä kääntöpöydän kääntämisen samanaikaisesti, jolloin vain pisin liikkeeseen kuluva aika on merkityksellinen. Tähän aikaan lisätään vielä kanavaan ajoon kuluva aika, millä voidaan ottaa huomioon lyhyemmät varastokanavat. Saaduista ajoista otetaan keskimääräinen aika jokaiseen I/O-pisteeseen. Laskentojen perusteella voidaan määrittellä jokaisen varastokanavan hyvyys. Varastokanaville annetaan ajan perusteella normalisoitu arvo välille 0–100 jossa 100 on paras paikka ja 0 huonoin.



Kuvio 6. Lämpökartta varastopaikkojen hyvyyden määrittelystä.

Laskentojen perusteella saadaan arvio kunkin varastokanavan hyvyydestä. Mikäli arviota halutaan tarkentaa, voidaan hyvyys määritellä uudelleen käyttämällä hyllystöhissin tehtävistä saatua dataa, kun varasto on ollut käytössä niin kauan että jokaisesta varastokanavista saadaan tehtävän keskimääräinen kesto I/O-pisteisiin.

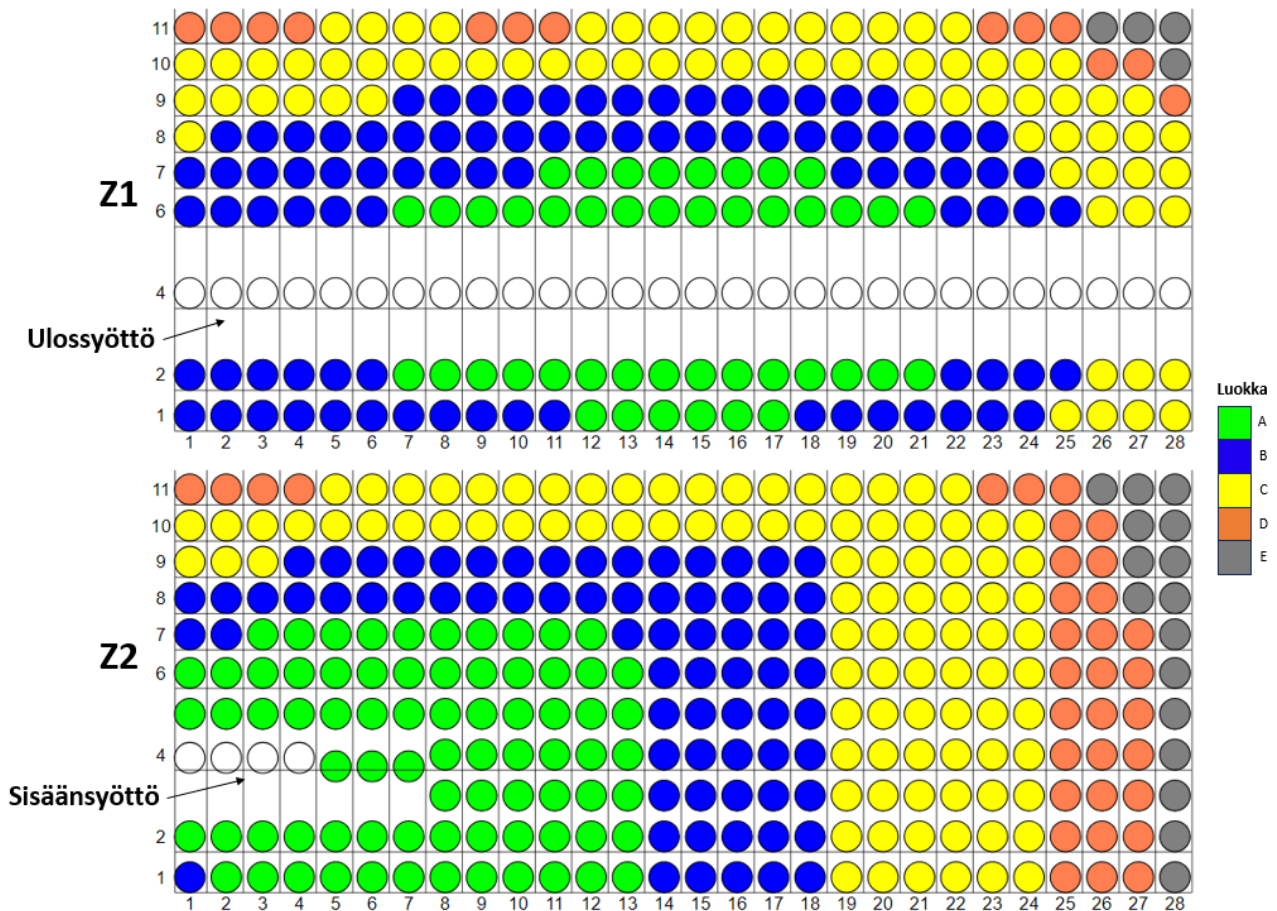
4.6 Varastokanavien allokointi

Varastokanavien allokointi alkaa määrittelemällä, kuinka iso osuus varastokanavista kullekin luokalle allokoidaan. Osuuden laskemiseen käytetään aiemmin laskettua tuotenimike-dataa. Tuotenimikedatasta lasketaan kunkin luokan keskimääräinen metrimäärä laske-
malla luokkaan kuuluvien tuotenimikkeiden keskimääräinen metrimäärä varastossa yhteen. Laskuista huomioidaan pois tuotenimikkeet, jotka täyttävät alle puolet yhden varastokanavan syvyydestä, sillä nämä pyritään varastoimaan muiden varastokanavien etuosiin. Laskuista saadaan selville luokille määriteltävät prosenttiosuudet varaston kanavista. Taulukossa 2 on esimerkki luokkien käyttämisestä varastokanavien osuuksista.

Taulukko 2. Luokille määritetyt osuudet varaston paikoista.

