

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2018

Miikka Ailama

PAKKAUSLINJAN TEHOKKUUDEN JA KÄYNTIASTEEN KEHITTÄMINEN


TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Miikka Ailama

PAKKAUSLINJAN TEHOKKUUDEN JA KÄYNTIASTEEN KEHITTÄMINEN

Tämä opinnäytetyö käsittelee pakkauslinjan tehokkuutta ja käyntiastetta. Työn tutkimuskohteena on suuren elintarvikealan yrityksen pakkauslinja. Opinnäytetyön tutkimusongelmana on, miten pakkauslinjan tehokkuutta ja käyntiastetta voidaan kehittää. Työn tarkoituksena on määrittää pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntiasteen nykytilanne ja esittää tutkimustulosten perusteella toiminnallisia ja teknillisiä ratkaisuja pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntiasteen parantamiseksi.

Opinnäytetyön ensimmäisessä teoriaosuudessa käsitellään tuotantolinjan tehokkuuteen keskeisesti liittyviä osa-alueita. Työssä tarkastellaan käsitteitä tuotanto ja valmistus, tehokkuus ja tuottavuus sekä käyntiaste ja käyttöaste. Teoriaosuudessa käsitellään lisäksi tuotannon kokonaistehokkuutta kuvaavaa KNL-lukua, tuotannon hävikkejä sekä henkilöstön ja valittujen työmenetelmien vaikutusta tuottavuuteen.

Työn toisessa teoriaosuudessa esitellään tiedonhankintamenetelmiä, joita tässä työssä käytetään pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntiasteen tutkimiseen ja mittaamiseen. Työssä tarkastellaan prosessin mallintamista, tuotannon seurantarjestelmiä sekä työajan jakautumista kuvaavaa ajankäyttötutkimusta. Työssä esitellään lisäksi case-tutkimukselle tyypillisiä tutkimusmenetelmiä, avoimia haastatteluja sekä havainnointia. Tietolähteinä on käytetty aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja muita julkaisuja.

Työn empiirisessä osuudessa esitellään aluksi tutkimuksen kohteena oleva pakkauslinja ja kuvataan sen tuotteenvalmistusprosessia. Seuraavaksi tarkastellaan kohdeyrityksen tuotannon seurantarjestelmää ja esitellään siitä saatujen tietojen perusteella tehtyjä analyyseistä. Tutkimuksessa tarkasteltiin pakkauslinjan kokonaisajan ja häiriöiden jakautumista ja suoritettua ajankäyttötutkimuksen perusteella laadittuja kokonaistehokkuutta kuvaavia tunnuslukuja. Seuraavaksi keskityttiin ajoeräkohtaisiin KNL-lukuihin sekä tuotteiden vaihtoihin käytetyn ajan perusteella laadittuihin kyvykkyyseraportteihin. Tutkimuksessa tarkasteltiin lisäksi pakkauslinjan käyttöhyödykkeiden kulutusta ja niiden kokonaiskustannuksia ja esiteltiin pakkauslinjan henkilöstön kanssa käytetyjä keskusteluja sekä linjan toimintaan liittyviä tutkijan omia havaintoja.

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että yhteistauoilla on suuri vaikutus pakkauslinjan aikahäviöön ja sitä kautta linjan kokonaistehokkuuteen. Tehokkuuden parantaminen edellyttää myös useimmiten ilmenevien häiriötekijöiden eliminoimista. Operaattorit kokivat lisäksi myös tarvitsevänsä lisäkoulutusta eniten häiriöitä aiheuttavien koneiden käyttöön. Pakkauslinjan ratkapasiteetin kasvattaminen ja ratojen nykyistä parempi hyödyntäminen sekä tuotantokoneiden ajonopeuksien säätely vaikuttavat linjan kokonaistehokkuuteen ja käyntiasteeseen. Pakkauslinjan energiatehokkuuden parantamiseksi on syytä kiinnittää huomioita käyttöhyödykkeiden kulutukseen erityisesti silloin, kun linja on miehittämätön.

