



**Open your mind. LUT.**  
Lappeenranta **University of Technology**

LUT-yliopisto  
School of Engineering Science  
Tuotantotalous  
Tuotannon johtaminen  
Diplomityö

# **Automaattisen varaston toiminnan tehostaminen kartonkiteollisuudessa**

Työn tekijä: Lauri Pihlaja  
Työn tarkastaja: Professori Timo Pirttilä

## TIIVISTELMÄ

<b>Tekijä:</b> Lauri Pihlaja	
<b>Työn nimi:</b> Automaattisen varaston toiminnan tehostaminen kartonkitekiteollisuudessa	
<b>Vuosi:</b> 2019	<b>Paikka:</b> Imatra
Diplomityö, LUT-yliopisto School of Engineering Science, Tuotantotalouden koulutusohjelma 119 sivua, 45 kuvaa, 15 taulukkoa, 9 liitettä Tarkastaja: Professori Timo Pirttilä Ohjaaja: Professori Timo Pirttilä	
<b>Hakusanat:</b> logistiikan automatisointi, varastoautomaatio, varastonhallinta, läpivirtaustehokkuus, tuotannonohjaus	
<p>Työn tavoitteena oli selvittää automaattivaraston toimintaan liittyvät ongelmat ja esittää kehitystoimenpiteitä merkittävimpien ongelmien ratkaisemiseksi analysoinnin pohjalta. Työ on toteutettu case-tutkimuksena, jonka tutkimusaineisto on kerätty pääasiassa 18 haastattelun ja tietojärjestelmistä saatavan datan avulla. Työssä hyödynnettiin kvalitatiivisia sekä kvantitatiivisia menetelmiä.</p> <p>Työn teoriaosuudessa kerrotaan varastoinnin tehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä, varastotoimintaan liittyvistä mittareista ja tuotannonohjaukseen liittyvistä strategioista sekä niiden vaikutuksista materiaalivirtoihin ja toimitusaikoihin. Empiria-osuus alkaa nykytila-analyysillä, jossa selvitettiin automaattivaraston toimintaan liittyvät ongelmat. Ongelmien syvemmän luonteen ja niiden välisten vaikutussuhteiden ymmärtämiseksi ne analysoitiin kattavan haastatteluista saadun aineiston sekä kvantitatiivisen materiaalin avulla. Nykytila-analyysin päätteeksi arvioitiin vakavimmat ongelmat ja niiden vaikutussuhteet.</p> <p>Merkittävimmät ongelmat liittyvät automaattivaraston heikkoon tilankäyttöön, korkeaan kuormitukseen sekä materiaalin tulo- ja lähtövirtaan liittyvän kapasiteetin tuomiin reunaehtoihin. Kehitysosio sisältää konkreettisia työkaluja liittyen päivittäisen toiminnan tehokkaampaan seurantaan, arviot suotuisista materiaalivirroista ja niiden vaikutuksista sekä arvion varasto-ohjautuvan tuotannon tuomista hyödyistä kartonkitekitehtaalla. Kehitysehdotukset tarjoavat työkaluja puuttua merkittävimpiin ongelmiin ja sitä kautta tehostaa automaattivaraston toimintaa.</p>	

## ABSTRACT

**Author:** Lauri Pihlaja

**Subject:** Improving Operational Efficiency of Automated Warehouse in Board Manufacturing Industry

**Year:** 2019

**Place:** Imatra

Master's Thesis, LUT University  
School of Engineering Science, Industrial Engineering and Management  
119 pages, 45 figures, 15 tables and 9 appendices  
Examiner: Professor Timo Pirttilä  
Instructor: Professor Timo Pirttilä

**Key words:** logistics automation, warehouse automation, inventory planning, throughput efficiency, production management

The main goal of this thesis was to find out major problems and present improvement proposals based on problem analysis to enhance operational efficiency of automated reel warehouse in board manufacturing industry. This research was conducted as a single case study, where data was gathered by using qualitative and quantitative methods. Qualitative data was gathered through 18 semi-structured interviews and quantitative numerical data from information systems.

Theoretical part present both basics of efficient warehousing and how it can be measured, and effect of production strategy to material flows and lead times. Empirical part starts with current state analysis, where the major problems related to operations of the warehouse system were charted. To enhance deep knowledge related to problems and their effects to each other, the problems were analyzed by using quantitative and qualitative data.

The major problems of automated warehouse that were found related to low space utilization, high load and capacity of incoming and outgoing reels. Improvement proposals include tools to help daily follow-up, estimates of the most efficient material flows and how make-to-stock production strategy can be utilized in the board mill. The improvement proposals are tools which present ways to reduce or minimize the effect of the major problems and thus make automated warehouse operate more efficiently.

## **ALKUSANAT**

Diplomityön valmistuttua opinnot LUT-yliopistossa alkavat olla takana ja on aika siirtyä uusien haasteiden pariin. Haluan kiittää Stora Ensoa erittäin mielenkiintoisesta diplomityöpaikasta ja aiheesta. Erityiskiitokset Marja Jukkaralle kannustavasta työn ohjaamisesta ja tukemisesta sekä työn tarkastaja Timo Pirttilälle asiantuntevista kommentteista ja ideoista. Haluan myös kiittää tutkimuksen haastateltavia ja muita työntekijöitä, joiden kanssa olen tehnyt yhteistyötä Imatran tehtailla projektin aikana.

Diplomityö oli haastava sekä mielenkiintoinen projekti. Sen aikana pääsin tutustumaan kartonkitehtaan toimintaan ja syventymään siihen liittyviin materiaalivirtoihin. Todellisten operatiivisten ongelmien tutkiminen ja ratkominen oli opettava kokemus, joka tarjoaa varmasti eväitä tulevaisuuden haasteita varten.

Lopuksi kiitos vielä läheisilleni kannustuksesta ja tuesta koko opintojeni ajalta.

Imatra, 7.1.2019

Lauri Pihlaja

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>12</b>
1.1	Tutkimuksen tausta .....	12
1.2	Tavoitteet ja rajaus.....	13
1.3	Tutkimusmenetelmä ja toteutus .....	14
1.4	Työn rakenne .....	16
1.5	Kohdeyrityksen esittely .....	17
<b>2</b>	<b>VARASTOJEN HALLINTA TEOLLISESSA TUOTANTOYMPÄRISTÖSSÄ .....</b>	<b>19</b>
2.1	Varastoinnin tarkoitus.....	19
2.2	Varastointiin liittyvät kustannukset .....	21
2.3	Varastonimikkeiden hallinta .....	23
2.4	Varaston mittarit ja tehokkuuden arviointi .....	25
2.5	Automaatio varastoinnissa.....	28
<b>3</b>	<b>TUOTANNONOHJAUSMENETELMÄT JA NIIDEN VAIKUTUS MATERIAALIVIRTOIHIN .....</b>	<b>29</b>
3.1	Tuotannonohjaus yleisesti .....	29
3.2	Make-to-Order - tilausohjautuva tuotanto .....	30
3.3	Make-to-Stock - varasto-ohjautuva tuotanto .....	31
3.4	Engineering-to-Order - asiakasohjautuva tuotesuunnittelu .....	31
3.5	MTO-MTS - hybridimallit.....	32
3.6	Ohjaustapojen vertailua .....	34
3.7	CODP -asiakastilauksen kohdennuspiste.....	35
3.8	Läpimenoaikojen merkitys .....	36
3.9	Viivästyttämisajattelu .....	37
<b>4</b>	<b>VÄLITUOTEVARASTOJEN MUODOSTUMINEN IMATRAN TEHTAILLA .....</b>	<b>40</b>
4.1	Tuotannonohjaus Imatran tehtailla .....	40
4.2	CODP-pisteen kytkeytyminen kartongin valmistusprosessiin.....	42
4.3	Rullavirrat Imatran tehtailla.....	44
4.4	Varastonimikkeen määrittely .....	46
4.5	ARW:n toiminnan kuvaus .....	48
4.6	Väli tuotteiden varastotasot ja kiertonopeudet.....	50
<b>5</b>	<b>ONGELMIEN TUNNISTAMINEN HAASTATTELUIDEN AVULLA.....</b>	<b>54</b>
5.1	Pakkaamon näkökulma .....	55
5.2	PE6-osaston näkökulma.....	58

5.3	Tuotevaraston näkökulma.....	61
5.4	Päällystystehtaan näkökulma.....	64
5.5	Yhteenvedo haastatteluissa ilmi tulleista ongelmista .....	66
<b>6</b>	<b>ONGELMIEN KVANTITATIIVINEN ANALYSOINTI.....</b>	<b>68</b>
6.1	Tulovirtaan liittyvät ongelmat .....	68
6.1.1	ARW:stä aiheutuneet rullavirran katkot pakkaamoilla	68
6.1.2	Rullavirrat ja niiden kuormitushuiput kartonkikoneilta	70
6.2	Tilakapasiteettiin liittyvät ongelmat .....	73
6.2.1	Ulkopuolisten varastojen osuudet	75
6.2.2	Jumborullien vaikutus ARW:n tilakapasiteettiin	76
6.3	Kuormitukseen liittyvät ongelmat .....	77
6.3.1	Epäkuranttien nimikkeiden määrät	78
6.3.2	SKU- ja sekakanavamäärät	79
6.3.3	Yleisimmät mekaaniset häiriöt	82
6.4	Lähtövirtaan liittyvät ongelmat.....	84
6.4.1	ARW:n ongelmista aiheutuneet tuotantokatkot PE-koneilla	84
6.4.2	Toteutuneet rullavirrat PE-koneille	87
6.5	Yhteenvedo ongelmista .....	90
<b>7</b>	<b>KEHITYSEHDOTUKSET.....</b>	<b>93</b>
7.1	Tulovirran hallinta ja tehostaminen .....	93
7.2	Lähtövirran hallinta ja tehostaminen .....	95
7.3	Tilan tehokkaampi hyödyntäminen .....	97
7.4	Kuormituksen minimointi ja hallinta.....	100
7.4.1	SKU-määrän pienentäminen tuotevariaatioiden harmonisoinnilla	100
7.4.2	Ylijäämien vähentäminen	105
7.4.3	Hylkyjen, sekundojen ja lähetyskieltojen vähentäminen	107
7.5	Päivittäisen seurannan kehittäminen.....	109
<b>8</b>	<b>YHTEENVETO.....</b>	<b>111</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>116</b>
	<b>LIITTEET</b>	

- Liite 1. Nykytila-analyysin haastattelut: Haastattelurunko
- Liite 2. Tuotevarastojen trendi 1.2.2018 – 1.9.2018, KAA-varasto, KA1-konelinja
- Liite 3. Tuotevarastojen trendi 1.2.2018 – 1.9.2018, KAA-varasto, KA2-konelinja
- Liite 4. Tuotevarastojen trendi 1.2.2018 – 1.9.2018, KAA-varasto, KA4-konelinja
- Liite 5. Välituotevarastojen trendi 1.1.2015 – 1.9.2018, kaikki varastot
- Liite 6. ARW:n sisällön ikäjakaumat tarkastelujaksolla 1.2.2018 – 1.10.2018
- Liite 7. ABC-XYZ -analyysin taustadataa
- Liite 8. ARW:n häiriökoodien selvennykset
- Liite 9. Jumborulla- ja simulointilaskelmien tausta-arvot

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Työn rajausta ja kapasiteetin osa-alueet .....	14
Kuva 2. Työn rakenne ja sisältö .....	17
Kuva 3. Varastojen luokittelu teollisessa tuotantoympäristössä (Waters 2009, s. 341).....	20
Kuva 4. Tyypillinen kustannusten jakautuminen perinteisessä varastossa (Baker, Croucher & Rushton 2010, s. 233) .....	22
Kuva 5. ABC- ja XYZ -analyysien yhdistäminen (Sakki 1999, s. 106).....	24
Kuva 6. Tuotannonohjaukseen liittyvä prosessi (Martinsuo et al. 2016, s. 140)....	29
Kuva 7. MTF-ohjauksen vertailu muihin ohjaustapoihin toimitusajan ja kustomointiasteen suhteen (Akinc & Meredith 2015, s. 730). .....	33
Kuva 8. CODP-pisteen kytkeytyminen tuotannonohjaustapaan (perustuu Olhager 2010 & Logistiikan maailma).....	35
Kuva 9. Läpimenoaikojen ero ja haaste (Martin 2011, s. 84).....	36
Kuva 10. Viivästyttämisaajattelun käsitteellinen malli (perustuu Skipworth & Harrison 2007, s. 1630). .....	38
Kuva 11. Tilausohjautuvan tuotannon vaiheet (Knowpap 2011) .....	40
Kuva 12. Karkeasuunnitelman syklit.....	41
Kuva 13. CODP-piste kartongin valmistuksessa.....	43
Kuva 14. Imatran tehtaiden ARW:hen liittyvät rullavirrat .....	46
Kuva 15. SKU:n muodostumiseen vaikuttavat tekijät.....	48
Kuva 16. ARW:n rakenne.....	49
Kuva 17. ARW:n ulos- ja sisäänmenoväylät sekä hissit ja lajitteluvaunut .....	50
Kuva 18. Ongelmien ja pullonkaulojen paikannus pakkaamon näkökulmasta .....	58
Kuva 19. Ongelmien ja pullonkaulojen paikannus PE6-osaston näkökulmasta....	61
Kuva 20. Ongelmien ja pullonkaulojen paikannus tuotevaraston näkökulmasta ..	64
Kuva 21. Ongelmien ja pullonkaulojen paikannus päällystystehtaan näkökulmasta .....	66
Kuva 22. Katkot pakkaamoittain ja kuukausittain.....	69
Kuva 23. Kartonkikoneilta valmistuneet välituotteet tuntitasolla tarkastelujaksolla 1.2.2018 – 30.9.2018 .....	70



Kuva 24. PE-välituotteen tuotantomäärät kaikilta KA-koneilta toukokuun Prime-syklin aikaan tuntitasolla .....	71
Kuva 25. PE-välituotteen tuotantomäärät kaikilta KA-koneilta elokuun Prime-syklin aikaan tuntikohtaisesti.....	72
Kuva 26. Jumborullien määrät KA-koneilta tuntikohtaisesti .....	73
Kuva 27. ARW:n täyttöasteen ja tonnimääräisen täytön suhde .....	74
Kuva 28. Ulkopuolisten varastojen osuus ja kokonaisvarastotaso .....	75
Kuva 29. Jumborullan ja normaalin rullan välinen ero varastokanavassa.....	77
Kuva 30. Epäkuranttien määrät ja osuudet ARW:ssä.....	79
Kuva 31. SKU- ja sekakanavamäärät välillä 17.8.2018 - 14.11.2018.....	80
Kuva 32. SKU-määrien suhde niiden kokoluokkiin.....	81
Kuva 33. SKU-kokonaismäärän muodostuminen .....	82
Kuva 34. Häiriöt ja hälytykset ARW:ssä 20.5.2018 - 20.11.2018 .....	83
Kuva 35. ARW:stä aiheutuneet katkot PE-koneittain.....	86
Kuva 36. PE2:lla päällystetyt rullat keskimäärin tunnissa tarkastelujaksolla 1.2.2018 - 30.9.2018 .....	88
Kuva 37. PE6:lla päällystetyt rullat keskimäärin tunnissa 1.2.2018 – 30.9.2018 .	88
Kuva 38. PT:llä päällystetyt rullat keskimäärin tunnissa 1.2.2018 – 30.9.2018 ...	89
Kuva 39. PT:llä päällystetyt rullat keskimäärin tunnissa 18.3.2018 – 19.3.2018 .	90
Kuva 40. Ongelmien syy-seuraus-kaavio .....	91
Kuva 41. Kehitysaskeleet jumborullien lisäämiselle.....	98
Kuva 42. Kehitysaskeleiden vaikutus varastotasoon ja täyttöasteeseen ARW:ssä	99
Kuva 43. ABC-XYZ -analyysi havainnollistamaan variaatiomäärän kannalta ongelmallisten tilauksien osuuksia .....	101
Kuva 44. Volyymien ja tuotevariaatioiden osuuksien suhteet.....	102
Kuva 45. ARW:n toimintaan liittyvät kehitysalueet ja mittarit.....	109

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Ohjaustapojen tyypillisten piirteiden vertailu (Akinc 2015, s. 734).	34
Taulukko 2. Viivästyttämisperiaatteen hyödyt ja haitat (Cheng et al. 2010, s. 9-10)(Richards & Grinsted 2016, s. 206-208)(Skipworth & Harrison 2007, s. 1630)	39
Taulukko 3. Välituotteiden varastoarvot tarkastelujaksolla 1.2.2018 – 1.10.2018	51
Taulukko 4. ARW:n kautta kulkeneet välituotteet PE-koneittain	52
Taulukko 5. Ongelmien vakavuuksien analysointi värien avulla	55
Taulukko 6. Vakavuuksien arviointiluokat	66
Taulukko 7. Ongelmien koonti ja vakavuuksien arviointi	67
Taulukko 8. ARW:stä aiheutuneet katkot pakkaamoilla	69
Taulukko 9. PE-välituotteen osuudet ARW:ssä ja ulkopuolisissa varastoissa	76
Taulukko 10. Jumborullien osuudet koko ARW:n rullamääristä	77
Taulukko 11. Tuotantokatkojen määrä PE-koneilla tarkastelujaksolla 1.1.2018 - 24.9.2018	84
Taulukko 12. ABC-XYZ -analyysin luokat	102
Taulukko 13. Variaatioiden jakautuminen tehtaittain	103
Taulukko 14. Toimenpiteet ylijäämien minimoimiseksi ARW:ssä	107
Taulukko 15. Yhteenveto kehitysehdotuksista	114

## LYHENNELUETTELO

AGV	Automatisoitu kuljetusvaunu (eng. Automated guided vehicle)
ARW	Automaattinen rullavarasto (eng. Automated reel warehouse)
ATO	Tilausohjautuva kokoonpano (eng. Assemble-to-order)
CODP point)	Asiakastilauksen kytketymispiste (eng. Customer order decoupling point)
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise resource planning system)
ETO	Asiakasohjautuva tuotesuunnittelu (eng. Engineering-to-order)
ExMill	Myöhäisin tuotantopäivä, joka täyttää toimitusaikavaatimukset
KA1,2,4	Kartonkikone 1,2,4 (eng. Board machine)
KAPA	Kartongin pakkaamo
KEPA	Keskuspakkaamo
MRW	Manuaalivarasto (eng. Manual reel warehouse)
MTF	Ennustehjautuva tuotanto (eng. Make-to-forecast)
MTO	Tilausohjautuva tuotanto (eng. Make-to-order)
MTS	Varasto-ohjautuva tuotanto (eng. Make-to-stock)
PE2,3,5,6	Jalostuksen muovipäällystyskone 2,3,5,6 (eng. Coating machine)
PT	Päällystystehdas
SKU	Varastonimike (eng. Stock keeping unit)
WMS	Varastohallintajärjestelmä (eng. Warehouse management system)

# 1 JOHDANTO

Kartonkiteollisuudessa toimivien yritysten on jatkuvasti pyrittävä kehittämään tuottavuuttaan ja kilpailukykyään kehittyvillä markkinoilla ja kiristyvässä kilpailutilanteessa. Logistiset toimintaprosessit ja niiden kehittäminen ovat merkittävässä roolissa tuottavuuden ja kilpailukyvyn parantamisessa (Ritvanen et al. 2011, s. 50). Tehokas varastotoiminta on yksi logistinen prosessi. Tehokkaan varastotoiminnan merkitys on suuri kartonki- ja paperiteollisuudessa, jossa varastoidaan ja käsitellään suuria määriä raaka-aineita, väli- ja lopputuotteita sekä pakkausmateriaaleja. Varastoinnin tehostaminen on laaja kokonaisuus, sillä se pitää sisällään tuotantostrategioiden, materiaalivirtojen ja varastojen hallinnan tarkastelua.

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Työn kohdeyrityksenä on Stora Enso ja se on toteutettu Imatran tehtailla. Kohdeyrityksessä on investoitu merkittävä summa uuteen välituotevarastona toimivaan automaattiseen rullavarastoon ja uuteen PE6-koneeseen (päällystyskone 6). Investoinnit toteutettiin, jotta Stora Enso ja Imatran tehtaot pystyisivät paremmin vastaamaan maailmanlaajuiseen kartongin kysynnän kasvuun ja tiukentuneeseen kilpailutilanteeseen. ARW eli automaattinen rullavarasto ja uusi muovipäällystyskone PE6 on implementoitu käyttöön loppuvuodesta 2017. Molempien toiminta vaatii jatkuvaa kehitystä, vaikka ne ovatkin jo tuotannollisessa käytössä. ARW ja muovipäällystyskone PE6 on sijoitettu tehdasalueelle samaan uuteen rakennukseen aikaisemmin päävarastona käytetyn manuaalivaraston läheisyyteen ja yhteyteen. ARW toimii välituotevarastona kartonkikoneiden ja jatkojalostus- eli PE-koneiden välissä. Sen läpi kulkee suuri osa Imatran tehtaiden rullavirroista.

ARW:n tärkein tavoite on minimoida ulkopuolisen varastoinnin tarve Imatran tehtailla. Ulkopuolinen varastointi aiheuttaa ylimääräisten varastointikustannusten lisäksi kuljetus- ja käsittelykustannuksia sekä kasvattaa CO<sub>2</sub>-päästöjä. Ylimääräiset käsittelyt ja kuljetukset lisäävät rullien vaurioitumisen riskiä. ARW:ssä varastoita-

vat rullat kulkevat koko matkan kartonkikoneilta jatkojalostuksen PE-koneille automatisoituja kuljettimia pitkin ilman, että niihin kosketaan fyysisesti. Minimoidut käsittelyt mahdollistavat rullien kevyemmän suojauksen, jolloin rullat voidaan sijoittaa ARW:hen joko kokonaan ilman käärettä tai pelkässä vaippakääreessä täyskääreen sijaan. Rullakääremateriaalien pienemmällä kulutuksella saavutetaan merkittäviä kustannussäästöjä. ARW:n tilakapasiteetti on arvioitu niin, että sinne on tavoitteena varastoida kaikki Imatran tehtaiden muovipäällälystykseseen menevät väli tuotteet.

Kohdeyrityksessä ei ole saavutettu kaikkia ARW:lle asetettuja tavoitteita. Ulkopuolisia varastoja joudutaan edelleen käyttämään. ARW:n teknisistä ongelmista aiheutuvat luotettavuusongelmat heikentävät rullien siirtoihin liittyvää virtausta. Ongelmat siirroissa voivat aiheuttaa tuotantokatkoja tuotantoprosessin eri vaiheissa. Tuotannon katkot aiheuttavat merkittäviä kustannuksia, sillä kartongin valmistuksessa pyritään mahdollisimman tehokkaaseen kapasiteetin hyödyntämiseen.

Tässä tutkimuksessa ARW:n toiminnan tehostamisella tarkoitetaan tarvittavien keinojen selvittämistä, joiden avulla ARW:n koko potentiaali voidaan hyödyntää käytännössä. Toisin sanoen ARW:n toiminnan tehostaminen tarkoittaa kustannussäästöjen tavoittelua ja asiakastyytyväisyyden kasvattamista.

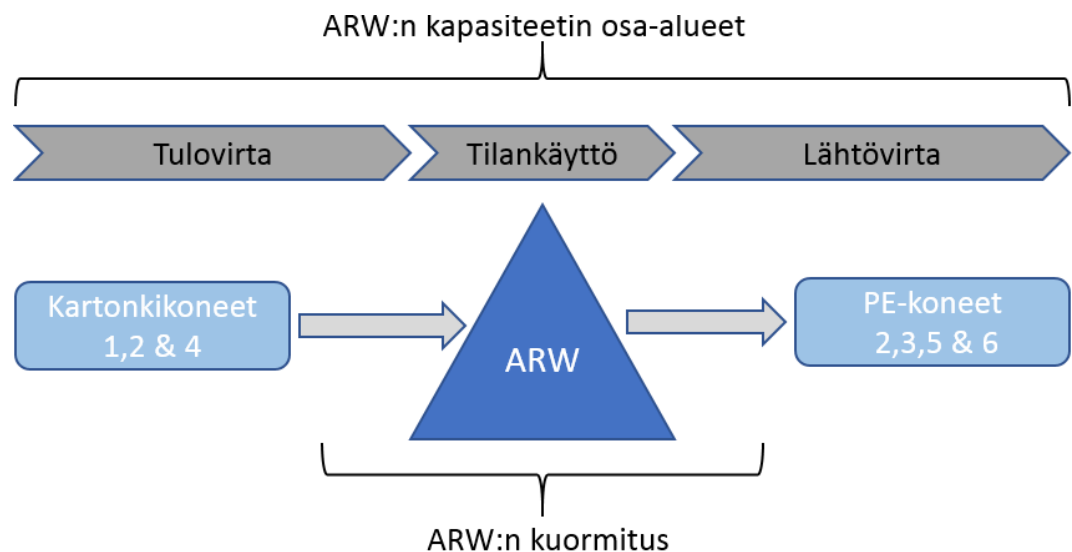
## 1.2 Tavoitteet ja rajaus

Työn tavoitteena on kartoittaa ARW:n toiminnan kannalta merkittävimmät ongelmat, analysoida niiden taustasyitä ja rakentaa kehitysehdotuksia analyysien pohjalta. Tutkimusongelmaa jäsenetään seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

- Mitkä ovat merkittävimmät ongelmat ARW:n toimintaan liittyen?
  - Mitkä ovat pääsyyt niiden taustalla?
- Miten ARW:n toimintaa voitaisiin tehostaa ongelmiin puuttumalla?
  - Miten ARW:n tilakapasiteetti saataisiin tehokkaammin hyödynnettyä?
  - Miten ARW:n kuormitusta saataisiin vähennettyä?

- Miten rullien virtausta voitaisiin kehittää?

Työ on rajattu käsittelemään ARW:hen liittyvää kapasiteettia ja kuormitusta. Kapasiteetti voidaan jakaa kuvan 1 mukaisiin osa-alueisiin. Rajaus sisältää kartonkikoneilta ARW:hen menevien rullavirtojen, ARW:n tilankäytön, ARW:stä PE-koneille menevien rullavirtojen sekä ARW:n kuormituksen tarkastelun. Kapasiteetin osa-alueet muodostavat ARW:n kuormituksen.



**Kuva 1.** Työn rajaus ja kapasiteetin osa-alueet

Rajaus on tehty kartonkikoneilta lähtevän ja PE-koneille saapuvan rullavirran välille. Rullavirrat tällä välillä vaikuttavat merkittävästi ARW:n toimintaan ja toisaalta ARW:n toiminnalla on suoria vaikutuksia niin kartonki- kuin PE-koneiden tuotantoon. Mekaanisia ongelmia käsitellään näkökulmasta, miten ne vaikuttavat rajauksen sisällä oleviin rullavirtoihin ja ARW:n kuormitukseen.

### 1.3 Tutkimusmenetelmä ja toteutus

Tämä opinnäytetyö on toteutettu tapaustutkimuksena. Tapaustutkimuksen tyypillisiä piirteitä ovat aineiston kerääminen useilla metodeilla kuten haastatteluilla, havainnoinnilla, keskusteluilla ja dokumentteja tutkien sekä yksittäistapauksen tutkiminen yhteydessä sen ympäristöön. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 1997, s. 130-

131) Tässä työssä tutkittavana yksittäistapauksena on automaattivaraston toiminnan tehostaminen ja kehittäminen. Tutkimus on toteutettu luonnollisessa ympäristössä Imatran tehtailla. Aineistoa on kerätty haastattelemalla ihmisiä eri osastoilta, keskusteluin, havainnoimalla toimintaa eri puolella tehdasta ja tutkimalla tietojärjestelmien tarjoamaan dataa sekä automaattivarastoon liittyviä dokumentteja.

ARW liittyy kompleksiseen ympäristöön ja sillä on keskeinen osa Imatran tehtaiden rullavirtoja sekä tuotantoa. ARW:n toiminta vaikuttaa useisiin eri osastoihin Imatran tehtailla. Teoriataustana käsitellään varastointiin ja materiaalivirtoihin liittyviä asioita, tuotannonohjauksen periaatteita sekä automaation hyödyntämistä logistiikassa. Teoriaosuus tarjoaa tieteellisen taustan empiirisille tutkimukselle sekä lisäksi työkaluja analyysien tueksi.

Empiriaosuuteen liittyvät haastattelut on suoritettu puolistrukturoituina teemahaastatteluina. Teemahaastatteluiden tyypillisiä piirteitä ovat haastattelun etukäteen suunnitellut teemat ja aiheet sekä suunnitteleman kysymysten järjestys ja muotoilu. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 1997, s. 203) Empiriaosuuden ensimmäistä osuutta eli nykytila-analyysia varten haastateltiin 18 henkilöä Imatran tehtailla, jotka työskentelevät automaattivaraston parissa eri osastoilla ja erilaisissa tehtävissä. Haastateltavat työskentelevät pakkaamolla, manuaalivarastolla, PE6-osastolla, päällystystehtaalla, projektiryhmässä, tuotannosuunnittelussa tai laitetoimitajan palveluksessa. Ennalta suunniteltujen aiheiden lisäksi haastateltaville esitettiin tarkentavia kysymyksiä, jotta tietoa saatiin kerättyä mahdollisimman laajasti. Haastatteluiden kysymysrunko liitteessä 1. Haastatteluiden tavoitteena oli kartoittaa kattavasti automaattivaraston nykytilaa ja siihen liittyviä ongelmia. Haastattelut on analysoitu teemoittain ja osastoittain. Haastatteluiden sitaattien viittaukset ovat työssä nimettömiä, jotta haastateltavien anonymiteetti säilyy. Viittauksissa mainitaan haastateltavan numero sekä osasto.

Nykytila-analyysin tukena on käytetty myös havainnointia, keskusteluja ja tietojärjestelmistä saatavaa dataa. Havainnointia tehtiin seuraamalla ARW:tä käyttävien työntekijöiden toimintaa tuotevarastolla eli manuaalivarastolla ja PE6-koneen valvomossa. Dataa saatiin myynnin käytössä olevasta ERP-järjestelmästä, tehdastieto-

järjestelmästä, varastonhallintajärjestelmästä sekä laitetoimittajan ylläpitämästä automaattivaraston dataa sisältävästä internetpohjaisesta palvelusta. Työn pääasialliset tietolähteet ovat olleet haastattelut ja tietojärjestelmistä saatava data.

#### **1.4 Työn rakenne**

Raportti koostuu työn taustaa esittelevästä johdannosta, kahdesta teoriakappaleesta sekä empiriaosuudesta. Työn ensimmäinen kappale on johdanto, joka antaa lukijalle taustatiedot työstä. Työn toisessa ja kolmannessa kappaleessa käsitellään teoriataustaa. Teoriatausta pitää sisällään aiheita liittyen varastojen hallintaan teollisessa tuotantoympäristössä sekä tuotannonohjausmenetelmistä ja niiden vaikutuksista materiaalivirtoihin ja toimitusaikoihin. Empiriaosuuden ensimmäisessä kappaleessa esitellään välituotevarastojen muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä Imatran tehtailla ja ARW:n roolia välituotevarastona. Kappale yhdistää teoriataustassa esiteltyjä aiheita kohdeyrityksen toimintaympäristöön. Lisäksi kappale tarjoaa perustiedot kompleksisesta ympäristöstä, johon ARW:n ongelmat ja kehitysehdotukset liittyvät. Empiriaosuuden toisessa luvussa ongelmat kartoitetaan ja analysoidaan haastatteluista kerätyn materiaalin avulla. Ongelmiin syvennyttään seuraavassa luvussa, jossa ongelmia analysoidaan tietojärjestelmistä peräisin olevan kvantitatiivisen materiaalin avulla. Ongelmien kattavan analysoinnin jälkeen seuraa kehitysoosio, jossa havaittuihin ja analysoituihin ongelmiin esitetään kehitysehdotuksia ja toimenpiteitä. Viimeisessä luvussa työn keskeinen sisältö, havainnot ja tulokset kootaan yhteenvetoon ja johtopäätöksiin. Työn eteneminen ja sisältö tiivistetysti kuvassa 2.





**Kuva 2.** Työn rakenne ja sisältö

## 1.5 Kohdeyrityksen esittely

Stora Enso on globaali uusiutuvien pakkaus-, biomateriaali-, puutuote- ja paperiteollisuuden materiaalien valmistaja. Liiketoiminta perustuu puupohjaisiin materiaaleihin ja ratkaisuihin. Stora Enso pyrkii hyödyntämään puun sataprosenttisesti valmistamalla siitä kartonkia, sahatavaraa, paperia ja muita tuotteita sekä bioenergiaa. Keskittymällä uusiutuviin, uudelleen käytettäviin ja kierrätettäviin tuotteisiin Stora Enso on osa maailmanlaajuisesta biotaloutta. (Stora Enso 2017) Maailmanlaajuisesti Stora Ensolla työskentelee 26 000 työntekijää 30 eri maassa. Noin 10 miljardin euron liikevaihdolla Stora Enso on yksi Suomen suurimmista yrityksistä. Stora Enson osake on noteerattu Helsingin ja Tukholman arvopaperipörsseissä. (Stora Enso 2017)

Stora Ensoon kuuluu viisi divisioonaa: Consumer Board, Packaging Solutions, Biomaterials, Wood Products ja Paper. Consumer Board -divisioona valmistaa korkealaatuisia ensikuitukartonkiin perustuvia ratkaisuja ja haluaa olla kyseisellä osa-

alueella kansainvälinen suunnannäyttävä. Tärkeimpiä tuotteita ovat neste- ja elintarvikepakkauksiin sekä lääkkeiden ja ylellisyystuotteiden pakkauksiin liittyvät ratkaisut. Packaging Solutions -divisioona valmistaa kuitupohjaisia kartonkimateriaaleja ja aaltopahvipakkauksia, jotka soveltuvat monenlaisiin käyttötarkoituksiin. Biomaterials-divisioona valmistaa sellua paperin, kartongin, pehmopapereiden sekä tekstiilien ja hygieniatuotteiden valmistukseen. Wood Products -divisioona keskittyy puupohjaisiin rakentamisen ja asumisen ratkaisuihin. Paper -divisioona tarjoaa paperiratkaisuja toimistojen ja painetun median tarpeisiin. (Stora Enso 2017)

Consumer Board -divisioonaan kuuluva Imatran tehtaat on Stora Enson suurin tehdas. Samalla se on maailman suurin nestepakkauskartongin valmistaja. Imatran tehtaat muodostuvat Kaukopään ja Tainionkosken tehdasyksiköistä. Tärkeimpiä tuotteita ovat nestepakkaus-, elintarvike-, graafiset- ja joustopakkauskartongit. Imatran tehtaiden vuotuinen tuotantokapasiteetti on noin miljoona tonnia kartonkia ja paperia. Tuotannosta hieman alle 10% on paperia ja loput kartonkia. Päälystetyn kartongin osuus on noin 40%. Yli 95% valmistetuista tuotteista menee vientiin. Tärkeimmät markkina-alueet ovat Eurooppa, Kaukoitää ja Kaakkois-Aasia. (Stora Enso 2018a, Stora Enso 2018b) Imatran tehtailla on 4 kartonkikonetta, yksi paperikone ja neljä päällystyskonetta, joita kutsutaan PE-koneiksi.

## 2 VARASTOJEN HALLINTA TEOLLISESSA TUOTANTOYMPÄRISTÖSSÄ

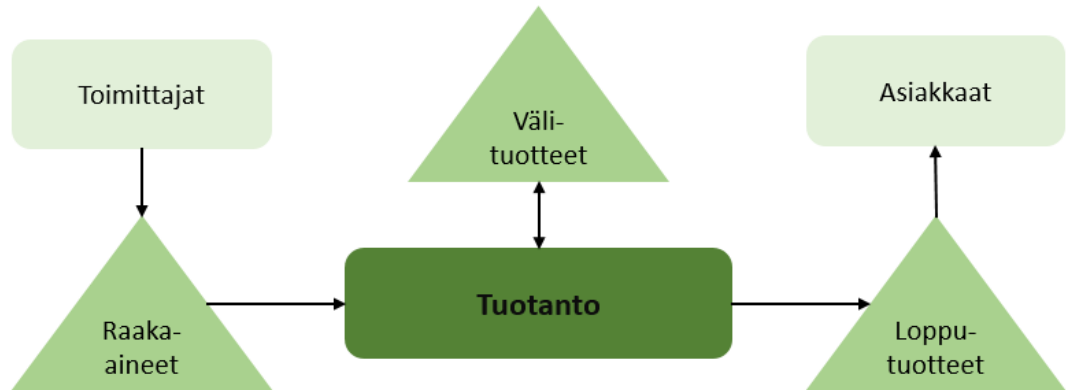
Tässä kappaleessa käsitellään teoriaa liittyen varastointiin valmistavassa teollisuudessa. Ensimmäiseksi esitellään varastoinnin tarkoitusta ja perusteita varastojen pitämiseksi. Tämän jälkeen esitellään merkittävimmät varastotoimintaan liittyvät kustannustekijät ja vertaillaan niiden muodostumista perinteisessä manuaalivarastossa ja kohdeyrityksessä käytössä olevassa automaattivarastossa. Kustannusten käsitelyn jälkeen siirrytään varastonimikkeistön hallintaan ja siihen liittyviin työkaluihin. Tämän jälkeen esitellään varaston tehokkuuteen liittyviä tekijöitä ja niiden seurantaan liittyviä mittareita. Lopuksi esitellään lyhyesti automaattivarastoissa tyypillisesti käytettyjä laitteita ja teknologiaa.

### 2.1 Varastoinnin tarkoitus

Varastot ovat merkittävä kustannustekijä yrityksille. Materiaalien ja tuotteiden varastointi on kuitenkin usein välttämätöntä. Varastojen tarkoitus on turvata ja parantaa toimituskykyä sekä kytkeä tuotantoprosessin vaiheet toisiinsa (Haverila et al. 2009, s. 446). Varastoinnin syitä voivat olla lisäksi varautuminen kysynnän muutoksiin, kysynnän kausittaisuuteen, raaka-ainetarjonnan muutoksiin ja omaan toimintaan liittyviin epävarmuuksiin kuten virheisiin ja hävikkiin. Varastoinnista voi syntyä ylimääräisiä kustannuksia. Toisaalta raaka-aineiden tai tuotteiden puuttuminen kysyntätilanteissa voi aiheuttaa menetyksiä myyntiin tai aiheuttaa harmia asiakkaalle. Yritysten kannattaa kehittää materiaalivirtojaan ja varastoimintaansa, jotta ne voivat pitää tuotantoprosessin häiriöttömänä ja sitä kautta välttyä ylimääräisiltä kustannuksilta. Varastotoimintaa voi kehittää esimerkiksi parantamalla kysynnän ennustamista, kehittämällä omaa tuotannonohjausta tai varastojen suunnittelua ja ohjausta. (Martinsuo et al. 2016, s. 282)

Varastot ovat paikkoja, joissa yritykset säilyttävät raaka-aineita, välituotteita tai lopputuotteita vaihtelevia aikoja. Varastoitavat raaka-aineet ovat materiaaleja tai puolivalmisteita, jotka on toimitettu yritykselle, mutta niitä ei ole vielä käytetty.

Välituotevarastolla tarkoitetaan varastoa, jossa säilytetään tuotteita, joiden valmistusprosessi on alkanut, mutta se on vielä kesken. Lopputuotevarastoissa varastoidaan nimensä mukaisesti valmiita asiakkaalle lähdössä olevia tuotteita (Waters 2009, s. 341) Teollisen tuotantoympäristön varastot voidaan luokitella kuvan 3 mukaisesti.



**Kuva 3.** Varastojen luokittelu teollisessa tuotantoympäristössä (Waters 2009, s. 341)

Varaston ydinprosessit voidaan jakaa seuraaviin:

- Tavarán vastaanotto: saapuva tavara vastaanotetaan ja laatu tarkistetaan
- Tavarán sijoittelu: siirto määriteltyyn paikkaan varastossa
- Keräily: tavarán siirto täyttämään asiakkaan tilaus tai tarve
- Lastaus: määrien ja laadun tarkistus sekä lastaus kuljetusvälineeseen
- Muut prosessit: varastonhallinta (Hamdan & Rogers 2004, s. 1)

Välituotevarastoja löytyy lähes jokaisesta toimitusketjusta. Tuotannon prosessien väliin liittyy usein odotusaikoja, jonka seurauksena raaka-aineita ja välituotteita joudutaan varastoimaan. Välituotevarastot vähentävät pullonkauloja tuotannossa, sillä niiden avulla varmistetaan raaka-aineiden ja välituotteiden saatavuus seuraavaan tuotannon vaiheeseen. Tuotannonohjauksella on suuri merkitys välituotevarastossa olevien nimikkeiden kiertoaikoihin. (Stadtler, Kilger & Meyr 2015, s. 51) Välituotevaraston kierto pitäisi olla nopeaa, sillä välituotteet sitovat monissa tapauksissa paljon pääomaa. Syklisessä tuotannossa välituotevarasto toimii kahden

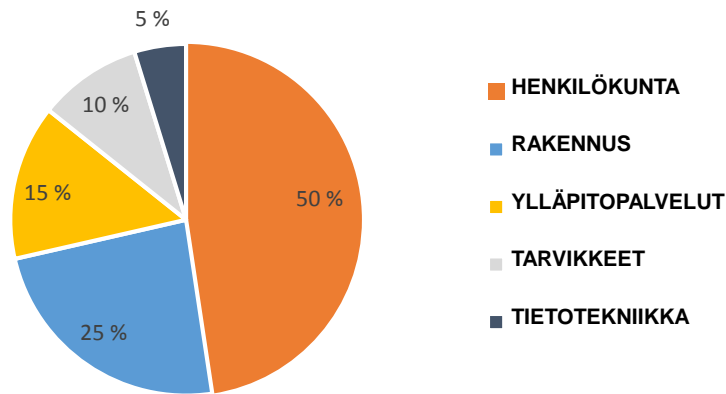
peräkkäisen samalle tuotteelle kohdistetun tuotannon ajosyklin välissä (Stadtler, Kilger & Meyr 2015, s. 49).