Luokka	A	B	C	D	E
Tapahtumat	50 %	30 %	15 %	4 %	1 %
Tärkeys	5	4	3	2	1
Osuus paikoista	23 %	31 %	33 %	9 %	4 %
Paikkojen määrä	120	162	172	47	20

Seuraavaksi varastokanaville asetetaan sille määritetty luokka siten, että tärkeimmälle luokalle eli A-luokalle asetetaan sille määritetty prosenttiosuus kanavista ensin, seuraavaksi B-luokalle jne. Varaston sivukuvassa, kuviossa 7, esitetään valitut varastokanavat jokaiselle luokalle.



Kuvio 7. Varastokanavat luokiteltuna.

4.7 Varastokanavan valinta

Uuden tuotteen saapuessa varastoon on sille valittava varastosta mahdollisimman hyvä varastokanava. Syväkanavavarastossa on otettava huomioon varastossa jo olemassa olevat tuotteet. Saman tuotenimikkeen tuotteita pyritään varastoimaan aina mahdollisimman paljon samaan varastokanavaan. WMS-ohjelmistossa käytetään muutamaa perussääntöä seuraavassa tärkeysjärjestyksessä:

1. Vastakanavassa on tarpeeksi tilaa.
2. Vastakanavassa ei ole aktiivisia varastosiirtoja.
3. Varastokanavan etuosassa on samaa tuotenimikettä.
4. Varastokanavassa ei ole useampaa eri tuotenimikettä. Tällä vältetään kanavia, jossa on useaa tuotenimikettä, mikä vähentää ylimääräistä siirtelyä varastossa.

Sääntöjä voi olla projektin mukaan useampia. Näiden sääntöjen perusteella palautetaan tuotteelle sopivat varastokanavat paremmuusjärjestyksessä. Luokkapohjaisen käytännön toteuttamiseksi varastokanavan valintaan lisätään luokitukseen perustuva sääntö, jolla suositaan varastokanavia, jotka vastaa tuotenimikkeen luokitusta. Mikäli tuotenimikkeen luokitusta vastaavaa varastokanavaa ei ole saatavilla, suositaan varastokanavaa seuraavasta luokasta ensisijaisesti määritellyn tärkeyden mukaan alemmaa luokkaa.