ASIASANAT:

Tuotanto, Tuotantolinja, Tehokkuus, Käyntiaste, Hävikit, KNL

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | Energy and Combustion Engine Technology

Spring 2018 | 96 pages, 10 pages in appendices

Miikka Ailama

IMPROVING THE EFFICIENCY AND OPERATING RATE OF A PACKAGING LINE

This thesis deals with the efficiency and the operating rate of a packaging line. The study was conducted in cooperation with a large food processing company. The aim of this thesis is to identify the current situation of effectivity and operating rate of the packaging line and bring out functional as well as technical improvement ideas based on the found defects.

The theoretical background of the study is divided into two parts. The first part introduces basic concepts of effectiveness such as production and manufacturing, productivity and efficiency. Furthermore, the first theoretical part describes the Overall Equipment Effectiveness score (OEE) of production that is commonly used to measure manufacturing productivity. Such issues as production losses and the impact of human resources on productivity of manufacturing are also presented.

The second theoretical section of the study focuses mainly on acquisition of information which are generally used to measure and explore the productivity in order to improve manufacturing processes. Sources include literature and other publications related to the topic.

In the empirical part of the thesis, the focus was on the production monitoring system presented in the company. Different analyses based on the monitoring system information were explored. The study investigated among other things the overall processing time and causes of production losses as well as the process efficiency indicators created based on the time used for production. Various process capability reports composed of change-over time between products were also performed. Additionally, the consumption of utilities needed for production was calculated and explored. The data obtained by the writer's observation and open interviews held with the operators was also examined.

Based on the results of this study, it seems that breaks held simultaneously cause time loss and through that have large impact on overall effectiveness. It is also important to eliminate all those interferences occurred commonly and provide more training for efficient operation. The study results also point out that by modifying belt conveyor capacity and machine operating speed the production line will operate more efficient. In order to improve the energy efficiency, it is recommended to pay attention to the consumption of utilities with total costs especially when the line is unoccupied.

KEYWORDS:

Production, Production line, Efficiency, Operating rate, Losses, OEE

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	8
1.1 Opinnäytetyön tausta	8
1.2 Työn rajaus ja tutkimusote	10
1.3 Työn tavoitteet ja tutkimusongelma	11
1.4 Tutkimusmenetelmä	12
1.5 Työn rakenne	13
2 TUOTANTOLINJAN TEHOKKUUS	15
2.1 Tuotanto ja valmistus	15
2.1.1 Sarjatuotanto	16
2.1.2 Linjavalmistus	17
2.1.3 Layout	18
2.2 Tehokkuus ja tuottavuus	19
2.3 Käyntiaste ja käyttöaste	21
2.4 Tuotannon hävikit	22
2.5 Henkilöstö ja työmenetelmät	22
3 TIEDONHANKINTAMENETELMÄT	25
3.1 Prosessin mallintaminen	25
3.2 KNL-luku tuotannon tehokkuuden mittarina	26
3.3 Tuotannon kokonaistehokkuuden laskenta	30
3.4 Tuotannon seurantajärjestelmätutkimus	31
3.5 Ajankäyttötutkimus	33
3.6 Avoin haastattelu ja havainnointi	35
4 PAKKAUSLINJAN TEHOKKUUDEN JA KÄYNTIASTEEN KEHITTÄMINEN KOHDEYRITYKSESSÄ	37
4.1 Prosessikuvaus	38
4.1.1 Ratakapasiteetit	40
4.1.2 Tuotantokoneiden maksiminopeudet ja V-käyrä	42
4.2 Kohdeyrityksen pakkaamon tuotannon seurantaseurantajärjestelmä	43
4.3 Pakkauslinjan kokonaisajan tarkastelu	45
4.3.1 Pakkauslinjan kokonaisajan jakautuminen	45
4.3.2 Miehitetyn ajan jakautuminen ja pakkauslinjan käyntiaste	47

4.4 Häiriöiden jakautuminen	52
4.4.1 Häiriöiden jakautuminen jaksokohtaisesti	53
4.4.2 Häiriöiden jakautuminen tuoteperhekohtaisesti	56
4.5 Ajankäyttötutkimukset	62
4.5.1 Pakkauspesukone	63
4.5.2 Täyttökone	64
4.5.3 Etikettikone	65
4.5.4 Ajankäyttötutkimusten KNL	66
4.6 Ajoerien KNL	68
4.7 Tuotevaihdot	73
4.8 Pakkauslinjan käyttöhyödykkeiden kulutuksen mittaus	77
4.8.1 Sähkönkulutus	77
4.8.2 Vedenkulutus	78
4.8.3 Höyryn kulutus	79
4.8.4 Paineilman kulutus	82
4.8.5 Käyttöhyödykkeiden kokonaiskustannukset	85
4.9 Avoimet haastattelut ja yleinen havainnointi	86
4.10 Kehitysmahdollisuudet	88
4.10.1 Toiminnalliset kehitysmahdollisuudet	89
4.10.2 Teknilliset kehitysmahdollisuudet	90
5 YHTEENVETO	93
LÄHTEET	95