## **2.2 Varastointiin liittyvät kustannukset**

Logistiikan kustannukset muodostuvat kuljettamisesta ja varastoimisesta. Molemista näistä aiheutuu merkittäviä kustannuksia yrityksille. (Sakki 2009, s. 101) Työssä keskitytään varastointiin, mutta tässä kappaleessa käsitellään lyhyesti kuljetusten kustannuksia yleisellä tasolla, sillä kohdeyrityksen automaattivaraston yksi tavoite on välttää kuljetuksia tehtaan ulkopuolella oleviin varastoihin varastoimalla välituotteet tehdasalueen sisäpuolella. Tässä työssä varastoinnin ja kuljetusten kustannuksilla on siis vaikutussuhde toisiinsa. Kirjassa ”Tilaus-toimitusketjun hallinta” Sakki (2009, s. 102) esittelee Liikenneministeriön Suomessa vuonna 2008 tehdyn logistiikkaselvityksen tuloksia, jonka mukaan logistiikan kustannukset ovat olleet keskimäärin 14,2 % yritysten liikevaihdosta. Tuosta luvusta 6,2 % on aiheutunut kuljetuksista, 2,8 % varastoimisesta, 3,2 % varastoihin sitoutuneesta pääomasta ja 2 % muista logistiikkakuluista sekä logistiikan hallinnoimiseen liittyvistä kuluista. Baker, Croucher & Rushton (2010, s. 10) arvioivat kirjassaan ”The Handbook of Logistics & Distribution Management”, että varastointikustannukset aiheuttavat 20-30 % yritysten logistiikkakustannuksista, mikä tukee hyvin Sakin esittämiä lukuja.

Varastoinnin kustannukset muodostuvat neljästä pääelementistä: pääoma-, palvelu, varasto- ja riskikustannuksista. Pääomakustannukset muodostuvat varastoon sitoutuneesta pääomasta aiheutuneista korkokustannuksista. Varaston ylläpitäminen sitoo pääomaa, jota voitaisiin vaihtoehtoisesti sijoittaa toiseen tarkoitukseen ja saada parempaa tuottoa pääomalle. Palvelukustannukset muodostuvat varastonhallintaan liittyvistä kuluista ja vakuutuksista. Varastokustannukset pitävät sisällään tilan aiheuttamat ja tavaran käsittelyyn liittyvät kustannukset. Riskikustannuksiin liittyvät näpistelyistä, varastoitavan tavaran pilaantumisesta, vanhentumisesta ja vaurioitumisesta aiheutuvat kustannukset. (Baker, Croucher & Rushton 2010, s. 179)

Perinteisessä varastotoiminnassa ilman korkeaa automaatioastetta kustannukset ovat muodostuneet pääasiassa henkilöstöön, rakennukseen, rakennuksen ylläpitopalveluihin, tarvikkeisiin ja tietotekniikkaan liittyvistä kustannuksista. Suurin osa henkilöstökustannuksista syntyy keräily- ja pakkaustoiminnoista. Rakennukseen liittyvät kustannukset ovat tyypillisesti joko vuokria tai poistoja. Ylläpitopalveluihin kuuluu lämmitys, valaistus, sähköt ja huollot. Tarvikkeisiin liittyvät kustannukset ovat varaston sisällä olevaan laitteistoon liittyviä vuokria tai poistoja. Tietotekniikkakustannukset pitävät sisällään tietojärjestelmistä ja tietokannoista aiheutuvat kustannukset. (Baker, Croucher & Rushton 2010, s. 233) Kustannusten osuuksien jakautuminen kuvassa 4.



**Kuva 4.** Tyypillinen kustannusten jakautuminen perinteisessä varastossa (Baker, Croucher & Rushton 2010, s. 233)

Automatisoiduissa varastoissa tarvikkeiden aiheuttamien kustannusten osuus on merkittävästi suurempi kuin perinteisissä manuaalisiin operaatioihin perustuvissa varastoissa. Monet automaattivarastot hyödyntävät automaation ohella manuaalisia operaatioita. Se vaikuttaa automaattivaraston kokonaiskustannusten muodostumiseen. Tietojärjestelmien aiheuttamat kustannukset voivat olla merkittävät kompleksisessä varastointiympäristössä. (Baker, Croucher & Rushton 2010, s. 233)

## 2.3 Varastonimikkeiden hallinta

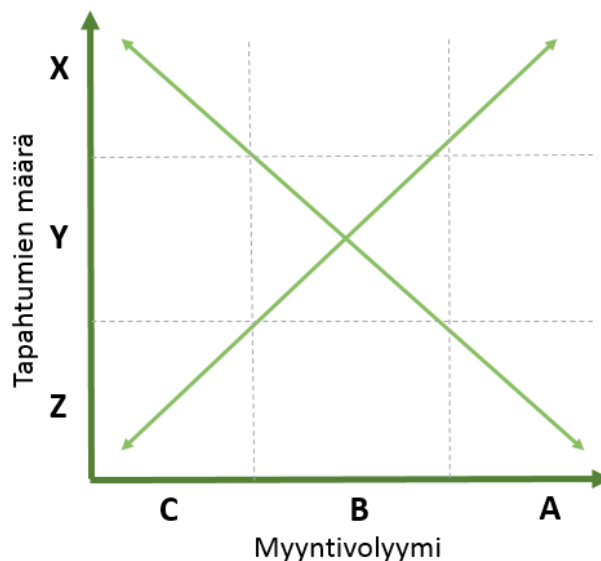
Hallinnoitaessa tuotantoa, varastoja ja niihin liittyviä toimintoja, joudutaan usein operoimaan useiden erilaisten tuotelaatujen tai varastonimikkeiden eli SKU:iden kanssa. SKU:lla tarkoitetaan varastonimikettä, jolla on omat määritellyt ominaispiirteet. Tuotanto ja varastointi joudutaan sopeuttamaan näiden piirteiden mukaiseksi. (Akkerman, van Kampen & van Donk 2011, s. 851) Valmistavassa teollisuudessa raaka-aineiden ja väli tuotteiden varastointi on usein välttämätöntä. Varastonimikkeiden määrät saattavat olla niin korkeat, että niiden käsittely ja kontrollointi yksitellen ei ole käytännöllistä. (Millstein, Yang & Li 2014, s. 71) Varastonimikkeiden käsittely on oleellinen osa tässä työssä, sillä ne vaikuttavat merkittävästi niin automaattivaraston toimintaan kuin kartongin tuotantoprosessiin liittyviin materiaalivirtoihin.

Eriaiset luokittelut ovat perustyökaluja toimitusketjun ja varastojen hallinnassa. Tehokas varastohallinta-menetelmä suurelle määrälle varastonimikkeitä on perinteisesti luotu luokittelemalla nimikkeet ryhmiin (Wan Lung 2005, s. 344). ABC-analyysi on yksi luokittelutapa. Se perustuu Pareto-periaatteen 80/20 – sääntöön, jossa 20 prosenttia tuotteista muodostaa 80 prosenttia myynnistä. ABC-analyysissä voi olla vaihteleva määrä luokkia. Perinteisimmin siinä on kolme tai neljä luokkaa (Sakki 2009, s. 91) Luokittelu perustuu usein kulutukseen tai myyntiin. Se voidaan toteuttaa esimerkiksi alla kuvatulla jaottelulla:

- A-luokan tuotteet: 50 % kumulatiivisesta kulutuksesta tai myynnistä
- B-luokan tuotteet: seuraavat 30 % kumulatiivisesta kulutuksesta tai myynnistä
- C-luokan tuotteet: seuraavat 18 % kumulatiivisesta kulutuksesta tai myynnistä
- D-luokan tuotteet: viimeiset 2 % kumulatiivisesta kulutuksesta tai myynnistä (Sakki 2009, s. 91)

Varastonimikkeiden luokittelussa myynnin ja kulutuksen lisäksi tulee huomioida varastointikustannukset, osien kriittisyydet, läpimenoajat, samankaltaisuudet, korvattavuudet, tilauskovaatimukset ja varasto-ominaisuudet (Wan Lung 2005, s. 345).

ABC-analyysia voi syventää lisäämällä siihen XYZ-analyysin. ABC- ja XYZ-analyysit voidaan yhdistää luokitteluksi kuvan 5 mukaisesti, jolloin vaakasuuntaan voidaan asettaa ABC-luokitus ja pystysuuntaan XYZ-luokittelu. ABC-XYZ -luokittelu on hyödyllinen esimerkiksi myynnin ja hankintojen suunnittelussa. (Sakki 2009, s. 96-97) XYZ-analyysissa nimikkeet voidaan luokitella esimerkiksi tapahtumamäärien, kuten myynti- tai saapumistapahtumien perusteella. Luokittelu tulee toteuttaa niin, että lopputulos havainnollistaa tapahtumamäärien jakautumista mahdollisimman selkeästi. XYZ-analyysin tarkoitus on syventää ABC-analyysia. (Sakki 1999, s. 105)



**Kuva 5.** ABC- ja XYZ -analyysien yhdistäminen (Sakki 1999, s. 106)

ABC-analyysia hyödynnettäessä tulee muistaa, että nimikkeet luokitellaan vain numeroarvojen, kuten kulutuksen tai kysynnän perusteella. Se ei ole aina sama asia kuin nimikkeen tarpeellisuus. Joillain nimikkeillä myyntimäärät voivat olla hyvin



pienet, mutta tuote voi olla asiakkaiden kannalta tärkeä. (Sakki 1999, s. 100) Analyysia voidaan hyödyntää suuntaviivoja tarjoavana työkaluna materiaalinohjauksen kehityksessä ja varastotasojen pienentämisessä. (Sakki 1999, s. 102).

## **2.4 Varaston mittarit ja tehokkuuden arviointi**

Varastotoimintaan liittyy paljon mitattavia kohteita ja mittaamista tehdään useista eri syistä. Tärkeimpiä syitä mittaamiselle ovat esimerkiksi asiakastytyväisyyden takaaminen, ongelmien tunnistaminen ennen niiden eskaloitumista ja jatkuvan toiminnan kehittymisen varmistaminen (Richards 2014, s. 294). Mittaaminen ei vaikuta vain varaston tuottavuuteen ja kustannustehokkuuteen, vaan myös koko toimitusketjuun (Lam, Choy & Chung 2010, s. 634). Mittaamisen tärkein tavoite on antaa kattava ja objektiivinen kuva yrityksen logistiikan nykytilasta ja tehokkuudesta. Mittaaminen oikein valituilla mittareilla auttaa löytämään ongelmakohtia sekä osoittamaan kehitystoimenpiteiden vaikutuksia. (Karrus 2003, s. 170)

Raportissa ”Varastotoiminnan seuranta ja mittaaminen” Aminoff, Hyppönen ja Kettunen (2004, s. 15) ovat jakaneet varaston mittarit kahdeksaan osa-alueeseen: materiaalivirta, kustannustehokkuus, työntehokkuus, tilankäytön tehokkuus, palvelutaso ja laatu, työturvallisuus, ympäristö ja työskentelyolosuhteet. Staudt, Alpan, Di Mascolo, Rodriguez ja Taboada (2015, s. 5538) ovat jakaneet mittarit kirjallisuuskatsauksessaan ”Warehouse performance measurement: a literature review” neljään pääluokkaan: tuottavuus, kustannukset, laatu ja aika. Keskityn tässä luvussa kohdeyrityksen automaattivaraston tehostamisen ja työn rajauksen kannalta oleellisimpiin osa-alueisiin materiaalivirtoihin ja tilankäytön tehokkuuteen.

## Materiaalivirtojen mittaaminen

Materiaalivirtojen seuranta on yksi keskeisimpiä osa-alueita varaston tehokkuuden ja toiminnan seurannassa (Aminoff, Hyppönen & Kettunen 2004, s. 19). Materiaalivirran mittareilla voidaan havainnollisesti kuvata toiminnan luonnetta ja rakennetta (Aminoff, Hyppönen & Kettunen 2004, s. 16).

Materiaalivirtoja voidaan mitata varaston kiertonopeuksia seuraamalla. Sitä pidetään yleisesti yhtenä keskeisimmistä varastoinnin mittareista. (Tikka 2016, s. 57) Luku kuvaa nimensä mukaisesti varastonimikkeiden liikkuvuutta varastossa ja sieltä pois. Tunnusluku kannattaa yleensä laskea noin vuoden ajalta, jotta mukaan laskentaan tulee myös hiljaisemmat ajat ja sesongit. (Tikka 2016, s. 57) Kiertonopeus voidaan laskea esimerkiksi alla olevalla kaavalla 1, joka antaa vastauksen, kuinka monta kertaa varasto kiertää tarkastelujakson aikana. (Waters 2009, s. 447).

$$Kiertonopeus = \frac{\text{Vuotuinen määrä}}{\text{Keskimääräinen varastointimäärä}} \quad (1)$$

Kiertoaika eli riitto saadaan kaavan 2 mukaisesti jakamalla tarkastelujakson vuoro-kausien määrä kiertonopeudella. (Tikka 2016, s. 57) Kiertoaika kuvaa kuinka kauan yksi kierron sykli kestää tarkastelujakson aikana. Kiertonopeuden laskemiseen on olemassa monia muitakin laskentatapoja.

$$Kiertoaika = \frac{365}{Kiertonopeus} \quad (2)$$

Varastonimikkeiden seuranta on tärkeää, jotta erilaisen luonteen omaavat nimikkeet voidaan tunnistaa. Parhaassa tilanteessa suuri osa nimikkeistä on aktiivista, nopeasti liikkuvaa ja kiertävää. Usein sekaan mahtuu myös passiivisia nimikkeitä, joita ei välttämättä koskaan edes toimiteta. Tämän ongelman seurantaan voidaan hyödyntää kiertoaikojen mittaamista. Epäkuranttien tavarantoiminnan määrää on myös syytä seurata. (Aminoff, Hyppönen & Kettunen 2004, s. 17) Epäkuranttien nimikkeiden mittarina voidaan käyttää niiden osuutta koko nimikkeiden lukumäärästä tai arvosta (Aminoff, Hyppönen & Kettunen 2004, s. 16).

Materiaalivirtoihin liittyen voidaan mitata myös tilauksien ja nimikkeiden arvoja tai valmis- ja välituotteiden osuuksia koko varastoitavasta määrästä (Aminoff, Hyppönen & Kettunen 2004, s. 16).

### **Tilankäytön tehokkuuden mittaaminen**

Tilankäytön tehokkuutta voidaan mitata monin eri tavoin. Tilankäyttöä voidaan tutkia varaston pinta-alan hyödyntämisen asteena. Monissa tapauksissa realistisempi mittauskohde on kuitenkin varaston tilavuus. Tehokkuutta voidaan mitata vapaiden varastopaikkojen suhteena paikkojen kokonaismäärään. Tilankäytön tehokkuuden laskennassa voidaan hyödyntää kaavaa 3. Kaavassa 3 käytettyä tilaa voidaan kuvata varastopaikkoina, pinta-alana tai tilavuutena. (Richards 2014, s. 301)

$$\text{Tilankäytön tehokkuus} = \frac{\text{Käytetty tila} * 100}{\text{Käytettävissä oleva tila}} \quad (3)$$

Mittaamisessa tulee ottaa huomioon vain tilat, joita voidaan tehokkaasti käyttää varastointiin (Richards 2014, s. 302). Kohdeyrityksen automaattivaraston tapauksessa mittaaminen on mahdollista, sillä varasto muodostuu määritellyn kokoisista kanavista. Mittauksessa voidaan tarkastella vapaita kanavia, vapaita kanavametrejä tai koko varaston tilavuutta. Tilan hyödyntämisessä on tärkeää löytää kompromissi tilankäytön- ja käsittelytehokkuuden väliltä (Richards 2014, s. 302). Vapaita varastopaikkoja tutkittaessa tulee muistaa, että monimuotoiset tavarat voivat vaatia runsaasti tilaa. Vapaita varastopaikkoja mitattaessa on syytä tiedostaa, että 100 % täyttöaste ei ole realistinen (Aminoff, Hyppönen & Kettunen 2004, s. 19).

Tilankäytön tehokkuutta voidaan mitata myös varaston kannalta kriittisten alueiden kuten lastausalueiden käyttöasteena. Lähtevän ja saapuvan tavaravirran tarkastelu on tärkeää, sillä pääosa varastolle tulevista vaatimuksista tulee ulkopuolelta. Varaston tulee pyrkiä täyttämään nämä vaatimukset minimiresurssein. (Johnson & McGinnis 2010, s. 222)

## 2.5 Automaatio varastoinnissa

Automatisoidut varastot integroivat yhteen useita toimintoja kuten varastoinnin, kuljetukset, lähetyksen ja varastonhallinnan. Tyypillisesti automaattivarastolla tavoitellaan korkeaa varastointikapasiteettia, tehokasta tilankäyttöä ja nopeaa varaston kiertonopeutta. (Chang et al. 2007, s. 139) Automaattivarastoilla pyritään myös vastaamaan yhä tiukentuvaan varastojen kontrolliin, asiakkaiden vaatimiin nopeampiin reagointiaikoihin sekä suuren SKU-määrän hallitsemisen haasteisiin. Suurimpia haasteita automaattivarastoissa on manuaalisten ja automatisoitujen prosessien synkronointi materiaalivirtojen tehostamiseksi. (Wang, McIntosh & Brain 2010, s. 565)

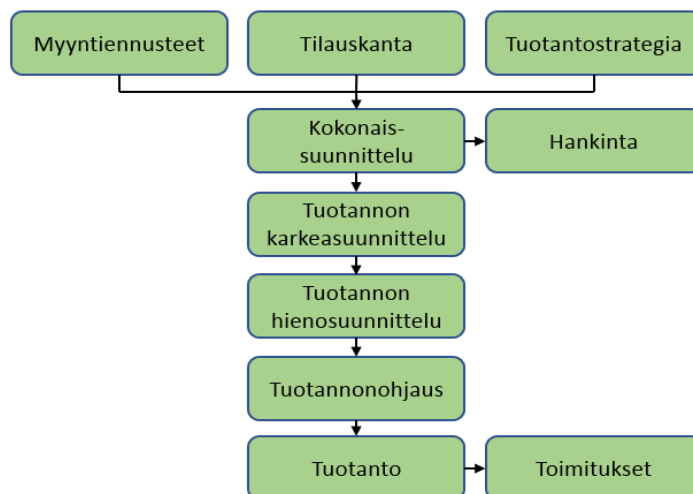
Tyypillisiä automaattivarastoon liittyviä teknologioita ovat automatisoidut kuljetusvaunut (Automated guided vehicle), varaston sisällä järjestelyn hoitavat AS/RS -systemit (Automaattinen varasto- ja keräilyjärjestelmä) ja RFID radiotaajuuksiset etätunnistusjärjestelmät. AS/RS- systeemi hyödyntää määriteltyjä väyliä kulkevia hissejä tai nostureita, jotka hoitavat keräilyn ja kuljetukset varaston sisällä. Tyypillisesti hissi voi kulkea pysty- ja vaakasuunnissa samanaikaisesti, jotta siirtymiseen kuljettu aika saadaan minimoitua. Automatisoituja kuljetusvaunuja voidaan hyödyntää varastoitavan tavaran siirroissa lastausalueille lähetystä varten tai varaston sisällä paikasta toiseen. Automatisoituja kuljetusvaunuja voidaan käyttää täydentämään AS/RS systemiä, jotta koko prosessi saadaan automatisoitua. (Richards 2014, s. 250)

### 3 TUOTANNONOHJAUSMENETELMÄT JA NIIDEN VAIKUTUS MATERIAALIVIRTOIHIN

Tässä teoriaosuuden toisessa kappaleessa esitellään tuotannonohjausmenetelmiä ja niiden vaikutuksia materiaalivirtoihin ja toimitusaikoihin. Ensimmäiseksi kuvataan tuotannonohjausta yleisesti ja sen jälkeen esitellään erilaisia tuotannonohjausmenetelmiä. Ensimmäisenä on esitelty kohdeyrityksen menetelmää lähimpänä oleva tilausohjautuvan tuotannon menetelmä ja sitten varasto- ja ennustehjautuvat menetelmät. Tämän jälkeen käsitellään asiakastilauksen kohdennuspisteen (CODP) merkitystä tuotannonohjauksessa, läpimenoaikojen merkitystä ja viivästyttämisajetelua.

#### 3.1 Tuotannonohjaus yleisesti

Tuotannonohjauksella tarkoitetaan tuotteen valmistukseen liittyvien toimintojen hallintaa ja suunnittelua. Yritysten tuotannonohjaus toimii määritettyjen periaatteiden ja pelisääntöjen mukaisesti. Tuotannonohjauksen taustalla vaikuttavat monet tekijät kuten toimiala, liiketoiminnan- ja tuotteiden erityispiirteet, tavoitteet ja olemassa oleva tuotantojärjestelmä. (Martinsuo et al. 2016, s. 139) Tuotannonohjaukseen ja suunnitteluun liittyvä prosessi voidaan jakaa kuvan 6 mukaisiin vaiheisiin.



**Kuva 6.** Tuotannonohjaukseen liittyvä prosessi (Martinsuo et al. 2016, s. 140)

Kuvan 6 prosessi on yleinen kuvaus tuotannonohjauksen prosessista. Kaikissa tapauksissa se ei etene kuvan 6 mukaisesti, mutta päävaiheet ovat tyypillisiä. Prosessissa kysynnästä saatavilla olevan tiedon perusteella muodostetaan karkea tuotantosuunnitelma, jota tarkennetaan tietojen tarkentuessa. Lopulta tiedon on tarkoitus jalostua tarkasti tuotantoa ohjaavaksi informaatioksi. (Martinsuo et al. 2016, s. 140). Tuotannonohjaukseen liittyvässä kokonaissuunnittelussa määritellään käytössä oleva kapasiteetti.

Optimaalisen tuotannonohjaustavan valintaan vaikuttavat monet tekijät kuten tuoteportfolion sisältämät tuotevariaatiot, prosessit sekä markkinoiden luonne. Monissa tapauksissa tuotantotyyppi ei ole puhtaasti tilaus- tai varasto-ohjautuva, vaan jonkinlainen yhdistelmä useampia tyyppejä. Tuotannonohjaustavan valinta tulisi perustua varastotasojen ja tuotannon kustannusten minimointiin sekä toimitusajoissa pysymisen tarkkuuteen. Eri ohjaustapojen vertailua hankaloittaa rahallisesti tai määrällisesti haastavien tekijöiden kuten myöhästyneistä tilauksista aiheutuneiden kustannusten arviointi. (Akiya & Bikram 2012, s. 161)

### **3.2 Make-to-Order - tilausohjautuva tuotanto**

Tilausohjautuvassa tuotannossa (Make-to-order) tuotteita valmistetaan asiakastarpeen tahtiin ja varastojen tasot pyritään minimoimaan. Tilausohjautuvaa tuotantoa käytetään tyypillisesti silloin, kun tuotevalikoima on laaja ja tuotteen kysyntä pientä. Toimitusajat ovat usein suhteellisen pitkät ja tuotteiden yksikköhinta korkea.

MTO-ohjaustapa perustuu kapasiteetin sovittamiseen kysynnän mukaiseksi. Tilausohjautuvaa toimitusketjun hallintaa kutsutaan joskus myös imuohjaukseksi. (Ritvanen et al. 2011, s. 49)

### 3.3 Make-to-Stock - varasto-ohjautuva tuotanto

Varastolähtöisistä ohjausta (Make-to-stock) pidetään yhtenä perinteisimmistä materiaalinohjaus menetelmistä (Sakki 1999, s. 120). Varasto-ohjautuvuutta käytetään yleensä, jos tuote on hyvin säilyvä, tuotteet ovat vakioita, tuotevalikoima on suppea ja toimitusaika lyhyt (Ritvanen et al. 2011, s. 48). Varastolähtöistä ohjaustapaa voidaan soveltaa tuotteille ja raaka-aineille, jotka ovat välttämättömiä tai joiden kulu on hyvin nopeatempoista (Karrus 2003, s. 34). Valmistettavien tuotteiden määrien oikeellisuus riippuu kysyntäennusteiden tarkkuudesta. MTS-ohjaus on järkevä valinta tuotannonohjausmenetelmäksi, jos tuotannon käyttöaste halutaan mahdollisimman korkeaksi. (Ritvanen et al. 2011, s. 48) Varastolähtöiseen ohjaukseen liittyviä oleellisia kysymyksiä ovat:

- Miten usein varastoa täydennetään?
- Kuinka paljon täydennetään?
- Miten lähtevää ja sisään tulevaa virtaa seurataan kokonaisuutena ja pidetään tasapainossa? (Sakki 1999, s. 121)

### 3.4 Engineering-to-Order - asiakasohjautuva tuotesuunnittelu

Asiakasohjautuvan tuotesuunnittelun lähtökohtana on asiakaskohtaiset räätälöidyt tuotteet, joilla on epätasainen kysyntä ja pitkät toimitusajat. ETO-ohjauksessa valmistuksen käyttöaste ei ole niin merkittävässä roolissa kuin MTS-ohjauksessa. (Ritvanen et al. 2011, s. 49).

ETO -tuotantostrategia on hyvin projektiluontoista, jossa tutkimukseen ja suunnitteluun liittyvillä toiminnoilla on tärkeä rooli. Tyypillistä on tuotteiden korkea kustomointiaste ja matalat volyymit. (Lödding et al. 2017, s. 244-245)

### 3.5 MTO-MTS – hybridimallit

Tilausohjautuvaa tuotantoa voidaan pitää tietyssä suhteessa varasto-ohjautuvan vastakohtana. MTS-ohjaus tarjoaa nopean toimitusajan. MTO-ohjaus mahdollistaa suuren tuotevariaatiomäärän tarjoamisen, mutta toisaalta toimitusajat ovat suhteellisen pitkät. (Akinc & Meredith 2015, s. 728)

MTO- ja MTS-ohjauksia yhdistelevien hybridimallien taustalla on asiakastilauksen kytkeytymispisteen siirtäminen. Hybridimalleissa välituotteet valmistetaan ennusteiden mukaan, kuten MTS-ohjauksessa ja vasta sen jälkeen viimeistellään asiakasvaatimusten mukaisiksi, kuten MTO-ohjauksessa tehdään jo alussa. (Akinc & Meredith 2015, s. 729)

#### **Assemble-to-Order - tilausohjautuva kokoonpano**

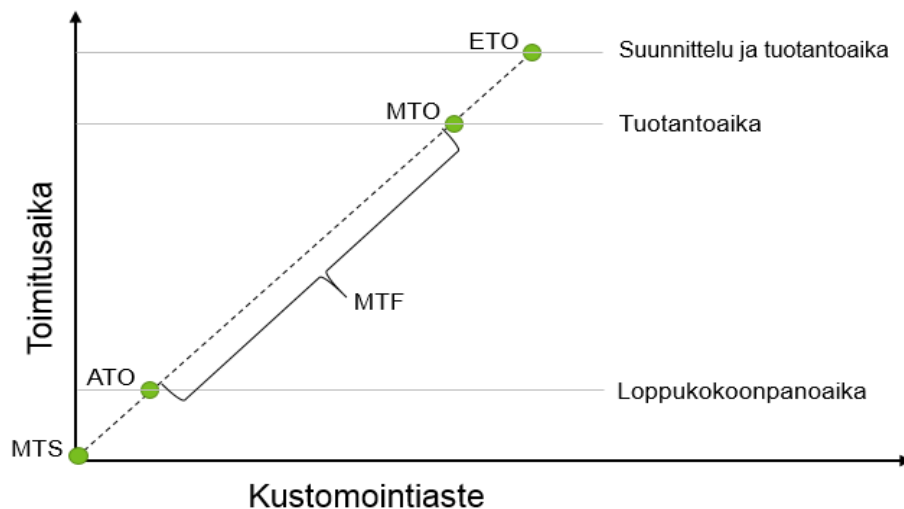
Tilausohjautuvassa kokoonpanossa (ATO) kaikki komponentit ja välituotteet valmistetaan ennusteiden perusteella. Ainoastaan viimeinen tuotantoon liittyvä prosessi, kuten loppukokoonpano tai viimeinen tuotteen jatkojalostus on tilausohjattu. (Stadtler, Kilger & Meyr 2015, s. 182). Asiakkaan tilaus käynnistää lopputuotteen valmistuksen välivarastossa olevista puolivalmisteista. Tässäkin ohjausmuodossa varastoon sitoutuu paljon pääomaa, sillä välituotteita täytyy olla useita erilaisia (Ritvanen et al. 2011, s. 49). Tilausohjautuvassa kokoonpanossa tuotevariaatiot on rajattu loppukokoonpanoon tai viimeiseen tuotantoprosessiin. Varastoitavat välituotteet ovat asiakasvaatimusten mukaan määritettyjä standardimoduuleja. Tilausohjautuvaa kokoonpanoa hyödynnetään paperiteollisuudessa, jossa tiettyihin paperilaatuihin liittyviä standardirullia varastoidaan ja vasta sen jälkeen leikataan oikean kokoiseksi, viimeistellään ja pakataan asiakastilausten mukaan. ATO-ohjaus on paljon tutkittu hybridimalli yhdistämään piirteitä MTS- ja MTO-ohjauksista. (Akinc & Meredith 2015, s. 729)



## Make-to-Forecast -ennustehjautuva tuotanto

Ennustehjautuva tuotanto (MTF) edustaa tuoreempaa tutkimusta hybridimalleista. MTF-ohjaus eroaa perinteisemmästä ATO-ohjauksesta joustavuudellaan. MTF-ajattelun taustalla on ajatus siitä, että tietyt yritykset ja tietyt kilpailutilanteet vaativat sekä laajaa tuotevariaatioiden määrää, että nopeaa toimituskykyä. MTF-ohjaus pyrkii yhdistämään joustavuuden avulla näitä kahta kilpailuedun tavoittelussa tärkeitä elementtejä. (Akinc & Meredith 2015, s. 731)

MTF-ohjauksen joustavuus perustuu mahdollisuuteen siirtää asiakastilauksen kytkentäpistettä tarpeen mukaan. Väli tuotetta pyritään tuottamaan varastoon samalla säilyttäen mahdollisuus tilausohjautuvaan tuotantoon. Asiakastilaukset pyrittäisiin täyttämään standardiväli tuotteista. Jos standardiväli tuotetta ei olisi varastossa tai kyseistä laatua ei tuoteta varastoon, voitaisiin se kuitenkin valmistaa tilausohjautuvasti pidemmällä toimitusajalla (Akinc & Meredith 2015, s. 730-731) MTF-ohjauksen toimitusajan joustavuus havainnollistettuna kuvassa 7.



**Kuva 7.** MTF-ohjauksen vertailu muihin ohjaustapoihin toimitusajan ja kustomointias-teen suhteen (Akinc & Meredith 2015, s. 730).

MTF-ohjauksen ja ajattelun hyödyntäminen nähdään sopivaksi tilanteisiin, missä tuotteet spesifioidaan aikaisin ja toimitusajat ylittävät asiakkaan toimitusaikoihin liittyvät tarpeet ja toivomukset. (Akinc & Meredith 2015, s. 731).

### 3.6 Ohjaustapojen vertailua

Tarkastellessa tuotannonohjaukseen liittyviä strategioita nousee esille toimitusaikojen, tuotevariaatioiden määrän ja varastojen hallinta. Tässä suhteessa MTO- ja MTS-ohjaukset voidaan nähdä vastakohtaisina vaihtoehtoina toisilleen. Hybridimallit voivat tarjota mahdollisuuden yhdistää kilpailuedun tavoittelussa tärkeitä piirteitä puhtaista MTO- ja MTS -ohjauksista. Toisaalta niihinkin liittyy omat riskinsä ja haasteensa. Suurimpana haasteena nähdään tuotteiden, prosessien ja tuotannon kapasiteetin hallinnoinnin haastavuus. Strategisen tason haasteiden lisäksi päivittäisessä toiminnassa haasteena on tuotannon aikataulutus ja toimitusaikalupausten arviointi. (Akinc 2015, s. 747) Ohjausstrategioiden haasteet koottuna vertailevaan taulukkoon 1.

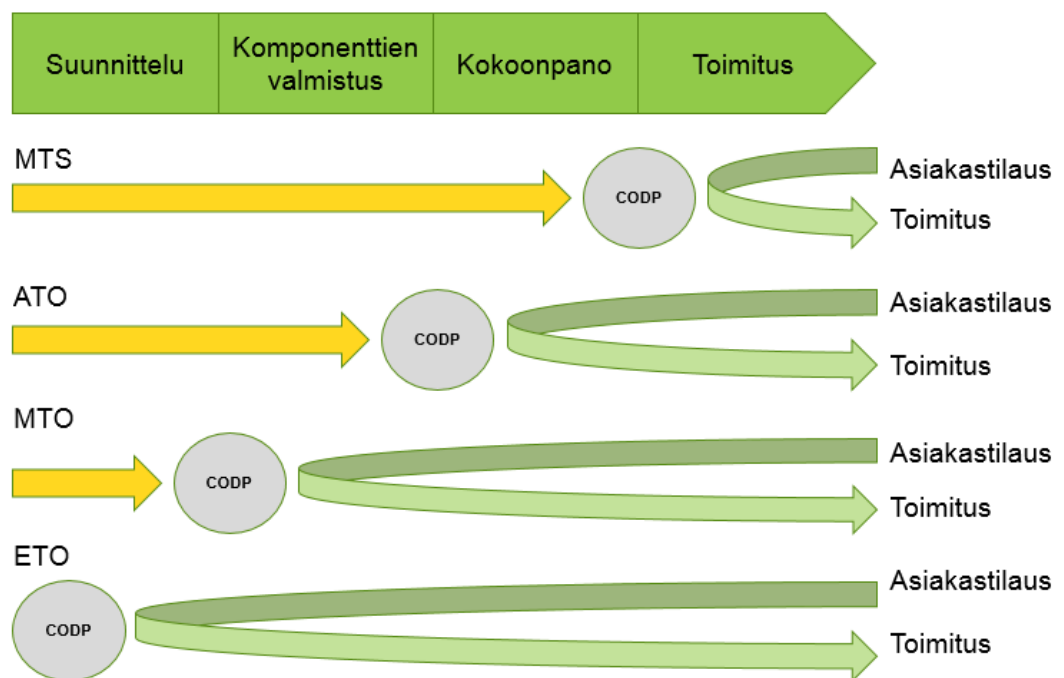
**Taulukko 1.** Ohjaustapojen tyypillisten piirteiden vertailu (Akinc 2015, s. 734).

Ohjausstrategia	Tuote-variaatioiden määrä	Toimitusnopeus	Hallinnoimisen monimutkaisuus	Suurimmat haasteet
<b>ETO</b>	Rajoittamaton	Erittäin hidas	Korkea	Suunnittelu ja valmistus
<b>MTO</b>	Suuri	Hidas	Kohtuullinen	Aikataulutus
<b>MTF</b>	Kohtuullinen	Kohtuullinen	Erittäin korkea	Tuotteiden yhteensovittaminen/harmonisointi
<b>ATO</b>	Vähäinen	Nopea	Lievä	Komponenttien varastojen suunnittelu
<b>MTS</b>	Varastoitavaksi valitut	Heti	Lievin	Ennustus

Yksi tapa yhdistää MTS- ja MTO -ohjauksia on valmistaa osa tuotteista varasto-ohjautuvasti ja tilausohjautuvasti. Tuotteiden priorisointi on tärkeässä roolissa etsittäessä optimaalista MTO/MTS -ohjaustapaa (Hadj Youssef, van Delft & Dalley 2018, s. 1199). Tuotteet voidaan luokitella MTO- ja MTS -ohjauksien alle kysyntöjen ja toimitusaikojen mukaan (Hadj Youssef, van Delft & Dalley 2018, s. 1218).

### 3.7 CODP -asiakastilauksen kohdennuspiste

Tuotannon ohjaustapoja tarkastellessa asiakastilauksen kohdennuspiste (CODP) on otettava tarkasteluun mukaan. CODP-piste on prosessin kohta, jossa tuote linkittyy asiakastilaukseen (Skipworth & Harrison 2007, s. 1629). Tuotantoprosessin vaiheet ennen CODP -pistettä ohjautuvat ennusteiden mukaan ja vaiheet CODP-pisteen jälkeen pohjautuvat enemmän realistiseen asiakaskysyntään. (Ji et al. 2007, s. 151) Kuvan 8 mukaisesti varasto-ohjautuvassa tuotannossa suunnittelu, väli tuotteiden valmistus ja kokoonpano on ennusteohjautuvaa. CODP-piste on silloin lopputuotevarasto. Tuote voidaan toimittaa suoraan varastosta asiakkaan tehtyä tilauksen. Toisaalta asiakasohjautuvassa tuotesuunnittelussa (ETO) suunnittelu, komponenttien valmistus, kokoonpano ja toimitus tapahtuvat täysin asiakaslähtöisesti. ETO-ohjauksessa prosessi lähtee käyntiin suunnittelusta, kun asiakastilaus on vastaanotettu.

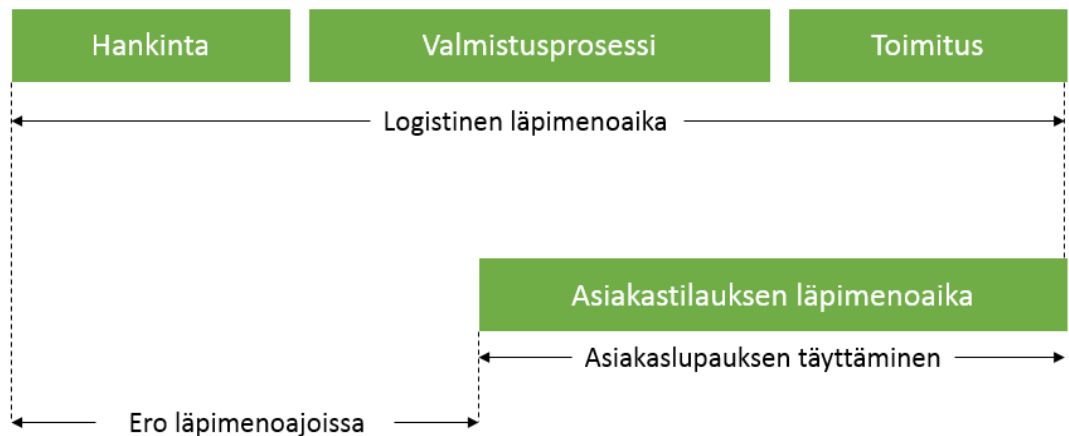


**Kuva 8.** CODP-pisteen kytkeytyminen tuotannonohjaustapaan (perustuu Olhager 2010 & Logistiikan maailma)

### 3.8 Läpimenoaikojen merkitys

Läpimenoajan käsite voidaan jakaa logistiseen läpimenoaikaan sekä asiakkaalle näkyvään tilauksen läpimenoaikaan. Asiakkaalle näkyvää tilauksen läpimenoaika voidaan kuvata myös toimitusaikana. Logistinen läpimenoaika sisältää hankinnan, valmistuksen ja toimituksen asiakkaalle. Asiakastilauksen läpimenoaika on lyhyempi ja se kuvastaa luvattua toimitusaikaa, jonka asiakas joutuu odottamaan ennen kuin tilaus on saapunut. (Martin 2011, s. 84) Ilmiö havainnollistettuna kuvassa 9.

Monilla yrityksillä on haaste päivittäisessä toiminnassa, kun tilauksen valmistaminen ja toimittaminen asiakkaalle vie enemmän aikaa kuin mitä asiakas on valmis odottamaan (Martin 2011, s. 83). Läpimenoajat voivat olla yrityksille kysyntää ja myyntiä lisäävä kilpailutekijä ja toisaalta epäonnistuminen asiakastilauksen läpimenoajan täyttämässä voi aiheuttaa kustannuksia sanktioiden ja korvauksien takia (Jayaswal & Jewkes 2016, s. 2791). Pahimmillaan myöhästymiset voivat vaikuttaa negatiivisesti asiakassuhteeseen.