4.8 Simulointi

Käytännön toimintaa testataan simuloimalla WMS-ohjelmistoon rakennetulla simulaattorilla. Simulaatiossa ajetaan satunnaista varastointikäytäntöä sekä työssä tehtyä luokkapohjaista käytäntöä. Simulaatiossa ajetaan sama viikon datasetti kahdella erikokoisella varastolla, ja vertaillaan siitä saatuja tuloksia. Simulointiajoja suoritetaan molemmille käytännöille useita kertoja, sillä satunnaisuuden takia tulokset voivat vaihdella hieman simulaatioajojen välillä.

4.8.1 WMS-simulaattori

WMS-simulaattori on toimeksiantajan tekemä simulaattori varaston laitteiden simuloimiseksi. Simulaattorissa laitteita simuloidaan laskemalla hyllystöhissin liikkeitä sekä sen kommunikaatiota WMS-järjestelmän kanssa. Tällöin WMS-ohjelmisto toimii simuloitussa identtisesti verrattuna tuotantoympäristöön. Tämä helpottaa järjestelmän kehittämistä, sillä järjestelmää ei tarvitse soveltaa ulkopuoliseen simulaattoriin. Tässä työssä ei siis harkittu muun simulaattorin käyttämistä sillä työssä kehitetään itse WMS-ohjelmiston toimintaa. Simuloinnista saadaan tarkka arvio siitä, kuinka kauan aikaa hyllystöhissin tehtäviin kuluu, tätä käytetään työssä käytäntöjen vertailuun.

4.8.2 Simuloitava data

Hyvien tuloksien saamiseksi todellisuutta vastaava data on tärkeää. Työtä varten dataa otettiin viikon ajanjaksolta oikeasta tuotannosta, ja muunneltiin työhön sopivaksi valitsemalla rajoitettu määrä tuotantoa ja tilauksia. Dataa rajoitettiin, koska suuri datamäärä lisää työn monimutkaisuutta, jolloin muut tekijät vähentävät paikan valitsemisen vaikutusta,

tämä haittaa työn tuloksien analysointia. Data sisältää varastoidut rullat, sisään syötettävät rullat sekä ulossyöttötilaukset. Erilaisia tuotenimikkeitä datassa on noin 500. Datan avulla WMS-ohjelmistoon voidaan luoda datassa olevien aikaleimojen avulla uusia rullia sekä tilauksia simulointia varten.

4.8.3 Alkuvaraston luonti

Ennen simulaation aloittamista varastoon kuuluvat rullat sijoitetaan varastoon. Jokaiselle rullalle valitaan varastokanava varastokanavanvalintatoiminolla, näin tilanne saadaan mahdollisimman lähelle oikeaa ennen simulaation aloittamista. Tilanne ei vastaa täysin tilannetta, jossa rullat olisi varastoitu pitkällä aikavälillä, sillä useat varaston tyhjentyemis- ja täyttösyklit aiheuttavat varastoon erilaisen tilanteen.