LIITTEET

- Liite 1. Pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen tutkimuspöytäkirja.
Liite 2. Täyttökoneen ajankäyttötutkimuksen tutkimuspöytäkirja.
Liite 3. Etikettikoneen ajankäyttötutkimuksen tutkimuspöytäkirja.
Liite 4. Ajankäyttötutkimusten tarkemman KNL-laskennat.
Liite 5. Vedenkulutuksen kuvaaja 18.4.2018–18.5.2018 - Honeywell Uniformance PHD.
Liite 6. Höyrymittari 1:n mittaama höyryn massavirta 25.3.2018–22.4.2018 - Honeywell Experion PMD.
Liite 7. Höyrymittari 2:n mittaama höyryn massavirta 24.3.2018–20.4.2018 - Honeywell Experion PMD.
Liite 8. Paineilman kulutus pakkauslinjalla 4.4.2018–25.4.2018 - Honeywell Experion PMD.

Liite 9. Lähikuva paineilman kulutuksesta pakkauslinjalla 16.4.2018–20.4.2018 - Honeywell Experion PMD.

KAAVAT

Kaava 1. Käyntiaste (PSK 6201 2011, 4).	21
Kaava 2. Käyttöaste (PSK 6201 2011, 4).	21
Kaava 3. Tuotannon kokonaistehokkuus (Mikkonen 2009, 82).	30
Kaava 4. Käytettävyyserroin (Mikkonen 2009, 82).	30
Kaava 5. Nopeuserroin (Mikkonen 2009, 82).	30
Kaava 6. Laatueroin (Mikkonen 2009, 82).	31
Kaava 7. Höyryn sisältämä energia.	81

KUVIOT

Kuvio 1. Tapaustutkimuksen vaiheet (Kananen 2013, 54).	11
Kuvio 2. Työn rakenne.	13
Kuvio 3. Esimerkki tuotantolinjan V-käyrästä (OptimumFX Consulting 2014, 4).	18
Kuvio 4. Tuotantolinjalayout (Haverila ym. 2009, 476).	19
Kuvio 5. Prosessikuvausten keskeiset merkintätavat (Martinsuo & Blomqvist 2010, 11).	26
Kuvio 6. TPM:n hävikkien ja KNL-laskennan välinen yhteys (Mikkonen 2009, 81).	28
Kuvio 7. Esimerkki prosessin kyvykkyysraportista.	32
Kuvio 8. Esimerkki pareto-diagrammista.	34
Kuvio 9. Tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan prosessikuvaus.	38
Kuvio 10. Tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan tuotantonopeudet ja ratakapasiteetit.	40
Kuvio 11. V-käyrä tuoteperheet 1 ja 2.	43
Kuvio 12. V-käyrä tuoteperheet 3 ja 4.	43
Kuvio 13. Pakkauslinjan kokonaisajan jakautuminen ensimmäisellä jaksolla.	46
Kuvio 14. Pakkauslinjan kokonaisajan jakautuminen toisella jaksolla.	46
Kuvio 15. Pakkauslinjan miehitetyn ajan jakautuminen ensimmäisellä jaksolla.	49
Kuvio 16. Pakkauslinjan miehitetyn ajan jakautuminen toisella jaksolla.	50
Kuvio 17. Ensimmäisen jakson häiriöiden jakautumisen pareto-diagrammi.	54
Kuvio 18. Toisen jakson häiriöiden jakautumisen pareto-diagrammi.	55
Kuvio 19. Tuoteperheen 1 tuotannon aikaiset häiriöt ensimmäisellä jaksolla.	56
Kuvio 20. Tuoteperheen 1 tuotannon aikaiset häiriöt toisella jaksolla.	57
Kuvio 21. Tuoteperheen 2 tuotannon aikaiset häiriöt ensimmäisellä jaksolla.	58
Kuvio 22. Tuoteperheen 2 tuotannon aikaiset häiriöt toisella jaksolla.	58
Kuvio 23. Tuoteperheen 3 tuotannon aikaiset häiriöt ensimmäisellä jaksolla.	59
Kuvio 24. Tuoteperheen 3 tuotannon aikaiset häiriöt toisella jaksolla.	60
Kuvio 25. Tuoteperheen 4 tuotannon aikaiset häiriöt ensimmäisellä jaksolla.	61
Kuvio 26. Tuoteperheen 4 tuotannon aikaiset häiriöt toisella jaksolla.	61
Kuvio 27. Pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen aikahäviöiden pareto-diagrammi.	63
Kuvio 28. Täyttökoneen ajankäyttötutkimuksen aikahäviöiden pareto-diagrammi.	64