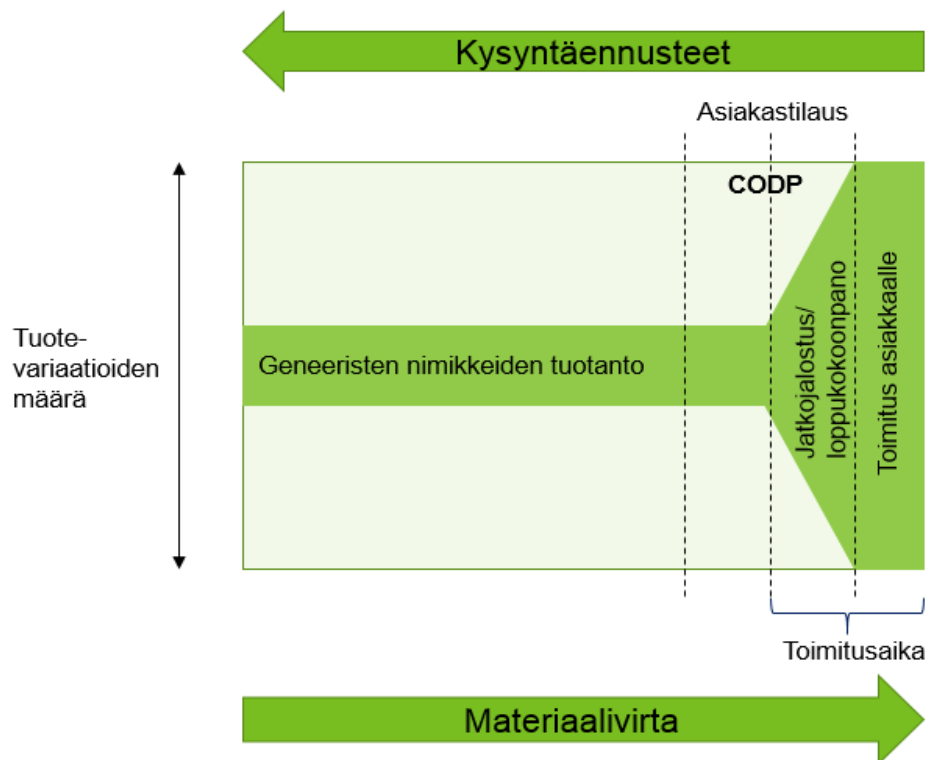


**Kuva 9.** Läpimenoaikojen ero ja haaste (Martin 2011, s. 84)

### 3.9 Viivästyttämisajattelu

Viivästyttämisajattelu (postponement strategy) on keino toimitusketjun tehostamiseen, jossa prosessien yhdistämisen ja nimikkeiden spesifioinnin viivästyttämällä tavoitellaan kustannustehokkuutta ja nopeaa toimituskykyä (Cheng et al. 2010, s. 5). Laaja tuotevariaatioiden määrä on kilpailutekijä, mutta toisaalta se monimutkaistaa toimitusketjua. Viivästysajattelun konseptin juuret juontuvat aina 1950 asti ja sitä on hyödynnetty erityisesti autoteollisuudessa (Ying & Peng 2013, s. 2253). Viivästyttämisen avulla tuotantoketjun alkupäässä olevia tuotevariantteja saadaan vähennettyä. Viivästyttämisajattelussa viivästytetään tuotteen tai tilauksen kustomointia lähemmäksi asiakastilauksen kohdennuspistettä. Viivästyttämisajattelu esittää tavan implementoida massaräätälöinnin periaatteita ilman suuria tuotevalikoiman hallintaan liittyviä kustannuksia. Sen voi tehdä suunnittelemalla tuoterakenne, tuotanto ja toimitusketju niin, että tuotteen konfigurointi voidaan tehdä tuotantoprosessin lopussa (Wong, Wikner & Naim 2009, s. 1202). Esimerkiksi autoteollisuudessa ajattelua hyödynnetään niin, että tietyt osat asennetaan vasta jakelukeskuksissa pelkän varastoinnin sijaan. Sen avulla tuotannon variantteja saadaan pienennettyä. (Holweg & Pil 2004, s. 400)

Viivästyttämismallin vaikutusta materiaalivirtoihin ja koko tuotantostrategiaan havainnollistaa käsiteellinen kuva 10. Siinä vaaka-akseli kuvaa läpimenoaikaa ja pystyakseli tuotettavien variaatioiden määrää. Viivästyttämisajatteluun liittyvä prosessisuunnittelu keskittyy minimoimaan SKU-määrän CODP-pisteessä ja toimitusajan CODP-pisteen jälkeen niin, että riittävä määrä lopputuotteita pystytään tuottamaan. Viivästyttäminen tuo mukanaan optimointihaasteen. Miten optimoida ennustehjautuva taso ennen CODP-pistettä ja tilausohjautuva taso CODP-pisteen jälkeen. (Skipworth & Harrison 2007, s. 1630)



**Kuva 10.** Viivästyttämisaajatellun käsitteellinen malli (perustuu Skipworth & Harrison 2007, s. 1630).

Kirjallisuudessa esiteltyjen mallien on todettu tuovan yritysten toimintaan taulukossa 2 esiteltyjä hyötyjä ja haittoja. Skipworth & Harrison (2007, s. 1638) toteavat artikkelissaan ”Implications of Form Postponement to Manufacturing Customized Product”, että yhtenä suurimpana hyötynä viivästyttämisaajatellussa on mahdollisuus vähentää tuotantoprosessin alkuvaiheen SKU-määrää. Cheng et al. (2010, s. 9-10) toteavat kirjassa ”Postponement Strategies in Supply Chain Management”, että viivästyttämisaajatellun avulla voidaan kehittää toimitusketjua ajan, laadun ja kustannusten osalta sekä vähentää riskiä varastoida harvinaisia ja pienen kysynnän tuotteita turhaan. Viivästyttämisen avulla voidaan yksinkertaistaa tuotantoprosessia tuotannon alkupäässä.

**Taulukko 2.** Viivästyttämisperiaatteen hyödyt ja haitat (Cheng et al. 2010, s. 9-10)(Richards & Grinsted 2016, s. 206-208)(Skipworth & Harrison 2007, s. 1630)

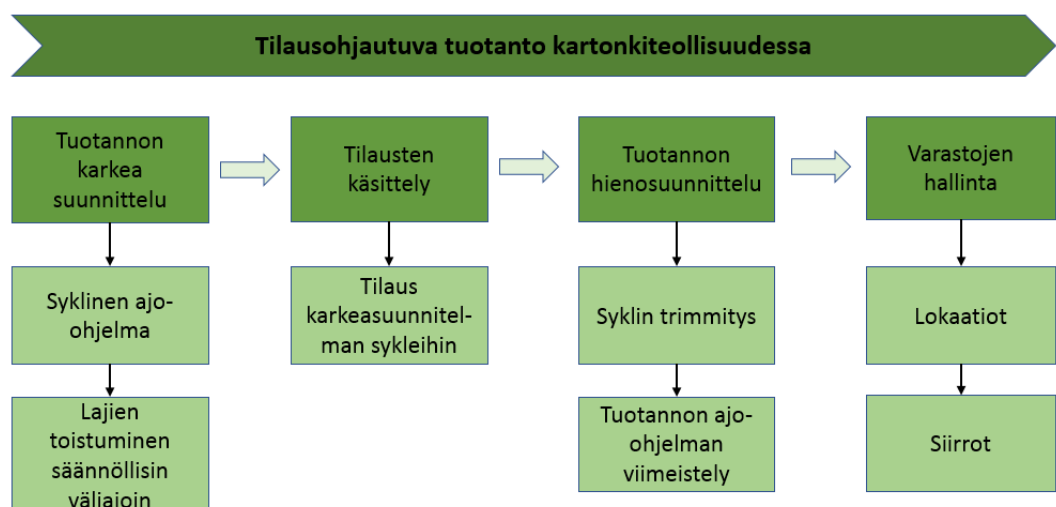
Hyödyt	Haitat
Pienempi SKU-määrä hallittavana	Välituotevaraston kasvu
Yksinkertaisempi tuotantoprosessi	Suunnittelusta ja toimitusketjun kehittämisestä lisäkustannuksia
Variaatioiden lisääminen mahdollisimman myöhään pienentää riskiä varastoida vähän kysytyjä tuotteita	Tehokas hyödyntäminen vaatii asiakkaalta joustavuutta pienemmän tuotetarjonnan takia
Kyky reagoida muuttuvaan kysyntään	Varastotasojen hallinnan vaikeus
Aikaiset prosessit voidaan standardisoida	
Kysynnän ennustamisen helpottuminen	

## 4 VÄLITUOTEVARASTOJEN MUODOSTUMINEN IMATRAN TEHTAILLA

Tässä empiriaosuuden ensimmäisessä kappaleessa kuvataan tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat rullavirtojen ja välituotevarastojen muodostumiseen Imatran tehtailla. Ensimmäiseksi esitellään käytössä oleva tuotannonohjausmenetelmä karkealla tasolla. Tuotannonohjaus vaikuttaa rullavirtojen syntymiseen kartonkikoneilla ja virtaamiseen tehtaan sisällä. Tämän jälkeen havainnollistetaan CODP-pisteen kytkeytymistä tuotantoprosessiin. Rullavirtojen tarkempi muodostuminen kuvataan omana lukunaan, sillä se sisältää olennaista informaatiota koko työn kannalta. Rullavirtojen muodostumisen jälkeen kuvataan SKU:n muodostumiseen vaikuttavat tekijät. SKU:t ovat olennainen osa rullavirtoja. Tämän jälkeen kuvataan perustietoja ARW:stä ja sen toiminnasta. Lopuksi esitellään olennaisimmat PE-päällystettävät välituotteet, niiden keskimääräiset varastotasot ja arvioidut kiertoajat.

### 4.1 Tuotannonohjaus Imatran tehtailla

Imatran tehtaiden tuotanto on pääasiassa tilausohjautuvaa. Siihen liittyvä prosessi voidaan jakaa kuvassa 11 esitettyihin päävaiheisiin: tuotannon karkeasuunnittelu, tilausten käsittely, tuotannon hienosuunnittelu ja varastojen hallinta.

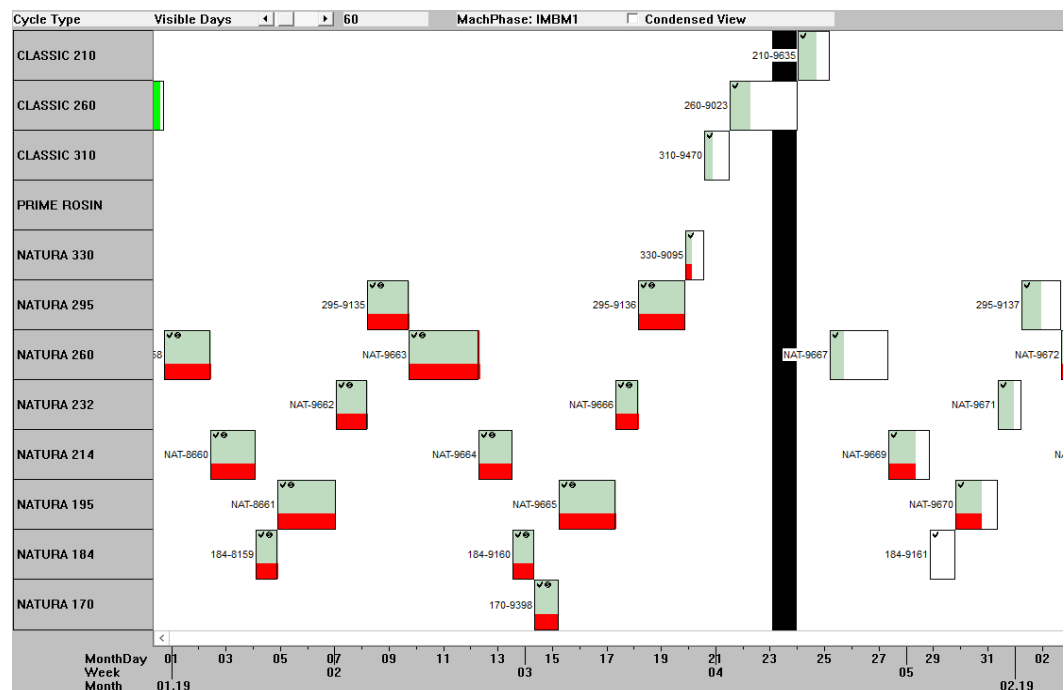


**Kuva 11.** Tilausohjautuvan tuotannon vaiheet (Knowpap 2011)



Tuotannon karkeasuunnittelussa käytettävissä oleva kalenteriaika jaetaan lohkoihin tai sykleihin, joissa tuotetaan tiettyä tuotelajia tai lajiryhmää. Karkeasuunnitelman syklit perustuvat myyntisuunnitelmaan ja myynnistä saatuihin ennusteisiin. Jokaiselle syklille määritellään tietty kesto ja syklissä tuotettava määrä on laskettavissa konekohtaiseen kapasiteetin (tonnia/tunti) avulla. Karkeasuunnitelmassa ei näy vielä tilaukset, vaan myyntiosasto syöttää tilaukset sykleihin asiakkaan lähetettyinä. (Knowpap 2011) Tilausohjautuvan syklisen tuotantotavan haasteena on kartonkikoneiden ja PE-koneiden syklien yhtensovittaminen niin, että niiden välissä oleva aika saadaan minimoitua. Tuotelajien määrä ja asiakaskohtaiset erityisvaatimukset hankaloittavat syklien yhtensovittamista. Työssä käsiteltävä ARW toimii läpivirtausvarastona kartonkikoneiden ja PE-koneiden välissä.

Kuvassa 12 esitettyä esimerkki KA1-koneen tuotannon karkeasuunnitelmasta. Kuvassa kuukauden tarkastelujakson ajalle määritellyt syklit. Syklit toistuvat säännöllisesti. Toiset useammin ja toiset harvemmin. Tarvittavat tuotantomäärät on laskettu myyntiennusteiden perusteella. Kuvaa 12 luetaan niin, että alhaalla x-akselilla on aika, vasemmassa reunassa lajit ja keskellä lajien syklit ajoitettuna kuukauden ajanjaksolle. Valkoinen sykli tarkoittaa tyhjänä olevaa ja vihreä täyttä tai osittain täyttä sykliä.



**Kuva 12.** Karkeasuunnitelman syklit

Asiakkaan lähetettyä tilauksen myyntiosasto syöttää sen ERP-järjestelmään ja valitsee sille sopivat syklit. Tilauksen syötön yhteydessä järjestelmä muodostaa sille yksilöidyn tilausnumeron. Vahvistettu tilaus varaa sen vaatiman kapasiteetin karkeasuunnitelmasta. Tyypillisesti syklit valitaan ExMill-päivän mukaan, jolloin tilaukselle etsitään myöhäisin mahdollinen tuotantojakso niin, että se täyttää asiakkaan asettamat vaatimukset toimitukselle. (Knowpap 2011)

Hienosuunnitelman ensimmäinen vaihe on ajon luominen. Ajolla tarkoitetaan peräkkäisten lajinvaihtojen välistä aikaa kartonkikoneella. Ajo luodaan valitsemalla joukko tilauksia erilaisilla kriteereillä trimmitettäväksi. Trimmityksessä tuotannon suunnittelijan tehtävänä on asettaa tilaukset ajettavaksi kartonkikoneelta niin, että trimmihukka on mahdollisimman pieni. Trimmihukalla tarkoitetaan koneen rataleveyttä miinustettuna pituusleikkurin muuton leveydellä. Trimmityksessä määritellään tapa, miten koneen tuottama rata leikataan pituus- ja leveyssuunnassa niin, että se täyttää asiakkaan tilauksen ja aiheuttaa mahdollisimman vähän radalta syntyvää hukkaa. (Knowpap 2011) Trimmityksessä osa tilauksista saatetaan tuottaa tilattua määrää suurempina tai pienempinä määrätoleranssien rajoissa. Yli ajetut tilaukset aiheuttavat haasteita varastolle ylijäämien muodossa. Ylijäämiä allokoidaan uusille tilauksille. Allokointi tarkoittaa ylijäämän kytkemistä tulevalle uudelle tilaukselle.

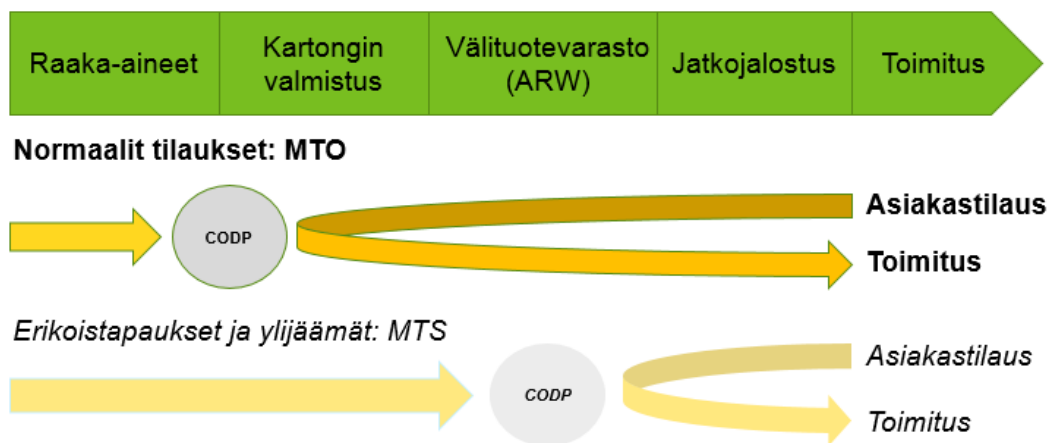
Välituotteiden varastointi tapahtuu ARW:n avulla. Lopputuotteet pyritään lähettämään ilman varastointia asiakkaalle. Tuotantoprosessi ja siihen liittyvä suunnittelu vaikuttavat varastotasojen muodostumiseen ja läpimenoaikoihin.

## **4.2 CODP-pisteen kytkeytyminen kartongin valmistusprosessiin**

Tilausohjautuvassa kartongin valmistusprosessissa CODP-piste on hieman ennen kartongin valmistusta. Kuvassa 13 on esitettyinä kartongin valmistusprosessin tärkeimmät vaiheet ja siihen kytkeytynyt CODP-piste. Asiakkaan lähetettyä tilauksen se syötetään tuotannon karkeasuunnitelmaan, josta se trimmitetään kartonkikoneen ajoon ja hienosuunnitelmaan. Trimmitys tapahtuu jatkojalostuslähtöisesti, eli tilaukselle katsotaan ensin järkevin jatkojalostuskone ja sen jälkeen se trimmitetään kartonkikoneen sykliin. Asiakastilauksen vaatimusten vuoksi osa tilauksista on

välttämätöntä tuottaa määrätyillä koneilla. Osassa tilauksista tätä rajoitusta ei ole. Kun tilaus trimmitetään koneille, saadaan aikaiseksi koneketju. Koneketjuksi kutsutaan KA-PE koneiden välistä yhdistelmää tai ketjua. Koneketjussa voi olla useampi kuin yksi jatkojalostuskone. Suurin osa tilauksista on kahden koneen koneketjussa eli ne ajetaan yhdeltä kartonkikoneelta ja päällystetään yhdellä päällystyskoneista. Tilaukset ilman jatkojalostusta trimmitetään suoraan kartonkikoneille.

Varasto-ohjautuvaa tuotannonohjausta sovelletaan kartongin valmistuksessa erityisesti ylijäämien osalta ja erikoistilanteissa. Erikoistilanteissa määritettyjä tuotevariaatioita saatetaan tuottaa varastoon tulevaa tuotannon seisakkia tai muuta normaalia poikkeavaa tilannetta ennakoiden. Tuotannon seisakilla tarkoitetaan tilannetta, jossa tuotanto on ennakkosuunnitelmaan perustuen hallitusti pysäytetty määrätyksi ajaksi. Syynä voi olla kehitystoimenpiteet, ennakkohoito tai raportoitujen vikojen korjaukset. Ylijäämien osalta varasto-ohjautuvuudella tarkoitetaan niiden tarkoituksellista varastointia tulevia tilauksia varten. Ylijäämiä ei tuoteta tarkoituksella, vaan niitä syntyy erityisesti kartonkikoneen kokonaistehokkuutta optimoitaessa.



**Kuva 13.** CODP-piste kartongin valmistuksessa

### 4.3 Rullavirrat Imatran tehtailla

Välituotevarastoinnin lisäksi ARW toimii lopputuotevarastona PE6-koneelta tuleville muovipäälylstetyille lopputuotteille sekä raaka-ainevarastona PE6-koneelle meneville rullakääreille. Rullakääreet käytetään valmiiden PE6-koneelta valmistuneiden lopputuoterullien pakkauksiin. ARW käsittelee kaikki KA1, KA2 ja KA4 koneilta tulevat jatkojalostukseen menevät rullat ja syöttää jatkojalostettavat rullat kaikille neljälle PE-koneelle.

Rullavirrat lähtevät kartonkikoneilta KA1, KA2 ja KA4. Kartonkikoneilta rullat siirtyvät kuljettimia pitkin keskuspakkaamoon (KEPA) tai kartongin pakkaamoon (KAPA). Kartonkirullat tarvitsevat asianmukaisen suojapakkauksen kuljetuksia varten. Manuaalivarastoon menevät rullat pakataan täyskääreeseen. Rullien siirto trukilla edellyttää pakkaamisen täyskääreeseen. Automaattivarastoon menevät rullat pakataan kevyempään vaippakääreeseen. Pakkaamosta rullat jatkavat kuljettimia pitkin joko manuaalivarastoon (MRW) tai ARW:hen. MRW:hen menevät ilman muovipäälylstystä olevat asiakastilaukset sekä jatkojalostukseen menevät kartonkirullat, jotka joudutaan varastoimaan tehtaan ulkopuolella. Manuaalivaraston puolella on lastauslaiturit junan vaunuille ja rekoille, joista rullat lähetetään asiakkaalle sovitulla kuljetustavalla. Pakkaamosta ARW:hen menevät jatkojalostukseen trimmitetyt rullat. ARW:hen meneviin rulliin ei tarvitse ollenkaan koskea fyysisesti, sillä myös siirrot kartonkikoneen, pakkaamon ja automaattivaraston välillä on automatisoitu kuljettimien avulla. Automaattivarasto varastoi rullat odottamaan jatkojalostuskoneen syklin alkua.

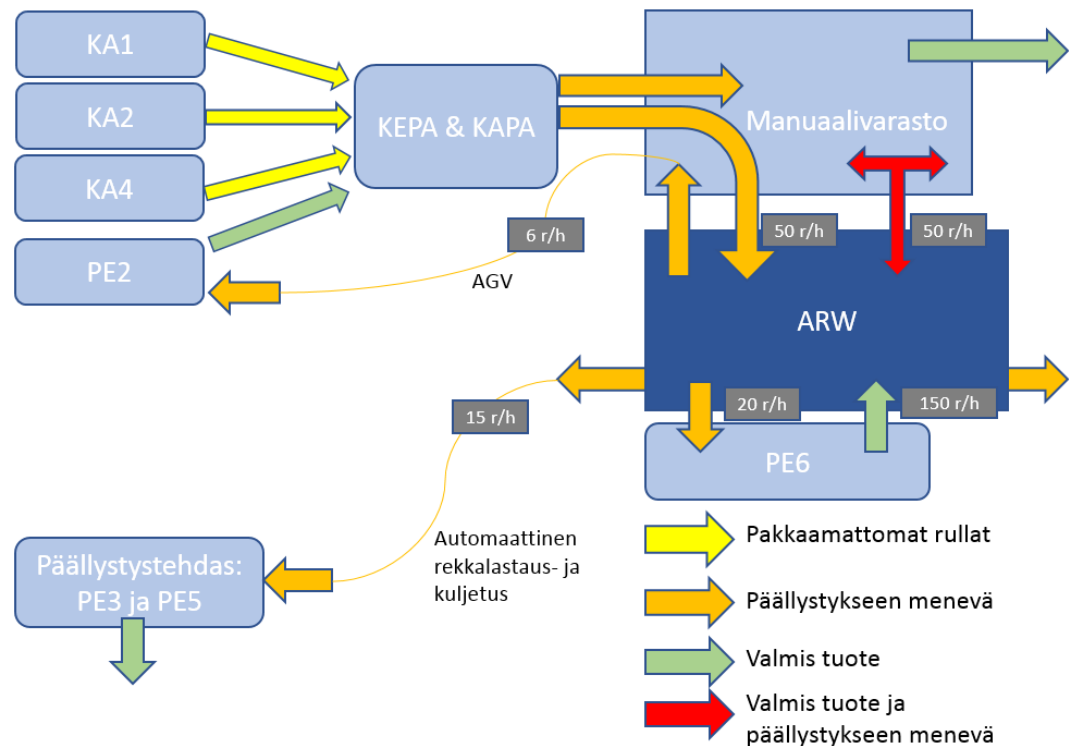
Imatran tehtailla on neljä muovipäälylstyskonetta, joita kutsutaan PE2-, PE3-, PE5- ja PE6-koneiksi. PE2-kone sijaitsee samassa rakennuksessa kuin kartonkikoneet, PE3- ja PE5 -koneet sijaitsevat päälylstystehtaalla, joka on erillinen rakennus tehdasalueella. Uusin päälylstyskone PE6 sijaitsee automaattivaraston yhteydessä.

PE2-koneelle jatkojalostukseen menevät rullat kulkevat automaattivarastosta ulos omaa ulostuloputkea pitkin, josta hissi siirtää ne lattian tasolle. Lattiatasolta automatisoitu rullien kuljetusvaunu (AGV) kuljettaa ne PE2-koneelle odottamaan päälylstystä. PE3- ja PE5 -koneille jatkojalostukseen menevät rullat kuljetetaan rekalla

ARW:ltä päällystystehtaalle. Kuljetuksissa käytetään erikoisvalmisteista rekkaa. Rekan kuljetus- ja ARW:n lastausjärjestelmät ovat teknisesti yhteensovitettu mahdollistamaan automaattinen lastaus ja purku. Normaalitylanteessa rekan lastaus ARW:ssä ja purku PT:llä (päällystystehtaalla) tapahtuu automaation välityksellä ilman manuaalisia toimenpiteitä. Päällystystehtaalla on varastointialue, joka hyödyntää samanlaisia tekniikkaa ja rakenteita kuin ARW. Varastointialueella voidaan pitää tuotannon häiriöttömyyden kannalta välttämätöntä puskurivarastoa. PE6-koneelle meneville rullille on oma ulosmenoväylä automaattivaraston sisällä. ARW:hen liittyvät rullavirrat ovat laaja kokonaisuus, sillä rullat kulkevat kartonkikoneilta PE-päällystykseen ja sen jälkeen vasta asiakkaalle.

Manuaalivaraston ja ARW:n välissä on kahteen suuntaan käytettävä ulosmenoputki, josta syötetään rullia sisään ja otetaan ulos. Ulosmenoputkea kutsutaan kohdeyrityksessä viikseksi. Sisään syötettävät ovat rullia, jotka ovat syystä tai toisesta jouduttu varastoimaan manuaalivaraston puolelle tai PE6-koneen käyttämää pakkausmateriaalia. Ulos otettavat rullat ovat pääasiassa PE6-koneelta tulleita asiakkaalle lähteviä lopputuoterullia. MRW:n viiksi on ainoa väylä ARW:stä ulos, josta voidaan poistaa varastossa olevaa epäkuranttia tavaraa tai ottaa asiakastilauksia ulos.

Kuvassa 14 on esitettyä automatisoituihin rullien siirtoihin liittyvät suorituskyvyt. ARW:n suorituskykyyn liittyvät rullien siirtonopeudet ovat yksi tulo- ja lähtövirtojen kapasiteettien reunaehdoista. Määrällisesti eniten rullia kulkee KEPA:sta ja KAPA:sta ARW:hen. Nopeudeksi tuolle välille on määritelty 50 rullaa tunnissa ja 25 toimenpidettä tunnissa. Jumborullien tapauksessa todellinen suorituskyky on 25 rullaa tunnissa, sillä ARW:n hissi pystyy siirtämään vain yhden jumborullan kerrallaan. 50 rullaa tunnissa suorituskyky on laskettu niin, että hissi siirtää 2 rullaa 25 kertaa tunnissa, eli yhteensä 50 rullaa tunnissa. Lisäksi hissit kuljettavat vain yhtä rullaa kerrallaan, jos seuraava rulla ei tule pakkaamon kuljettimelta riittävän nopeasti. Suorituskyky PE6-koneelta ARW:hen on suuri, sillä siirtokuljettimet siirtävät vain PE6 lopputuotteita, jotka ovat välituoterullia selkeästi kapeampia ja siirtokuljetin voi siirtää monta rullaa kerrallaan. Kaikkien kuvaan 14 merkittyjen rullavirtojen merkitys on suuri, sillä katkot tai hidastumiset virroissa voivat pahimmillaan aiheuttaa katkoja tuotantokoneille.



**Kuva 14.** Imatran tehtaiden ARW:hen liittyvät rullavirrat

#### 4.4 Varastonimikkeen määrittely

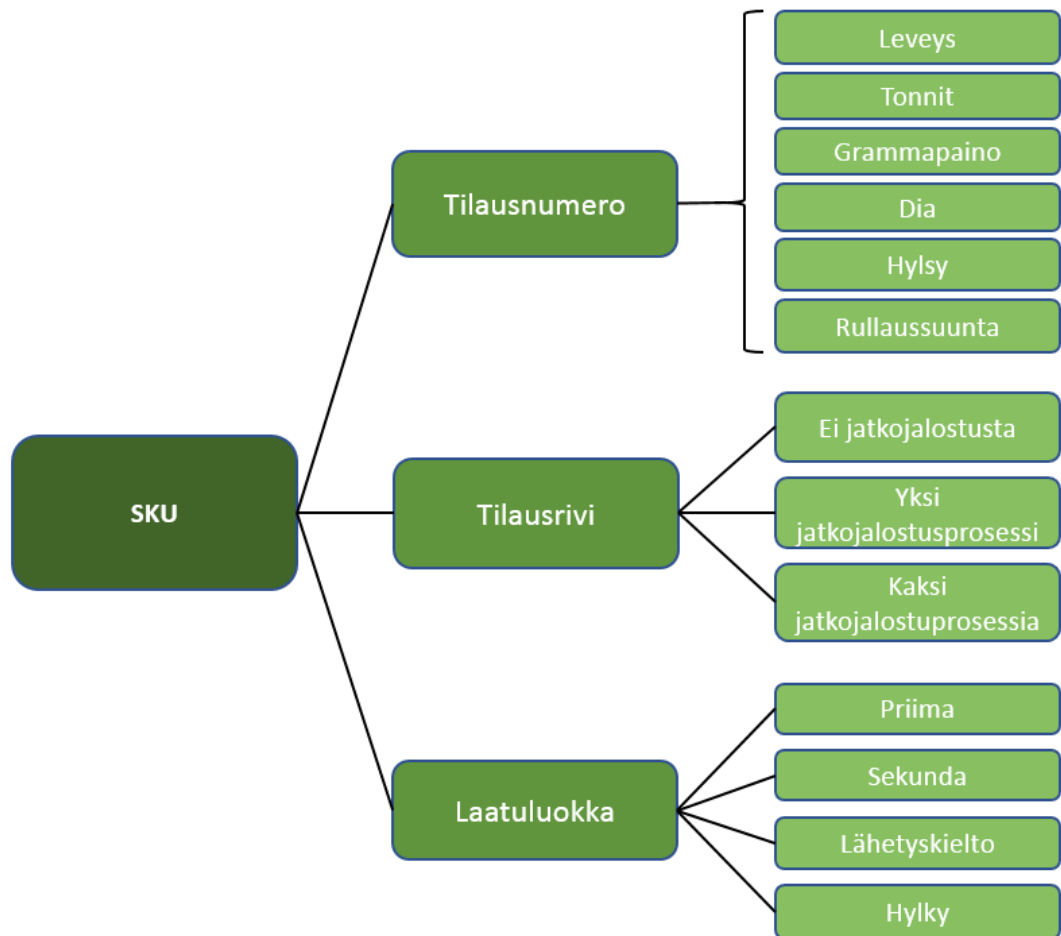
Tilaukset asetetaan tuotannosuunnittelussa koneketjuun tilausnumeroittain. Tilausnumeron alla on asiakkaan tilauksen vaatimukset kuten leveys, tilattu tonnimäärä, grammapaino, halkaisija, hylsy ja rullaussuunta. Kolmelta kartonkikoneelta valmistetaan yhteensä 14-16 erilaista ARW:n kautta kulkevaa välituotetta. Välituotteella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että kaikki kyseiseen välituotteeseen liittyvät variaatiot ajetaan kartonkikoneella samassa syklissä. Välituotteet on määritelty ominaisuuksien mukaan, jotta ne voidaan ajaa omissa tuotantosykleissään. Välituotteet eritellään erikseen asiakkaan tilauksen mukaan. Suurimman lisäyksen tuotevariaatioiden määriin tuo rullien leveysvaihtelut. Yhden syklin tilauksia saateen tuottaa 5 millimetrin porrastuksella. Kun jokainen asiakastilaus trimmitetään tuotantoon omalla tilausnumerolla ja omilla tuoteyksityiskohdilla, syntyy suuri määrä erikseen käsiteltäviä nimikkeitä, joita kutsutaan SKU:ksi (stock keeping unit). SKU voidaan määrittellä tilaus-, tilausrivi- ja laatuluokaksi.

SKU:t ovat merkittävässä roolissa ARW:n kannalta, sillä se käsittelee rullat ja tilaukset SKU:n mukaan. ARW tunnistaa varastoon tulevan tilauksen ja siirtää sen varaston kanavistoon optimoiden kanavien täytön ja sujuvan tulevan siirron jatkojalostukseen. ARW käsittelee jokaisen SKU:n omana korvamerkittynä nimikkeenä. Varastohallintajärjestelmä lukee datan tehdastietojärjestelmä, jonne tilaus on syötetty ja asetettu koneketjuun.

Kartongin valmistusprosessi on herkkä laatuvaihteluille ja elintarvikepakkauksiin menevän kartongin laatuvaatimukset ovat luonnollisesti tarkat. Tämän seurauksena valmistuvat rullat luokitellaan neljään eri laatuluokkaan: priima, sekunda, lähetyskielto ja hylky. Yksi asiakastilauksen vaatimukset sisältävä SKU voi pahimmillaan jakautua vielä neljäksi eri SKU:ksi, jos sen sisältämiin rulliin kuuluu kaikkia neljää laatuluokkaa. Priima on korkein laatuluokka ja se tarkoittaa sitä, että rulla täyttää kaikki laatuvaatimukset. Sekundoissa on jokin sellainen laadullinen ongelma, että niitä ei voida toimittaa priimana asiakkaalle. Sekundoilla on omat markkinansa ja ne myydään edullisempaan hintaan erilaisiin käyttötarkoituksiin siihen erikoistuneen myyntitiimin kautta. Lähetyskiellossa oleva rulla vaatii asiantuntijan arvion rullan laadusta. Yleisesti ottaen lähetyskieltoa pidetään priimana ennen kuin toisin todistetaan. Lähetyskiellossa olevia rullia ei laiteta jatkojalostukseen tai asiakkaalle ennen laadun tarkistamista. Hylkyrullissa on jokin merkittävä laadullinen häiriö. Ne menevät suurelta osin pulperiin, jossa rullissa olevat raaka-aineet erotellaan niin, että niitä voidaan käyttää uudelleen tehtaan prosesseissa.

SKU:n sisällä on myös tilausriviluokat. Ne jakautuvat kolmeen pääluokkaan: kartonkikoneelta tulevat valmiit lopputuote- eli asiakasrullat, 2-koneen ketjussa olevat yhden jatkojalostuksen vaatimat rullat ja 3-koneen ketjussa olevat 2-jatkojalostusta vaativat rullat. Kaikki SKU:n muodostumiseen vaikuttavat tekijät kuvassa 15.

SKU koostuu asiakasvaatimukset sisältävästä tilausnumerosta ja tilauksesta, tarvittavan koneketjun määrittävästä tilausriviluokasta ja laatuluokasta. SKU:lla on aina kaikki tilausnumeron alla olevat tiedot, sille on määritelty yksi kolmesta tilausriviluokasta ja yksi neljästä laatuluokasta.



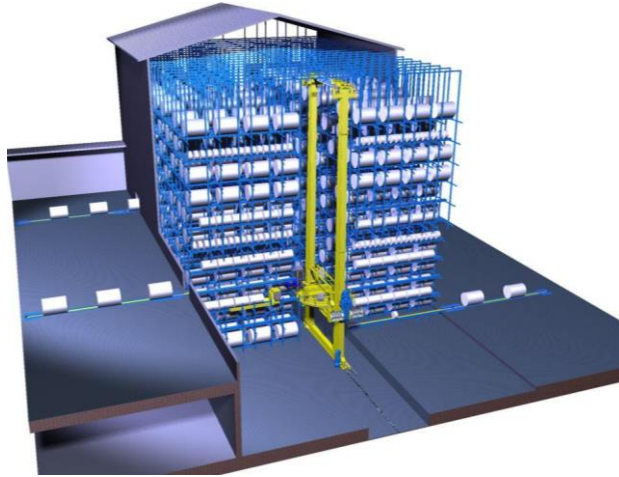
**Kuva 15.** SKU:n muodostumiseen vaikuttavat tekijät

#### 4.5 ARW:n toiminnan kuvaus

ARW:n toimintaa ohjaa WMS eli varastonhallintajärjestelmä, joka on yhteydessä tehdastietojärjestelmään. ARW:n toiminta perustuu järjestelmässä oleviin logiikoihin ja prioriteetteihin. Tavoitteena on, että järjestelmä sijoittaa rullat niin, että yhdessä kanavassa olisi vain yhtä SKU:ta. Useampaa kuin yhtä SKU:ta sisältävät kanavat eivät ole tehokkaita, sillä ARW joutuu silloin tekemään huomattavan paljon lisätyötä sisäisten siirtojen ja järjestelyn takia. ARW sijoittelee rullat sen mukaan, miten tilaukset on suunniteltu menevän ajoon PE-koneilla. Eri PE-koneille meneville rullille on omat sijaintinsa varastossa, jonne niitä pyritään ensisijaisesti sijoittamaan. Varaston kanavista 69 % on optimoitu tilavuuden suhteen 2100 millimetrin



halkaisijan rullille ja loput 1650 millimetrin halkaisijan rullille. Varaston nettokapasiteetiksi on 85% täyttöasteella laskettu hieman yli 27 000 tonnia. Kanavametreissä mitattuna ARW:n kapasiteetti on noin 17 kilometriä ja laskennallisesti sinne pitäisi mahtua noin 6000 rullaa. Automaattivaraston rakenne esitettynä kuvassa 16.

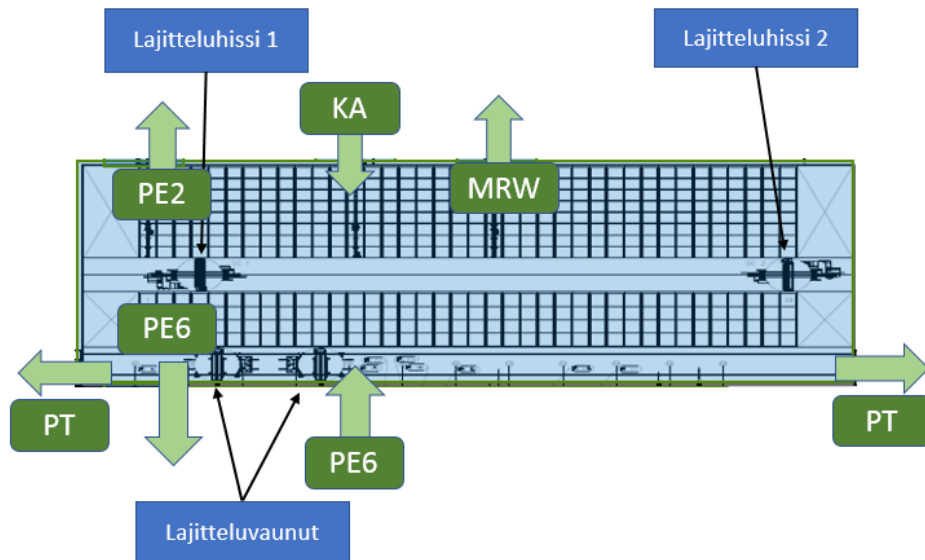


**Kuva 16.** ARW:n rakenne

Automaattivarasto on fyysisiltä mitoiltaan 108 metriä pitkä, 43 metriä leveä ja 33 metriä korkea. Pinta-alaa varastossa on 4629 m<sup>2</sup>. Oleellista on kanavien määrä, joita varastosta löytyy 950. Kanavien pituudet vaihtelevat 15-17 metrin välillä. Kanavien määrä ja niiden pituudet määrittävät ARW:n kanavametreihin perustuvan kapasiteetin.

Järjestelyn varaston sisällä hoitavat kaksi kanavien välissä kulkevaa lajitteluhissiä sekä kaksi lajitteluvaunua. Lajitteluhissit liikkuvat vaaka- ja pystysuunnissa. Ne hoitavat kanavien järjestelyn ja rullien noudon kanavista. Lajitteluhissi 1:n tärkein tehtävä on käsitellä sisälle tulevaa virtaa kartonkikoneilta ja ulospäin menevää virtaa PE-koneelle. Hissi 1:n korkein prioriteetti on varastoida kartonkikoneilta tulevat rullat, jotta tuotantokatkojen riski voidaan minimoida. Lisäksi se käsittelee PT:lle menevät rullat. Lajitteluhissi 2:n tärkein tehtävä on hoitaa ulospäin menevä virta manuaalivarastoon. Lisäksi hissi 2 käsittelee ulos lähtevää liikennettä PT:lle ja

PE6:lle. Lajitteluvaunut kulkevat vain vaakatasossa ja ne kuljettavat rullia pääasiassa jatkojalostuskoneiden syöttöön. Lajitteluhiissi- ja vaunut ovat kuvattuna kuvassa 17.



**Kuva 17.** ARW:n ulos- ja sisäänmenoväylät sekä hissit ja lajitteluvaunut

#### 4.6 Välituotteiden varastotasot ja kiertonopeudet

Automaattivarasto on sisältänyt 14 eri välituotetta tarkastelujaksolla 1.2.2018 – 1.10.2018. Tarkastelujakso on aloitettu helmikuun alusta, sillä automaattivarastoon liittyvää luotettavaa dataa on saatavilla aikaisintaan kyseistä ajankohdasta lähtien. Määrällisesti eniten ARW:n läpi kulkeneet välituotteet ovat olleet KP208 ja KP411. KP208 ajetaan KA1-koneelta ja KP411 KA4-koneelta. Aikaisemmin esitetyn kuvan 12 karkeasuunnitelman sykleissä välituote KP208 on jaettu grammapainojen mukaan omiin sykleihin, joita on yhteensä 8.