4.8.4 Suorituskyvyn mittaus

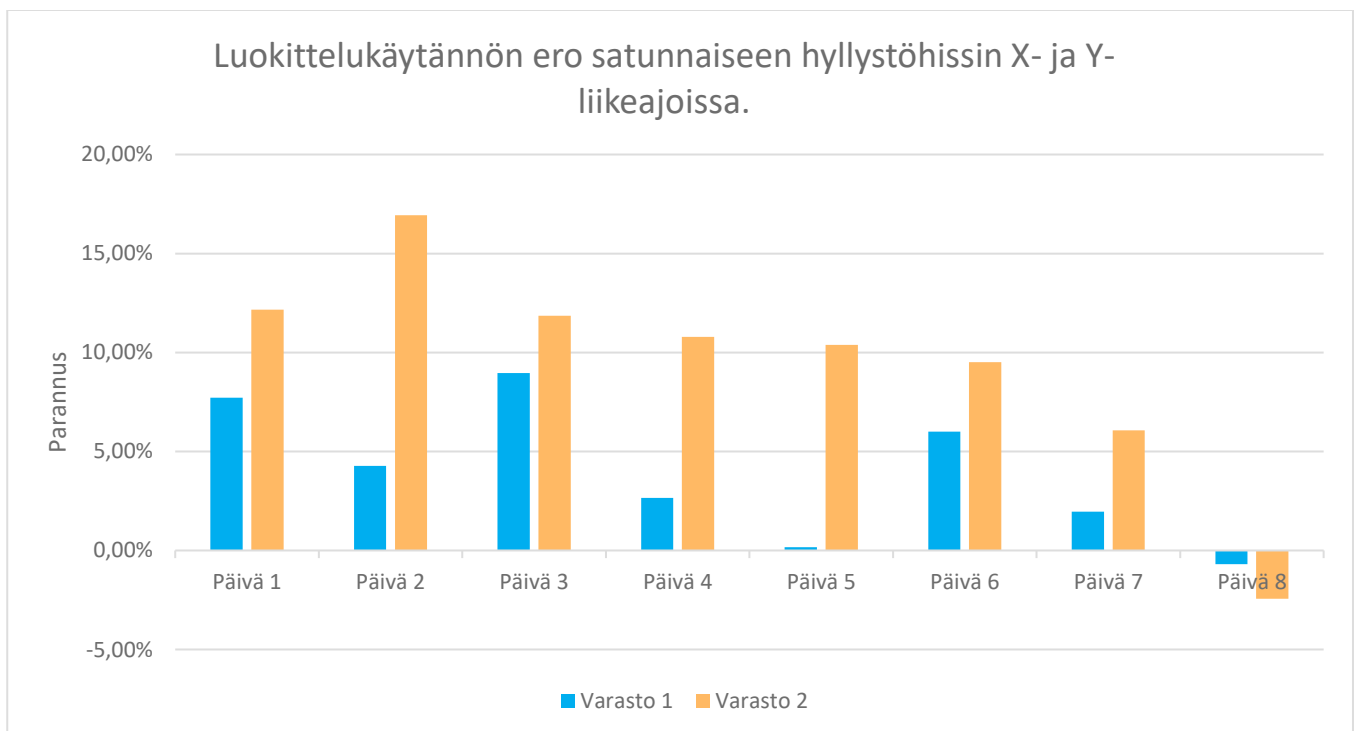
Yksi yleisin suorituskyvyn mittari automaattisissa varastoissa on hyllystöhissin liikeaikoihin kuuluva aika (Reyes ym., 2019, s. 17). Käytäntöjen vertailua varten tarvitaan siis dataa hyllystöhissin liikeajoista. Dataa saadaan simuloinnista, josta saadaan hyllystöhissille annetuista tehtävistä aika, milloin hyllystöhissi on aloittanut tehtävän, saapunut varastopaikalle (X-, ja Y-liike sekä kääntöpöydän kääntäminen) sekä, milloin hyllystöhissi on suorittanut tehtävän (ottanut tai jättänyt rullan varastopaikkaan). Ajoista saadaan selville hyllystöhissin liikeajat esim. päivittäin. Tuloksissa otetaan huomioon vain sisään- ja ulossyöttötehtävät, sillä varastointikäytäntö vaikuttaa vain näihin tehtäviin.

5 TULOKSET

Luokkapohjainen käytäntö totutettiin varastohallintajärjestelmään onnistuneesti. Käytännön toteutus sopisi tutkimuksen ja toteutuksen perusteella joustavuuden ansiosta yrityksen valmistamiin varastoihin sekä olisi helposti hyödynnettävissä useissa toimituksissa.