Kuvio 29. Etikettikoneen ajankäyttötutkimuksen aikahäviöiden pareto-diagrammi.	65
Kuvio 30. Tuoteperheen 1 ajoeräkohtaiset KNL-arvot.	69
Kuvio 31. Tuoteperheen 2 ajoeräkohtaiset KNL-arvot.	70
Kuvio 32. Tuoteperheen 3 ajoeräkohtaiset KNL-arvot.	71
Kuvio 33. Tuoteperheen 4 ajoeräkohtaiset KNL-arvot.	72
Kuvio 34. Ensimmäisen vaihtotyypin prosessin kyvykkyyseraportti.	74
Kuvio 35. Toisen vaihtotyypin prosessin kyvykkyyseraportti.	75
Kuvio 36. Kolmannen vaihtotyypin prosessin kyvykkyyseraportti.	76

TAULUKOT

Taulukko 1. Ensimmäisen jakson tehokkaan tuotantoajan jakautuminen.	50
Taulukko 2. Toisen jakson tehokkaan tuotantoajan jakautuminen.	51
Taulukko 3. Pääkomponenttiryhmät.	53
Taulukko 4. Ajankäyttötutkimusten KNL-laskennan tulokset.	67
Taulukko 5. Tuoteperheen 1 KNL-laskennan jaksokohtaiset keskiarvot.	70
Taulukko 6. Tuoteperheen 2 KNL-laskennan jaksokohtaiset keskiarvot.	71
Taulukko 7. Tuoteperheen 3 KNL-laskennan jaksokohtaiset keskiarvot.	72
Taulukko 8. Tuoteperheen 4 KNL-laskennan jaksokohtaiset keskiarvot.	73
Taulukko 9. Pakkauslinjan sähkönkulutus.	78
Taulukko 10. Pakkauslinjan vedenkulutus.	79
Taulukko 11. Pakkauslinjan höyryn kulutus.	80
Taulukko 12. Paineilmakompressorien tekniset tiedot.	83
Taulukko 13. Pakkauslinjan paineilman kulutus.	84
Taulukko 14. Paineilman vuotomääriä ja kustannuksia arvioiva taulukko (Motiva 2017).	85
Taulukko 15. Käyttöhyödykkeiden kokonaiskulutuksen kustannukset.	85

1 JOHDANTO

Muutokset yritysten toimintaympäristöissä ja alati kiristyvä kilpailutilanne ovat johtaneet yritykset etsimään keinoja, joilla parantaa omaa tuottavuuttaan. Tuottavuudella tarkoitetaan tuotettujen palvelujen ja käytettyjen panosten välistä suhdetta (ks. luku 2.2). Yrityksen tuottavuus ja koko tuotantoprosessin toimintavarmuus riippuvat tuotantoprosessin teknisestä toteutuksesta ja siinä käytetyistä työmenetelmistä. Tehokkaat, tarkoitukseen soveltuvat ja hyvin suunnitellut työmenetelmät takaavat, että tuote voidaan valmistaa edullisesti, laadukkaasti ja nopeasti. Käytettävissä olevien resurssien kohdentaminen oikeanlaiseen tekemiseen ja resurssien korkea käyttöaste lisäävät tuotantoprosessien toimintavarmuutta ja täten parantavat koko prosessin tehokkuutta. (ks. luku 2.)