Välituotteiden kiertonopeudet ovat vaihdelleet 13 ja 47 päivän välissä ja keskimääräinen kiertoaika on ollut 32 päivää. Eniten ARW:n läpi kulkeneet KP208 ja KP411 ovat kiertäneet nopeimmin. Hitaimmin ovat kiertäneet KP246, KP417 ja KP419. Kiertoaikojen syntyyn vaikuttavat kartonkikoneiden ja PE-koneiden syklien väliset ajat. Jos syklien ajoitukset osuvat huonosti tuotannossa, niin kiertonopeudet ARW:ssä venähtävät herkästi. ARW:n tapauksessa kiertoaikojen muodostumiseen

vaikuttaa tällä hetkellä ulkopuolisten varastojen käyttö. Jos samaa välituotetta joudutaan varastoimaan ARW:n lisäksi ulkopuolelle, niin ensisijaisesti pyritään käyttämään ARW:ssä olevat rullat. Kiertonopeudet esitettyinä taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Välituotteiden varastoarvot tarkastelujaksolla 1.2.2018 – 1.10.2018

Tärkeimmät ARW:n kautta kulkevat PE-päällystettävät välituotteet 1.2.2018-1.10.2018						
Välituote	Kokonais- määrä (kg)	ARW:n kautta kulkeneet (%)	ARW:n kautta kulkeneet (kg)	Keski-määräinen varastotaso ARW:ssä (kg)	Kierto- nopeus (krt/8kk)	Kierto- nopeus (pv)
KP202	120 302	79 %	95 035	15 764	6	39
KP208	65 972 595	59 %	38 620 291	3 891 782	10	24
KP246	9 095 520	28 %	2 508 741	488 171	5	43
KP271	611 176	29 %	174 949	27 925	6	38
KP361	7 239 982	79 %	5 719 281	686 396	8	28
KP406	509 654	92 %	467 225	46 372	10	24
KP411	64 984 760	37 %	23 784 475	1 451 206	16	13
KP416	10 900 624	53 %	5 774 863	564 482	10	22
KP417	14 042 210	60 %	8 432 902	1 646 160	5	45
KP418	7 095 017	88 %	6 213 351	720 833	9	28
KP419	3 600 876	62 %	2 215 768	416 550	5	43
KP438	2 347 306	70 %	1 634 044	232 404	7	33
KP450	19 265 761	82 %	15 844 692	2 072 169	8	31
KP470	12 730 083	29 %	3 643 219	569 152	6	37
<b>Yhteensä</b>	<b>218 515 866</b>		<b>115 128 836</b>	<b>12 829 368</b>		<b>Keskiarvo 32</b>

Kiertoaikojen määrittämisessä on hyödynnetty historiadataa ja siitä tehtyjä laskelmia. Tehdastietojärjestelmästä saatavasta PE-raakarullaraportista voidaan laskea PE-koneiden osuudet välituotteittain, josta saadaan tieto, kuinka suuri osa kokonaismäärästä on keskimäärin mennyt millekin PE-koneelle. Taulukon 3 kokonaismäärät ovat koko välituotteen osuudet, jotka ovat kulkeneet joko ARW:n tai ulkopuolisten varastojen kautta. ARW:n kautta kulkeneella osuudella on tässä laskentatavassa suuri merkitys, sillä kiertonopeus lasketaan sen ja ARW:n keskimääräisen varastotason avulla. ARW:n kautta kulkeneet osuudet on laskettu hyödyntämällä taulukon 4 keskimääräisiä osuuksia PE-koneittain sekä tarkastelemalla välituotteittain, kuinka suuret osuudet on päällystetty milläkin PE-koneella. Näiden lukujen avulla voidaan määrittää arviot ARW:n kautta kulkeneille osuuksille, jotka ovat esitettyinä taulukossa 3 sarakkeissa 3 ja 4. Kiertonopeudet on laskettu soveltamalla teoriaosuuden kaavaa 1.

$$Kiertonopeus = \frac{ARW:stä\ lähteneen\ välituotteen\ kokonaismäärä}{Välituotteen\ keskimääräinen\ varastotaso\ ARW:ssä}$$

Keskimääräiset varastotasot on määritetty tarkastelujakson jokaisen kuukauden ensimmäisien päivien varastoarvojen keskiarvona. Kaavan osoittaja ja nimittäjä ovat molemmat laskettu tuotekohtaisilla arvoilla. Kaavasta saadaan arvo, kuinka monta kertaa varasto kiertää tarkastelujakson aikana, jonka avulla voidaan laskea varaston kiertonopeus päivissä alla olevaa kaavaa 2 hyödyntäen:

$$Kiertonopeus\ päivinä = \frac{242\ (pv)}{Kiertonopeus}$$

PE2 ja PE6 -koneille menneistä rullista suurin osa on kulkenut ARW:n kautta, kun taas vain hieman yli 30 % päällystehtaan koneille (PE3 ja PE5) menneistä rullista on kulkenut ARW:n kautta. Määriä selittää se, että kaikki PE6 koneelle menevät rullat kannattaa varastoida ARW:hen, sillä PE6 kone on ARW:n yhteydessä. PE2-koneen rullia ei myöskään ole kannattavaa varastoida ulkopuolella, sillä ne voidaan tehokkaasti syöttää PE-koneelle ARW:n ja automatisoitujen kuljettimien kautta. Jouduttaessa käyttämään ulkopuolisia varastoja, kannattaa sinne varastoida mieluiten PT:lle päällystykseen meneviä rullia. Tällöin ulkopuolelta tulevat rullat voidaan ajaa suoraan päällystystehtaalte, jossa on parhaat valmiudet käsitellä ulkopuolelta tulevat rullat. Jos PE2- tai PE6-välituotetta joudutaan varastoimaan ulkopuolella ei sen syöttäminen PE-koneelle ole yhtä tehokasta useampien lastaus- ja käsittelyvaiheiden takia.

**Taulukko 4.** ARW:n kautta kulkeneet välituotteet PE-koneittain

PE-kone	ARW -> PE-kone
PE2	73 %
PE3	29 %
PE5	33 %
PE6	92 %

Kiertonopeuslaskelmien luotettavuutta heikentää se, että tarkkoja ARW:n kautta kulkeneita osuuksia ei pystytä määrittämään välituotteittain tämän hetkisillä raporteilla. Kiertonopeuksiin vaikuttaa suurentavasti ylijäämien osuudet, sillä laskel-

massa ne kasvattavat välituotteiden keskimääräisiä varastotasoja. Laskelmat antavat kuitenkin tarkat arvot eri välituotteiden osuuksista sekä PE3- ja PE5 – koneille ARW:n kautta menneistä matalista osuuksista.

## 5 ONGELMIEN TUNNISTAMINEN HAASTATTELUIDEN AVULLA

Tässä empiriaosuuden toisessa kappaleessa tarkastellaan automaattisen rullavaraston nykytilaa, siihen liittyviä ongelmia sekä niiden taustasyitä haastatteluista kerätyn materiaalin avulla. Ongelmat kuvataan osastoittain. Ensimmäisenä käsitellään pakkaamon, sen jälkeen PE6-osaston, manuaalivaraston ja lopuksi päällystystehaan näkökulmat.

Ongelmat analysoidaan osastoittain, sillä ongelmat nähdään eri osastoissa omista näkökulmistaan ja ongelmat heijastuvat eri puolelle tehdasta eri tavoin. Yhtenevää on kuitenkin se, että kaikilla ongelmilla on oma vaikutuksena rullavirtoihin. Osastoittain analysointia tukee lisäksi se, että ARW:hen liittyvä hallinnointi on jaettu osastojen kesken. PE6 hallinnoi itse varastoa ja sen sisältöä, PE6-koneen syöttöä sekä PT:n rekkalastausta. Tuotevarasto hallinnoi manuaalivaraston puolella olevaa kaksisuuntaista ulosmenoputkea, jota kutsutaan 7-8 tai 9 viikseksi riippuen sen suunnasta. Pakkaamo vastaa KEPA:n ja KAPA:n sekä ARW:n välisestä rullavirrasta ja PE2-koneen syötöstä.

Merkittävimmät haastatteluissa ilmi tulleet ongelmat kuvataan paikantamalla ne karkeisiin pohjapiirroksiin kuvissa 18-21. Ongelmat on jaoteltu arvioitujen vakuuksien mukaan. Vakavat ongelmat on luokiteltu sellaisiksi, että niillä on todettu olevan riski vaikuttaa tuotannon ajo-ohjelmiin tai ne voi aiheuttaa katkon tuotantoon. Vakavaksi on luokiteltu myös se, että ongelman tai vian korjaaminen ei onnistu ilman laitetoimittajan apua. Varaston ollessa tuotantokäytössä lisäpalveluiden, kuten laitevalmistajan korkeamman luokituksen häiriöpäivystyksen ostaminen tuo lisäkustannuksia. Korkeamman luokituksen häiriöpäivystyksellä tarkoitetaan sitä, että laitetoimittajan asiantuntijat ovat käytettävissä sovitulla varoitusaajalla häiriötilanteissa. Melko vakaviksi ongelmiksi on luokiteltu ongelmat, jotka vaikuttavat muiden osastojen toimintaan tai joiden korjaaminen ei ole mahdollista ilman päivittäin ARW:n kanssa työskentelevän henkilön, kuten vuoromestarin tai operaattorin tekemiä toimenpiteitä. Lievät ongelmat luokitellaan vain vähän toimintaa ja rullavirtoja hidastaviksi. Taulukon 5 arviointikriteerejä sovelletaan luvuissa 5.1-5.4.

**Taulukko 5.** Ongelmien vakavuuksien analysointi värien avulla

Vakavuus	
Vakava	Ongelma voi vaikuttaa tuotantoprosessiin tai korjaaminen vaatii laitetoimittajan apua
Melko vakava	Ongelma vaikuttaa muihin osastoihin tai korjaaminen vaatii käyttäjän toimenpiteen
Lievä	Haittaa ja hidastaa rullien virtausta

### 5.1 Pakkaamon näkökulma

Pakkaamoilla on oleellinen rooli rullavirrassa kartonkikoneiden ja ARW:n välillä. Pakkaamon kannalta on oleellista, että rullavirta kulkee esteettömästi kartonkikoneelta pakkaamoon ja sieltä ARW:hen. Vakavimpien ongelmien seuraukset liittyvät rullavirran pysähtymiseen tai hidastumiseen. Rullavirran hidastumisesta aiheutuu kuljettimien täyttyminen, josta voi seurata tarve rullien pakkosyötölle manuaalivarastoon tai kartonkikoneiden rautapula. Rautapulalla tarkoitetaan sitä, että kartonkikoneiden perässä olevat valmiille kartongille tarkoitetut raudat täyttyvät. Tyypillisesti rautoja on kuudesta kahdeksaan yhtä kartonkikonetta kohti. Rautapulatilanteessa kartonkikone ei pysty jatkamaan tuotantoa ennen kuin raudoilla on tilaa uudelle valmistuvalle kartongille.

Yhtenä ongelmana on koettu kartonkikoneiden nykyisistä tuotantocykleistä seuraavat kuormitushuiput rullavirroissa. Pahimmillaan tämä tarkoittaa sitä, että pakkaamon kuljettimet täyttyvät rullista ja rullavirta katkeaa. ARW:hen saapuvan rullavirran kapasiteetti on riippuvainen hissien rullien siirtonopeuteen liittyvästä suorituskyvystä.

*''Jos tavaraa tulee vain KA4:ltä, niin pakkaamolla pärjätään kohtuullisen hyvin. Tilanteissa, jossa rullia tulee KA1:ltä ja KA4:ltä, kun KA1:n rullat ajetaan KEPA:n kautta ja KA4:n KAPA:n kautta, sitten kun ne risteytyvät yhdelle kuljettimelle niin siinä on välillä haasteita. Systeemi priorisoi KA4:n rullat, joten KA1:n rullat pitää tunkea käsineen sinne. Se hidastaa koko pakkalinjaa. Kaikista huonoin tilanne on,*

*jos myös KA2:lta tulee ARW:hen menevää raaka-ainetta. Silloin on tullut tilanteita, että on jouduttu muuttamaan pakkausohjeita ja ohjaamaan rullia manuaalivarastoon. ARW ei pysty tällöin vetämään rullia sisään riittävän nopeasti ilman, että koneille alkaa kertyä kassaa ja syntyy rautapulan riski. (Haastateltava 16, Pakkaamo)''*

ARW:hen tarkoitettujen rullien siirtäminen manuaalivarastoon on ongelmallista. Manuaalivarastoon menevät rullat täytyy pakata vaippakääreen sijaan täyskääreeseen, jolloin pakkausohjeita joudutaan muuttamaan. Rullien siirtäminen manuaalivarastoon taas aiheuttaa ylimääräistä käsittelyä ja työtä manuaalivaraston puolella. Tällä hetkellä tilanteen tekee erityisen haastavaksi manuaalivaraston puolelta tapahtuvan rullien sisään syötön vaikeus ja hitaus.

Kartonkikoneilta pyritään ajamaan mahdollisimman paljon rullia 2,1 metrin halkaisijalla, jotta tilakapasiteetti ARW:ssä saadaan hyödynnettyä. Kartonkirullan paino voi jopa tuplaantua, kun halkaisija kasvaa 1,6 metristä 2,1 metriin. 1,6 metrin halkaisijan rullan paino on noin 3-4 tonnia leveyden ollessa noin 2 metriä ja 2,1 metrin halkaisijan rullan paino on enimmillään jopa 8 tonnia samalla rullaleveydellä. Aikaisemmin suurin osa rullista on ollut noin 1,6 metrin halkaisijalla. Tällä hetkellä yhä enenevässä määrin ollaan siirtymässä isompiin rulliin, joita kutsutaan kohdeyrityksessä jumborulliksi. Tämän on koettu aiheuttavan haasteita pakkaamon laitteistolle, sillä kaikkia laitteita ei ole suunniteltu näin suurille massoille.

*''Meillä on sellainen kuljetintunneli, mikä tulee KA4:n sivulta tänne KAPA:n edustalle. Siinä on ollut ongelmia jo 3000 kg:n rullapainoilla ja nyt sitä on vahvistettu-kin, mutta massat ovat parhaimmillaan 8000 kg. Se arveluttaa, että miten sen kanssa tulee käymään. (Haastateltava 15, Pakkaamo)''*

*''Pitäisi ottaa huomioon, vaikka kartonkikoneet pystyvät ajamaan isoja rullia, mutta kestääkö pakkaamon kuljettimet ja kääntöpöydät. (Haastateltava 16, Pakkaamo)''*

Pakkaamon rullavirtojen pysähdykset voivat johtua ARW:hen liittyvistä ongelmista. ARW:n toimintojen ollessa pysähdyksissä pakkaamosta ei voida syöttää rullia sinne, jolloin kuljettimet täyttyvät rullista ja kartonkikoneiden raudat alkavat



täyttyä. Kartonkikoneiden ajaessa täydellä teholla raudat täyttyvät nopeasti ja lisäävät rautapulan riskiä.

*”Välillä kun ARW:ssä on teknisiä vikoja, niin se saattaa pistää laitteiston sillä tavalla jumiin, että mikään linja ei vedä mihinkään. (Haastateltava 15, Pakkaamo)”*

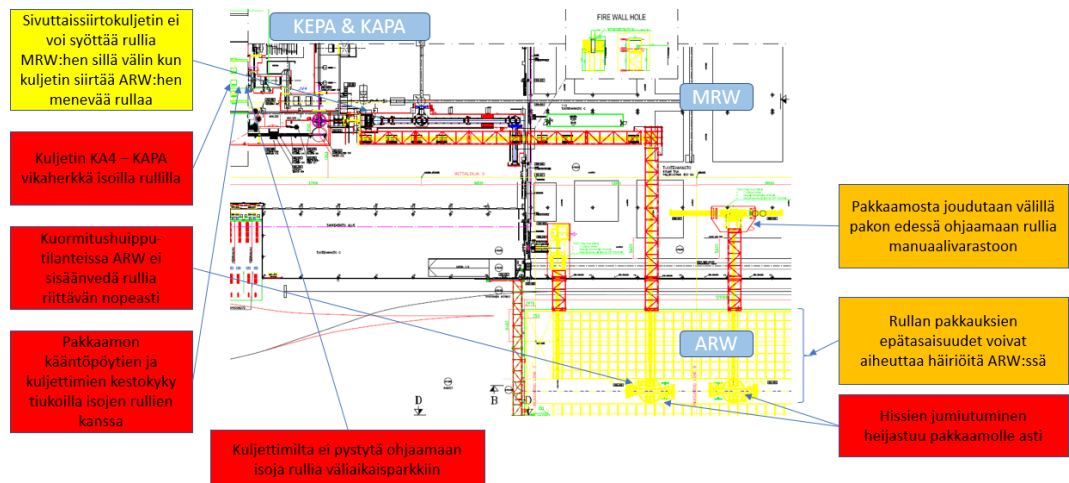
*”Esimerkiksi jos ARW:n hissi on jumissa, tai jompikumpi pois käytöstä, niin sieltä moni häiriö lähtee eskaloitumaan. (Haastateltava 15, Pakkaamo)”*

Pakkaamosta ARW:hen kulkeva kuljetinputki on rakennettu manuaalivarastoon kulkevan kuljettimen viereen. Pakkaamon jälkeen oleva sivuttaissiirtokuljetin lajittelee rullat sen mukaan, meneekö rulla ARW:hen vai manuaalivarastoon. Pakkaamosta tulee myös paljon rullia, jotka lähtevät manuaalivaraston kautta suoraan asiakkaalle. Sivuttaissiirtokuljetin toimii eräänlaisena pullonkaulana rullavirrassa pakkaamon jälkeen.

*”Tällä hetkellä, kun rullaa siirretään automaattivarastoon menevälle kuljettimelle, niin manuaalivarastoon ei mene mitään samaa aikaa. Jos nykyisen sivuttaissiirtokuljettimen tilalla olisi vaikka yksinkertainen pukkari niin toinenkin linja pysyisi auki koko ajan. (Haastateltava 15, Pakkaamo)”*

Pakkaamon näkökulmasta ARW:n suurimmat ongelmat liittyvät rullaliikenteen hidastumisiin ja laitevikojen aiheuttamiin ongelmiin. Rullaliikenteen hidastumisen taustalla vaikuttaa monia eri tekijöitä. Ongelmakohdat ovat koottuna kuvaan 18.

*”Eniten olen huolissani siitä, että rullaliikenne hidastuu niin herkästi. Jos varaston täyttöaste on yli 80% niin se hidastuu aivan todella paljon. Se on ollut myös todella vikaherkkä, mikä ihmetyttää näin uudessa laitteessa. Onhan aina aluksi lapsentauteja, mutta nyt on konkreettisesti hajonnut laitteita. (Haastateltava 15, Pakkaamo)”*



**Kuva 18.** Ongelmien ja pullonkaulojen paikannus pakkaamon näkökulmasta

## 5.2 PE6-osaston näkökulma

PE6-osasto vastaa ARW:n operatiivisesta toiminnasta. ARW:ssä tapahtuvissa ongelma- tai häiriötilanteissa he alkavat ensimmäisenä selvittämään tilannetta. PE6-osaston kannalta on oleellista, että automaattivarastoon tulee vain sen toiminnan kannalta kuranttia ja sinne kuuluvaa tavaraa. PE6-osaston kannalta suurimmat ongelmat ja pullonkaulat liittyvät vikatilanteista johtuviin ARW:n pysähdyksiin, päivittäistä käyttöä haittaaviin häiriöihin ja varastoitavien rullien ja materiaalivirtojen optimaalisuuteen. Vakavimpana riskinä ovat ongelmat, joiden seurauksena rullien syöttö päällystyskoneille voi vaarantua. Syötön hidastuessa tai pysähtyessä PE-koneiden ajo-ohjelmia saatetaan joutua muuttamaan. Pahimmillaan voi seurata tuotantokatkoja, joista seuraa merkittäviä ylimääräisiä kustannuksia tehtaalle. Tuotantokatojen seurauksena toimitusajat ja asiakaslupaukset saattavat vaarantua.

Lajittelun ja sisäiset siirrot ARW:n sisällä hoitavat kaksi lajitteluhissiä. Lajitteluhissit ottavat rullia vastaan syöttöputkista, järjestelevät rullat ja kanavat varaston sisällä sekä kuljettavat rullia päällystyskoneiden syöttöön. ARW:n hissien tulee olla käytettävissä keskeytyksettä. Monet ongelmat liittyvät juuri hissien häiriöihin, nopeuteen ja luotettavuuteen. Yksi vakavimmista hisseihin liittyvistä ongelmista on hissien huoltoalueiden takana olevat kanavat. Hissin ollessa huollossa sen huoltoalueiden takana olevat kanavat ja siellä olevat rullat ovat käytettävissä vasta, kun

hissi on saatu takaisin käyttöön. Huoltoalueet peittävät varastojen molemmista päistä 9 kanavaväliä, mikä tarkoittaa 13-kerroksisessa varastossa 117 kanavaa. 117 kanavaa taas on 12,3% kanavien kokonaismäärästä. Hissien häiriöt voivat johtua monesta syystä.

*''Siellä on esimerkiksi ollut Y-suuntaisen jarrun kanssa ongelmia ja sitten Tr-vauunun, joka kuljettaa rullia kanavistoihin. Sen siirtomoottorissa on useampia heikkouksia. Niiden selvittäminen on yksi ongelma, koska ne on aiheuttanut eniten. Sitteen jotain automaatiopohjaistakin vikaa on ollut. Mekaaniset rikot on vaikutuksiltaan ehkä niitä pahimpia. Ohjelmallisen vian voi aina jotenkin selvittää. (Haastateltava 15, PE6-osasto)''*

Hissien toiminnan nopeuteen vaikuttaa niiden kuormitus. Kuormittumista aiheuttavat kuormitushuiput rullavirroissa sekä suuren varastonimikemäärän käsittely. Hissejä voidaan pitää koko tehtaan PE-välituotevirran tietynlaisena solmukohtana, sillä se ne käsittelevät kaiken ARW:n läpi kulkevasta välituotteesta. Suuret SKU-määrät lisäävät hissien siirtotehtävien lukumäärää ja sitä kautta hidastavat kokonaisuutta.

Päällystystehtaalle menevät rullat lastataan ARW:stä rekkaan, jolla ne kuljetetaan päällystystehtaalle. Kuljetukset hoitaa yksi rekka, joten sen toimivuus ja oikea-aikaisuus on rullien virtauksen kannalta tärkeätä. Pahimmassa tapauksessa päällystystehtaan PE-koneet voi joutua hyppimään ajoja, jos päällystettäviä rullia ei ole.

ARW:ssä tapahtuu paljon häiriöitä, jotka PE6-osaston operaattori joutuu manuaalisesti selvittämään. Yleisin häiriö on ollut, kun rullat menevät kanavassa yhteen. Normaalitilanteessa rullien välien kanavissa pitäisi olla noin 8-10 cm, jolloin anturit tunnistavat rullien olevan yhden rullan sijaan kaksi erillistä rullaa. Rullien mentyä yhteen ne täytyy manuaalisesti koordinaattiajoa hyödyntäen erotella toisistaan. Manuaalisesti ajaminen tarkoittaa sitä, että ARW:n automaattiajo laitetaan pysähdyksiin ja vaihdetaan manuaaliseksi koordinaattiajoksi. Tällöin varastossa tapahtuu vain manuaalisesti tehtävät toimenpiteet. Hissillä ajetaan oikean kanavan eteen ja yhteen menneet rullat otetaan manuaalisesti ajamalla irti toisistaan. Operaatio vie luonnollisesti PE6-operaattorin aikaa ja hidastaa ARW:tä, sillä toinenkin hissi on manuaaliajon aikana pysähdyksissä. Rullien välien muodostuminen voi epäonnistua useasta syystä.

*''Jos jostain syystä se vaunu, mikä työntää rullan kanavaan ajaa liian pitkälle käytävään, niin silloin saattaa koko jono siirtyä eteenpäin. Se on pienestä kiinni, että kaikki rullat ovat jo yhdessä. (Haastateltava 1, Laitetoimittaja)''*

*''Kanavaan ajo on kriittinen, että millä se saadaan järkeväksi niin, että se mahdollisimman nopeasti kiihdyttää ja ajaa sitä nopeutta jonkun aikaa ja sitten tasaisesti hidastaa. Siihen liittyen onkin korjaustoimenpiteenä antureita korjattu. Siihen vaikuttaa myös massat. Kun massavaihtelut ovat suuria, voi olla se 12 000kg kyydissä ja sitten välillä vain 200kg. Se vaikuttaa paljon noihin ajomalleihin. Tällä hetkellä se saattaa ajaa kevyillä rullilla liian kovaa. (Haastateltava 1, Laitetoimittaja)''*

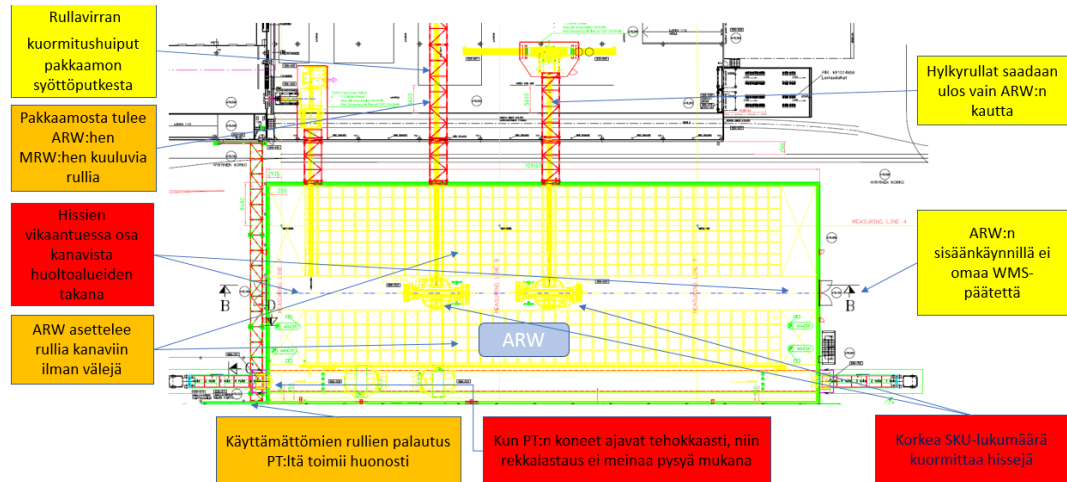
Automaation kannalta varastoon kuulumattomat ja tunnistamattomat rullat ovat hankalia. ARW:hen on tullut satunnaisesti manuaalivarastoon kuuluvia rullia, jotka jumiuttavat herkästi saapuvan rullavirran. Tilanteen selvitys vaatii operaattorin toimenpiteitä.

*''Semmonen ongelma on kanssa, jos pakkaamolta tulevaan putkeen tulee sellainen rulla KEPA-pakkaamon kautta, mikä ei kuulu tänne vaan kuuluu manuaalivarastoon, niin kun se tulee tohon putken päähän niin meillä on isot ongelmat. Sen jälkeen seisoo koko putki sen aikaa, että se saadaan simuloitua pois sieltä. Tätä tapahtuu harvoin, mutta kun tapahtuu, niin menee 45-60 minuuttia että se ongelma saadaan sieltä pois. (Haastateltava 13, PE6-osasto)''*

ARW:n yhteydessä olevan PE6-koneen tuotannon laatu ei ole vielä toivotulla tasolla ja tuotannosta syntyy suhteellisen paljon hylkyyn meneviä rullia. PE6-koneelta tulevat hylkyrullat joudutaan syöttämään ulos ARW:n kautta. Tämä kasvat-  
taa omalta osaltaan jo korkeaa SKU-määrää, kuormittaa hissejä sekä lisää tuoteva-  
raston puolelta ulosotettavien rullien määrää. Hylkyrullia ei saada ulos muuten kuin  
syöttämällä ne ARW:n läpi manuaalivarastoon ja sieltä eteenpäin pulpperiin.

Yksi selkeä päivittäistä käyttöä ja toimintaa hidastava tekijä on WMS-päätteen puuttuminen ARW:n sisältä. Häiriöitä selvitetessä manuaalisesti WMS-päätteen tulisi sijaita ARW:n sisällä, koska siellä manuaaliajotkin suoritetaan. Tällä hetkellä häiriötilanteissa häiriö korjataan ja mennään PE6-osaston valvomoon päivittämään WMS ja tarkistamaan, että kaikki on kunnossa. Ongelmana on, että PE6 valvomolle

joutuu kävelemään lenkin ulkokautta ja välillä tuota väliä joutuu kulkemaan useaan kertaan yhtä häiriötä selvitettyä. Välin kävelemiseen kuluu ylimääräistä aikaa. Mitä enemmän häiriöiden korjaamiseen kuluu aikaa, sitä kauemmin ARW on pysähdyksissä. Kaikki ongelmat ovat esitettyinä kuvassa 19.



**Kuva 19.** Ongelmien ja pullonkaulojen paikannus PE6-osaston näkökulmasta

### 5.3 Tuotevaraston näkökulma

Tuotevarasto eli manuaalivarasto vastaa rullavirroista heidän ja ARW:n välillä. Heidän kannaltansa oleellista on manuaalivaraston ja ARW:n välisen viiksen toiminnan sujuvuus ja luotettavuus. Viiksi on kaksisuuntainen ja sen suuntaa vaihdetaan tarpeen mukaan, halutaanko syöttää rullia sisään vai ottaa ulos. Otettaessa rullia ulos, viikseä kutsutaan 7-8 -viikseksi ja sisäänpäin syötettäessä sitä kutsutaan 9-viikseksi.

Vakavimmat ongelmat tuotevaraston kannalta liittyvätkin juuri kyseiseen viikseen. Viiksen toimintaan on liittynyt paljon sekä luotettavuuteen että sen kapasiteettiin liittyviä ongelmia.

*”Meillä on vain yksi kuljetin ja se on yleensä ARW:stä ulospäin. Kun sen suuntaa käännetään ARW:hen päin, tulee yleensä hankaluuksia. Sen takia rullia jää varastoon ja niitä yritellään sitten könttänä syötellä ulos. (Haastateltava 9, Tuotevarasto)”*

ARW:n tärkein tehtävä on syöttää rullia PE-koneille, seuraavaksi tärkein on ottaa vastaan valmis välituote pakkaamolta ja kolmantena on priorisoitu rullien ulosottaminen ARW:stä. Tämän seurauksena kiireellisinä hetkinä ARW:n hoitaessa PE-koneiden syöttöä tai rullien vastaanottoa, rullien ulosottaminen hidastuu. Rullien ulosottamisen vaikeudessa yhdistyvät viiksen mekaaniset häiriöt ARW:n hitaaseen toimintaan. Rullia joudutaan usein ottamaan ulos etukäteen, jotta rullat varmasti saadaan ulos. ARW:n tuomaa potentiaalia hukataan, jos rullia joudutaan varastoida ja käsitellä ARW:n lisäksi manuaalivaraston puolella. Monessa tapauksessa ulosotettavat rullat ovat menossa asiakkaalle ja viivästyksiä halutaan välttää. Tällä hetkellä ulkopuolisista varastoista tulevia rullia joudutaan satunnaisesti syöttämään ARW:hen manuaalivaraston kautta. Se lisää viiksen kuormitusta edelleen.

*''Sellanen vielä, mikä tässä on nyt huomattu, että ihan ton toiminnallisuuden kannalta, niin pitkään kun rullia tulee manuaalivarastoon ja niitä joudutaan viemään ulkopuolelle, niin toi ARW:n yksi linja sisään ei yksinkertaisesti riitä. Eli me ei pystytä ottamaan rullia ulos ja mättämään samalla sisään. (Haastateltava 5, Tuotevarasto)''*

Ongelmatilanteissa rullia joudutaan syöttämään useasti automaattivaraston sijaan manuaalivarastoon. Tämä koskee pakkaamolta tulevia välituotteita ja myös ARW:stä manuaalivarastoon siirrettäviä rullia. Ajamalla rullat manuaalivarastoon ja sieltä mahdollisesti ulkopuolisiin varastoihin antaa hetkellisesti aikaa ARW:n ongelmien selvittämiseen aiheuttaen kuitenkin jatkossa ongelmia tuotevarastolla. Tavoitetilana on, että ARW:hen kuuluvat rullat eivät käytä ollenkaan manuaalivaraston kapasiteettia.

*''Lähes joka päivä on tullut rullia manuaalivarastoon, jotka joudutaan sitten syöttämään takaisin. Tai sitten niitä ajetaan rekalla päällystystehtaalle ja joudutaan yhä edelleen trukkikäsitellä manuaalivarastolla. Se on yksi haastavimmista ongelmista tässä. (Haastateltava 5, Tuotevarasto)''.*

Erityisen ongelmallisia ovat ulkopuolelle varastoitavat PE6-välituotteet. PE6-jatkojalostuskoneen tavoitteena on ajaa isot kartonkikoneelta tulevat, jopa 10 000 tonnin Prime-ajosyklit. Tällä hetkellä niitä ei pystytä kaikkia varastoimaan ARW:ssä tilakapasiteetin rajoitteiden vuoksi. PE6-koneelle menevän välituotteen varastointi

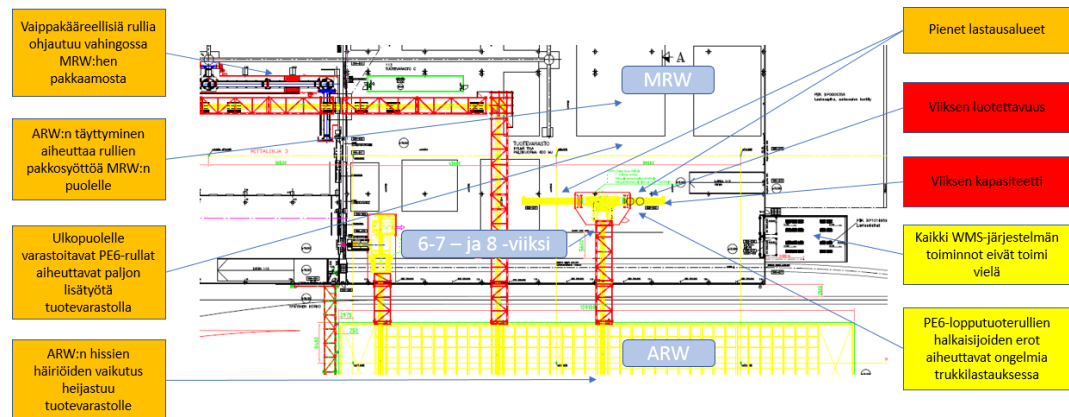
tehtaan ulkopuolelle aiheuttaa ongelmia sisäänsyötössä ja kuormitusta tuotevaraston viikselle.

*''Jos aletaan ajamaan PE6-koneella tätä Primea, nii se tarkoittaa ulkopuolelle varastoitujen välituotteiden osalta sitä, että ne pitää ensin käsitellä ja kuljettaa ulkopuoliseen varastoon, sitten takaisin manuaalivarastoon, sen jälkeen ARW:hen ja sieltä sitten vasta PE6-koneelle. Tulee tietysti päällystystehtaallakin välivaiheita, mutta siellä on laitteisto ja logistiikka kunnossa sitä varten. PE6 on ajanut aina vain ARW:n perässä ja sinne ei ole muita järkeviä tapoja syöttää rullia kuin ARW:n kautta. (Haastateltava 3, Projektiryhmä)''*

Viiksen toiminnallisuuteen liittyy ongelmia. Viiksen purku- ja lastausalueet ovat suhteellisen pienet, eikä niille mahdu kuin muutama rulla kerrallaan. Tämä tarkoittaa sitä, että trukkikuskien täytyy viedä rullia nopeasti eteenpäin pois purkualueelta, jotta ARW:stä voidaan ottaa sujuvasti rullia ulos. Tilannetta voisi helpottaa pienentämällä lastausalueella olevien rullien välejä.

*''Kun on purkuviikset ARW:stä niin rullien väli on tällä hetkellä 1,5 metriä siinä kuljettimella ja kun kuljetin on täynnä, niin homma pysähtyy siihen. Muuttamalla välit vaikka 0,5 metriin saataisiin heti pari rullaa enemmän siihen kuljettimelle. Ei se paljolta kuulosta, mutta koska viiksi on aika lyhyt niin tuokin olisi hyvä. (Haastateltava 7, Tuotevarasto).''*

Rullien purkamista lastausalueelta hidastaa PE6-asiakasrullissa olevien lähes 10cm halkaisijaerot. Erot aiheuttavat ongelmia trukkilastaukseen, mikä taas edesauttaa jo valmiiksi pienien purkualueiden täyttymistä. Tuotevaraston ongelmat ovat esitettyinä kootusti kuvassa 20.



**Kuva 20.** Ongelmien ja pullonkaulojen paikannus tuotevaraston näkökulmasta

## 5.4 Päällystystehtaan näkökulma

Päällystystehtaan PE3- ja PE5 -koneet vastaavat tällä hetkellä Imatran tehtailla suurimmasta osasta rullien jatkojalostuksesta. Suurimmaksi ARW:hen liittyväksi ongelmaksi päällystystehtaalla nähdään rullien saatavuuden hitaus ja epävarmuus. Rullien saatavuus ja rekkalastauksen toimivuus on välttämätöntä, jotta PE-koneiden ajo-ohjelmien muutoksilta ja tuotantokatkoilta voidaan välttyä. Kuljetukset päällystystehtaan sisällä hoitavat 4 automatisoitua rullankuljetusvaunua (AGV). Päällystystehtaan varastopaikat tulisi pitää mahdollisimman täysinä, jotta toiminnan epävarmuuksilta voitaisiin välttyä. Varastopaikat esiteltynä kuvassa 21.

*”Tosi usein on niin, että siellä kanavissa ei ole riittävästi rullaa. On ollut myös tilanteita, ettei ole tiedossa olevaa ongelmaa, mutta silti jostain syystä sitä rullaa liikkuu tosi hitaasti (Haastateltava 18, Päällystystehtas).”*

Rekkakuljetus on toteutettu ostopalveluna ja sen tarkoitus on ajaa vain automaattivaraston ja päällystystehtaan väliä. Rekkakuljetus ei vastaa tällä hetkellä automaattilastaukseen liittyvistä ongelmista tai häiriöistä. Rekkalastaukseen ja sen hoitaviin TR-vaunuihin liittyy tällä hetkellä useita ongelmia.

*”Sitten taas siirron TR-vaunut, mitkä purkaa ja lastaa rekkaa, niiden kanssa on ollut aika paljon ongelmaa. Siellä on paljon sellaisia mystisiä vikoja ja niihin ei pääse kiinni. Se on huono, kun se ei aina kerro mitä siellä tapahtuu. Vikoja on ollut molemmissa päissä. Teknisiä ongelmia on ollut antureiden kanssa. Milloin mitäkin.*



*Sitten on myös tiedonsiirrollisia, et tieto ei siirry jostain syystä. Auton kanssa on jotain ollut, telakoitumisessa ja ovien aukeamisessa esimerkiksi. (Haastateltava 18, Päällystystehtas)’’*

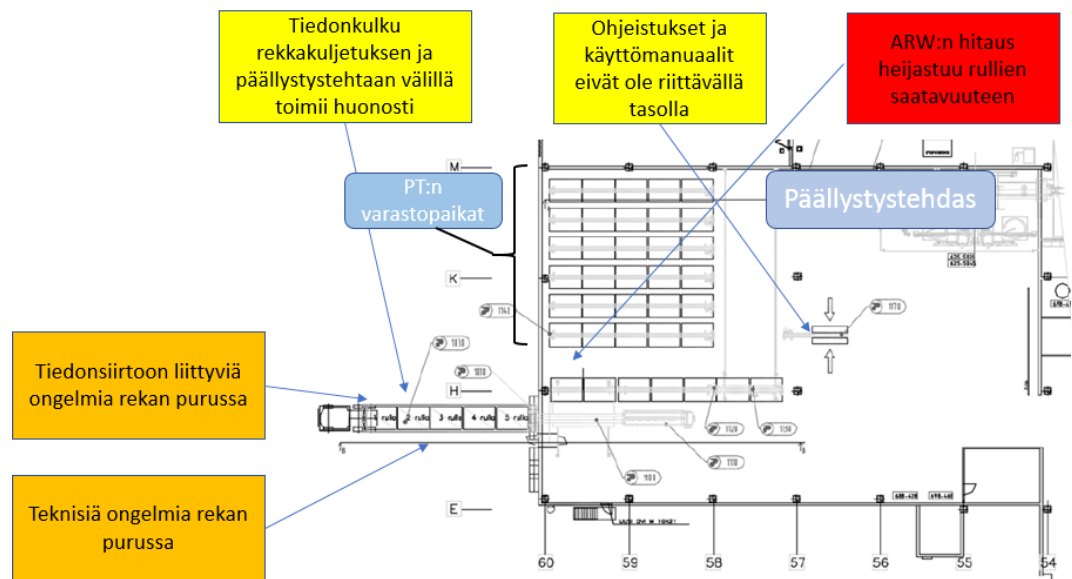
Päällystystehtaalla on lisäksi esiintynyt tilanteita, joissa rekka ei jostain syystä pysty toimittamaan rullia riittävän nopeasti.

*’’Sitten on ollut sellaista, että toi meidän kuljetuspalvelu jää odottamaan tonne ARW:lle täyttä kuormaa. Muutamana kerran meinannut mennä kone alas, kun rullat on ollut niin lopussa ja rekka on venailnut täyttä kuormaa ARW:llä. (Haastateltava 18, Päällystystehtas)’’*

Lastin purku tapahtuu automaattisesti, kun rekka peruuttaa päällystystehtaan lastustelakkaan. Erilaisten ongelmien seurauksena lastaus ei suju kaikissa tilanteissa ongelmitta. Oleellista olisi, että ongelman ilmetessä sitä aletaan ratkaisemaan mahdollisimman ripeästi.

Rullien virta PE3- ja PE5 -koneille sisältää monta muuttujaa. Rullien luotettava saatavuus vaatii sujuvan rullavirran aina kartonkikoneilta ARW:hen ja sieltä rekan kyydissä päällystystehtaalle. ARW:n ongelmat heijastuvat voimakkaasti päällystystehtaalle.