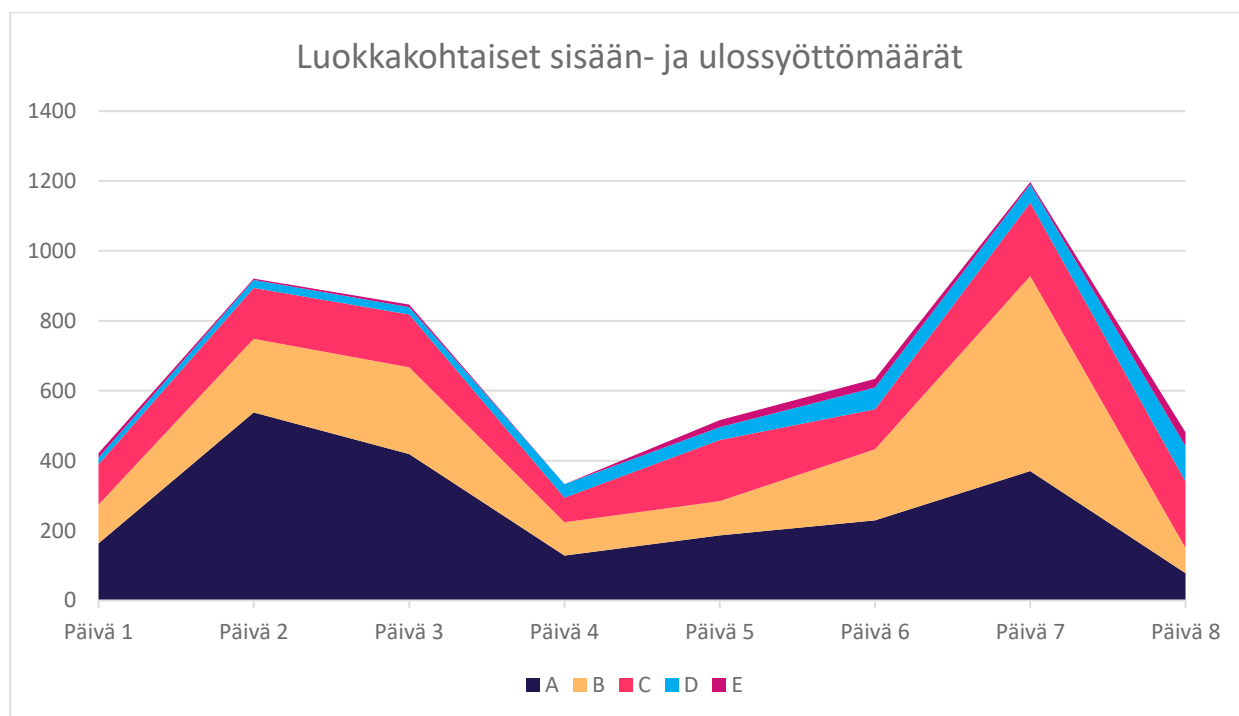
Simuloinnin tuloksena selvisi luokkapohjaisen käytännön vähentävän hyllystöhissin ajoaikaa molemmissa simuloituissa varastoissa. Varastossa 1 kokonaisaikaan katsoessa, parannus satunnaiseen verrattuna oli noin 2–3 %. Tarkastaessa vain hyllystöhissin X- ja Y-liikkeen aikoja, eli ilman varastopaikan syvyysajoliikettä, ajoaika väheni noin 3–5 %.

Varastossa 2, jossa varastokanavia oli enemmän, mutta varastokanavat olivat lyhyempiä kokonaisajan parannus oli noin 5–7 % ja X- ja Y-liikeaikoja katsoessa parannus oli noin 9–11 %. Tästä voidaan siis päätellä varastokanavien määrän vaikuttavan merkittävästi luokituskäytännön tehokkuuteen. Kuviossa 8 on esitetty ero satunnaiseen käytäntöön X- ja Y-liikeajoissa molempien varastojen osalta simuloitun viikon ajanjakson jokaiselta päivältä.