1.1 Opinnäytetyön tausta

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli suuri elintarvikealan yritys. Kohdeyritys työllistää Suomessa suoraan useita satoja ihmisiä eri paikkakunnilla ja välillisesti työllistyviä on useita tuhansia. Tuotantolaitos, jossa tutkimus toteutetaan, toimii kolmessa vuorossa. Työtä tehdään arkipäivisin, sesonkiaikoina ja viikonloppuisin. Kohdeyrityksen tuotantovolyymit vaihtelevat vuodenaikojen mukaan ja henkilöstötarve kasvaa kausivaihteluiden myötä. Tuleva sesonki tarjoaa myös minulle mahdollisuuden työskennellä tämän tutkimuksen kohteena olevan pakkauslinjan kunnossapidon piirissä. Näin ollen pystyn hyödyntämään tutkimustuloksina saatua tietoa omassa käytännön työssäni.

Elintarviketeollisuus on Suomen neljänneksi suurin teollisuudenala. Alan liikevaihto on 11,2 miljardia euroa, ja se on Suomen suurin kulutustavaroiden valmistaja. Elintarviketeollisuuden yrityksiä toimii Suomessa useilla eri paikkakunnilla työllistäen noin 38 000 henkilöä 1 700 toimipaikassa. (Elintarviketeollisuusliitto ry 2018.)

Suomen elintarviketeollisuuden käyttämistä raaka-aineista 82 % tulee kotimaasta. Ruokien ja juomien alkuperä ja jäljitettävyyys on osa vastuullista liiketoimintaa. Puhtaat ja ravinnerikkaat viljat ja kasvikset, terveet tuotantoeläimet sekä Suomen puhdas vesi ja ilma takaavat laadukkaat lopputuotteet kuluttajille ja tukevat samalla kuluttajien hyvinvointia. (Elintarviketeollisuusliitto ry 2018.)

Kotimaisen kysynnän lisäksi elintarvikeala hakee kasvua myös ulkomailta. Puhtaasta luonnosta peräisin olevien raaka-aineiden lisäksi maailmalla arvostetaan suomalaista korkeaa ravitsemuksellista osaamista ja hygieniatasoa. Suomen vientivalttina onkin elintarviketurvallisuus. Suomalaisia elintarvikkeita vietiin vuonna 2016 yli 1,5 miljardilla eurolla erityisesti Ruotsiin, Viroon ja Venäjälle. Kuluvan vuoden vientiennuste on yli 1,7 miljardia euroa. Tärkeimpiä vientituotteita ovat alkoholijuomat, meijerituotteet sekä soakerikemian tuotteet. Elintarvikeviennin kasvattaminen on yksi hallituksen kärkihankkeista. Alan tavoitteena on kaksinkertaistaa Suomen elintarvikevienti vuoteen 2020 mennessä. (Elintarviketeollisuusliitto ry 2018; Yleisradio Oy 2018.)

Tutkimus suoritetaan kohdeyrityksen suuressa sarjatuotantolaitoksessa, jossa tuotteet jalostetaan eri prosessien kautta raaka-aineista ja puolivalmisteista valmiiksi tuotteiksi. Yksi valmistusprosessin osa on pakkaamo, jossa useiden suurien tuotantolinjojen avulla eri raaka-aineista ja puolivalmisteista valmistettuja tuotteita pakataan asiakkaiden toiveiden mukaisesti valmiiksi myyntiyksiköiksi ja tuotelavoiksi. Tuotantolaitoksen pakkamossa on omat tuotantolinjat eri tuoteperheille. Eri tuoteperheiden tuotantolinjat pakkaavat tuotteet eri muotoisiin, kokoiisiin ja eri materiaaleista valmistettuihin pakkauksiin. Tuotantolinjat ovat korkeasti automatisoituja, ja niissä hyödynnetään vahvasti nykytekniikkaa. Linjojen korkea teollinen automaatio mahdollistaa suurien tuotantoerien valmistuksen.