Sujuvan päivittäisen toiminnan vaatimuksena on käyttäjien osaaminen ja riittävät ajantasaiset operatiiviset ohjeistukset. Ohjeistuksista pitäisi käydä ilmi menettelytavat poikkeustilanteissa. Riittämättömät ohjeistukset ja käyttömanuaalit näkyvät siinä, että häiriötilanteissa ei tiedetä miten toimia ja oppiminen tapahtuu usein kantapään kautta. Koulutuksen riittämättömyys tuli vahvasti esille päällystystehtaan näkökulmasta. Kaikki ongelmat ovat esitettyinä kuvassa 21.



**Kuva 21.** Ongelmien ja pullonkaulojen paikannus päälystystehtaan näkökulmasta

## 5.5 Yhteenveto haastatteluissa ilmi tulleista ongelmista

Haastatteluissa ilmi tulleet ongelmat on arvoitu taulukon 6 mukaisesti. Luokat on jaettu esiintyvyyden prosentiosuuksien mukaisesti taulukkoon 7. Esiintyvyys perustuu siihen, kuinka usein se on tullut esille haastatteluissa.

**Taulukko 6.** Vakavuuksien arviointiluokat

Ongelman vakavuus	Esiintyvyys haastatteluissa
Ei vaikutusta	0 %
Lievä	1-33 %
Melko vakava	34-67 %
Vakava	68-100%

Taulukossa 7 suuri prosenttiluku tarkoittaa vakavampaa ongelmaa. Taulukkoa voidaan lukea samalla tavalla kuin matriisia, joten ongelmien esiintyvyyttä voidaan tutkia ja vertailla osastoittain. Haastattelut on toteutettu samaa kysymysrunkoa hyödyntäen, jotta vastauksia voidaan tutkia myös tilastollisesti frekvenssien avulla.

Taulukon 7 tarkoituksena on tuoda esille vakavimmat ongelmat ja havainnollistaa niiden esiintyvyyttä eri osastojen keskuudessa. Taulukkoon on koottu 18 haastatetuissa ilmi tullutta ongelmaa. Niistä analyysin mukaan 3 on vakavia, 6 melko vakavia ja 9 lieviä.

**Taulukko 7.** Ongelmien koonti ja vakavuuksien arviointi

Osasto (haastateltujen lukumäärä)								
Ongelma	Tuotevarasto (4)	Tuotannon-suunnittelu (3)	Laite-toimittaja (2)	Projekti-ryhmä (3)	PE6 (2)	Päällystys-tehdas (2)	Pakkaamo (2)	Yhteensä (18)
Automaatio- ja logiikkahäiriöt	25 %	0 %	0 %	0 %	50 %	0 %	0 %	11 %
Epäkurantit rullat ARW:ssä	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	50 %	0 %	83 %
Epävarmuus ja hitaus	50 %	100 %	50 %	33 %	0 %	100 %	50 %	56 %
Hissien huoltoalueet	0 %	33 %	50 %	33 %	100 %	50 %	0 %	33 %
Jumborullien puute	75 %	100 %	50 %	100 %	50 %	50 %	0 %	67 %
Kapasiteetin vähyys	50 %	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %	28 %
Korkea SKU-lukumäärä	100 %	67 %	100 %	100 %	100 %	50 %	50 %	83 %
ARW ajetaan liian täyteen	75 %	33 %	50 %	67 %	50 %	100 %	50 %	61 %
Käyttäjien osaaminen ja koulutus	50 %	33 %	50 %	0 %	50 %	50 %	0 %	33 %
Käyttömanuaalien puute	25 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	0 %	17 %
Liian pitkät syklivälit KA-PE -välillä	50 %	33 %	0 %	67 %	50 %	50 %	0 %	39 %
Liian suuret syklit KA-koneilla	50 %	33 %	50 %	100 %	50 %	50 %	0 %	50 %
PE6-väli tuotetta ulkopuolella	0 %	33 %	0 %	67 %	0 %	100 %	0 %	28 %
Pienien tilauksien suuri määrä	50 %	0 %	100 %	67 %	0 %	0 %	0 %	33 %
Rullien ulospäin syöttö	75 %	100 %	0 %	0 %	50 %	50 %	0 %	44 %
Stora Enson sisäiset toimintatavat	50 %	0 %	50 %	33 %	0 %	100 %	0 %	33 %
Mekaaniset ongelmat	75 %	67 %	100 %	67 %	50 %	50 %	100 %	72 %
Tuotevaraston viiksen ongelmat	75 %	0 %	50 %	0 %	0 %	50 %	50 %	33 %

## 6 ONGELMIEN KVANTITATIIVINEN ANALYSOINTI

Ongelmien kvantitatiivisen analysoinnin tarkoituksena on pureutua tarkemmin haastatteluissa ilmi tulleisiin ongelmiin ja tarkastella niitä numeropohjaiseen dataan perustuvien analyysien avulla. Ensimmäiseksi käsitellään tulovirtaa. Sen jälkeen ARW:n tilakapasiteettia ja kuormitusta. Viimeisenä käsitellään lähtövirta. Analyysien tulosten perusteella voidaan arvioida haastatteluiden tulosten luotettavuutta ja mahdollisesti löytää uusia ongelmia.

### 6.1 Tulovirtaan liittyvät ongelmat

ARW:n tulovirtaan sisältyvät kartonkikoneilta tulevat PE-väliuoterullat, jotka ovat trimmitetty päällystettäväksi Imatran tehtaiden päällystyskoneilla. Haastatteluista saatujen havaintojen perusteella sisäänsyötön kapasiteetti pakkaamoilta ARW:hen ei ole kaikissa tilanteissa riittävä. Tässä kappaleessa tarkastellaan tehdastietojärjestelmästä saatavan datan avulla kapasiteetin riittävyyttä sekä ARW:n ongelmista aiheutuneita katkoja pakkaamoilla. Rullavirtoja havainnollistamaan käytetään tuotantomääriin liittyvää dataa. Tarkastelut on tehty rulla- ja tuntitasolla.

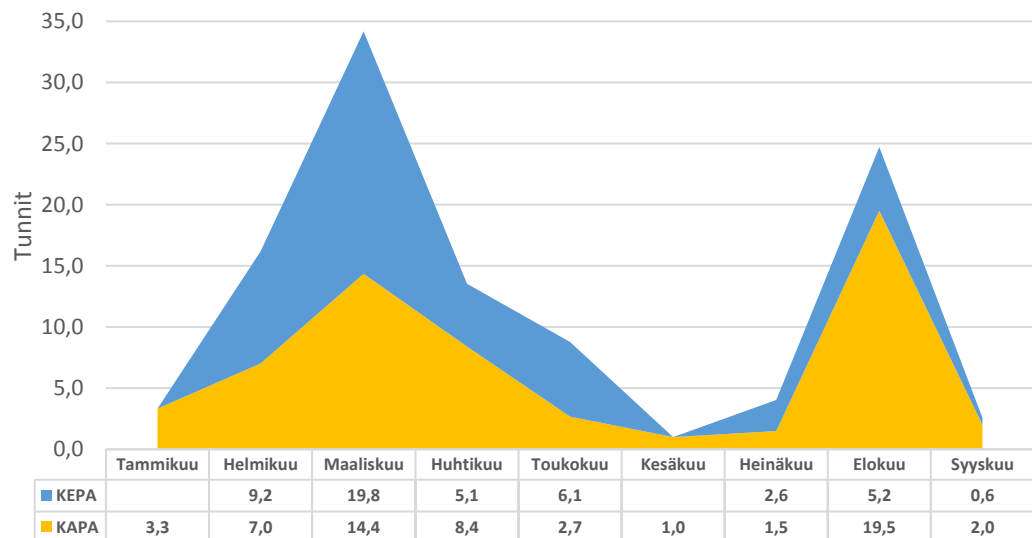
#### 6.1.1 ARW:stä aiheutuneet rullavirran katkot pakkaamoilla

Pakkaamoilla KAPA:lla ja KEPA:lla on ollut lähes saman verran ARW:stä johtuneita katkoja. Pakkaamoiden osalta katkoilla tarkoitetaan rullavirran katkeamista, joka johtuu useimmiten kuljettimien täyttymisestä. Kuljettimet täyttyvät, jos ARW ei vedä rullia sisään riittävän nopeasti. Taulukossa 8 esitettynä katkojen lukumäärät, niiden kokonaiskestot ja yhden katkon keskimääräinen kesto tarkastelujaksolla 1.2.2018 - 1.10.2018.

**Taulukko 8.** ARW:stä aiheutuneet katkot pakkaamoilla

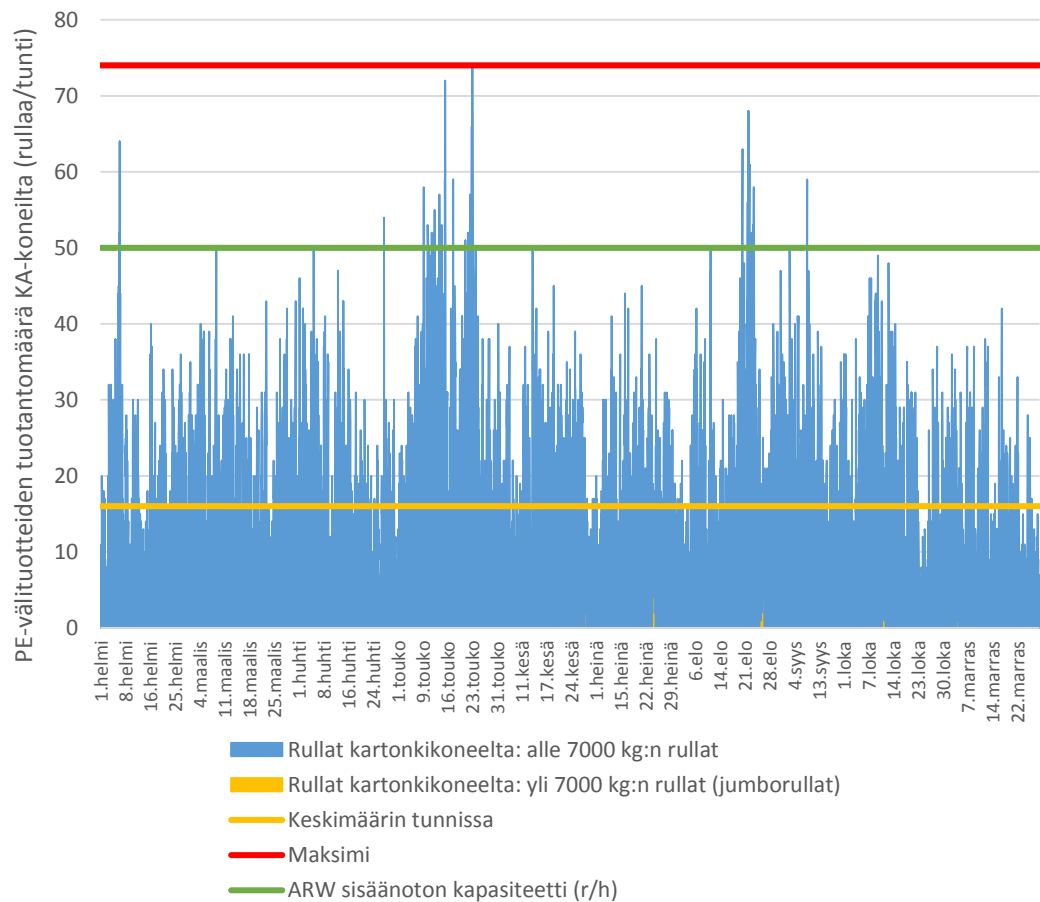
	KAPA	KEPA	Yhteensä
Katkojen lukumäärä (kpl)	52	39	<b>91</b>
Kesto yhteensä (h)	75	61	<b>136</b>
Keskimääräinen kesto (h)	1,4	1,6	<b>1,5</b>

Kuvan 22 mukaisesti katkoja on ollut selvästi eniten maalisi- ja elokuussa. Kesä- ja heinäkuu ovat olleet pakkaamon kautta kulkevan materiaalin kannalta paremmin toiminutta aikaa. Elokuu on ollut hankala ARW:n kannalta hissien ongelmien sekä korkean täyttöasteen vuoksi. Vaikea kuukausi heijastuu myös pakkaamon katkoihin. Maaliskuun korkean katkolukumäärän taustalla on todennäköisesti käyttöönottoon liittyvät ongelmat.

**Kuva 22.** Katkot pakkaamoittain ja kuukausittain

### 6.1.2 Rullavirrat ja niiden kuormitushuiput kartonkikoneilta

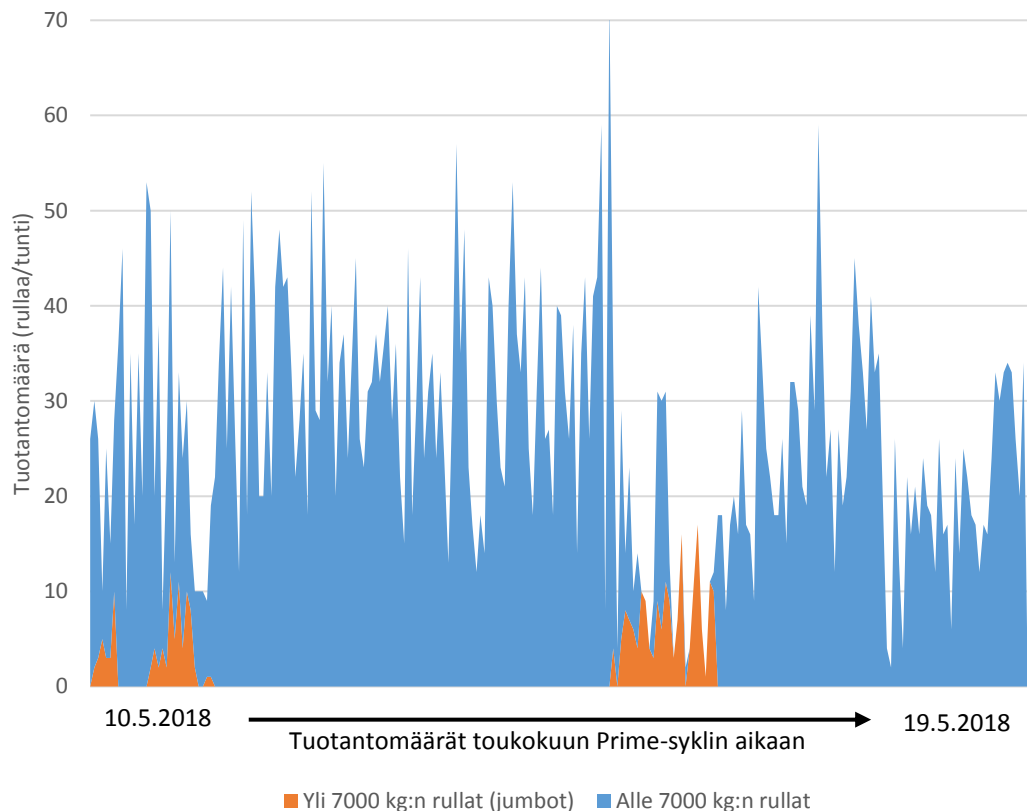
Ensimmäiseksi tarkastellaan toteutunutta PE-välituotteen rullavirtaa kartonkikoneilta. Kuvassa 23 esitettyä rullavirran toteuma tarkastelujaksolla 1.2.2018 - 1.12.2018. Tarkastelussa on mukana kaikki PE-välituotteet. Pakkaamosta ARW:hen tapahtuvan siirron kapasiteettirajoituksena on ARW:n hissit, jotka pysyvät käsittelemään sisään tulevaa virtaa maksimissaan 50 rullaa tunnissa. Keskimääräinen rullavirta on ollut 16 rullaa tunnissa maksimiarvon ollessa kuormitushuipputilanteissa jopa 74 rullaa tunnissa. Tarkastelun perusteella 50 rullan tuntikapasiteetin pitäisi riittää kuormitushuippuja lukuun ottamatta. Haasteita voi seurata, mikäli hissit eivät pysty siirtämään kahta rullaa kerrallaan ja jos suorituskyky puoltaa reilusti alle 50 rullaa tunnissa. Suorituskyvyn pitäisi pysyä yli 40 rullassa tunnissa, jotta suurin osa rullavirrasta voidaan käsitellä ilman ongelmia.



**Kuva 23.** Kartonkikoneilta valmistuneet välituotteet tuntitasolla tarkastelujaksolla 1.2.2018 – 1.12.2018

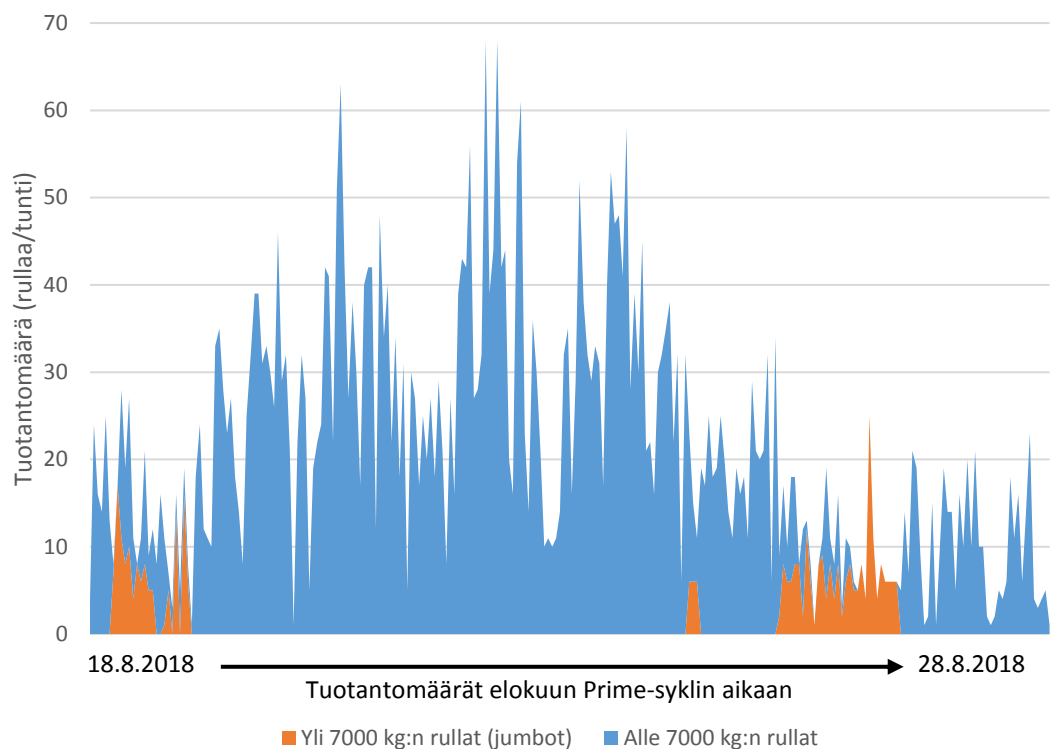
Kuvan 23 rullavirtoja tarkastellessa voidaan havaita noin viikon mittaiset kuormitushuiput touko- elo- ja lokakuun aikana. Kuormitushuippujen taustalla on KA4-koneelta ajettavat Prime-syklit, joiden tuotantomäärät saattavat olla jopa 10 000 tonnia. Prime-ajosta tulevien välituoterullien lisäksi ARW:hen menevän kuljettimen ja ARW:n hissien tulee pystyä siirtämään samaan aikaan KA1- ja KA2 -koneilta tulevia rullia.

Toukokuun Prime-syklin aikana 10.5.2018 - 19.5.2018 rullavirrat ovat olleet keskimäärin 26 rullaa tunnissa ja enimmillään jopa 72 rullaa tunnissa. Kuvassa 24 esitettyä kyseisen välin rullavirrat tuntitasolla. Normaalin pienen halkaisijan rullat merkitty kuvaan sinisenä alueena ja isot jumborullat merkitty punaisena. Ajanjakso sisältää useita kuormitushuippuja, jolloin rullavirta on ollut 50 rullaa tunnissa tai jopa enemmän. Kuormitushuippujen kestot vaihtelevat 1-3 tunnin välillä.



**Kuva 24.** PE-välituotteen tuotantomäärät kaikilta KA-koneilta toukokuun Prime-syklin aikaan tuntitasolla

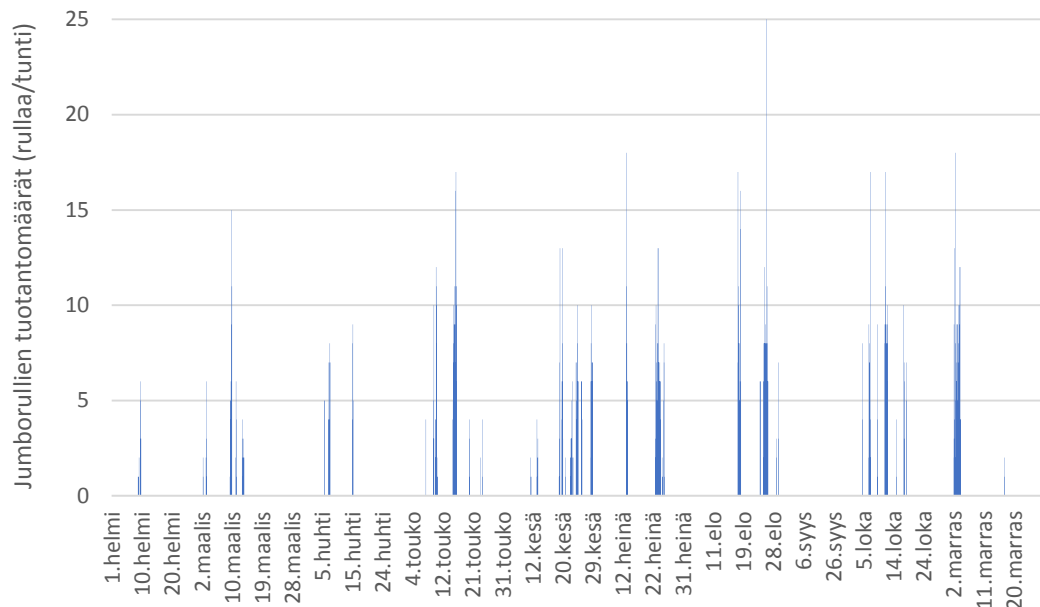
Elokuun Prime-syklin aikana 18.8.2018 - 28.8.2018 rullavirrat ovat olleet keskimäärin 17 rullaa tunnissa ja maksimissaan 68 rullaa tunnissa. Toteuma tarkastelujakson ajalta on esitettyä kuvassa 25. Kuvasta voidaan jälleen havaita useita rullavirran kuormitushuippuja, jolloin rullavirta on ollut 50 rullaa tunnissa tai enemmän. 23.8.2018 on ollut kuuden tunnin jakso, jolloin rullavirrat ovat olleet lähes 50 rullaa tunnissa. Kuormitushuippujen kestot ovat muuten olleet 1-3 tunnin välillä.



**Kuva 25.** PE-välituotteen tuotantomäärät kaikilta KA-koneilta elokuun Prime-syklin aikaan tuntikohtaisesti

ARW:hen tulevaa rullavirtaa tarkastellessa on huomioitava Prime-syklin lopulla oleva kuormitushuippu jumborullien virrassa. Korkeimmillaan jumborullien virta on ollut 25 rullaa tunnissa kuvan 26 mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että siirtokapasiteetti on ollut täydessä käytössä. Jumborullien suurten massojen takia ARW:n hissi voi siirtää vain 25 jumborullaa tunnissa normaaliin 50 rullaa tunnissa nähden. Jumborullien määrää ollaan kasvattamassa ja se voi aiheuttaa haasteita ARW:n hisseille. Tarkastelujakson Prime-syklien aikaan jumborullia on tullut KA-koneilta keskimäärin 6 rullaa tunnissa.





**Kuva 26.** Jumborullien määrät KA-koneilta tuntikohtaisesti

Haastatteluissa ilmi tulleet ongelmat ARW:hen sisään menevässä rullavirrassa ovat linjassa kvantitatiivisen analyysin tulosten kanssa. ARW:n tulovirran kapasiteetti on pääosin riittävä. On kuitenkin olemassa kuormitushuippuja rullavirroissa, jolloin kapasiteetti ei riitä. ARW:n toiminnassa on ajoittain hitautta, mikä pienentää sisään syöttöön liittyvää suorituskykyä. Se aiheuttaa lisää rajoitteita tulovirran kapasiteetin riittävyydelle.

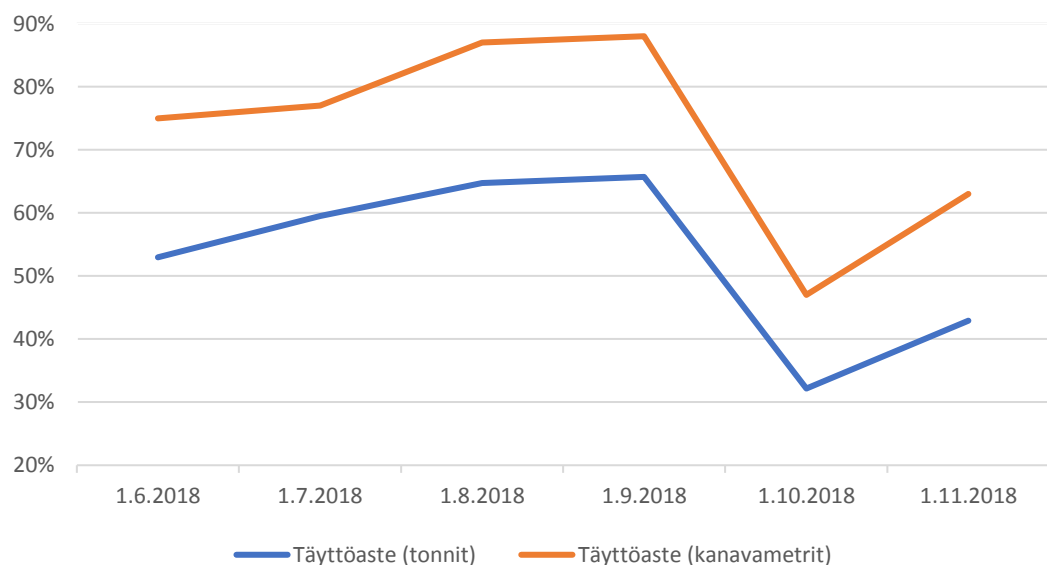
## 6.2 Tilakapasiteettiin liittyvät ongelmat

ARW:n nettokapasiteetti on noin 27500 tonnia. Tällä hetkellä sinne on pystytty varastoimaan parhaimmillaan vain hieman yli 18000 tonnia. Koko välituotteen keskimääräinen varastotaso on vuoden 2018 aikana ollut 20000-30000 tonnia. ARW:n kapasiteettivaatimuksiin liittyvät laskelmat on tehty vuoden 2015 aikana ja kokonaisvarastotasot ovatkin nousseet merkittävästi 2015 vuoden tilanteesta. Välituotevaraston kehitys vuosien 2015 ja 2018 välillä kuvattuna liitteessä 5. Kartonkikoneiden osuudet välituotevarastojen kasvusta kuvattuna liitteissä 2,3 ja 4.

Tilakapasiteetin perimmäinen ongelma on siinä, että ARW:hen ei saada erinäisistä syistä varastoitua riittävästi rullia ja sen takia osa joudutaan varastoimaan tehtaan ulkopuolelle ulkopuolisiin varastoihin. Ongelma ei varsinaisesti ole ARW:ssä olevat tonnit, vaan kanavametriä mukaan määritetty täyttöaste ja minkälaisilla rullilla ja SKU:lla itse varasto täytetään. Liian suurella täyttöasteella operoidessaan varaston toiminta hidastuu huomattavasti.

*''Nyt ollaan oltu siinä 90% täyttöasteessa meidän laskurin mukaan ja se on todistettu, että sillä se vielä toimii. Jossain vaiheessa kipuraja tulee kuitenkin vastaan. Jos täyttöaste on pitkään siellä korkealla, silloin se aiheuttaa enemmän sekakanaavia. Ei haittaa, jos se ajoittain käy siellä 90%, kunhan se palaa nopeasti takaisin sinne 80%. (Haastateltava 1, Laitetoimittaja)''*

ARW:n täyttöasteella on tehdastietojärjestelmässä kaksi erilaista versiota. Täyttöaste voidaan määrittää tonnien tai kanavametriä perusteella. Molempien tapojen trendit esitettynä kuvassa 27. Tonnimääräinen täyttöaste määritetään jakamalla ARW:ssä olevat tonnit sen nettokapasiteetilla (27 500 tonnia). Kanavametriä mukaan määritettävä täyttöaste taas määritetään sen mukaan, kuinka paljon koko varaston kanavametreistä (17 005 metriä) on käytettynä.

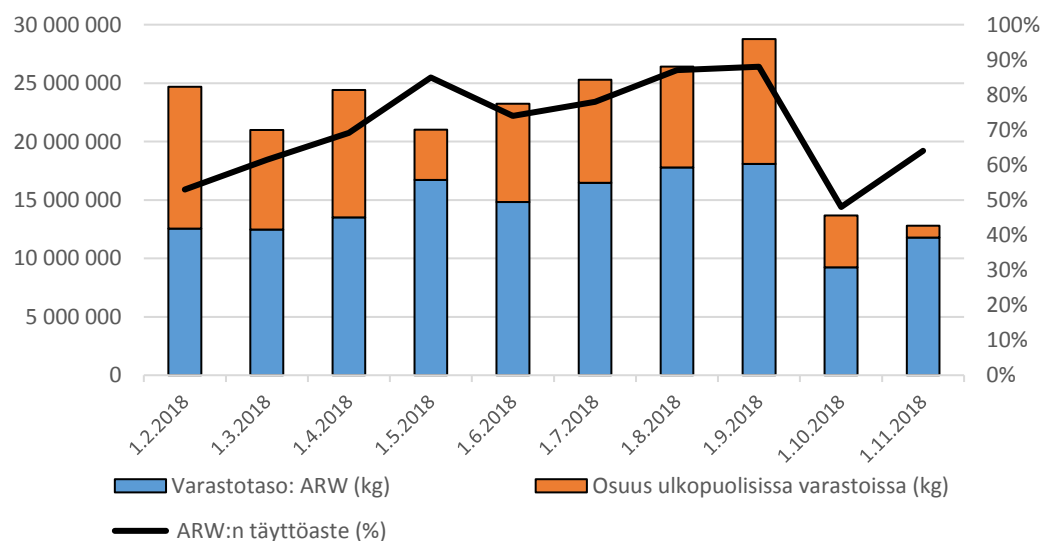


**Kuva 27.** ARW:n täyttöasteen ja tonnimääräisen täytön suhde

Tonnien mukaan määritettävä täyttöaste halutaan saada kohdeyrityksessä mahdollisimman korkeaksi, jotta koko PE-välituote saataisiin varastoitua ARW:hen. Oleellista on kuitenkin tarkastella kanavametriem mukaan määritettyä täyttöastetta, sillä se antaa tarkemman kuvan ARW:n käytettävissä olevasta tilakapasiteetista. ARW on käytännössä täynnä, kun kanavametriem mukaan määritettävä täyttöaste on yli 85 %. Se ei kuitenkaan tarkoita sitä, että ARW:hen olisi pystytty varastoimaan paljon tonneja. ARW:n toiminta hidastuu, jos siellä ei ole riittävästi vapaita kanavia ja kanavametrejä. Automaattinen varastointijärjestelmä tarvitsee tyhjiä kanavia ja kanavapaikkoja rullille, jotta se voi suorittaa sisäisiä siirtoja ja järjestelyä. Tyhjien kanavien olemassaolon merkitys korostuu, jos käsitellään suurta SKU-määrää.

### 6.2.1 Ulkopuolisten varastojen osuudet

Suurin osa ARW:n sisällöstä on PE-koneille menevää välituotetta. ARW:n tärkein tavoite onkin minimoida ja poistaa PE-välituotteen varastointi ulkopuolisissa varastoissa. Kuvassa 28 esitetään toteuma ARW:n ja ulkopuolisten varastojen osuudesta tarkastelujaksolla 1.2.2018 - 1.11.2018. Kuvaan merkitty täyttöaste on kanavametriem mukaan määritetty. Kuvasta nähdään selvästi ARW:n tilakapasiteetin hyödyntämiseen liittyvä ongelma. Varastotason ollessa noin 18 000 tonnia, on kanavametriem mukaan määritettävä täyttöaste ollut lähes 90 %.



**Kuva 28.** Ulkopuolisten varastojen osuus ja kokonaisvarastotaso

PE-välituotteesta on tarkastelujaksolla 1.2.2018 - 1.11.2018 varastoitu keskimäärin 58 % ARW:ssä. Enimmillään välituotteesta on ollut ARW:ssä 83 % marraskuun alussa. Kokonaisvarastotaso on kuitenkin ollut keskiarvoa matalampi lokakuun alusta alkaen, sillä syyskuun lopun seisakkiviikon aikana varastotasoja on onnistuttu laskemaan kartonkikoneiden ollessa PE-koneita pidempään seisakissa. Koko PE-päällystettävän välituotteen varastotaso on ollut keskimäärin noin 22 000 tonnia. Huhti- ja syyskuussa välituotetta on jouduttu varastoimaan ulkopuolella noin 10 000 tonnia. Tarkat määrät esitettynä taulukossa 9.

**Taulukko 9.** PE-välituotteen osuudet ARW:ssä ja ulkopuolisissa varastoissa

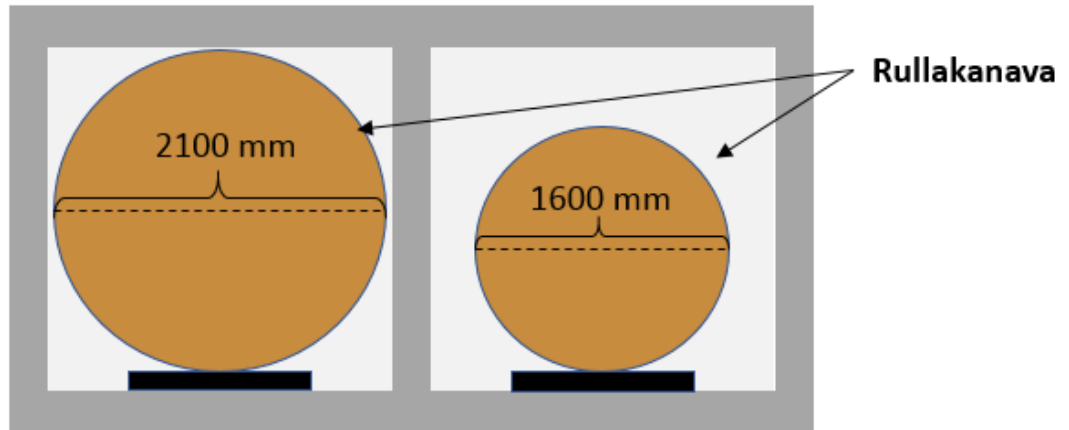
Varastotaset	2/2018	3/2018	4/2018	5/2018	6/2018	7/2018	8/2018	9/2018	10/2018	11/2018	Keskiarvo
ARW (t)	12 551	12 479	13 517	16 713	14 826	16 464	17 782	18 090	9 235	11 796	<b>14 346</b>
kaikki PE-välituotteet (t)	24 685	20 999	24 409	21 008	23 224	25 296	26 419	28 772	13 676	12 789	<b>22 128</b>
Osuus kaikista PE-välituotteista ARW:ssä (%)	47 %	51 %	48 %	73 %	58 %	60 %	65 %	59 %	59 %	83 %	<b>58</b>

## 6.2.2 Jumborullien vaikutus ARW:n tilakapasiteettiin

Jumborullilla tarkoitetaan välituoterullia, joiden halkaisija on kasvatettu 2,1 metriin. Tällä hetkellä jumborullia pystytään ajamaan KA4-koneelta ja tulevaisuudessa niitä tullaan ajamaan myös KA1-koneelta. KA1-kone vaatii investoinnin, jotta jumborullien ajaminen on mahdollista. Jumborullamääriä lisättäessä on huomioitava PE-koneiden rajoitteet ja jumborullien soveltuminen kartonkikoneiden trimmeihin.

ARW:n kannalta jumborulla tarkoittaa käytännössä sitä, että kartonkirullien massat saadaan tuplattua verrattuna siihen, että normaalin kokoista pienemmän halkaisijan rullaa varastoidaan jumborullalle tarkoitettussa kanavassa samalle määrälle kanavametrejä. Jumborullia varastoitaessa samalla rullamäärällä saadaan tuotettua melkein tuplatonnit. ARW:n kanavista 69 % on mitoitettu kuvan 29 havainnollistuksen mukaisesti jumborullille. Potentiaali tilankäytön tehokkaammalle hyödyntämiselle

on merkittävä. Jumborullia ei voida niiden suuren massan takia varastoida muualle kuin ARW:hen. Nykyiset trukit eivät pysty käsittelemään jumborullien suuria määriä ja niiden ylimääräinen siirtäminen paikasta toiseen ei ole kannattavaa.



**Kuva 29.** Jumborullan ja normaalin rullan välinen ero varastokanavassa

Tällä hetkellä ARW:n rullista tonnimääräisesti noin 10% on ollut jumborullia, joista kaikki on ajettu KA4-koneelta. Jumborullien osuudet koko ARW:n rullamäärästä ovat esitettyinä taulukossa 10.

**Taulukko 10.** Jumborullien osuudet koko ARW:n rullamäärästä

ARW:n rullat	2/2018	3/2018	4/2018	5/2018	6/2018	7/2018	8/2018	9/2018	10/2018	11/2018	KA
Jumborullat (kpl)	0	11	110	53	42	315	294	393	18	46	<b>128</b>
Rullamäärä (kpl)	5224	6624	6156	6989	5706	5751	6001	6054	4166	5155	<b>5782</b>

### 6.3 Kuormituksen liittyvät ongelmat

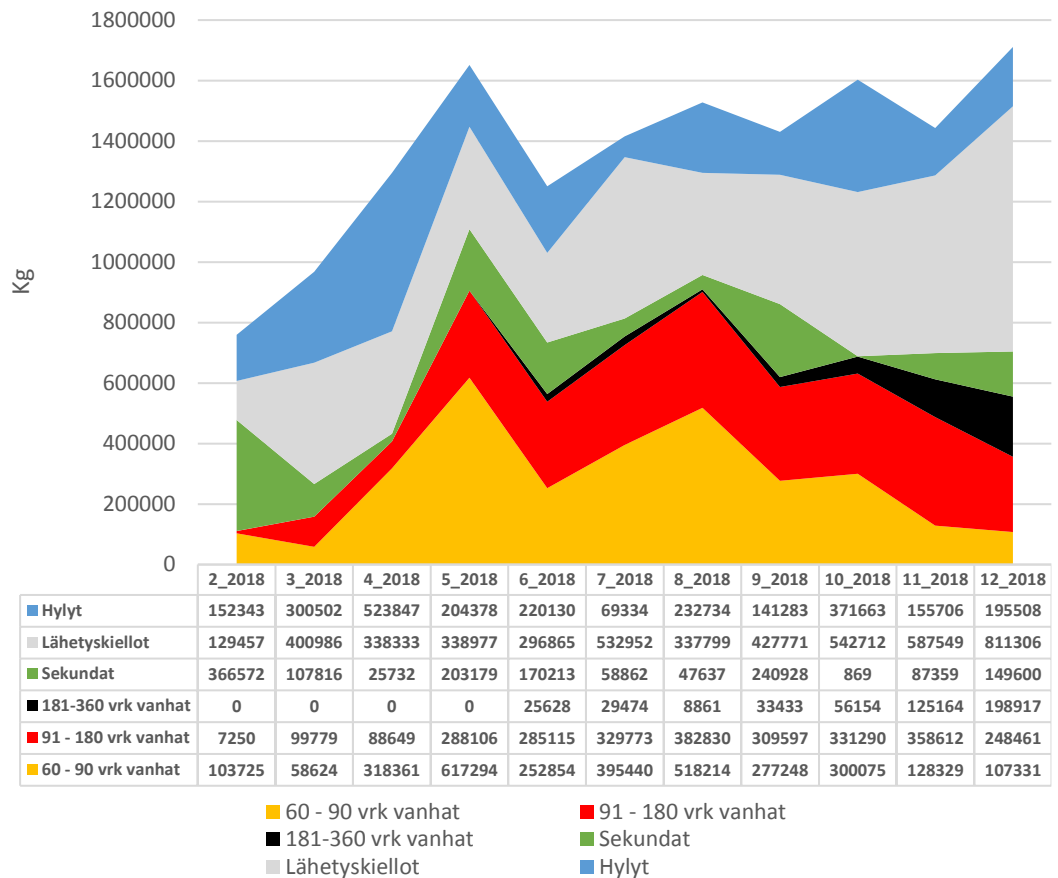
ARW:n kuormitus koostuu pääasiassa epäkuranttien rullien korkeasta määrästä ja korkeasta SKU-määrästä. Kappaleissa 6.3.1 - 6.3.3 esiteltynä kuormitusta aiheuttavien tekijöiden muodostumiseen liittyviä taustatekijöitä.

### 6.3.1 Epäkuranttien nimikkeiden määrät

Epäkurantit rullat ovat sekundaa, lähetyskiellossa olevia, hylkyä tai tilauksien ylijäämiä. Epäkuranttien nimikkeiden osuudet ARW:ssä ovat olleet suuria, joten niiden vähentämiseen liittyvä potentiaali on merkittävä. Epäkurantit rullat syövät ARW:n tilakapasiteettia ja aiheuttavat ylimääräistä kuormitusta.