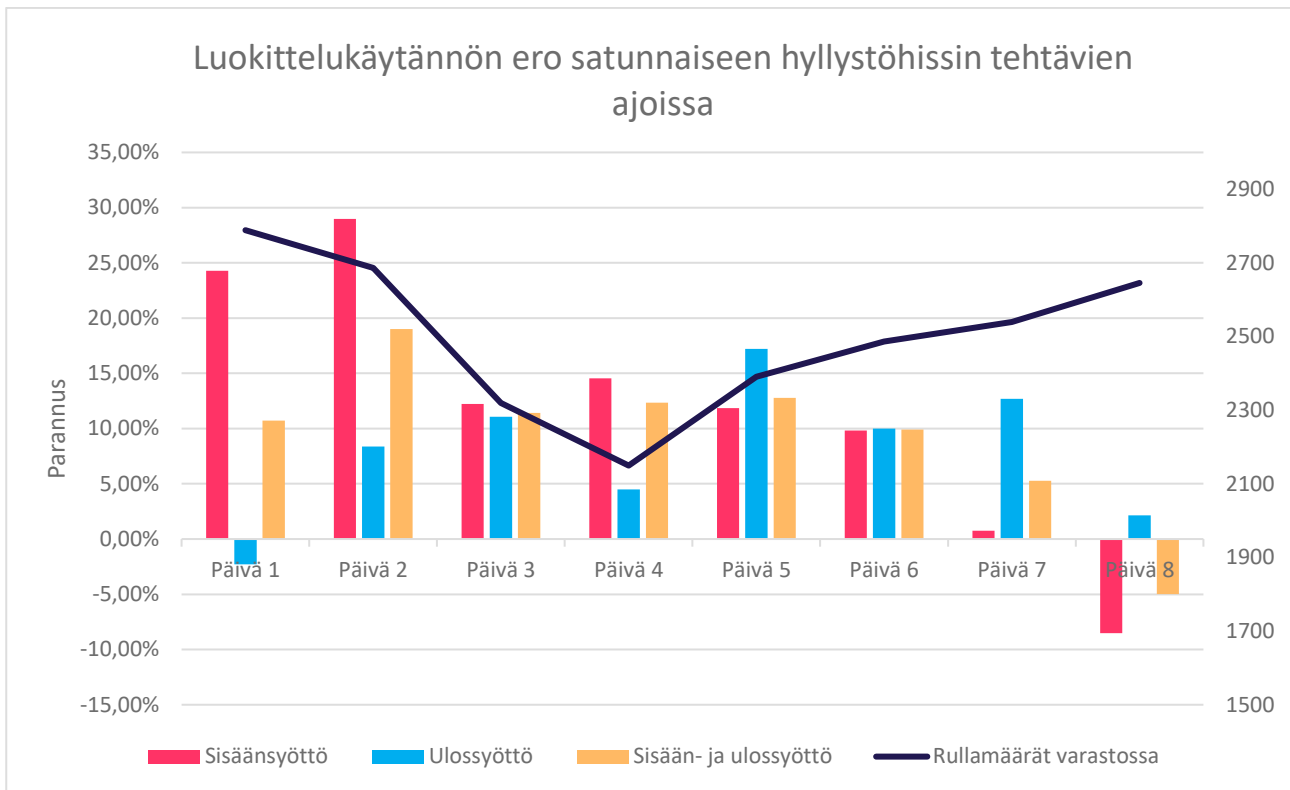
Kuvio 8. Luokittelukäytännön ero satunnaiseen käytäntöön hyllystöhissin X- ja Y-liikeajoissa.

Kuviossa 9 viimeisen päivän osalta huomataan molemmissa varastoissa luokkapohjaisen käytännön olevan satunnaista huonompi. Tutkiessa sisään- ja ulossyöttödataa huomattiin, että kyseisenä päivänä sisään- ja ulossyöttömäärissä oli muihin päiviin verrattuna huomattavasti enemmän C- ja E-luokkien tuotteita, mikä heikentää luokkapohjaisen käytännön suorituskykyä kyseisenä päivänä. Kuviossa 10 on esitetty luokkakohtaisesti sisään- ja ulossyöttömäärät.