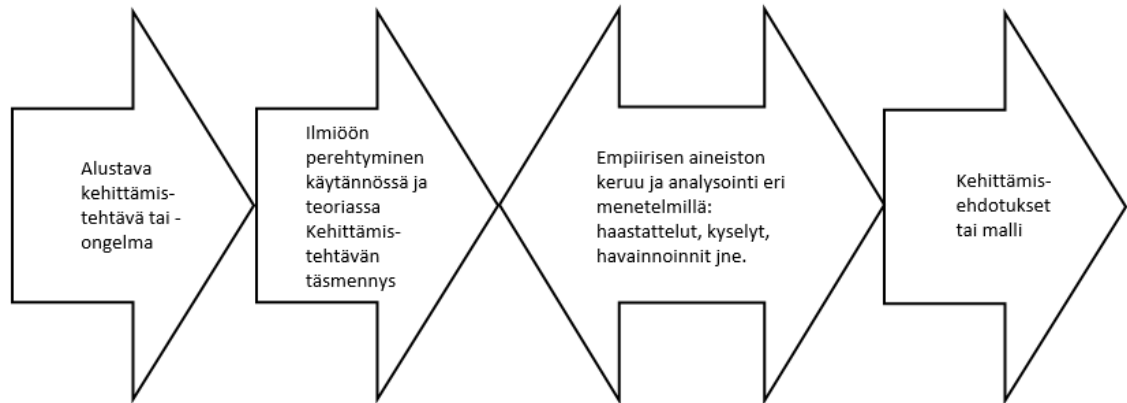
Hyvinvoinnin vaaliminen on trendikästä. Uusi suuntaus kasvattaa suosiotaan ja näkyy myös elintarvikkeiden kulutustottumuksissa. Lisäksi alan lainsäädännössä tapahtuneet muutokset ja yleisesti lisääntynyt ympäristövastuullisuus vaikuttavat kuluttajien ostokäyttäytymiseen. Pysyäkseen mukana kilpailussa yritykset pyrkivät vastaamaan kuluttajien muuttuviin tarpeisiin muun muassa lisäämällä tuotevalikoimaansa. Tutkimuskohteena oleva tuotantolaitos on myös kasvattanut linjoilla valmistettavien nimikkeidensä määrää. Kerralla valmistettavien tuotteiden määrät ovat samalla laskeneet. Tuotantonimikkeiden määrän kasvu ja kerralla valmistettavien tuotemäärien aleneminen on johtanut ajoerien tehokkuuden laskuun, koska pitkät ajoerät ovat vähentyneet. Pienten ajoerien ajaminen on vähemmän kannattavaa johtuen pitkistä asetusajoista eli koneiden uudelleensäätämiseen varatusta ajasta tuotteen ja pakkaustyyppin muuttuessa. Tutkimuksen kohteena olevan pakkauslinjan tuotevalikoiman kasvu on lisännyt myös tuotannon häiriöiden määrää. Lisäksi tuotevaihtojen välissä suoritettavat tuotantolaitteiden automaattiset puhdistusprosessit lisäävät linjojen seisonta-aikaa.

1.2 Työn rajausta ja tutkimusote

Tutkimusongelman laajaa lähestymistapaa kutsutaan tutkimusotteeksi. Tutkimusote sisältää tutkimuksessa käytetyt aineistonkeruumenetelmät ja tiedon analysointi- ja tulkitamiset. Tutkimukset voidaan jakaa kahteen eri suuntaukseen perustuen niiden lähestymistapaan. Tutkimus voi olla joko kvantitatiivinen eli määrällinen tai kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Nämä kaksi suuntausta täydentävät usein toisiaan ja siksi niitä on vaikea erottaa toisistaan tai asettaa toistensa vastakohtiksi. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 135–137; Kananen 2013, 22–23.)

Tämä tutkimus suoritetaan case- eli tapaustutkimuksena. Case-tutkimus on usein sekoi- tus laadullista ja määrällistä tutkimusta (Kananen 2013, 23). Tutkimuksen tarkoituksena on esittää kehitysehdotuksia tutkittavana olevan pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntias- teen kehittämiseksi. Tapaustutkimukselle on tyypillistä, että ongelmaan esitetään rat- kaisu, mutta tutkija ei ryhdy käytännön toimenpiteisiin ongelman poistamiseksi (Kananen 2013, 15). Tapaustutkimus soveltuu hyvin käytettäväksi silloin, kun tutkimuksen tehtä- vänä on tuottaa uutta tietoa ja kehitysehdotuksia nykyajassa tapahtuvasta toiminnasta sen realistisessa toimintaympäristössä. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2014, 52).