Ylijäämiksi luokittelen tässä tarkastelussa nimikkeet, joiden varastointiajat ARW:ssä ovat yli 60 päivää. Tuotannon ajo-ohjelmissa ei pitäisi olla yli 30 päivän väliä kartonki- ja PE-koneiden välissä, joten yli 60 päivän varastointiajan omaavat nimikkeet voidaan luokitella tarkastelussa ylijäämäksi. Ylijäämien määrät ovat olleet kuvan 30 mukaisesti korkeat, joten on tarpeellista pohtia menetelmiä ylijäämien vähentämiseksi. Ylijäämien ikäjakaumat suhteessa ARW:ssä olleen koko sisällön ikäjakaumiin on esitetty liitteessä 6. Kuvassa 30 ylijäämiksi on valittu vain priimaluokituksen omaavat rullat, jotta kokonaismäärässä ei tule kerrannaisuuksia. Rullien vanhentuuessa liikaa ne muuttuvat sekundaksi, sillä niiden laadulliset ominaisuudet heikkenevät.

Epäkuranttien kokonaismäärät ovat olleet kuvan 30 mukaisesti enimmillään 1700 tonnia ja kehitystä voidaan pitää jopa kasvavana suhteutettuna varaston kokonaismäärään. Erityisen huolestuttava kehitys on ollut yli 181 vuorokautta vanhoilla rullilla, sillä niiden määrät ovat kasvaneet elokuusta asti. Joulukuun alussa niiden osuus on ollut jo lähes 200 tonnia.



**Kuva 30.** Epäkuranttien määrät ja osuudet ARW:ssä

Ylijäämien kertyminen ARW:hen ja samalla tavalla muihinkin varastoihin on usean tekijän summa. Ensimmäiseksi tulisi välttää ylijäämien syntyminen, sen jälkeen tulisi minimoida aika, jonka ylijäämät ovat ARW:ssä. Ylijäämien käsittelyyn tulee määrittää selkeät toimintaperiaatteet.

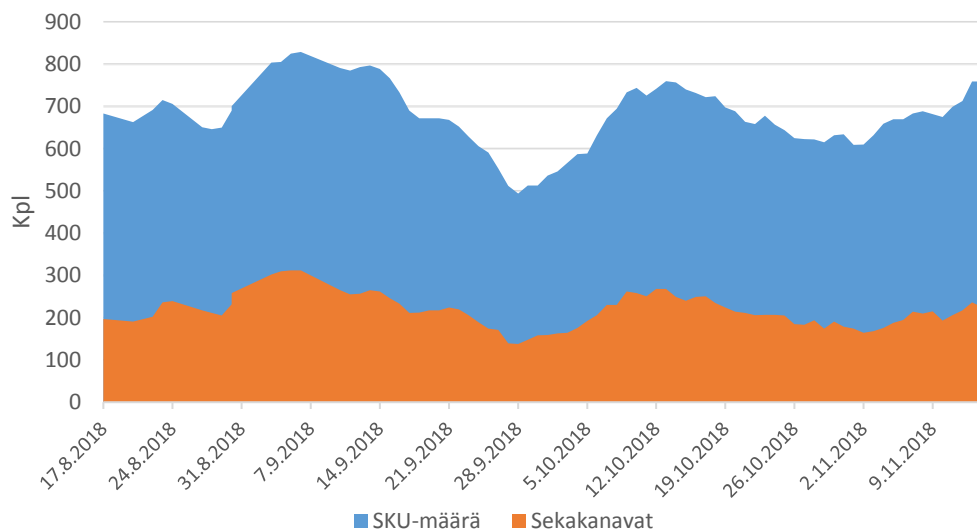
### 6.3.2 SKU- ja sekakanavamäärät

Korkea SKU-määrä nähdään ongelmana kaikilla haastatelluilla osastoilla. Lisäksi se nähdään yhtenä vakavimmista ongelmista. SKU-määrän taustalla on suuri määrä suhteellisen pieniä tilauksia sekä epäkuranttien rullien korkea määrä. Pienten tilausten suuren määrän taustalla on Imatran tehtaiden erittäin laaja tuotevalikoima.

”SKU, se on tän varaston kannalta oleellisin parametri. Meillä tätä tuotehajontaa on niin paljon, että se ei ole enää varaston toiminnan kannalta optimaalista. Silloin varastoon täytyy tehdä paljon sekakanavia ja sen seurauksena kaikki hakuajat kasvavat. (Haastateltava 3, Projektiryhmä)”

Sekakanavat tarkoittavat sitä, että yhteen ARW:n kanavaan on laitettu vähintään kahta eri SKU:ta. Varaston kannalta ne ovat ongelmallisia, sillä ne lisäävät merkittävästi varaston sisäisten siirtojen lukumäärää. Automaattivaraston kannalta optimitilanteessa sekakanavia ei ole ollenkaan.

Kuva 31 osoittaa sekakanavien määrän muutoksen suhteessa ARW:n kokonais-SKU-määrään nähden. Kuvasta voidaan päätellä, että ARW:ssä olevan koko SKU-määrän kasvu nostaa samassa suhteessa sekakanavien määrää. SKU-määrän ollessa korkeimmillaan on sekakanavienkin määrät olleet korkeat. Enimmillään sekakanavia on ollut yli 300, joka on lähes 30 prosenttia kaikista ARW:n kanavista.

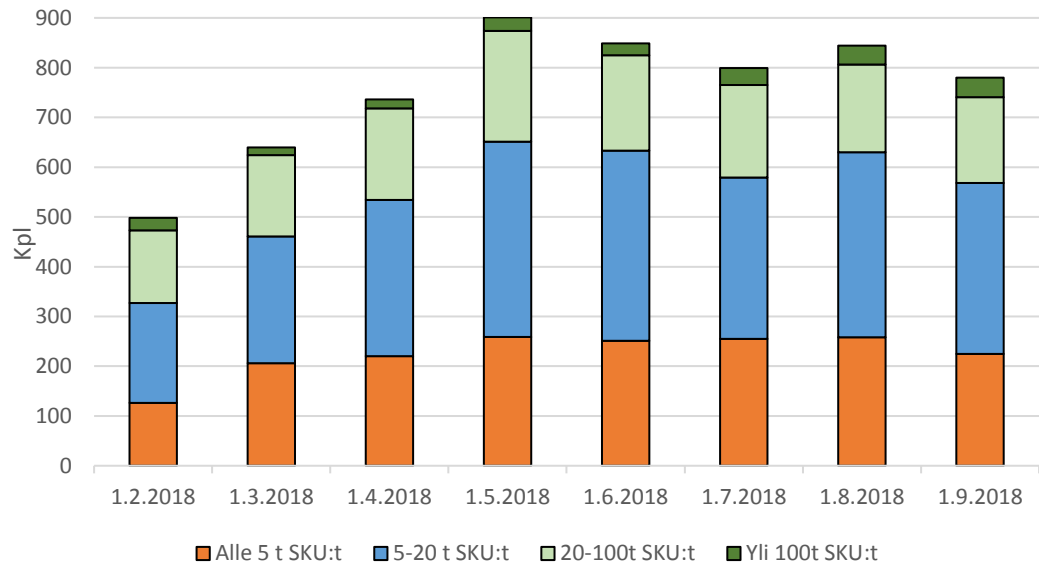


**Kuva 31.** SKU- ja sekakanavamäärät välillä 17.8.2018 - 14.11.2018

Pieneksi SKU:ksi tässä työssä luokitellaan tilaukset, joiden massa on alle 5 tonnia. Imatran tehtailla pyritään ottamaan tuotantoon minimissään 5 tonnin PE-päällystykseen meneviä tilauksia, sillä liian pienien tilauksien käsittely ei ole optimaalista tuotannon eikä varastoinnin kannalta. Pienten tilausten suhde koko SKU-määrään esitettyinä kuvassa 32. SKU:iden suurta kokovaihtelua selittää eri liiketoiminta-alueiden luonteissa olevat erot. Nestepakkauskartonki-liiketoiminnassa tilaukset ovat



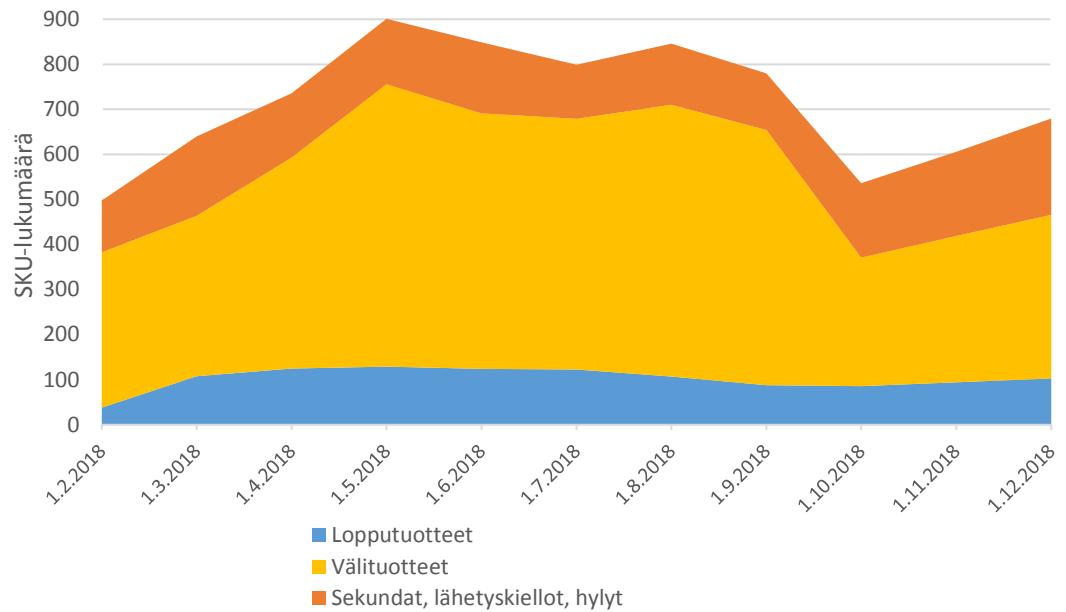
tyypillisesti kohtuullisen suuria ja juomakuppeihin sekä ruokapakkauksiin liittyvässä liiketoiminnassa tilattavat määrät ovat tyypillisesti pienempiä. Suurin osa ARW:ssä olevista SKU:sta ovat olleet 5-20 tonnin kokoluokkaa.



**Kuva 32.** SKU-määrien suhde niiden kokoluokkiin

ARW:n kannalta yksi ongelma alle 5 tonnin SKU:ssa on se, että ne eivät yksin täytä yhtä kanavaa kokonaan ARW:ssä. Ne aiheuttavat suoraan joko vajaasti täytetyn kanavan tai sekakanavan. Rullan keskimääräinen leveys on noin 2,2 metriä ja keskimääräinen massa 2-3 tonnin välissä, riippuen rullan halkaisijasta ja muista ominaisuuksista. Tällöin 5 tonnin SKU täyttää yhdestä 17 metrin kanavasta vain noin 5 metrin verran. Yli 20 tonnin SKU:t täyttävät varmasti ainakin yhden kanavan kokonaan. Niiden osuus koko määrästä on 27 %.

Suurin osa SKU-määrästä muodostuu PE-välituotteesta ja PE6-lopputuotteesta. Epäkuranttien rullien korkeat määrät tarkoittavat sitä, että ne muodostavat oman osan koko SKU-määrästä. Kuvassa 33 esitettyinä sekundojen, lähetyksieltojen ja hylkyjen osuudet koko SKU-määrästä, kun väli- ja lopputuotteisiin on laskettu mukaan vain priimaluokituksen rullat. Ne ovat muodostaneet keskimäärin 20 % koko SKU-määrästä.

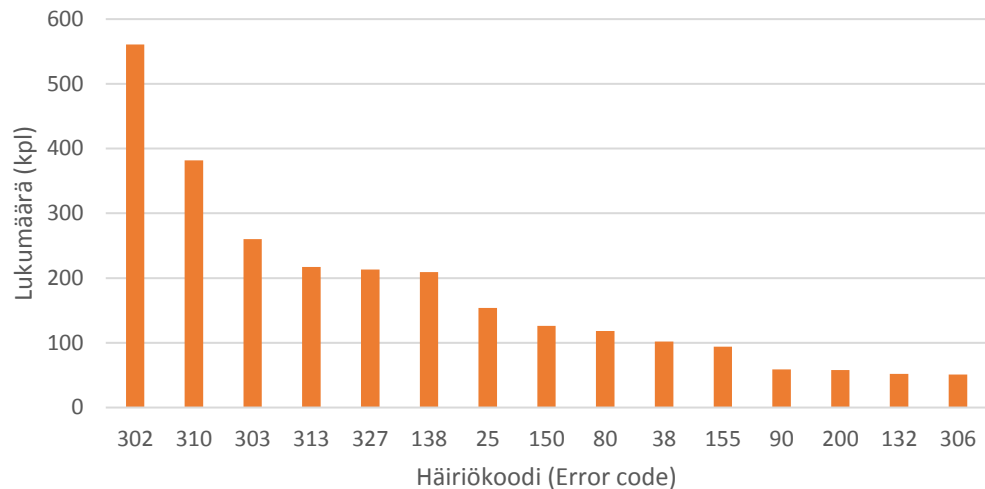


**Kuva 33.** SKU-kokonaismäärän muodostuminen

Kuvan 33 väli- ja lopputuotteet sisältävät myös ylijäämiä, jotka voidaan tarkastella olettaa olevan yli 60 vuorokautta vanhoja priimarullia. Ylijäämät mukaan lukien epäkuranttien osuus koko SKU-määrästä voi nousta jopa 40 prosenttiin, sillä ylijäämien määrät ovat olleet mukaisesti suuria. Ylijäämät ovat tyypillisesti alle 5 tonnin SKU:ta.

### 6.3.3 Yleisimmät mekaaniset häiriöt

Yleisimpiä toteutuneita häiriöitä ja mekaanisia ongelmia voidaan jäljittää tehdastietojärjestelmästä ja laitetoimittajan ARW:n internet-pohjaisesta seurantasivustosta. Kuvassa 34 esitettynä laitetoimittajan internet-pohjaisen seurantasivustoon kirjatut häiriöt. Häiriöitä pystyy tarkastelemaan maksimissaan 6 kuukautta taaksepäin, joten tarkastelujaksoksi on valittu 20.5.2018 - 20.11.2018.



**Kuva 34.** Häiriöt ja hälytykset ARW:ssä 20.5.2018 - 20.11.2018

Eniten häiriöitä on kirjattu koodista 302, mikä tarkoittaa rullien liikkumista yhteen kanavassa. Laitetoimittaja antama kuvaus häiriökoodille on: ” *TR-vaunu: vaunu ajanut liian pitkälle kanavassa*”. Rullien liikkuminen toisiinsa kiinni kanavassa vaatii operaattorin korjaustoimenpiteen, jossa ARW laitetaan manuaalijolle ja hissillä ajetaan koordinaattijolla oikean kanavan luo ja rullat erotetaan manuaalisesti toisistaan. Kyseinen häiriö on toistunut lähes 600 kertaa. Tilanteen manuaaliseen korjaukseen menee operaattorilta noin 10-15 minuuttia, joten kokonaisuudessa ARW on ollut häiriön takia pysähdyksissä tarkastelujakson aikana 100-150 tuntia operaattorin korjatessa tilannetta.

Häiriökoodi 303 on toinen haastatteluissakin esille tullut yleinen häiriö, joka liittyy rullien pakkauksien epätasaisuuksiin. Tällöin rullan kääreessä voi olla repale tai muu järjestelmän mitoista poikkeavuuden rullan muotoon tekevä asia, joka aiheuttaa sen, että järjestelmä ei tunnista rullaa. Tämäkin vaatii operaattorin korjaustoimenpiteen, joka voi olla esimerkiksi sellainen, että repsottava kääreen kohta teipataan tasaiseksi. Toimenpide vaatii kuitenkin aikaa operaattorilta ja tällöin ARW on manuaalijolla ja muut toimenpiteet taas pysähdyksissä. Laitetoimittajan kuvaus häiriökoodille on: ” *Rullan mittausvirhe: mitatut rullan leveydet ei täsmää WMS:n leveyksiin.*”

Suurin osa kuvan 34 häiriöistä on toistunut alle 150 kertaa ja kaikki ei välttämättä vaadi operaattorin toimenpiteitä. Tässä kappaleessa esiteltynä vain häiriökoodit 302 ja 303, sillä ne ovat toistuneet useimmin. Laitetoimittajan kuvaukset lopuille häiriökoodeille esitettynä liitteessä 8.

## 6.4 Lähtövirtaan liittyvät ongelmat

Lähtövirran ongelmat liittyvät ARW:n ja PE-koneiden väliseen rullavirtaan. Ongelmat analysoituna luvuissa 6.4.1 ja 6.4.2. Analysoinnissa on hyödynnetty tehdastietojärjestelmästä saatua dataa liittyen PE-koneiden päiväkohtaiseen suorituskykyyn, toimintaan sekä tuotantomääriin.

### 6.4.1 ARW:n ongelmista aiheutuneet tuotantokatkot PE-koneilla

Päällystystehtaalla sijaitsevilla PE3- ja PE5-koneilla on ollut eniten ARW:stä aiheutuneita tuotantokatkoja niin määrällisesti kuin ajallisestikin. PE6-koneen katkoja ei ole ollut lukumäärällisesti yhtä paljon, mutta niiden keskimääräiset kestot ovat korkeat. PE2-koneella ei ole ollut merkittävästi ARW:stä aiheutuneita tuotantokatkoja. PE-koneiden tuotantokatkoja on tapahtunut taulukossa 11 esitetyt määrät.

**Taulukko 11.** Tuotantokatkojen määrä PE-koneilla tarkastelujaksolla 1.1.2018 - 24.9.2018

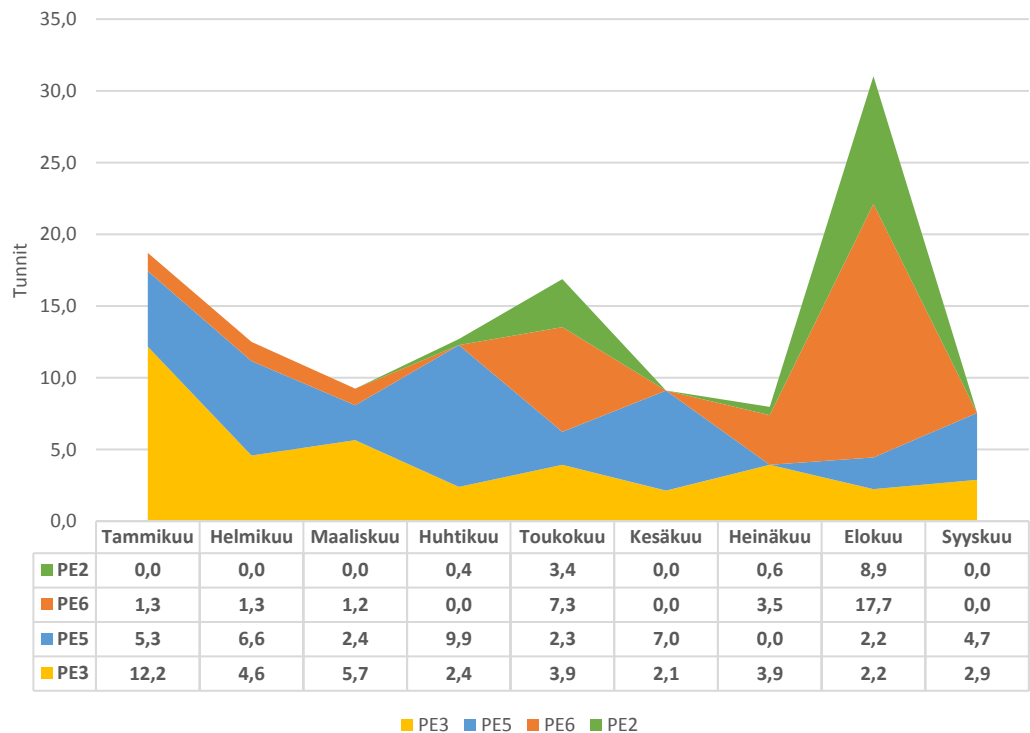
PE-kone	PE2	PE3	PE5	PE6	Yhteensä
Katkojen lukumäärä (kpl)	10	31	27	11	<b>79</b>
Kesto yhteensä (h)	13	37	40	32	<b>123</b>
Keskimääräinen kesto (h)	1,3	1,2	1,5	2,9	<b>1,7</b>

Tehdastietojärjestelmästä saadut arvot ovat linjassa haastatteluhavaintojen kanssa. Rullien syöttö ARW:stä PE-koneille nähdään liian epäluotettavana.

*''Ylipäätään kaikki noi toimitukset jatkojalostuskoneille pitäisi saada täysin varmaksi, että se tilanne ei olisi sellainen, että jokaisessa vuorossa sormet ristissä ja peukut pystyyn, että rullaa tulee. PE2 ja PE6 ovat hyvin varmoja tässä suhteessa, mutta PT:n osalta on joka päivä seurattava tilannetta. Toiminta pitäisi olla varmempaa. (Haastateltava 8, Päälystystehdas)''*

Katkoihin liittyvä data on haettu tehdastietojärjestelmästä PE-koneiden vuoroilmoitusjärjestelmien alta löytyvistä päiväyhteenvedoista. Sieltä on haettu katkoista ja seisakeista katkot. Hakukriteeriksi on laitettu katkon syyksi raaka-ainejärjestelmä. PE-koneiden henkilöstö päivittää päiväyhteenvetoihin operatiiviseen toimintaan liittyviä päivittäisiä tapahtumia ja havaintoja. PE2-koneen päiväyhteenvedosta tutkittiin katkoja kaikilla hakukriteereillä, sillä PE2-osasto ei ole merkinnyt ARW:stä johtuneita katkoja pelkästään raaka-ainejärjestelmä kriteerillä. Katkojen määrät tunneissa mitattuna esitettynä kuvassa 35.

Kaikki PE-koneet mukaan lukien ARW:stä aiheutuneita PE-koneiden katkoja on ollut keskimäärin 14 tuntia kuukaudessa. ARW:n rullien syöttämiseen liittyvistä ongelmista aiheutuneiden katkojen määrä on pysynyt tunneissa mitattuna suhteellisen tasaisena tammikuusta syyskuuhun lukuun ottamatta elokuuta. Tehdastietojärjestelmästä saatavaa katkoihin liittyvää dataa tutkiessa voidaan hieman yllättäen todeta, että alkuvuonna, jolloin ARW on otettu käyttöön, ei ole ollut merkittävästi enempää tuotantokatkoja kuin toukokuusta eteenpäin



**Kuva 35.** ARW:stä aiheutuneet katkot PE-koneittain

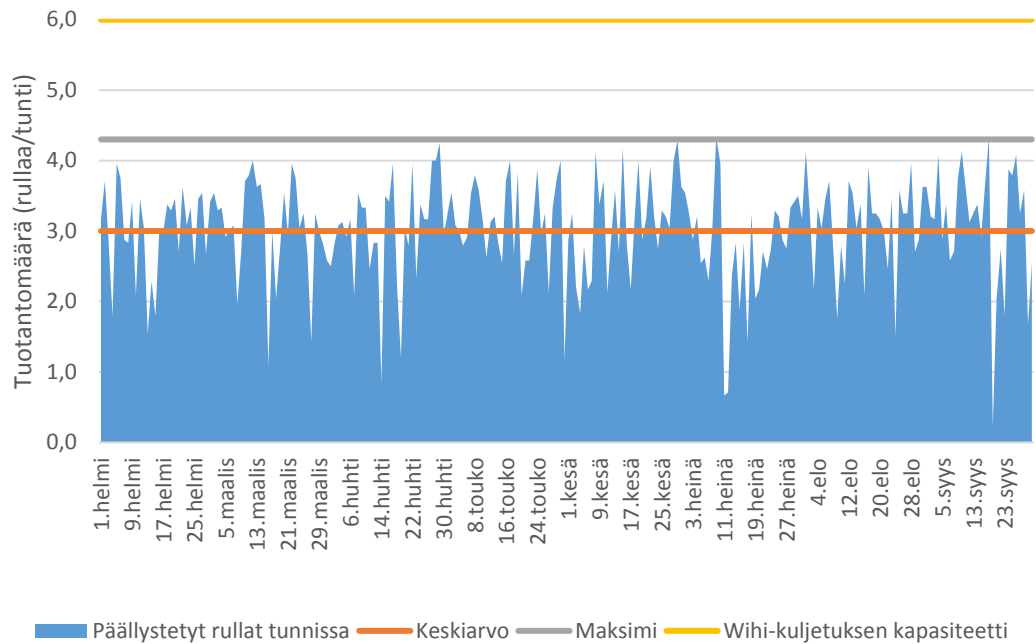
Alkuvuoden yllättävän matalia arvoja voi selittää se, että kaikkia katkoja ei ole välttämättä merkitty tehdastietojärjestelmään tai niitä on merkitty muualle kuin päiväyhteenvetoon. ARW on otettu käyttöön portaittain, mikä voi vaikuttaa katkojen määriin. Elokuun useita katkoja voi selittää se, että ARW:n hisseissä oli silloin vakavia teknisiä ongelmia sekä kanavametriem mukaan määritetty täyttöaste lähenteli pitkän aikaa 90 prosenttia. Korkeasta täyttöasteesta aiheutunut ARW:n hitaus on todennäköisesti yksi merkittävä syy elokuun PE-koneiden katkojen taustalla. Täyttöaste on ollut melkein 90 prosenttia myös toukokuun aikana. PE-koneiden katkoissa on tapahtunut kasvua silloinkin. Täyttöaste oli toukokuussa lyhyemmän aikaa 90 prosentin tuntumassa kuin elokuussa ja kasvu PE-koneiden katkoissa on myös matalampi. Voidaan todeta, että ARW:n liian korkealla täyttöasteella on vaikutusta PE-koneilla tapahtuneisiin tuotantokatkoihin.

#### 6.4.2 Toteutuneet rullavirrat PE-koneille

Seuraavaksi tarkastellaan rullavirtoja ARW:stä PE-koneille. Tarkoituksena on selvittää mahdolliset pullonkaulat ja lähtövirran kapasiteetin riittävyys ARW:n ja PE-koneiden välisissä siirroissa. Tarkastelun taustatietona on tehdastietojärjestelmästä saatava PE-raakarullaraportti, josta näkee kaikki PE-koneilla päällystetyt rullat halutulla aikavälillä. Data ei ota kantaa siihen, mistä varastolokaatiosta rulla on syötetty PE-koneelle. Tavoitteena on, että kaikki PE-koneille jatkojalostukseen menevät rullat kulkevat ARW:n kautta, joten varastolokaatiolla ei ole tässä tarkastelussa merkitystä. PE-koneiden tuotantomäärät havainnollistavat sitä välituotteiden rullavirtaa, mitä PE-koneille pitäisi pystyä syöttämään ARW:n kautta.

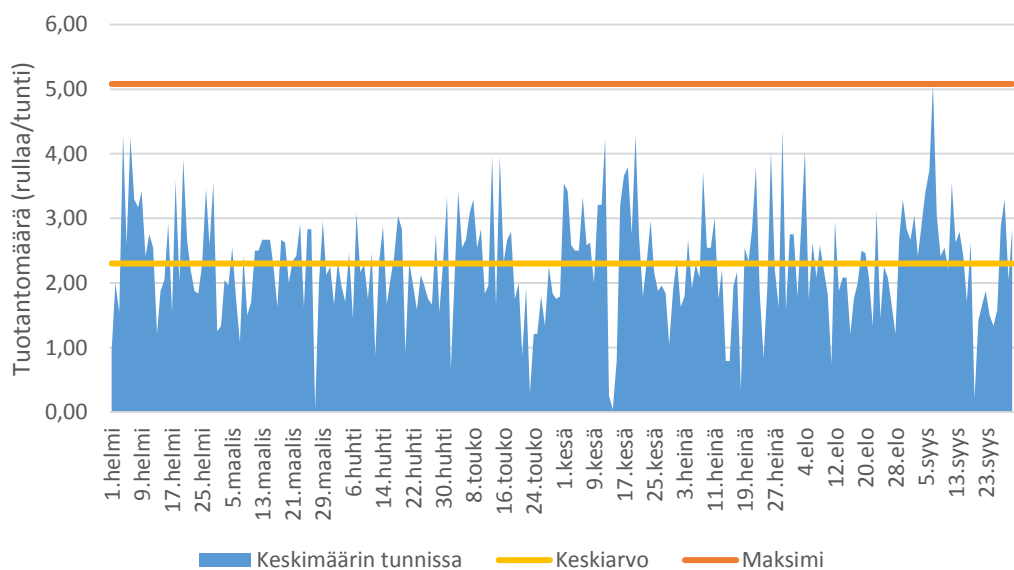
Keskiarvot on määritetty päivittäin valmistuneiden rullien määrästä ja jaettu vuorokauden 24 tunnilla, jolloin saadaan arvo, kuinka paljon rullia on valmistunut keskimäärin tunnissa. Tuntikohtaisesti tarkasteltuna hajonnat ovat suurempia, koska keskiarvo tasoittaa kuormitushuippuja rullavirrassa. Tuntikohtaiset arvot lasketaan päiväkohtaisista tuotantomääristä, sillä olemassa olevasta datasta saadaan luotettavampi arvio tällä tavoin. Kuormitushuipputilanteita tarkastellaan tuntikohtaisesti erikseen.

PE2-koneelta on valmistunut tunnissa keskimäärin 3 rullaa ja päivittäiset tuntikohtaiset keskiarvot vaihtelevat kuvan 36 mukaisesti muutamia piikkejä lukuun ottamatta 1 ja 4 välissä. ARW:stä PE2 koneelle syötävä automaattinen rullien kuljetusvaunu pystyy siirtämään 6 rullaa tunnissa, joten nykyisillä määrillä kapasiteetti on riittävä. Kuvasta 36 voidaan nähdä, että tarkastelujaksolla on ollut melkein 5-7 päivää kestäviä jaksoja, jolloin tuotantomäärät ovat olleet noin 4 rullaa tunnissa. Siirron suorittavan automaattisen kuljetusvaunun laskennallinen kapasiteetti on riittävä. Rullavirran katketessa on kuitenkin olemassa riski tuotantokatkolle. PE2-koneelle on tulossa toinen kuljetusvaunu, jotta siirtoihin liittyvistä ongelmista aiheutuvat rullavirran katkeamiset voitaisiin välttää. Rullavirta ARW:stä PE2-koneelle on kuitenkin suhteellisen luotettavalla pohjalla.



**Kuva 36.** PE2:lla päällystetyt rullat keskimäärin tunnissa tarkastelujaksolla 1.2.2018 - 30.9.2018

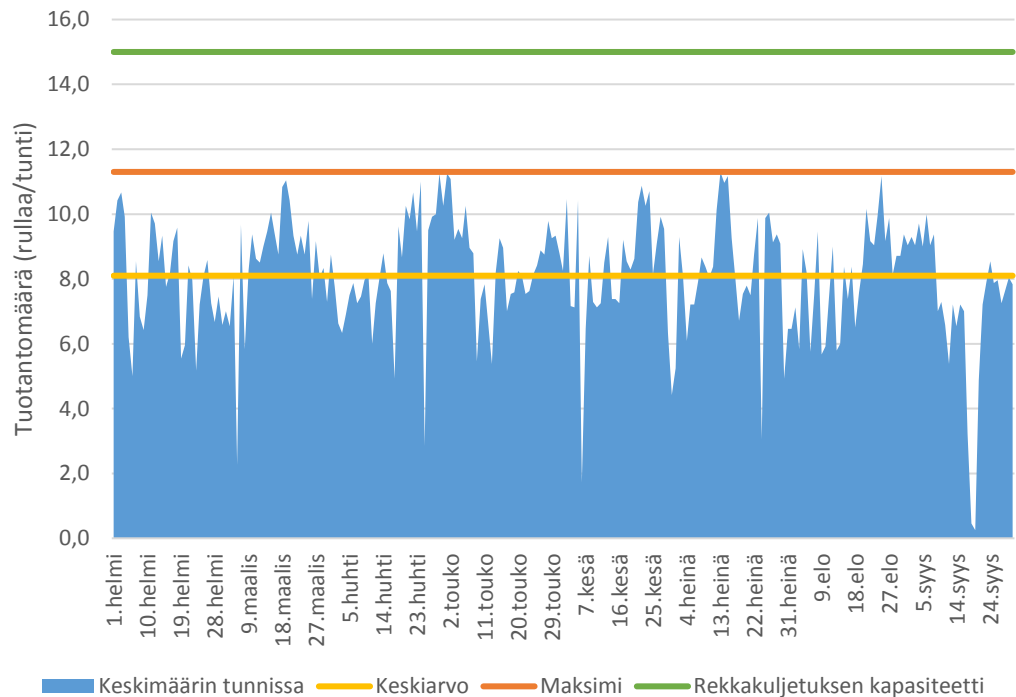
PE6-koneen tuotantomäärät ovat olleet keskimäärin alle 3 rullaa tunnissa ja enimmillään 5 rullaa tunnissa. Siirtokuljettimen kapasiteetti ARW:stä PE6-koneelle on 20 rullaa tunnissa, joten vaikka PE6-koneen tuotantomääriä pyritään jatkuvasti nostamaan, siirtoon liittyvän kapasiteetin ennakoidaan olevan riittävällä tasolla. PE6-koneen tuotantomäärät esitettyinä kuvassa 37.



**Kuva 37.** PE6:lla päällystetyt rullat keskimäärin tunnissa 1.2.2018 – 30.9.2018



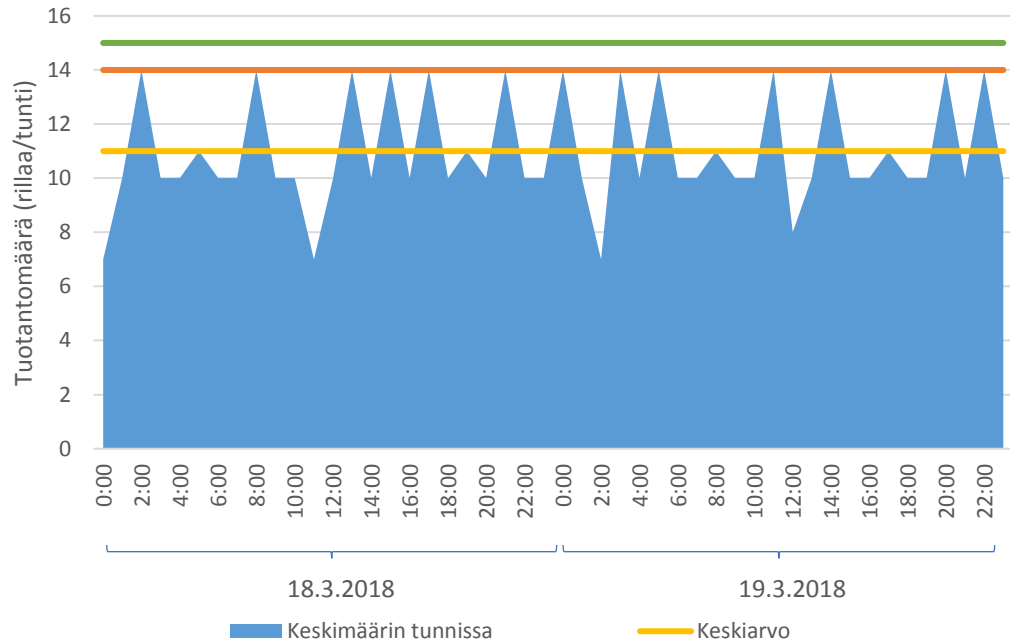
Päällystystehtaan PE3- ja PE5 -koneiden tuotantomäärät ovat olleet keskimäärin 8 rullaa tunnissa ja enimmillään 11 rullaa tunnissa. Määrät ovat olleet kuvan 38 mukaisesti melko vakaita tarkastelujaksolla. ARW:n ja PT:n väliä ajavan rekan kuljetuskapasiteetti on 15 rullaa tunnissa, joten numeroita tarkastellessa sen pitäisi riittää.



**Kuva 38.** PT:llä päällystetyt rullat keskimäärin tunnissa 1.2.2018 – 30.9.2018

PT:llä on tapahtunut kuitenkin selkeästi eniten raaka-ainejärjestelmästä eli käytännössä ARW:stä johtuvia tuotantokatkoja. Yksi syy tuotantokatkosten taustalla voi olla rekkalastauksen riittämätön kapasiteetti, siihen liittyvät tekniset ongelmat tai ARW:stä johtuvat ongelmat liittyen rullien syöttöön. Kuvasta 38 voidaan havaita kolme suurempaa kuormitushuippua tuotantomäärissä maaliskuun puolella välissä, huhti- ja toukokuun vaihteessa sekä heinäkuun puolella välissä. Kuormitushuippujen aikana keskimääräinen tuotantomäärä on ollut 11 rullaa tunnissa. Tämä tarkoittaa sitä, että rekkalastauksen pitäisi pystyä kuljettamaan rullia vähintään 73 prosentilla sille määritellystä kapasiteetista (15 rullaa/tunti). Kiireellisinä aikoina pienikin häiriö ARW:ssä tai rekkakuljetukseen liittyen voi aiheuttaa tuotantokatkon päällystystehtaan. Kuvan 39 mukaisesti välillä 18.3.2018 - 19.3.2018 tuotantomäärä on

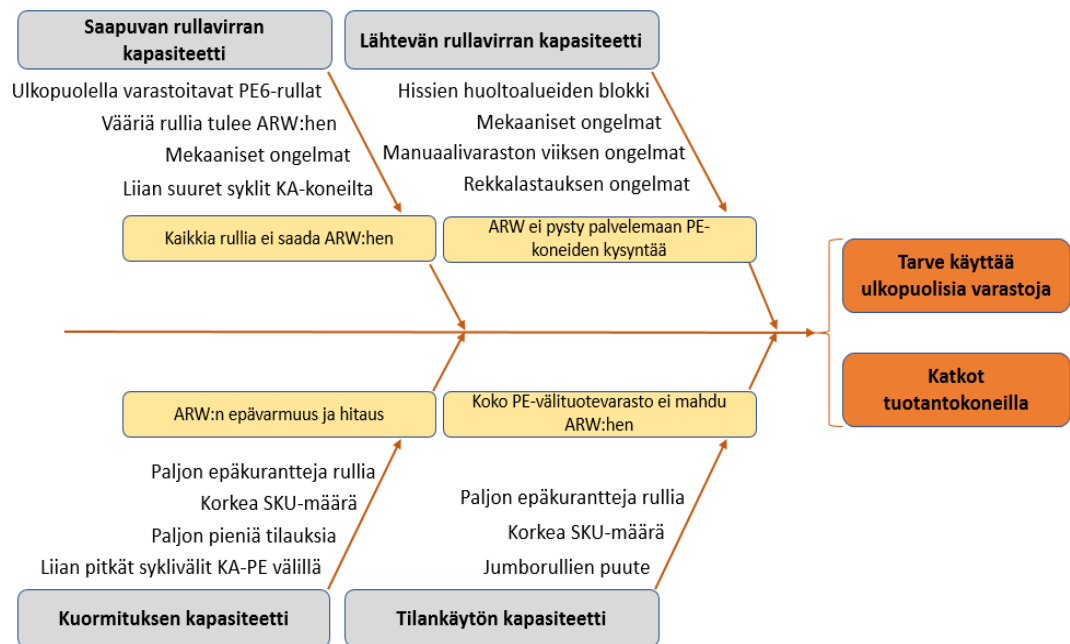
ollut keskimäärin 11 rullaa tunnissa ja kyseisellä välillä useina tunteina tuotantomäärä on ollut 14 rullaa tunnissa.



**Kuva 39.** PT:llä päällystetyt rullat keskimäärin tunnissa 18.3.2018 – 19.3.2018

## 6.5 Yhteenveto ongelmista

Haastatteluissa ilmi tulleet vakavimmat ongelmat ovat linjassa kvantitatiivisiin analyyseihin verrattaessa. Ongelmia tarkastellessa voi tehdä havaintoja ongelmien rinnakkaisuuksista ja vaikutussuhteista. Hahmotan ongelmien vaikutussuhteita kuvan 40 syy-seuraus-kaavion avulla. Kaavio on jaettu saapuviin ja lähteviin rullavirtoihin sekä ARW:n kuormitukseen ja tilankäytön kapasiteettiin liittyviin ongelmiin. Syy-seuraus-kaavio auttaa hahmottamaan vakavimpien ongelmien vaikutuksia, niiden välisiä vaikutussuhteita sekä taustatekijöitä.



**Kuva 40.** Ongelmien syy-seuraus-kaavio

Saapuvan rullavirran kapasiteetin ongelmat vaikuttavat heikentävästi ARW:hen kulkevaan rullavirtaan. Mekaaniset ongelmat ovat aiheuttaneet merkittäviä ongelmia ja aiheuttanut rullien pakkosyöttöä manuaalivarastoon ja ulkopuolisiin varastoihin. Lisäksi mekaaniset ongelmat hidastavat merkittävästi rullien virtausta. Liian suurilla sykleillä KA-koneilta tarkoitetaan sitä, että ARW:llä on rajallinen kapasiteetti vetää sisään kaikki pakkaamosta tulevat rullat. Lähtövirran kapasiteettiin liittyvät ongelmat heikentävät ARW:n suorituskykyä syöttää rullia PE-koneille tai manuaalivaraston puolelle.

Kuormituksen- ja tilankäytön kapasiteetin ongelmat ovat riippuvaisia toisistaan, sillä molempien taustalla vaikuttaa merkittävänä tekijänä korkea SKU-määrä ja epäkuranttien rullien korkea määrä. SKU-määrää voidaan pitää erittäin merkittävänä ongelmana ARW:n kannalta. Korkean SKU-määrän vaikutusta ARW:hen kuvastaa hyvin projektiryhmässä mukana olleen kehityspäällikön sitaatti:

”Kun ajetaan moottoritiellä ja sen pinta-alasta on 80 % käytössä niin se tarkoittaa, että siellä ei pysty enää 120 km/h ajamaan. ARW:ssä on sama efekti, sitten kun lähdetään menemään liian täyteen, niin kaikki toiminta hidastuu siellä. (Haastateltava 17, Projektiryhmä)”

Yksinkertaistettuna voidaan todeta, että kuormitukseen liittyvät ongelmat aiheuttavat ARW:n hitautta ja epäluotettavuutta. Tilakapasiteetin heikko hyödyntäminen tarkoittaa sitä, että keskimääräisillä varastotasoilla kaikkea PE-väli tuotetta ei saada varastoitua ARW:hen. Yhdessä kaikki ongelmat aiheuttavat tuotantokatkoja sekä PE- että kartonkikoneille ja pakottavat edelleen käyttämään ulkopuolisia varastoja.