Kuvio 9. Luokkakohtaiset sisään- ja ulossyöttömäärät.

Kuviosta 10 voidaan todeta myös luokittelun jaottelun olevan melko lähelle oletettua. Ja-kauma vastaa ABC-analyysiä, jossa A-luokka täyttää noin 50 % kaikista rullamääristä. Kuviossa 11 esitetään vielä varaston 2 osalta sisään- ja ulossyöttöerot eriteltyinä, sekä varaston rullamäärät lisättyinä.



Kuvio 10. Luokittelukäytännön ero satunnaiseen varastossa 2.

Simuloinnin ja käytäntöjen vertailun lopputuloksena todettiin luokkapohjaisen käytännön olevan soveltuva käytäntö. Luokkapohjainen käytäntö tarjoaa parempaa varaston suorituskykyä, samalla säilyttäen satunnaiseen käytännön joustavuuden. Käytännön tehokkuus kuitenkin riippuu varastopaikkojen määrästä.

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn tavoitteena oli tutkia varastointikäytäntöjä, sekä implementoida ja testata parhaaksi todettua yrityksen varastohallintajärjestelmässä. Työ eteni alkuun tutkimalla erilaisia varastointikäytäntöjä. Aikaisessa vaiheessa tutkimusosuudessa tuli selville, että luokkapohjainen käytäntö on aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa todettu olevan parhaimpia käytäntöjä hyllystöhissin liikeaikojen vähentämiseen. Lisäksi käytännön todettiin olevan yksinkertainen implementoida ja joustava tuotevalikoiman muutoksiin. ABC-analyysi on suosittu sekä tehokas tapa määrittellä luokat käytäntöä varten. Tutkimuksissa todettiin yrityksessä useasti käytetyn satunnaisen käytännön olevan myös käytännön toteutuksissa hyvä ratkaisu. Luokittelukäytännön hyvänä puolena tuli ilmi sen joustavuus. Pahimmassa tapauksessa käytäntö on yhtä hyvä kuin satunnainen käytäntö, joten käytännön toteuttamiseen liittyy vähemmän riskejä.

Tutkimusosuuden jälkeen aloitettiin tutkimuksen perusteella toteuttamaan luokkapohjaista käytäntöä varastohallintajärjestelmään. Työssä käytettiin yrityksen WMS-simulaattoria, jolla käytäntöä pystyttiin testaamaan oikeaa ympäristöä vastaavassa ympäristössä. Työn alussa haasteita toi sopivan simulointidatan, sekä simuloitavan varaston määrittäminen. WMS-ohjelmistoon luotiin luokkapohjainen toteutus, jossa pystytään määrittelemään käytetyt luokat, keräämään tietoa varastoitavista tuotteista, luokittelemaan tuotenimikkeet ABC-analyysin avulla, allokoimaan varastokanavia luokille sekä valitsemaan tuotteille paikka, sille määritellystä luokasta.

Toteutus onnistui ja sitä testattiin simuloimalla ja vertaamalla satunnaiseen valintakäytäntöön. Tuloksena todettiin luokkapohjaisen käytännön vähentävän hyllystöhissin ajoaikoja jokaisessa simulaatioajossa etenkin, kun varastossa on paljon varastopaikkoja. Luokkapohjaista käytäntöä voidaan tulevaisuudessa harkita yrityksen tulevissa toimituksissa varaston optimoimista varten.

6.1 Jatkokehitys

Jatkon kannalta mielenkiintoista olisi simuloida useampaa eri varastokokoa, datasettiä ja luokkien jaottelua. Tulevaisuudessa olisi selvitettävä myös, miten luokitus toimii

pidemmällä aikavälillä (1–2 vuotta). Työssä ei pystytty testaamaan pidemmän aikavälin toimintaa, jolloin ei saatu selville, miten luokitus toimii tuotenimikkeiden ja tuotannon muuttuessa. Menetelmää olisi myös testattava suuremmissa varastojärjestelmissä, jossa olisi useampi käytävä, useampi hyllystöhissi samalla käytävällä sekä enemmän kanavia. Käytännön toteutusta olisi myös kehitettävä siten, että se olisi helposti käyttöön otettavissa uusiin toimituksiin tekemällä toteutuksesta skaalautuva ja dynaaminen, jolloin se olisi sovellettavissa erilaisiin varastojärjestelmiin.