Kuviossa 1 havainnollistetaan tapaustutkimuksen tyypillinen rakenne. Tapaustutkimuk- sen tavanomaisin piirre on, että monenlaisia menetelmiä käyttämällä saadaan tutkitta- vasta tapauksesta mahdollisimman monipuolinen ja kokonaisvaltainen kuva. Aineistoa tutkittavasta tapauksesta kerätään yleensä luonnollisista tilanteista, esimerkiksi havain- noimalla tilanteita tai analysoimalla erilaisia kirjallisia aineistoja mukaan lukien yrityksen erilaiset raportit. Aineistoa kerätään myös suorittamalla erilaisia haastatteluja. (Ojasalo ym. 2014, 55.)



Kuvio 1. Tapaustutkimuksen vaiheet (Kananen 2013, 54).

Tämän työn kohteeksi valittiin tuotantolaitoksen yksi tuotantolinja. Työ rajattiin koskemaan linjan pakkaamoa, jossa tuotantolaitokselle palautetut ja uudelleen täytettävät pakkaukset lajitellaan ja tarkastetaan ennen pesua ja pesun jälkeen. Tämän jälkeen pakkaukset täytetään, sinetöidään, nimiöidään ja valmiit tuotteet pakataan eri tuotemääriä sisältäviin muovi- tai pahvipakkauksiin. Valmiit tuotteet toimitetaan varastoon ja sieltä asiakkaille. Tässä työssä tutkitaan pakkauslinjan käyntiastetta, tuotannon aikaista tehokkuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Työssä tutkitaan myös pakkauslinjan kuluttamien käyttöhyödykkeiden määrää.

1.3 Työn tavoitteet ja tutkimusongelma

Tutkimuksissa määritellään aina tutkimusongelma, joka ratkaistaan erilaisten tutkimusmenetelmien avulla. Tutkimuksella halutaan tuottaa uutta tietoa päätöksentekoa varten ja usein myös aikaansaada muutos parempaan. Tutkimusongelmana voi olla myös asian kehittäminen. (Kananen 2013, 22.)

Opinnäytetyön tutkimusongelmana on tunnistaa tuotantolaitoksen pakkauslinjan käynnin aikaiseen tehokkuuteen ja käyntiasteeseen vaikuttavia tekijöitä. Työn tarkoituksena on määrittää linjan tehokkuuden ja käyntiasteen nykytilanne ja esittää tutkimustulosten perusteella toiminnallisia ja teknillisiä ratkaisuja pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntiasteen parantamiseksi.

Opinnäytetyön päättötutkimusongelma on:

- Miten pakkauslinjan tehokkuutta ja käyntiastetta voidaan kehittää?

Opinnäytetyön alatutkimuskysymykset ovat:

- Mikä on pakkauslinjan tämänhetkinen tehokkuus ja käyntiaste?
- Mitkä eri asiat vaikuttavat pakkauslinjan tehokkuuteen ja käyntiasteeseen?
- Mikä on pakkauslinjan tämänhetkinen käyttöhyödykkeiden kulutus?

Pakkauslinjaa ei ollut aiemmin tarkasteltu laajemmin, joten tämän työn avulla saadaan kuvattua linjan toiminnallinen nykytila. Työn tuloksia voidaan hyödyntää linjan käyttöä koskevissa strategisissa päätöksissä.

1.4 Tutkimusmenetelmä

Tutkimuskohdetta lähestytään laadullisesta näkökulmasta eli kyseessä on kvalitatiivinen tutkimus, jonka lähtökohtana on todellisen ilmiön kuvaaminen. Tutkimusaineistoa kerätään luonnollisessa ympäristössä eli tässä tapauksessa tutkittavana olevan pakkauslinjan ajon aikana. Pakkauslinjan ajonaikaiseen tehokkuuteen vaikuttavat monet eri asiat. Kokonaisvaltaisen tilanteen muodostamiseksi tietoa kerätään eri aineistoista monilla eri menetelmillä. Tutkija toimii itse aineiston kerääjänä. Aineistoa kartoitetaan myös tutkijan omalla havainnoinnilla sekä analysoimalla pakkauslinjaa koskevia raportteja ja dokumentteja.