## **7 KEHITYSEHDOTUKSET**

Tässä empiriaosuuden viimeisessä kappaleessa esitellään tutkimuksen kehitysehdotukset. Kehitysehdotukset on muodostettu haastatteluista saatujen ideoiden, omien kokemusten ja analyysien perusteella. Kehitysehdotusten pohjalla on aikaisemmin analysoituja ongelmia, joihin ehdotetaan ongelman vaikutusta pienentävää tai poistavaa toimenpidettä tai muutosta toimintatapoihin.

Kehitysehdotukset on jaoteltu ARW:n tulo- ja lähtövirtaa sekä tilankäytön tehokkuutta tehostaviin sekä ARW:n kuormitusta pienentäviin. Ensimmäiseksi käsitellään tulo- ja lähtövirran tehostamista, jonka jälkeen käsitellään tilankäytön tehostaminen. Sen jälkeen esitellään ehdotukset ARW:n kuormituksen pienentämiseksi. Lopuksi esitellään mittareita, joita suositellaan ARW:n päivittäisen toiminnan ja kehittämisen seuraamiseen.

### **7.1 Tulovirran hallinta ja tehostaminen**

Numeroiden valossa ARW:n pitäisi pystyä käsittelemään kartonkikoneilta ja pakkaamoilta tuleva rullavirta muutamia kuormitushuippuja lukuun ottamatta. Tulovirtojen hallintaan tulee kuitenkin kiinnittää huomiota, sillä kuljettimien täyttymisestä johtuvat katkot pakkaamoilla on todellinen ongelma, joka saattaa aiheuttaa häiriöitä kartonkikoneiden tuotantoon.

ARW:n kannalta kartonkikoneiden syklit olisivat järkevä synkronoida niin, että KA4-koneen Prime-syklin aikaan KA1- ja KA2 -koneilta ajettaisiin pääasiassa yhden koneen koneketjussa olevia tilauksia eli tilauksia, jotka eivät ole menossa PE-koneille jatkojalostukseen. Kartonkikoneilta suoraan asiakkaalle menevät rullat menevät omaa kuljetinta pitkin MRW:hen, jolloin ARW:n hissien pitäisi käsitellä samanaikaisesti vain Prime-ajon rullat.

Prime-syklin ennakointi tulee huomioida ARW:n päivittäisessä toiminnassa. ARW:n hissien toiminta voi olla hetkellisesti pysähdyksissä useista syistä. Hissit voivat olla huollettavana ennakoidusti tai ennakoimattoman teknisen vian seurauk-

sena. Lyhyempiä katkoja voi aiheuttaa rullavälien tai rullakääreiden repaleiden korjaamiset ARW:ssä. Kaikkia tiedossa olevia katkoja tulisi välttää Prime-syklin aikana. Välttämällä katkoja hissien toiminnassa voidaan kuormitushuipun aikana operoida tulovirtaan liittyvien kapasiteettimääritysten mukaisesti. Ennakointi nousee entistä suurempaan rooliin, kun prime-syklissä pyritään ajamaan enemmän jumborullia. Ne pystytään varastoimaan vain ARW:hen.

Pääosin kuljettimien täyttymisestä aiheutuneita pakkaamon katkoja on ollut luvussa 6.1 taulukossa 8 esitetyt määrät. Tällä hetkellä kuljettimien täytyminen tarkoittaa sitä, että jos rullavirta ei vedä ARW:hen, voi syntyä vakava häiriö kartonkikoneen tuotantoon.

*'' Nää tilanteet on aina niin monen tekijän summa, että sitä on erittäin vaikea mitata. Joskus kartonkikoneiden rautatilanne voi olla niin huono, että jo pieni ongelma aiheuttaa koneiden seisomista. (Haastateltava 15, Pakkaamo)''*

Nykyisten kuljettimien lisäksi ei ole olemassa olevaa sivuvirtaa, jonne rullia saataisiin pois kuljettimelta, jos ne täyttyvät. Erityisen ongelmallisia ovat jumborullat, joiden käsittely on suurien massojen takia hankalaa.

*''Se olisi ensisijaisen tärkeää, että pystyisi ajamaan ne isot rullat siitä kuljetinta täyttämästä jonnekin. Jos vaikka arvioidaan, että ARW seisoo 3 tuntia, niin se on aika sietämätön tilanne, silloin pitää saada rullat kuljettimilta pois. Kolme tuntia on jo niin pitkä aika, että sitten kerkeää tulla jo rautapula. (Haastateltava 16, Pakkaamo)''*

Tilapäisellä välivarastolla tarkoitetaan sellaista sivuvirtaa, jonne rullia voitaisiin ajaa pois kuljettimelta tilanteissa, joissa ARW ei vedä rullia riittävän nopeasti. Tällä hetkellä on olemassa pakkoajomahdollisuus, jonka avulla rulla saadaan pois kuljettimelta. Rulla menee silloin hylyksi. Kuormitushuippujen ja jumborullien varalta tulee olla ennakoitu toimintatapa niin, että manuaaliset käsittelyt ja priimaluokituksen rullien hylytykset saadaan minimoitua. Hissejä voidaan pitää rullavirran pulonkaulana, joten ARW:n kuormituksen pienentäminen vaikuttaa positiivisesti myös tulovirtaan.

## 7.2 Lähtövirran hallinta ja tehostaminen

Haastatteluiden ja kvantitatiivisen analysoinnin perusteella voidaan todeta, että rullavirratt PE2- ja PE6-koneille kulkevat luotettavasti ja tehokkaasti. Rullavirta ARW:stä PT:lle tulisi saada luotettavammalle pohjalle. Toinen lähtövirtaan liittyvä haaste on ARW:n hissien huoltoalueiden peittämät kanavat, joiden peittyminen voi vaikuttaa negatiivisesti jokaisen PE-koneen toimintaan.

Päällystystehtaan katkojen välttämiseksi ehdotetaan toimenpiteitä liittyen rekkakuljetuksen varassa olevien rullien virtaukseen, päällystystehtaan varastoalueen hyödyntämiseen ja päällystystehtaan henkilöstön koulutukseen.

Rekkakuljetukseen liittyen tarvitaan tiiviimpää yhteistyötä rekkakuljetuksen tuottavan palveluntarjoajan kanssa. Yhteistyöhön liittyen ongelmia on havaittu olevan tiedonkulussa ja epäselvyyksissä yhteisissä toimintatavoissa.

*''Oon ihmetellyt sitä, että sen kuskin tehtävä on vain ajaa niitä rullia. Jos tulee ongelma ja rullat ei purkaudu autosta niin se ei tee mitään. Ensin se ihmettelee ja odottelee että tuleeko kukaan kättelemään, sitten se soittaa vartin puolen tunnin päästä, että täällä on ongelma. Se ei edes kato, joskus on yli puoli tuntia odoteltu. Homma pitäisi toimia kuljetuspalvelun kanssa paremmin. (Haastateltava 18, Päällystystehdas)''*

Päällystystehtaan tuotantomäärillä ja rekkakuljetuksen kuljetuskapasiteetilla turhat ylimääräiset katkot kuljetuksissa tulisi välttää. Toiminnan vastuut pitäisi selkeyttää, jotta kriittisiä tilanteita osattaisiin välttää ja niissä osattaisiin toimia. Kommunikoinnille pitäisi määrittää pelisäännöt. Häiriön ilmetessä tiedon pitäisi kulkea ilman viivettä kuljetuspalvelulta PT:n päivystävälle henkilölle. PT:n varastotasojen ja PE3- ja PE5 -koneiden ajo-ohjelmien seuraaminen tulisi lisätä kuljetuspalvelun vastuulle. Selkeät pelisäännöt ja vastuualueet auttavat välttämään raaka-ainepulasta johtuvia katkoja PT:llä.

Päällystystehtaan henkilöstöllä tulisi olla riittävä osaaminen ja käytössä asialliset käyttömanuaalit ongelmatilanteiden korjaamisen avuksi. Laitteiden käyttöön ja häiriöiden ratkaisemiseen liittyvillä manuaaleilla voitaisiin minimoida korjauksiin käytetyt ajat.

*''Sama juttu jalostuksen puolella, eihän siellä ole riittävän hyviä käyttömanuaaleja. Osalle on ja osalle ei. Tai joku pitäisi olla, että voisi tarkistaa miten joku asia menee. Nyt se menee niin, että jonkun pitää muistaa miten joku ratkaistiin. (Haastateltava 8, Päälylystystehdas)''*

Päälylystystehtaan kanavapaikat ja varastotasot tulisi pitää mahdollisimman korkeina. Mahdollisimman korkea varastopuskuri auttaa tilanteissa, joissa rullavirta katkeaa ARW:stä. Tällöin PE-koneet pystyvät ajamaan pidempään ilman, että tuotantoon tulee katkoja puuttuvan raaka-aineen takia.

*''PT:llä pitäisi pitää kanavapaikat täynnä, että ongelman tullessa olisi enemmän pelivaraa. Tosi usein on sillein, et siellä ei ole riittävästi rullaa. (Haastateltava 8, Päälylystystehdas).''*

ARW:n hissien huoltoalueiden blokki johtuu ARW:n rakenteellisista ja toiminnallisista syistä. Se lisää merkittävästi riskiä tuotantokatkoille sekä PE-koneilla, että kartonkikoneilla. Huoltoalueiden siirtäminen pois kanavien edestä vaatisi rakenteellisia muutoksia varastoon ja näin ollen merkittäviä lisäinvestointeja. Toinen vaihtoehto olisi kehittää ennakointia, jotta huoltoalueiden aiheuttamista poikkeustilanteista selvittää mahdollisimman pienin vahingoin.

*''Siitä on ollut puhetta, että olisi automaattitoiminto siellä, josta näkisi, kun hissi on menossa huoltoon, ja että siellä on rullia edessä, niin nappia painamalla se rupeaa ottaa niitä ennakoivasti pois sieltä huoltoalueelta, että toinen hissi pystyisi operoimaan niitä. (Haastateltava 13, PE6-osasto).''*

Automaattitoiminto vaatisi kehitystoimenpiteitä WMS-järjestelmään ja ohjauslogiikoihin. Kehitystoimenpiteet auttaisivat tilanteissa, joissa toisen hissien tiedetään menevän huoltoon. Tällä hetkellä rullat asetetaan kanaviin niin, että hissien ajomatkat minimoidaan. Yksi vaihtoehto ennakoimattomien hissien häiriöiden varalle olisi muuttaa ARW:n toiminnan logiikoita niin, että hissien huoltoalueilla oleviin kanaviin varastoitaisiin ensisijaisesti hitaasti kiertäviä, tulevaisuudessa useiden viikkojen päästä päälylystyksen meneviä tai epäkurantteja rullia. Hissien tulisi järjestellä varaston kanavia matalan kuormituksen aikana, jotta huoltoalueiden takana



olevissa kanavissa olisi mahdollisimman paljon ei-kriittisiä rullia. Hissien ajomatkojen suhteen mainitun kaltainen järjestely ei ole optimaalinen. Hyöty voidaan saavuttaa pienempänä tuotantokatkojen riskinä.

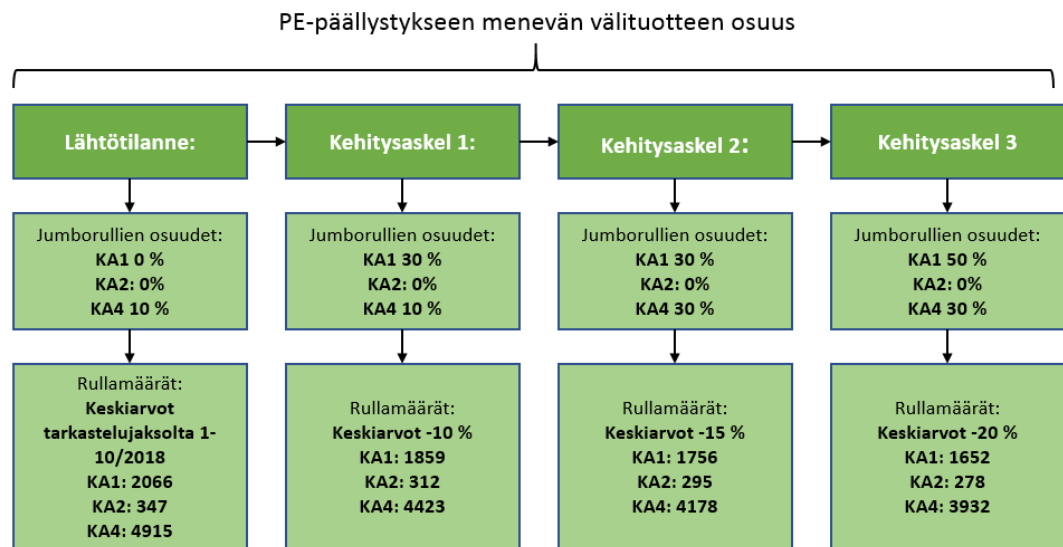
ARW:n hissien tapauksessa ennakoiva huolto on tärkeässä roolissa. Säännöllisillä ja tiheillä tarkastuksilla voidaan minimoida kriittisten osien vikaantuminen. Kulumista ja todennäköistä vikaantumista tulisi pystyä ennakoimaan mahdollisimman tarkasti. Huoltoikkunat tulisi olla määriteltynä etukäteen, jotta ARW:n toimintaa hidastavia toimenpiteitä ei suoriteta kuormitushuippujen aikana. Määriteltyjen vikaherkkien osien seurantaan ja huoltoon tulisi määrittää olemassa olevan teknologian tarjoamissa rajoissa mahdollisimman tarkka ja luotettava seurantamenetelmä.

### **7.3 Tilan tehokkaampi hyödyntäminen**

Jumborullien tuotannon ja määrien lisäämisellä voitaisiin saavuttaa merkittäviä hyötyjä ARW:n toiminnan ja erityisesti tilankäytön tehokkuuden kannalta. Vaikutuksia analysoidaan kolmen kuvassa 41 esitetyn kehitysaskelen mukaan. Kehitysaskleet on muodostettu muokkaamalla jumborullien osuuksia ja kokonaisrullamääriä niin, että koko PE-välituotteen varastotaso sekä ARW:n simuloitu täyttöaste pysyvät järkevällä tasolla. Simuloitu täyttöaste on laskettu rullien keskimääräisten leveyksien viemän kanavametrin määrän ja kanavametrikapasiteetin osamääränä. Simuloitu täyttöaste antaa arvon, joka on hyvin lähellä tehdastietojärjestelmän määrittämää täyttöastetta. Kehitysaskelen 3 avulla voidaan saavuttaa tilanne, jossa ARW:hen voidaan varastoida tavoitteen mukaisesti 25 000 tonnia niin, että täyttöaste pysyy järkevällä tasolla. Analyysissa on mukana koko Imatran tehtaiden PE-välituotteen varaston osuus, sillä tässä analyysissa arvioidaan, miten kyseinen osuus olisi mahdollista varastoida kokonaan ARW:ssä.

Kehitysaskelien jumborullaosuudet on määritetty sen mukaan, kuinka suuria määriä kartonkikoneilta on mahdollista ajaa jumborullia investointien jälkeen. Ensimmäisessä jumborulliin tähtäävässä investoinnissa olisi tarkoitus nostaa KA1 tuo-

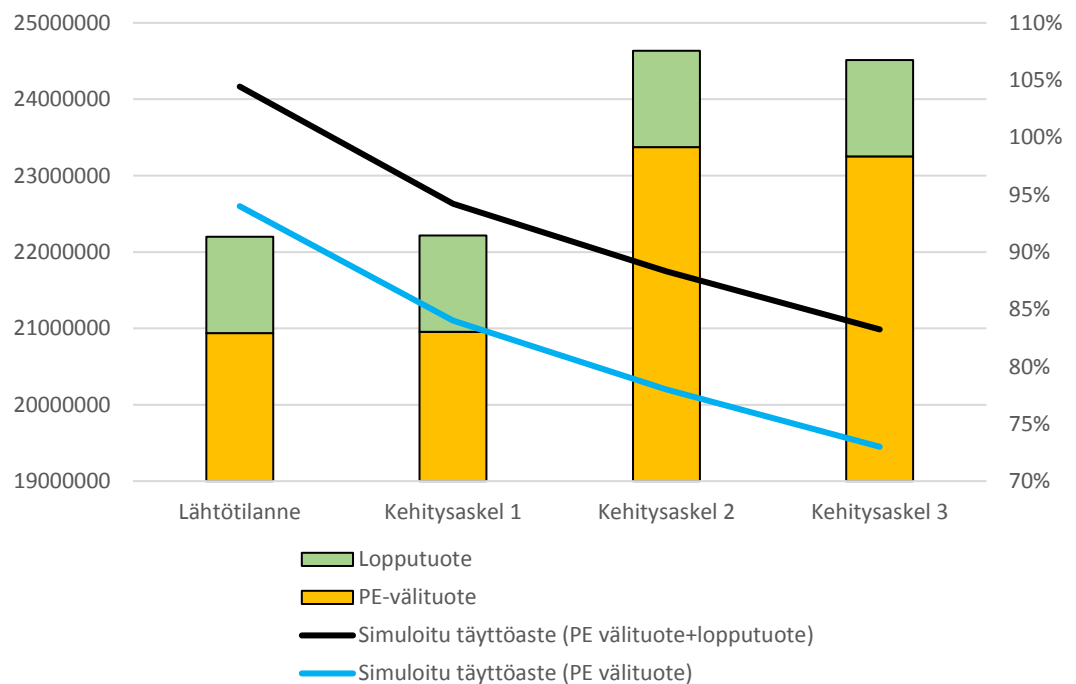
tannon jumborullien osuudeksi 30 %. Jumborullien määrän kasvu itsessään vaikuttaa laskevasti varastoitavien välituoterullien määrään. Laskentamallissa asteittainen rullamäärän lasku on arvioitu niin, että ARW:n simuloitu täyttöaste saadaan lopulta siedettävälle tasolle alle 85 prosenttiin. Kehitysaskeleet 2 ja 3 ovat pidemmän tähtäimen kehitysaskeleita, joissa sekä KA1 ja KA4 jumborullien tuotantoa molempia kasvatetaan vielä 20%. Kehitysaskeleet ja niihin liittyvät toimenpiteet ovat esitettyinä kuvassa 41. Rullia on ollut varastossa keskimäärin lähtötilanteen 7327 rullaa, mikä on ARW:n kannalta paljon. Kehitysaskelen 3 mukaisesti rullien kokonaismäärä pitäisi olla noin 6000 rullaa jos lopputuoterullien osuus pysyy samana. PE-välituoterullat ovat leveämpiä kuin PE6-lopputuoterullat, joten PE-välituoterullien vähentämisellä voidaan säästää enemmän kanavametrejä ARW:ssä kuin jos vähennetään sama määrä lopputuoterullia. Kanavametriä säästäminen vaikuttaa suoraan täyttöasteeseen. Välituoterullan keskimääräinen leveys on noin 2,2 metriä, kun taas PE-lopputuoterullan noin 1 metri.



**Kuva 41.** Kehitysaskeleet jumborullien lisäämiselle

Lähtötilanne on määritetty tarkastelujakson 1.2.2018 - 1.11.2018 rullamäärien keskiarvoista. ARW:n tonnimääräisestä sisällöstä on ollut keskimäärin noin 10 % jumborullia. Lähtötilanteessa noin 30-40 % PE-välituotteesta on varastoitu ulkopuolella, mikä tarkoittaa, että sama määrä ARW:hen sijoitettuna olisi toteuttanut 105 % täyttöasteen. Kuvassa 42 on merkittynä mustana viivadiagrammina täyttöaste,

jossa on mukana sekä PE-väliuote että lopputuotteet. Pelkän PE-väliuotteen toteuttama täyttöaste sinisenä viivadiagrammina. Lopputuotteiden kohtuullisen suuri osuus aiheuttaa noin 10 % lisän ARW:n täyttöasteeseen. Kehitysaskelien myötä täyttöaste olisi mahdollista laskea portaittain 83 % prosenttiin. Kehitysaskelen 1 avulla saavutetaan jo merkittäviä etuja, mutta kokonaisvarastotasoa tulisi laskea merkittävästi, jotta ARW:n täyttöaste olisi järkevällä tasolla kaikkien PE-väliuotteiden varastoimiseksi. Nostettaessa KA1- ja KA4 -koneiden jumborullien osuudet 50 % ja laskettaessa rullamäärää keskiarvosta 25 % alaspäin 5495 rullaan, päästään tilanteeseen, jolloin 26500 tonnin varasto olisi mahdollista varastoida ARW:hen alle 80 prosentin kanavametreihin perustuvalla täyttöasteella. Laskelmissa oletetaan, että lopputuoterullien määrä pysyy samana noin 1700 rullassa.



**Kuva 42.** Kehitysaskelien vaikutus varastotasoon ja täyttöasteeseen ARW:ssä

Laskennan arvoihin vaikuttavat taustalla käytetyt rullien keskimääräiset massat alle 2,1 metrin halkaisijan rullille ja yli 2,1 metrin halkaisijan rullille eli jumborullille. Nykyiset arvot on laskettu historiadatan keskiarvoista, joten niiden pitäisi olla riittävän tarkkoja simulointia varten. Tarkemmat luvut esitettynä liitteessä 9. ARW:n

ja sen kanavametrinen täyttöasteen kannalta on oleellista rullien määrä ja jumborullien osuus niistä. Parhaat tulokset saavutetaan jumborullien määrää kasvattamalla ja varastoitavien PE-välituoterullien määrää pienentämällä. Kasvattamalla KA1 jumborullien määrää 30 %:iin saadaan ARW:hen varastoitua 2,5 – 2,8 tonnia enemmän samalla täyttöasteella ja samalla rullien kokonaismäärällä.

## **7.4 Kuormituksen minimointi ja hallinta**

Kehitysehdotukset kuormituksen hallintaan liittyvät SKU:iden ja epäkuranttien rullien määrän pienentämiseen. SKU-määrän pienentämiseen liittyen esitetään tuotevariaatioiden harmonisointimahdollisuuden analysointi. Epäkuranttien määrien pienentämiseen esitetään uudella tavalla määriteltyä raporttia tehostamaan ylijäämien allokointia sekä keinoja sekundojen, lähetyskieltojen ja hylkyjen nopeampaan liikkumiseen.

### **7.4.1 SKU-määrän pienentäminen tuotevariaatioiden harmonisoinnilla**

Harmonisoinnilla tarkoitetaan mahdollisuuksia yhdistellä lajivariaatioiden ominaisuuksia niin, että ne ovat yksinkertaisempi tuottaa ja varastoida. Tavoitteena on pienentää tuotettavien variaatioiden määrää ja sen avulla koko SKU-määrää. Harmonisoinnin kohteena on yksi merkittävä Imatran tehtaiden avainasiakas, jonka tuotevariaatioiden määrä on suuri. ARW hyötyy harmonisoinnista pienentyneenä SKU-määränä, joka yksinkertaistaa ARW:n läpi kulkevaa rullavirtaa.

Harmonisointia mietittäessä puhutaan lajivariaatioista. Lajivariaatio muodostuu tilauksen tuotekoodin, kartongin grammapainon, muovipäällysteen grammapainon, leveyden, halkaisijan, rullan hylsyn ja rullaussuunnan mukaan. Osa variaatioista voi olla muuten identtisiä, mutta leveyksissä on muutamien millien eroja ja ne muodostavat tällöin oman lajivariaation. Lajivariaatioiden laajuus lisää merkittävästi varastoitavien SKU:iden määrään sekä hankaloittaa tuotannosuunnittelua ja tuotantoa lisääntyneiden lajinvaihtojen takia.

Tarkasteluun on valittu tilausdata tarkastelujaksolta 1.1.2017 - 1.9.2018. Kyseisellä tarkastelujaksolla on tullut noin 7000 tilausta, jotka ovat pitäneet sisällään lähes 600 erilaista tuotevariaatiota. Tonneissa tilauksen yhteismäärä on ollut noin 160 000 tonnia. Tarkastelusta on poistettu alle 3 tonnin tilaukset (60 kpl), sillä niiden voidaan olettaa olleen testirullatilaus. Testirullatilaus ei ole relevanttia ottaa mukaan tarkasteluun. Yhden tilausrivin keskimääräinen koko on ollut 24 tonnia. Kyseessä olevan asiakkaan tarkastellut tilaukset ajetaan pääasiassa KA1-koneelta ja niiden päällystykseen käytetään kaikkia Imatran tehtaiden päällystyskoneita sekä lisäksi ulkopuolisia päällystyspalvelua tarjoavia yrityksiä.

Tilausdatan käsittely on aloitettu muodostamalla ABC-XYZ analyysi, jotta saadaan kokonaiskuva yleistilanteesta. Kuvan 43 ABC-XYZ -analyysia luetaan kuin matriisia. Luokka AX edustaa numeroiden valossa Imatran tehtaiden kannalta suotuista ja tehokasta luokkaa. Analyysin luokkien tarkemmat rajat liitteessä 7. AX-luokan tilausten volyymit ovat suuret ja ne ovat toistuneet usein. AX-luokan muodostaa vain 6,6 % tuotevariaatioista. Tuotevariaatioiden prosenttiosuudet luettavissa kuvasta 43 luokan nimen alapuolelta. AX:n vastakohtana on luokka CZ, jonka volyymit ovat matalat ja sitä tilataan harvoin. Analyysin avulla voidaan tehdä merkittävä havainto, että 51,5 % lajivariaatioista sijoittuu CZ-luokkaan. C-luokka muodostaa vain 20 % tilausten kumulatiivisesta volyyymistä, mutta taustalla on 76 % kaikista tuotevariaatioista. Vertailuna A-luokkaan, volyyymi on 50 % ja lajivariaatioita on taustalla vain 8 %.

		Volyymi (tonnia)		
1.1.2017 – 1.9.2018		A: Korkea	B: keskitaso	C: Matala
Toistuvuus (tilausten lkm)	X: Usein	<b>AX</b> 6,6%	<b>BX</b> 7,1%	<b>CX</b> 0,8%
	Y: Keskitaso	<b>AY</b> 1,4%	<b>BY</b> 7,3%	<b>CY</b> 13,9%
	Z: Harvoin	<b>AZ</b> 0,2%	<b>BZ</b> 1,2%	<b>CZ</b> 51,5%

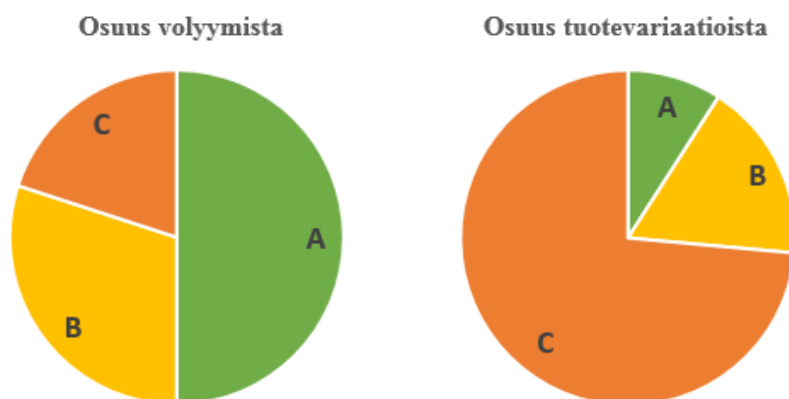
**Kuva 43.** ABC-XYZ -analyysi havainnollistamaan variaatiomäärän kannalta ongelmallisten tilauksien osuuksia

Analyysin rakentamisen taustakriteerit esiteltynä taulukossa 12. Arvoja luetaan niin, että esimerkiksi AX-luokan lajivariaatioiden volyymit ovat olleet 883 – 3 583 tonnia, sisältäen X-luokan mukaisesti 21-116 tilausta. XYZ-analyysi syventää analyysia kertomalla kuinka paljon tilauksia kyseisen kirjaimen sisältävä luokka pitää sisällään. Luokkien vaihteluvälit määritetty Pareto-periaatteen mukaisesti.

**Taulukko 12.** ABC-XYZ -analyysin luokat

Luokka	Osuus kumulatiivisesta volyymista (%)	Vaihteluväli (t)
A	50	883 – 3 583
B	30	285 - 860
C	20	3 - 281
Luokka	Osuus kumulatiivisesta tilausten määrästä	Vaihteluväli (kpl)
X	50	21 - 116
Y	30	10 - 20
Z	20	1 - 9

Analyysin perusteella voidaan tehdä havainto, että useimmin toistuvat variaatiot muodostavat vain hyvin pienen osan koko variaatioiden määrästä. Huomattavaa on myös se, että harvoin toistuvien tilausten lukumäärä on korkea. Tämä vaikeuttaa ennustettavuutta ja sen seurauksena tuotannosuunnittelua. Tuotteiden jakautuminen luokkiin havainnollistettuna kuvassa 44.



**Kuva 44.** Volyymien ja tuotevariaatioiden osuuksien suhteet

Hypoteettisesti ajateltuna olisi järkevää harmonisoida C-luokan tuotevariaatioita A-luokan tuotevariaatioita kohti niin, että harvoin toistuvia variaatioita yhdistettäisiin usein toistuviin. Tarkasteluun tulee kuitenkin ottaa asiakkaan 16 tehdasta ympäri maailmaa, sillä tehtaiden konekannat vaihtelevat. Taulukossa 13 on määrien jakautuminen tehtaittain.

**Taulukko 13.** Variaatioiden jakautuminen tehtaittain

Toimituksen kohdema	Volyyymi (t)	Tilausten lukumäärä (kpl)	Tuotevariaatiot
1	14 873	234	32
2	2	3	2
3	4 124	273	57
4	17 600	779	95
5	22 597	1 104	100
6	10 894	466	73
7	369	15	8
8	2	1	1
9	6	5	3
10	8 310	298	19
11	4 438	285	47
12	25 303	673	109
13	39 101	2 225	82
14	6 348	202	33
15	5 488	179	52
16	7	15	12

Suurimmat volyymit menevät toimituskohteisiin 4,5,12 ja 13. Ne muodostavat suurimman osan tuotevariaatioista. Harmonisointia hankaloittava havainto on kuitenkin se, että suurin osa variaatioista on tehdaskohtaisia. Eri tehtaot tilaavat pääsääntöisesti omia variaatioitaan. Tämän taustalla on oletettavasti se, että jokaisella tehtaalla on oma konekantansa tai se, että tehtaot optimoivat omaa tuotantoon hieman erilaisista näkökulmista. Koko 600 tuotevariaation joukossa on vain muutama variaatio, joita tilataan useammalle kuin yhdelle tehtaalle. Tarkastellessa tuotevariaatiota tehtaittain esille nousee noin 20 tuotevariaatiota, jotka menevät samalle tehtaalle, mutta niiden leveydet vaihtelevat muutaman millin. Nämä 20 variaatiot ovat harmonisoitavissa.

Analyysi osoittaa, että tarkasteltavalle asiakkaalle valmistetaan tuotevariaatioita hyvin laajalla kirjolla. Monipuolisen tuoteportfolion tarjoaminen asiakkaalle on asiakastyytyväisyyden kannalta hyvä juttu. Toisaalta useita asiakkuuksia hallittaessa riski tuotevariaatioiden kokonaismäärän nousuun kasvaa. Tehtaan tehokkuuden kannalta kaikkien mahdollisten tuotevariaatioiden valmistaminen asiakkaan toiveesta ei todennäköisesti ole tehokkain tapa ylläpitää tehokasta tuotantoa ja materiaalivirtoja Imatran tehtailla.

Tarkastellun asiakkaan kohdalla harmonisointia suuremmat mahdollisuudet liittyvät tehtaan sisäiseen tarkasteluun, kannattaako kaikkia tuotevariaatioita ajaa omana määriteltynä variaationa vai tuottaa välituotteet standardiraaka-aineina ja jalostaa lopputuotteet niistä. Asiakastilauslähtöisellä harmonisoinnilla voidaan tehostaa toimintaa vain rajallisesti.

Tehtaan kokonaistehokkuuden kannalta tulisi selvittää taloudellisimmat tuotettavat variaatiot, joita pystytään ajamaan minimoidulla trimmihukalla kartonkikoneilta ja päällystämään tehokkaasti Imatran tehtaiden päällystyskoneilla. Ennakoitavissa voidaan pitää, että osa variaatioista on tuotannon tehokkuuden kannalta taloudellisempia tuottaa kuin toiset. Selvityksen jälkeen on mahdollista luokitella tuotettavat variaatiot tuotettavuuden tehokkuuden kannalta ja mahdollisesti siirtyä niiden osalta enemmän varasto-ohjautuvuuteen. Tässä skenaariossa pyrittäisiin vähentämään tehottomammin tuotettavissa olevia tuotevariaatioita ja lisäämään taloudellisesti tuotettavissa olevia. Vähentämistä voidaan toteuttaa esimerkiksi tarkastelemalla hinnoittelusopimuksia tehtaan tehokkuutta tukeviksi. Järkevästi ja tehokkaasti tuotettavissa oleville tuotevariaatioille voitaisiin tarjota alempaa hintaa ja hankalasti tuotettaville variaatioille korkeampaa hintaa. Parhaassa tilanteessa hankalien variaatioiden tilausmäärät pienevät ja asiakas siirtyy tilaamaan tehokkaammin tuotettavissa olevia. Asiakastyytyväisyyden ylläpitämiseksi mahdollisuus tuottaa kaikkea ylläpidettäisiin. Se olisi kuitenkin otettu huomioon hinnoittelussa.

Tuotantostrategia muuttuisi tilausohjautuvasta enemmän teoriaosuudessa esitellyksi ennusteohjautuvaksi MTF-ohjaukseksi. Lisäämällä ennusteohjautuvuutta rul-



lavirtoja saataisiin yksinkertaistettua nykyiseen tilanteeseen verrattuna. Yksinkertaisemmat rullavirrat tarkoittaisivat pienempää kartonkikoneiden tuotevarianttien ja ARW:ssä olevien SKU:iden määrää.

#### 7.4.2 Ylijäämien vähentäminen

Ylijäämiltä on mahdotonta välttyä kokonaan kartongin valmistuksessa. Varastointiaikoihin voidaan kuitenkin vaikuttaa. Varastointiaikojen minimoimiseksi työssä ehdotetaan uutta yhdisteltyä informaatiota tarjoavaa raporttia, jonka tarkoitus on helpottaa ylijäämien nopeampaa allokointia uusille tilauksille. Lisäksi ehdotetaan uusia toimintatapoja, joiden tavoitteena on ylijäämien kierron nopeuttaminen.

Tärkein tekijä ylijäämien kierron nopeuttamiseksi on niiden nopeampi allokointi uusille tilauksille. Nopeampi allokointi vaatii tarkan tiedon siitä, mitkä tilaukset ja kuinka paljon tilauksista on jo allokoitu, ja mille tilaukselle. Tieto tulee olla nopeasti ja helposti saatavilla, jotta allokointia voidaan toteuttaa tehokkaasti operatiivisessa toiminnassa. Ylijäämien määriä seurataan jatkuvasti, mutta silti niiden määrät ovat kasvaneet jatkuvasti ARW:ssä. ARW:n tapauksessa aikaisemmin esitetystä kuvasta 30 on nähtävissä kasvava varastotaso, jossa yhä vanhemmat ylijäämät ovat varastoitavana ARW:ssä.

Tällä hetkellä ylijäämistä voidaan ajaa varastokohtaisesti raportti, josta voidaan nähdä tärkeät tiedot kuten varastolokaatio, tilausnumero ja määrät. Varastointiajat ja tieto mahdollisesta allokoinnista joudutaan ajamaan eri raporteilla. Tehdastietojärjestelmästä voidaan jäljittää tilausnumeron avulla tieto allokoinnista ja sen kohteesta. Jäljittäminen täytyy tehdä tilaus kerrallaan, joten se on työlästä ja hidasta. Yksinkertainen raportti, joka sisältää tiedot allokoinnista ja sen hetkisestä varastointiajasta helpottaisi huomattavasti ylijäämien kehittymisen seuraamista. Usean raportin ajaminen ja tietojen yhdistäminen manuaalisesti Excelissä ei ole tehokas toimintatapa. Uusi raportti sisältäisi alla olevat tiedot ylijäämästatuksella olevista tilauksista.

**Raportin sisältö:**

- Tilausnumero
- Asiakas
- Varastolokaatio- ja ruutu
- Aika varastossa (d)
- Tilattu määrä (kg)
  - Allokoitu määrä (kg)
  - Allokoimaton määrä (kg)
- Mahdollisen allokoinnin kohde
- Tilauksen vahvistaja (allokoinnista vastuussa oleva)

Raportin avulla näkisi suoraan, mitkä ylijäämät ovat olleet esimerkiksi yli 60 päivää varastossa ja onko niitä allokoitu. Excel-muotoisesta raportista voisi helposti rajata haluamansa varastolokaation ja tarkistaa ylijäämätilanteen. Tilausnumeron lisäksi raportissa olisi asiakkaan nimi, jotta raporttia olisi helppoa jakaa eteenpäin allokoinnista vastuussa olevalle henkilölle eli tilauksen vahvistajalle. Varastointiaikojen näkeminen minimoi riskin siitä, että tilaukset ikään kuin unohtuvat varastoon ylijäämästatuksella. Uusi raportti on ensiapu, jonka avulla toimintaa voidaan kehittää. Tietomäärän karttuessa voidaan määritellä tiedon siirtyminen tietojärjestelmien välillä niin, että tilauksen käsittelyn alkaessa saadaan tieto olemassa olevista toimitettavissa olevista määristä. Tietojärjestelmien kehittäminen vaatii investoinnin kehitystoimenpiteitä varten.

Tälläkin hetkellä ARW:ssä on paljon yli 180 päivää vanhoja ylijäämiä. ARW:ssä oleville ylijäämille ehdotetaan toimintatapoja, jotka pyrkivät välttämään ylijäämien unohtumisen ja hitaan kierron ARW:ssä. Uudet toimintatavat listattuna taulukossa 14.

**Taulukko 14.** Toimenpiteet ylijäämien minimoimiseksi ARW:ssä

Ylijäämän aika ARW:ssä	Toimenpide
Ylijäämän syntyessä	Ilmoitus tilauksen vahvistajalle syntyneestä ylijäämästä.
Ylijäämä 60 päivää ARW:ssä	Automaattinen ilmoitus tilauksen vahvistajalle allokoinnin tarpeesta.
Ylijäämä 120 päivää ARW:ssä	Uusi ilmoitus allokoinnin tarpeesta.
Ylijäämä 180 päivää ARW:ssä	Jos tilaus usein kulutettavaa tuotevariaatiota, siirto toiseen varastolokaatioon odottamaan allokointia.
	Jos tilaus harvinaista tuotevariaatiota, siirto pulpperiin.

Taulukon 14 toimenpiteet pystytään toteuttamaan aikaisemmin määritellyn raportin tuomalla informaatiolla. Excel-pohjainenkin raportti tarjoaa yksinkertaisen tavan seurata olennaista informaatiota.

PE6-lopputuotteiden osalta ylijäämiä ei tulisi jättää ARW:hen, vaikka asiakas ei ottaisi koko tilausta. Ne joudutaan edelleen varastoimaan, mutta todennäköisesti se olisi kokonaisuuden kannalta järkevämpää kuin ARW:n kuormittaminen epäkuranteilla rullilla.

#### 7.4.3 Hylkyjen, sekundojen ja lähetyskieltojen vähentäminen

Hylkyjen, sekundojen ja lähetyskiellossa olevien vähentäminen voidaan jakaa toimenpiteisiin, joiden tavoitteena on minimoida ARW:hen kulkeutuvat määrät sekä minimoida siellä olevien varastointiajat. Ennakoivat toimenpiteet, joiden tavoitteena on minimoida ARW:hen kulkeutuvat määrät tapahtuvat käytännössä materiaalivirran matkalla, kun rullia tulee kartonkikoneilta ja pakkaamolta sekä PE6-koneelta ARW:hen. Tuotevarastolla on merkittävä rooli ARW:ssä olevien epäkuranttien rullien varastointiaikojen minimoimisessa.

Nopeammalla laadunvalvonnalla voitaisiin vähentää erityisesti lähetyskiellossa olevien rullien kulkeutumista ARW:hen. ARW:ssä on ollut koko sen olemassaolon

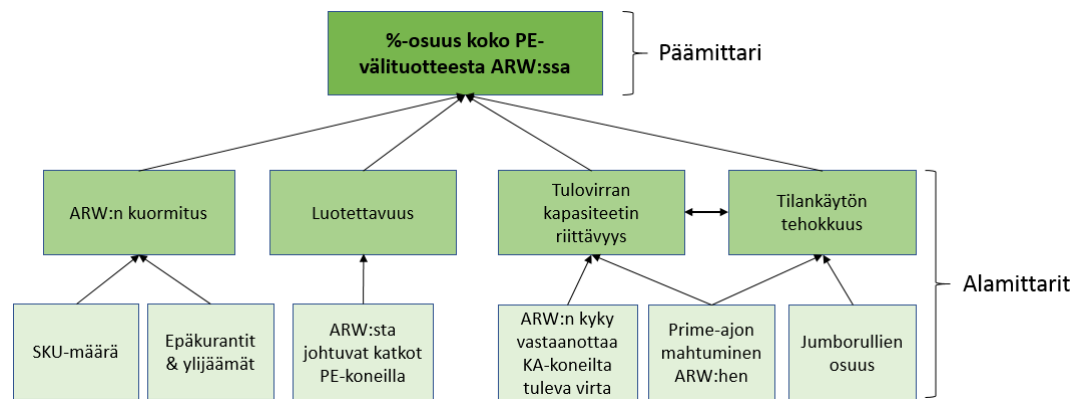
aikana keskimäärin 430 tonnia lähetyskiellossa olevia rullia ja maksimissaan yli 800 tonnia. ARW:ssä ollessaan lähetyskieltojen laatuluokan vahvistamisessa voi kulua pitkään. Laadunvalvonnan tehostamisen mahdollisuuden tarkastelua suositellaan.