LÄHTEET

- Azadeh, K., Koster, R. M., & Roy, D. (2017). Robotized and automated warehouse systems: review and recent developments. *Transportation science*, 53(4), 917–945. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2977779>
- Bahrami, B., Piri, H., & Aghezzaf, E. H. (2019). Class-based storage location assignment: an overview of the literature. *International conference on informatics in control, automation and robotics*, 16(1), 390-397. <https://doi.org/10.5220/0007952403900397>
- de Koster, R. B. (2018). Automated and robotic warehouses: developments and research opportunities. *Logistics and transport*, 38(2), 33–40. <https://doi.org/10.26411/83-1734-2015-2-38-4-18>
- Faber, N., de Koster, R., & Van de Velde, S. (2002). Linking warehouse complexity to warehouse planning and control structure: an exploratory study of the use of warehouse management information systems. *International journal of physical distribution & logistics management*, 32(5), 381–395. <https://doi.org/10.1108/09600030210434161>
- Hausman, W., Schwarz, L., & Graves, S. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management science*, 22(6), 629–638. <https://doi.org/10.1287/mnsc.22.6.629>
- Kulturel, S., Ozdemirel, N. E., Sepil, C., & Bozkurt, Z. (1999). Experimental investigation of shared storage assignment policies in automated storage/retrieval systems. *IIE transactions*, 31(8), 739–749. <https://doi.org/10.1023/A:1007654111952>
- Logistiikan maailma. (i.a.-a) *Varastonohjaus*. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastonohjaus/>
- Logistiikan maailma. (i.a.-b) *Varastotyytit ja -tekniikka*. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotyytit-ja-tekniikka/>
- Mulcahy, D. E., & Sydow, J. (2008). *A supply chain logistics program for warehouse management*. CRC Press.
- Pesmel Oy. (2020). *Pesmel Material FlowHow: Handling Systems for Pulp and Paper*. [https://pesmel.com/wp-content/uploads/2020/07/Pesmel FlowHow Paper 1 2020 lowres.pdf](https://pesmel.com/wp-content/uploads/2020/07/Pesmel_FlowHow_Paper_1_2020_lowres.pdf)
- Pesmel Oy. (2022). *Material FlowHow Paper 2022*. https://pesmel.com/wp-content/uploads/2022/06/Final_Pesmel-FlowHow-Pulp-Paper-2022-lowres.pdf

- Pesmel. (2024). *Pesmel in brief*. Haettu 19.3.2024, <https://pesmel.com/about-us/>
- Reyes, J., Solano-Charris, E., & Montoya-Torres, J. (2019). The storage location assignment problem: a literature review. *International journal of industrial engineering Computations*, 10(2), 199–224. <http://doi.org/10.5267/j.ijiec.2018.8.001>
- Richards, G. (2022). *Warehouse management: The definitive guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse* (Fourth edition.). Kogan Page.
- Roodbergen, K.J. & Vis, I. F. A. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European journal of operational research*, 194(2), 343–362. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038>
- Yu, Y., & de Koster, R. B. M. (2009). Optimal zone boundaries for two-class-based compact three-dimensional automated storage and retrieval systems. *IIE transactions*, 41(3), 194–208. <https://doi.org/10.1080/07408170802375778>
- Yu, Y., de Koster, R. B. M., & 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), 1235–1247. <https://doi.org/10.1111/poms.12334>
- Zaerpour, N., de Koster, R. B. M., & Yu, Y. (2013). Storage policies and optimal shape of a storage system. *International journal of production research*, 51(23–24), 6891–6899. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.774502>