*''Laadunvalvonta pitäisi saada nopeammaksi. Vuorossa olevan henkilön pitäisi uskaltaa tehdä päätöksiä hylytyksistä. Tai pitäisi olla joku kenet pyytää tekemään päätöksiä. Tulevaisuudessa etenkin KA4:lla, kun osa välituotteesta on 2,1 metrin halkaisijalla, ja kun ne tulee tohon ulos, niin meillä on yksi trukki millä niitä voidaan ajaa, rulla painaa 8 tonnia, me ajetaan trukilla se tonne d-varastoon eli rantavarastoon. Jos hylityksen saisi tehdä siellä pituusleikkurilla, sen voisi ajaa pienempään halkaisijaan ja kaikki trukit pystyisivät käsittelemään sitä. Se on yksi ongelma. (Haastateltava 9, Tuotevarasto)''*

Sekundojen määrät ARW:ssä ovat olleet keskimäärin 130 tonnia. Historiadatan perusteella ne on tyhjennetty ARW:stä noin kahden kuukauden välin. Hylkyjä on ollut ARW:ssä keskimäärin 230 tonnia. Kyseinen luku muodostuu PE6-koneelta -sekä kartonkikoneilta syntyvistä hylkyrullista. Ongelmallisempia ovat PE6-koneella syntyvät hyltyt, sillä PE6-koneelta ei ole muuta reittiä ulos tehtaalta kuin ARW:n kautta. PE6-osastolla on kuormalava, jonne pienimmät hylkyrullat voidaan sijoittaa ja kuljettaa sieltä pulpperiin. Kuormalavalle ei kuitenkaan mahdu montaa rullaa kerrallaan. Mahdollistamalla PE6-hylkyrullien virta ulos muuten kuin ARW:n kautta auttaisi osaltaan vapauttamaan ARW:stä tilakapasiteettia ja pienentämään kuormitusta. PE6-hylkyrullien ongelmallisuutta lisää se, että se kasvattaa manuaalivaraston viiksen kuormitusta ja aiheuttaa ylimääräistä käsittelyä manuaalivarastolla.

## 7.5 Päivittäisen seurannan kehittäminen

ARW:n toiminnan tehostamisen tueksi tarvitaan mittareita, joita seuraamalla voidaan seurata kehityksen suuntaa. ARW:n kokonaistoimivuuden päämittariksi ehdotetaan prosenttilukua, joka kuvaa osuutta kaikesta PE-päällystykseen menevästä välituotteesta, mikä on varastoitu ARW:hen. Kyseinen mittari on informatiivinen monessa suhteessa, sillä se kuvastaa kuinka hyvin ARW:n tärkein tavoite eli ulkopuolisten varastojen välttäminen on onnistunut, kuinka jumborullien osuus kehittyi sekä osittain myös ARW:n luotettavuutta. Päämittari ja muut tärkeät mitattavat kohteet esiteltynä kuvassa 45.



**Kuva 45.** ARW:n toimintaan liittyvät kehitysalueet ja mittarit

ARW:n kuormitusta voidaan mitata SKU:iden-, epäkuranttien- ja ylijäämien määrällä. Epäkurantit ja ylijäämät muodostavat osaltaan suuren osa koko SKU-määrästä. Vähentämällä epäkuranttien ja ylijäämien määriä saadaan koko SKU-määrää pienemmäksi ja sitä kautta kevennettyä ARW:n kuormitusta.

Tärkein ARW:n luotettavuuden seurantaan liittyvä mittari on ARW:stä johtuvien tuotantokatkojen määrä PE-koneilla. Aiheutuneet katkot voivat johtua teknisistä tai kapasiteettiin liittyvistä ongelmista. Ongelmat voivat heijastua PE-koneille tuotantokatkoina, joten luotettavuuden seuranta on tärkeää.

Tulovirran kapasiteettiin ja tilankäytön tehokkuuteen liittyvät mittarit liittyvät toisiinsa, sillä kaikkien kartonkikoneilta tulevien rullien varastoiminen ARW:hen vaatii tehokkaasti käytetyn tilan, jotta ARW:lla on kyky ottaa vastaan kartonkikoneelta tulevat rullat. Toisaalta tilankäytön tehokkuutta parantavat jumborullat vaativat

suurten massojen vuoksi kuljettimien ja hissien suorituskyvyltä enemmän. Prime-ajon mahtuminen ARW:hen on hyvä mittari erityisesti tulovirran kapasiteetille, sillä ajosyklin suuruus voi olla jopa 10 000 tonnia ja tulevaisuudessa on tavoitteena ajaa koko määrä jumborullina. Välillä 1.2.2018 - 1.12.2018 suurin osa Prime-ajon rullista on jouduttu varastoimaan ulkopuolisissa varastoissa. Jos koko Prime-ajo pystytään ajamaan jumborullina ja se saadaan mahtumaan ARW:hen, voidaan toiminnan ja sen tehokkuuden todeta olevan hyvällä tasolla.

## 8 YHTEENVETO

Tutkimuksessa käsiteltiin automaattivaraston toiminnan tehostamista. Toiminnan tehostaminen on laaja kokonaisuus, sillä siihen vaikuttavat koko tehtaan toiminnot tuotantoprosessissa ja sisäisessä logistiikassa. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää merkittävimmät ongelmat liittyen ARW:n toimintaan ja esittää kehitysehdotuksia analyysien pohjalta. Vakavimpien ongelmien tunnistaminen on edellytys tehostamiselle, jotta merkittävimpiin ongelmiin ja pullonkauloihin voidaan puuttua. Ongelmien kartoituksissa tutkittiin rullavirtoja kartonkikoneilta ARW:hen ja sieltä päällystyskoneille. Ongelmat paikannettiin osastoittain materiaalivirran mukaisesti. Ongelmien luonteisiin ja vaikutussuhteisiin syvennyttiin kattavien kvantitatiivisten analyysien avulla. Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena Stora Enson Imatran tehtailla. Tutkimuksen merkittävimmät lähteet ovat 18 haastattelusta saatu aineisto sekä kvantitatiivisissa analyyseissa hyödynnetty pääosin tietojärjestelmistä peräisin oleva data.

Työn teoriaosuus koostuu kahdesta luvusta, jotka käsittelevät varastojen hallintaa ja tehokkuutta teollisessa tuotantoympäristössä sekä tuotannonohjausmenetelmistä ja niiden vaikutuksista materiaalivirtoihin ja toimitusaikoihin. Teorialuvut tarjoavat taustatietoa varastoinnin ja tuotannon taustalla olevista prosesseista, niihin liittyvistä työkaluista ja mittaamisesta.

Työn empiriaosuus alkaa Imatran tehtaiden rullavirtojen muodostumisen ja virtaamisen kuvauksella. Työn rajauksen sisällä olevien rullavirtojen hahmottaminen on edellytys ongelmien ja kehitysehdotusten sisäistämiseksi. Työn empiriaosuus jatkuu ongelmien kartoituksella osastoittain haastatteluaineiston avulla ja sen jälkeen kvantitatiivisilla analyyseilla.

Pakkaamolta haastateltiin kahta henkilöä. Heidän tärkeimmät havaintonsa liittyivät kartonkikoneilta tuleviin rullavirtojen kuormitushuippuihin, joita ARW:ssä olevat hissit eivät ehdi kaikissa tilanteissa käsittelemään. Kuormitushuiput ovat olleet enimmillään 73 rullaa tunnissa ja rullavirta keskimäärin on ollut hieman alle 20 rullaa tunnissa. Toinen merkittävä haaste koettiin 2,1 metrin halkaisijan omaaviin jumborulliin liittyen. Kuljettimien ja muun infran todettiin olevan puutteellinen

jumborullien varten. Puutteet ovat aiheuttaneet laitteiden vikaantumisia ja sen myötä katkoja rullavirtoihin. Kvantitatiivisten analyysien tuloksena havaittiin, että pakkaamoilla on toteutunut paljon ARW:stä johtuneita katkoja. Määrällisesti niitä on ollut 91 kappaletta ja niiden kesto on ollut yli 130 tuntia 9 kuukauden tarkastelujaksolla. Suurin osa katkoista on johtunut kuljettimien täyttymisestä.

Tuotevarastolta haastateltiin 4 henkilöä eri tehtävistä. Tuotevarastolla suurimmat ongelmat liittyvät ARW:n ja MRW:n yhdistävään viikseen. Sen kautta hoidetaan osa rullavirroista, mutta sen kapasiteetti ja luotettavuus koetaan heikkona. Ongelmia aiheuttavat lisäksi ARW:hen kuuluvat rullat, joita pakkosyötetään pakkaamolta tai joita ohjautuu virheellisesti MRW:hen.

PE6-osastolta haastateltiin kahta henkilöä. PE6-osastolla on havaittu vahvasti ARW:n kuormitukseen liittyvät haasteet, sillä he hallinnoivat ARW:n päivittäistä toimintaa. Kuormitusta aiheuttavat erityisesti korkea SKU-määrä ja epäkuranttien rullien suuret osuudet. Haasteita on koettu olevan päällystystehtaan rekkasyötössä sekä hissien luotettavuudessa. PE2- ja PE6 -koneiden syöttö taas on toiminut suhteellisen hyvin. Rullavirtojen kannalta hissien huoltoalueiden peittämät kanavat ovat merkittävä ongelma, joka voi aiheuttaa tuotantokatkoja PE-koneille. Kvantitatiivisen analysoinnin perusteella ARW:n hissien toiminnan häiriöitä on ollut usein ja niistä yleisin on ollut rullien ajaminen yhteen kanavassa. SKU- ja sekakanavamäärät ovat olleet korkeat, samoin kuin epäkuranttien määrät. Epäkurantit rullat ovat muodostaneet enimmillään jopa 35-40 % koko SKU-määrästä, joka on ollut enimmillään noin 900.

Päällystystehtailta haastateltiin kahta henkilöä. Haastatteluista tuli ilmi haasteet liittyen rekkakuljetuksen kapasiteettiin ja tekniseen toimivuuteen. Kvantitatiivisen analysoinnin perusteella havaittiin, että ARW:stä aiheutuneita tuotantokatkoja on ollut paljon. Lukumääräisesti 58 kappaletta ja ne ovat aiheuttaneet tuotantokatkoja 77 tuntia 9 kuukauden tarkastelujaksolla. Rekkakuljetuksen kapasiteetti on numeroiden valossa riittävä, mutta se ei kestä rullavirran hidastumista tai kuormitushuipuja PT:n koneiden tuotannossa.



Tulovirran suurimmat ongelmat liittyvät rullavirran kuormitushuippuihin ja ARW:n hissien kapasiteettiin. Merkittävimmiä aiheuttaviksi ongelmiksi tutkimuksessa arvioitiin korkea SKU-määrä sekä epäkuranttien rullien suuret osuudet ARW:ssä. Tilakapasiteetin tehottoman hyödyntämisen taustalla on pääasiassa jumborullien puute sekä runsaasti tilaa vievien epäkuranttien rullien korkea osuus. Lähtövirran haasteisiin liittyvät ongelmat rekkakuljetuksessa sekä hissien tekniset ongelmat.

### **Yhteenveto kehitysehdotuksista**

ARW:n toimintaan liittyy edelleen ongelmia liittyen laitteiden luotettavuuteen ja kapasiteetin riittävyyteen. PT:n rekkakuljetus pitäisi saada varmaksi, jotta PT:n päällystyskoneiden tuotantokoneiden katkoilta voidaan välttyä jatkossa. Hissien huoltoalueen blokkiin tulee kehittää kestävä ratkaisu. Tällä hetkellä se aiheuttaa merkittävän tuotantokatkojen riskin kaikille tuotantokoneille.

Kehitysehdotuksissa on esitelty ideoita tulo- ja lähtövirran hallintaan, SKU-määrän pienentämiseen, epäkuranttien rullien määrien vähentämiseen sekä päivittäisen toiminnan seurannan kehittämiseen. Lisäksi kappaleessa on laskettu Excel-pohjaisen simulointimallin avulla, kuinka suuri osa rullista kultakin kartonkikoneelta tulisi olla jumborullia, jotta ARW:n tilakapasiteetti saadaan tehokkaasti hyödynnettyä siedettävällä kanavametrillä täyttöasteella. Tutkimuksessa tehdyt analyysit antavat arvion vaadittavista toimenpiteistä, joiden avulla ARW:lle asetetut päätavoitteet voidaan saavuttaa. Kehitysehdotuksissa esitettyjen toimenpiteiden tavoitteena on vähentää tai poistaa merkittävimpien ongelmien vaikutusta ja kehittää ARW:n toimintaa osana Imatran tehtaiden kokonaisuutta. Taulukossa 15 yhteenveto tutkimuksen kehitysehdotuksista.

Taulukko 15. Yhteenveto kehitysehdotuksista

<b>Tulovirran tehostaminen</b>	
<b>Ongelma</b>	<b>Kehitysehdotus</b>
Rullavirran kuormitushuiput Prime-ajon aikaan	Prime-ajon aikaan KA1- ja KA2 -koneilta kartonkirullia ilman jatkojalostusta.
	Ennakoitavien ARW:n hissien huoltojen ja toiminnan katkojen ajoittaminen Prime-ajon ulkopuolelle.
Kuljettimien täyttyminen	Sivuvirran mahdollistaminen lisäämällä väliaikaisvaraston pakkaamon kuljettimelle.
<b>Lähtövirran tehostaminen</b>	
<b>Ongelma</b>	<b>Kehitysehdotus</b>
Viiveet tiedonkulussa kuljetuspalvelun ja PT:n välillä	Toiminnan vastuiden selkeytys: kuljetuspalvelun tarjoajalle vastuu seurata lastauksen ja purkujen häiriöttömyyttä sekä häiriötilanteissa välittää tieto PT:lle viiveettä.
	Kuljetuspalvelulle vastuu seurata PT:n varastotasoa ja ajo-ohjelmia katkojen välttämiseksi.
Puutteelliset käyttömanuaalit ja ohjeistukset PT:illä	PT:lle käyttömanuaalit ARW:n toimintaan, lastaukseen ja purkuun liitetyen. Kuvaukset yleisimmistä ongelmatilanteista ja ratkaisukeinoista.
Hissien huoltoalueiden peittämät kanavat	Ennakoinnin kehittäminen automaattitoiminnon avulla.
	ARW:n järjestelylogiikoiden muuttaminen niin, että huoltoalueiden takana oleviin kanaviin varastoitaisiin ensisijaisesti epäkuranttia ja hitaasti kiertäviä rullia.
Hissien tekniset viat	Ennakoivan huollon tehostaminen tihentämällä säännöllisiä kriittisten osien tarkastuksia.
<b>Tilan tehokkaampi hyödyntäminen</b>	
<b>Ongelma</b>	<b>Kehitysehdotukset</b>
Tehottomasti hyödynnetty tilakapasiteetti	Jumborullien lisääminen tutkimuksessa esiteltyjen kehitysaskelien mukaisesti.
<b>Kuormituksen minimointi</b>	
<b>Ongelma</b>	<b>Kehitysehdotukset</b>
Korkea SKU-määrä	Tuotevariaatioiden harmonisointi pienen leveysvaihtelun omaavien tilausten osalta.
	Varasto- ja ennusteohjautuvamman tuotannon mahdollisuuden tarkastelu.
PE6-hylkyrullien suuret määrät	Hylkyrullien virran mahdollistaminen pois PE6-osastolta muuten kuin ARW:n kautta.
Ylijäämien suuret määrät	Ylijäämien nopeampi allokointi uusille tilauksilla tutkimuksessa määritellyn raportin avulla.

## **Johtopäätökset**

Haastatteluissa esille tulleet havainnot ovat hyvin linjassa kvantitatiivisten analyysien tuloksiin verrattaessa. Kvantitatiiviset analyysit osoittavat, että haastatteluissa ilmi tulleet ongelmat ovat todellisia.

ARW:n toimintaan vaikuttavat useat osastot tehtaalla, joten toiminnan tehostaminen jää herkästi osaoptimoinnin tasolle. ARW on keskeisessä roolissa tuotantoprosessien välissä ja sen vuoksi osaoptimoinnin sijaan kokonaisuus pitäisi saada toimimaan mahdollisimman hyvin. Yhden osaston optimoidessa omia prosessejaan se voi vaikuttaa toisen osaston toimintaan heikentävästi. Yhteisten toimintatapojen ja prosessien kehittäminen on suuressa roolissa.

ARW:n tuoma potentiaali on suuri. ARW toimii koko ajan paremmin osana tehtaan kokonaisuutta. Nykyiselläkin tehokkuudella saavutetaan merkittäviä hyötyjä tavoitelluilla osa-alueilla. Tutkimuksessa esille tuotuihin ongelmiin puuttamalla ja toimintaa kehittämällä ARW voi kuitenkin saavuttaa sille asetetut tavoitteet. Laskelmien perusteella koko PE-väli tuote pitäisi olla mahdollista varastoida kehitystoimenpiteiden jälkeen ARW:hen ja rullavirtoihin liittyvät kapasiteettivaatimukset eivät ole niin korkeat, etteikö niihin voitaisi sopeutua toimintatapoja ja prosesseja kehittämällä.

Jatkokehityskohteeksi suositellaan väli tuotteiden varasto-ohjautuvan tuotannonohjauksen mahdollisuuden tarkempaa analysointia. Varasto-ohjautuvalla tuotannolla voisi kehittää tehtaan kokonaistehokkuutta ja vaikuttaa positiivisesti moniin ARW:n tämän hetkisiin ongelmiin. Muutos tuotantostrategiaan ei onnistu osaoptimoimalla toimintoja, vaan se vaatii koko tehtaan toimintatapojen kehittämistä.

## LÄHTEET

- Akinc, U. & Meredith, J. 2015. Make-to-forecast: customization with fast delivery. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol 35 (5), s. 728-750
- Akiya, N. & Bikram, S. 2012. Selecting make-to-stock and postponement policies for different products in a chemical plant: A case study using discrete event simulation. *International Journal of Production Economics*. Vol 136 (1), s. 161-171
- Akkerman, R., van Kampen, T., & van Donk, D. 2011. SKU classification: a literature review and conceptual framework. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol 32 (7), s. 850-876
- Aminoff, A., Hyppönen, R. & Kettunen, O. 2004. Varastoiminnan seuranta ja mitaaminen. [verkkodokumentti]. VTT Tuotteet ja Tuotanto. Espoo. [Viitattu 12.9.2018]. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2004/TUO64-044044.pdf>
- Baker, P., Croucher, P. & Rushton, A. 2010. *The Handbook of Logistics & Distribution Management*. Kogan Page. London. 4. painos. 635 s.
- Chang, F., Liu, X., Xin, Z. & Liu, D. 2007. Research on Order Picking Optimization Problem of Automated Warehouse. *Systems Engineering – Theory & Practice*. Vol 27 (2), s. 139-143
- Cheng, E., Li, J., Wan, J. & Wang, S. 2010. *Postponement Strategies in Supply Chain Management*. Springer. 165 s.
- Hadj Youssef, K., van Delft C. & Dallery, Y. 2018. Priority Optimization and Make-to-stock/Make-to-order Decision in Multiproduct Manufacturing Systems. *International Transactions in Operational Research*. Vol 25 (4), s. 1199-1219
- Hamdan, A. & Rogers, K. 2004. Establishing and Tracking Performance Measures for Warehouse Logistics Operations. Julkaisussa: IIE Annual Conference. (DOI: 10.1016/S1366-5545(02)00019-4)

- Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. Infacs. Tampere. 498 s.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 1997. Tutki ja kirjoita. 13. painos. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu. 447 s.
- Holweg, M. & Pil, F. 2004. Linking Product Variety to Order-Fulfillment Strategies. *Interfaces*. Vol 34 (5), s. 394-403
- Jayaswal, S. & E.M. Jewkes. 2016. Price and lead time differentiation, capacity strategy and market competition. *International Journal of Production Research*. Vol. 54 (9), s. 2791-2806
- Ji, J., Qi, L. & Gu, Q. 2007. Study on CODP Position of Process Industry Implemented Mass Customization. *Systems Engineering – Theory & Practice*. Vol 27 (12), s. 151-157
- Johnson, A. & McGinnis, L. 2010. Performance Measurement in the Warehousing Industry. *IIE Transactions*. Vol. 43 (3), s. 220-230
- Karrus, K. 2003. Logistiikka. 3-4. painos. WS Bookwell Oy. Juva. 419 s.
- Knowpap. 2011. [Tietokoneohjelma]. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. VTT Tuotteet ja tuotanto. Prowledge Oy.
- Lam, C., Choy, K. & Chung, S. 2010. Framework to measure the performance of warehouse operations efficiency. Julkaisussa: Industrial Informatics (INDIN). 8th IEEE International Conference on Industrial Informatics. 13-16.7.2010. s. 643-639 ISSN 1935-4576 (DOI: 10.1109/INDIN.2010.5549667)
- Logistiikan maailma. 2018. [www-sivut]. [viitattu 8.10.2018]. Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/>
- Lödning, H., Riedel, R., Thoben, K. von Cieminski, G. & Kiritsis, D. 2017. Advances in Production Management Systems. Springer. 519 s.

- Martin, C. 2011. *Logistics & Supply Chain Management*. Pearson Education Limited. 4. painos. 276 s.
- Martinsuo, M., Mäkinen, S., Suomala, P. & Lyly-Yrjänäinen, J. 2016. *Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa*. Edita Publishing. Helsinki. 342 s.
- Millstein, M., Yang, L. & Li, H. 2014. Optimizing ABC inventory grouping decisions. *International Journal of Production Economics*. Vol 148, s. 71-80
- Olhager, J. 2010. The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. *Computers in Industry*. Vol 61 (9), s. 863-868
- Richards, G. & Grinsted, S. 2016. *The Logistics and Supply Chain Toolkit – Over 100 Tools and Guides for Supply Chain, Transport, Warehousing and Inventory Management*. Kogan Page. London. 2. painos. 380 s.
- Richards, G. 2014. *Warehouse Management – A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*. Kogan Page. London. 417 s.
- Ritvanen, V., Inkiläinen, A., Von Bell, A. & Santala, J. 2011. *Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet*. Saarijärven Offset Oy. Saarijärvi. 252 s.
- Sakki, J. 2009. *Tilaus- toimitusketjun hallinta*. Hakapaino Oy. Helsinki. 221 s.
- Sakki, J. 1999. *Logistinen prosessi*. Jouni Sakki Oy. Espoo. 237 s.
- Skipworth, H. & Harrison, A. 2007. Implications of Form Postponement to Manufacturing a Customized Product. *International Journal of Production Research*. Vol 44 (8), s. 1627-1652
- Stadtler, H., Kilger, C. & Meyr, H. 2015. *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer. Berlin. 5. painos. 557 s.
- Staudt, F., Alpan, G., Di Mascolo, M. & Rodriguez, T. 2015. Warehouse performance measurement: a literature review. *International Journal of Production Research*. Vol 53 (18), s. 5524-5544

- Stora Enso. 2017. Vuosikertomus. [www-sivut]. [viitattu 21.8.2018]. Saatavissa: <<http://www.storaenso.com/lang/finland/Pages/press-and-media.aspx>>
- Stora Enso. 2018a. Imatran tehtaat. [www-sivut]. [viitattu 24.8.2018]. Saatavissa: <<http://renewablepackaging.storaenso.com/about-us/mills/imatra-mill/finnish>>
- Stora Enso. 2018b. Stora Enso We Share. [Imatran tehtaat esitysaineisto]. [viitattu 24.8.2018]. Saatavissa: <<https://imatra-mills.weshare.storaenso.com/avaintiedot/esitysaineisto/Documents/Imatran%20tehtaat2018.pdf>>
- Tikka, J. 2016. Logistiikan perusteet. Books on Demand. 108 s.
- Wan Lung, NG. 2005. A simple classifier for multiple criteria ABC analysis. *European Journal of Operational Research*. Vol 177 (1), s. 344-353
- Wang, Q., McIntosh, R. & Brain, M. 2010. A New-generation Automated Warehousing Capability. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Vol 23 (6), s. 565-573
- Waters, D. 2009. Supply Chain Management - An Introduction to Logistics. Palgrave MacMillan. England. 2. painos. 511 s.
- Wong, H., Wikner, J. & Naim, M. 2009. Analysis of Form Postponement Based on Optimal Positioning of the Differentiation Point and Stocking Decisions. *International Journal of Production Research*. Vol 47 (5), s. 1201-1224
- Ying, L. & Peng, J. 2013. Production planning with postponement strategy based on classification of product differentiations. *Journal of Software*. Vol. 8 (9), s. 2253-2261

## **LIITTEET**

Liite 1: Nykytila-analyysin haastattelut: Haastattelurunko

### **Taustatiedot:**

Haastateltavan nimi?

Yritys ja titteli?

Saako haastattelun tietoja käyttää tutkimuksessa?

### **Teema 1: yleiset kysymykset**

1. Minkälaisessa roolissa olet ollut ARW- ja PECCA- projektissa?
2. Miten ARW:n toiminta näkyy päivittäisessä työkuvassasi?
3. Kuinka hyvin ARW toimii tällä hetkellä mielestäsi suhteutettuna siihen, miten sen pitäisi toimia?
4. Mitkä ovat suurimmat ARW:n tuomat hyödyt tällä hetkellä? Minkälaisia hyötyjä voisi olla vielä saatavissa ARW:n tehokkaammalla toiminnalla?

### **Teema 2: nykytilanne ja ongelmat**

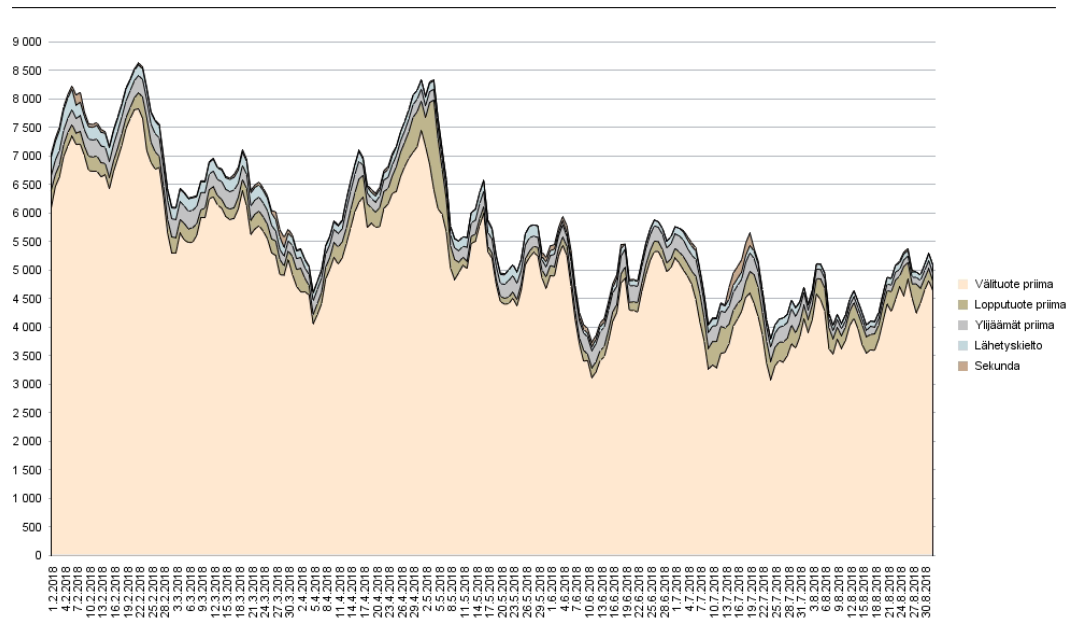
1. Miten kuvailisit ARW:n toimivuutta osana tehtaan kokonaisuutta tällä hetkellä?
2. Mitkä ovat mielestäsi ARW:n suurimmat ongelmat tällä hetkellä?
3. Kuinka usein ARW:ssä tapahtuu tehokkuutta vähentäviä virhetilanteita?
4. Aiheuttaako jokin tietty ARW:n toiminnan reunaehto pullonkaloja toimintaan?

### **Teema 3: ennalta tiedettyjen haasteiden analysointi (tarkoitus kartoittaa kaikki taustatekijät ongelmien taustalla)**

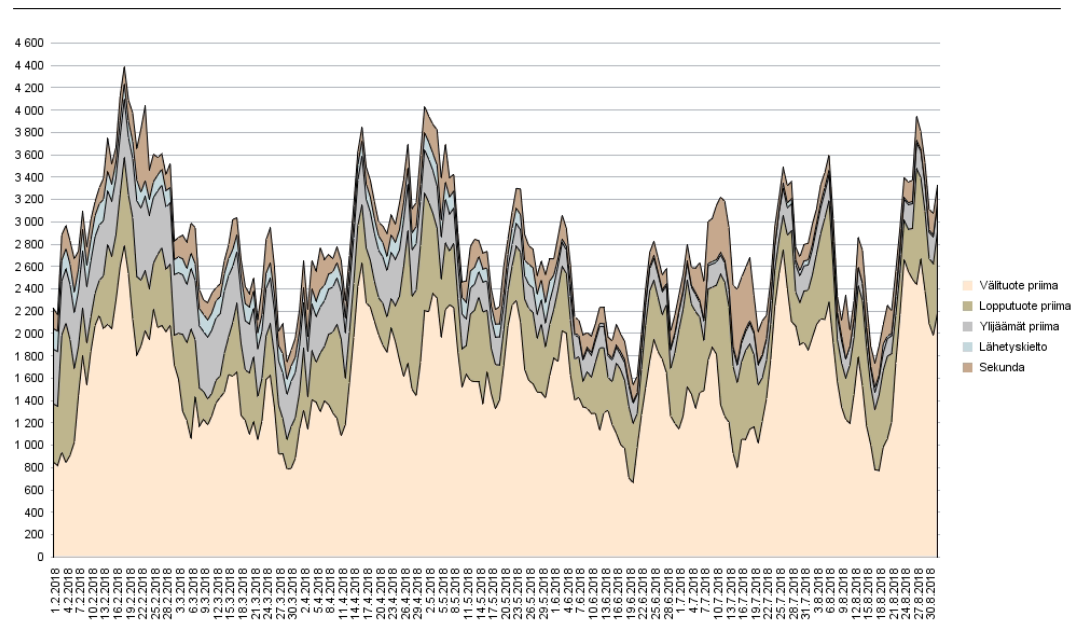
1. Mitkä kaikki tekijät ovat mielestäsi esteenä, että kapasiteettia ei saada täysin käytettyä? Eli varastoon ei saada riittävästi rullia?
2. Tilausrivien pitkät lead timet.  
Minkä näät ongelmana tämän taustalla?  
Miltä koneelta tulevat raaka-aineet liikkuvat erityisen hitaasti?
3. Stock Keeping Unittien määrät suuret ARW:ssä.  
Minkä koet aiheuttavan suuret SKU-määrät?



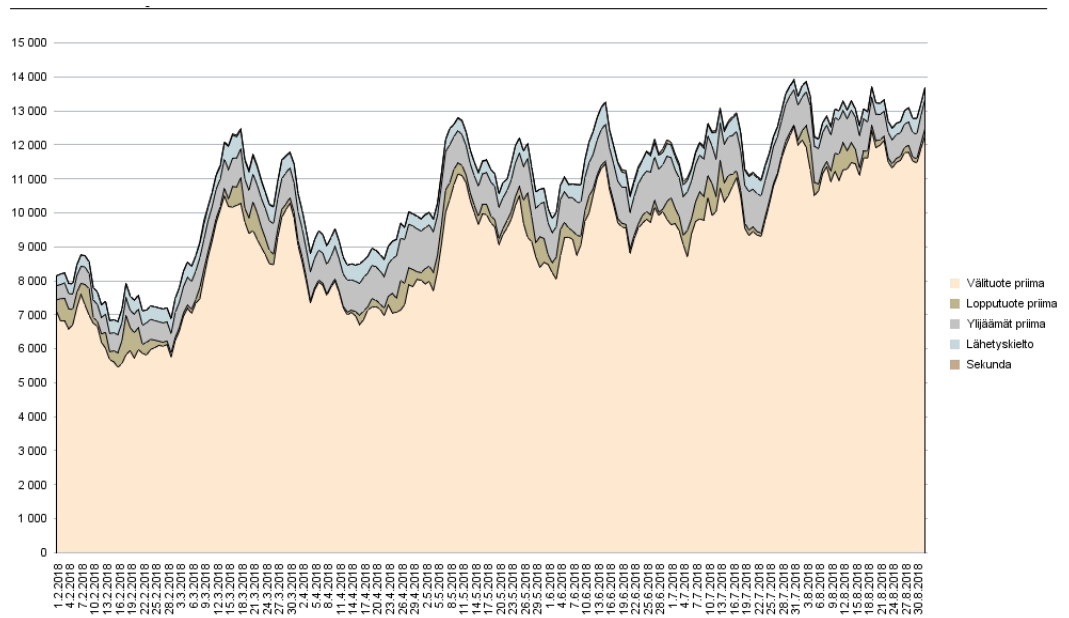
Liite 2: Tuotevarastojen trendi 1.2.2018 - 1.9.2018, KAA-varasto, KA1-konelinja



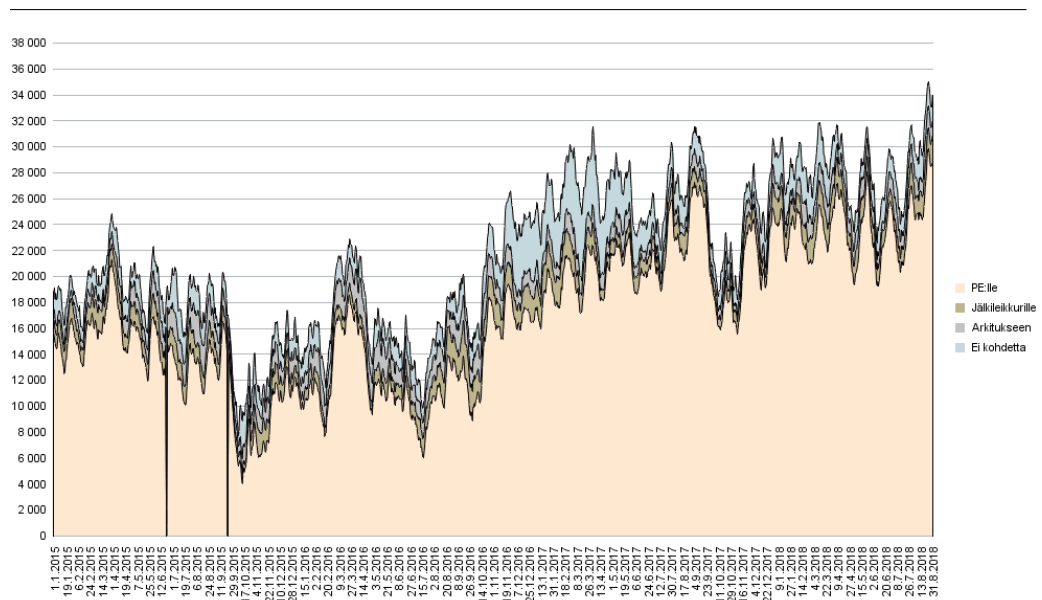
Liite 3: Tuotevarastojen trendi 1.2.2018 - 1.9.2018, KAA-varasto, KA2-konelinja



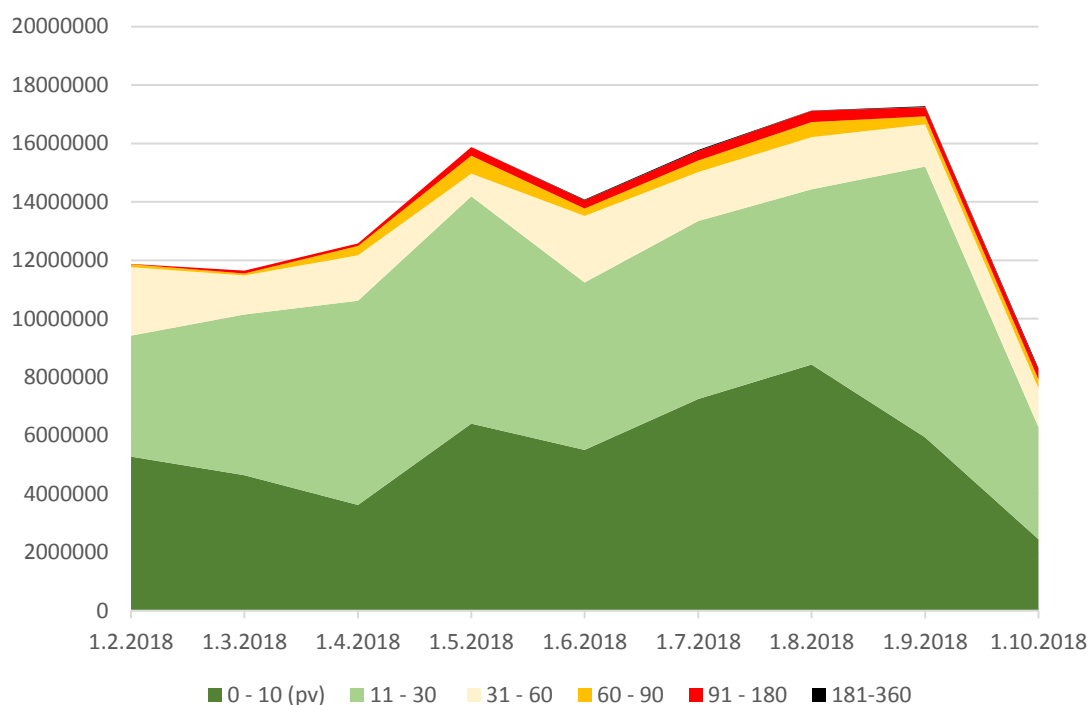
Liite 4: Tuotevarastojen trendi 1.2.2018 - 1.9.2018, KAA-varasto, KA4-konelinja



Liite 5: Välituotevarastojen trendi 1.1.2015 - 1.9.2018, kaikki varastot



Liite 6. ARW:n sisällön ikäjakaumat tarkastelujaksolla 1.2.2018 - 1.10.2018



Liite 7. ABC-XYZ -analyysin taustadataa

Luokka	Volyyymi (t)	Volyyymi (%)	Lajivariaatioiden osuudet (%)	Lajivariaatioiden osuudet (kpl)
<b>AX</b>	66 577 t	43 %	6,6 %	39 kpl
<b>AY</b>	9 141 t	6 %	1,4 %	8 kpl
<b>AZ</b>	1 410 t	1 %	0,2 %	1 kpl
<b>BX</b>	22 721 t	15 %	7,1 %	42
<b>BY</b>	20 402 t	13 %	7,3 %	43 kpl
<b>BZ</b>	2 817 t	2 %	1,2 %	7 kpl
<b>CX</b>	1 239 t	1 %	0,8 %	5 kpl
<b>CY</b>	12 756 t	8 %	13,9 %	82 kpl
<b>CZ</b>	16 515 t	11 %	51,5 %	305 kpl
<b>Yhteensä</b>	153 581 t	A: 50 % B: 30 % C: 20 %	A: 8 % B: 16 % C: 76 %	

Liite 8. ARW:n häiriökoodien selvennykset

<b>Error code</b>	<b>Häiriöiden lukumäärä</b>	<b>Häiriön kuvaus</b>
302	561	TR-vaunu: vaunu ajanut liian pitkälle kanavassa
310	382	Tarkkuuspaikoitusvirhe: kamera ei löytänyt peiliä kuvanottotilanteessa
303	260	Rullan mittausvirhe: mitatut rullan leveydet ei täsmää WMS:n leveyksiin.
313	217	Tarkkuuspaikoitusvirhe: kuvan ottaminen ei onnistunut 2 minuutin aikana.
327	213	TR-vaunu: väärä rullan leveys
138	209	TR-vaunu: rajakytkinvirhe, toinen valokenno haarukoiden päässä ei ole vapaa
25	154	ARW:n hissikäytävän turvapiiri ei ole OK
150	126	TR-vaunu: anturi ei näe rullan olevan kyydissä
80	118	Y-liike: jarrun toimintahäiriö, kunto tarkastettava
38	102	X/Y osoite ei ole OK TR-vaunun ajon aikana
155	94	TR-vaunu: sortterin osaotto-tehtävä epäonnistunut
90	59	Kääntöpöytä: käyntiaika ylitetty, liikettä ei ole ajettu loppuun määräajassa
200	58	Semiauto-tehtävä keskeytetty
132	52	TR-vaunu: asema liian on liian suuri/pieni tai laser on tippunut peililtä
306	51	Hissin otto-tehtävä epäonnistunut

Liite 9. Jumborulla- ja simulointilaskelmien tausta-arvot

<b>Taustaoletuksia:</b>		
Nettokapasiteetti (kg)		27111000
Kanavien määrä		982
Rullien leveydet (mm)	Alle 7000 kg:n rullat	
	KA1	2200
	KA2	2200
	KA4	2200
	Yli 7000 kg:n rullat	
	KA1	2500
	KA2	2500
	KA4	2500
	Lopputuotteet (PE6)	1000
Rullien massat (kg)	Alle 7000 kg:n rullat	
	KA1	2 600
	KA2	2 570
	KA4	2 800
	Yli 7000 kg:n rullat	
	KA1	7000
	KA2	Ei ajeta
	KA4	7500
	Lopputuotteet (PE6)	725
ARW:n kanavametrit laskennassa (mm)		17000000