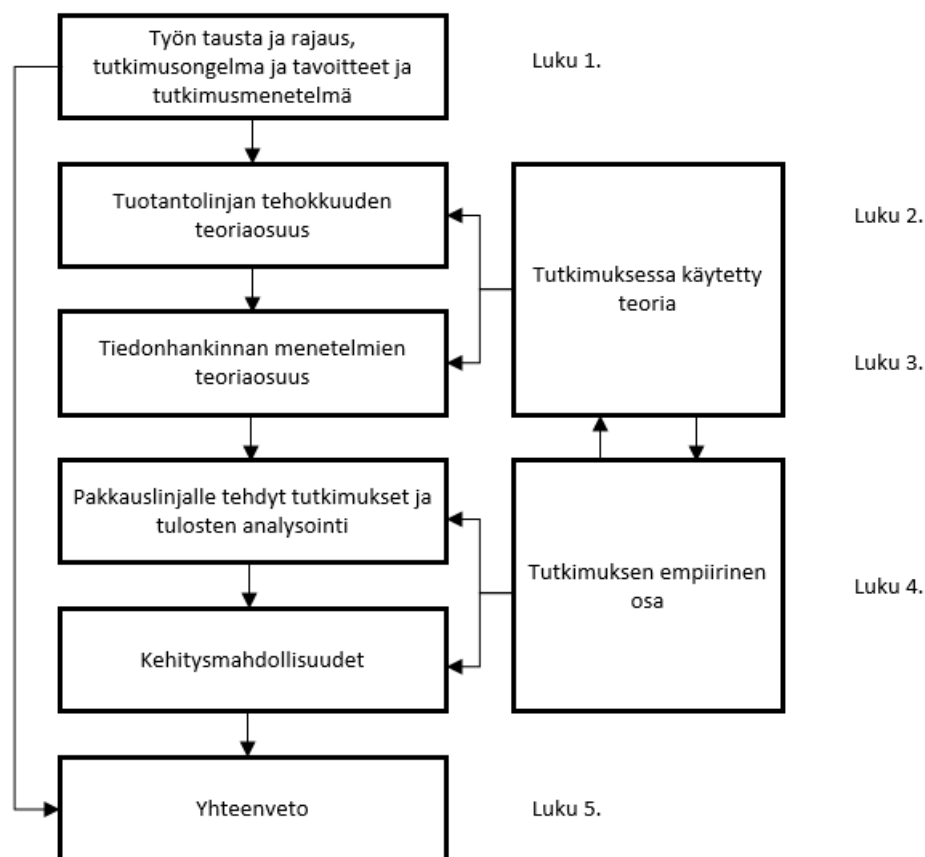
Kvalitatiivisen tutkimuksen aineistonkeruun päämenetelmä on haastattelu. Tässä työssä tutkittavaa aineistoa kerätään haastattelemalla kohdeyrityksen toimihenkilöitä, linjalla työskenteleviä operaattoreita ja linjan kunnossapidosta vastaavaa henkilökuntaa, joilla on eniten linjan käynnissäpitoon perustuvaa tietoa. Suorassa vuorovaikutustilanteessa on mahdollista kuulla henkilöstön ajatuksia ja kokemuksia tutkittavasta ilmiöstä ja aiheesta. Avoimet haastattelut muistuttavat keskustelua, ja ne käydään tarkoituksella valitun kohdejoukon eli tässä tapauksessa tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan työntekijöiden kanssa. Tämä on yksi kvalitatiivisen tutkimuksen tyypillisimmistä piirteistä. Haastattelut suoritetaan pakkauslinjan ajon aikana, jolloin tutkija saa välitöntä ja suoraa tietoa tutkimuskohteesta ja tilanteesta on mahdollista esittää syventäviä lisäkysymyksiä. Haastattelut suoritetaan useana eri ajankohtana, jolloin aineistonkeruu on mahdollista suorittaa joustavasti linjan ajotilanteen mukaan. (Hirsjärvi ym. 2009, 160–164, 205, 209.)

Tutkimus perustuu eri tietolähteistä kerätyn aineiston tarkasteluun. Kvalitatiiviselle tutkimukselle on tyypillistä kokonaisvaltainen tiedon hankinta. Laadullisen tutkimuksen ta-

voitteena on tutkittavan ilmiön syvällinen ymmärtäminen, ei niinkään yleistäminen tai enustaminen, kuten määrällisessä eli kvantitatiivisessa tutkimuksessa. (Kananen 2013, 24, 26–28.)

1.5 Työn rakenne

Työ koostuu viidestä luvusta. Työn rakennetta havainnollistetaan kuviossa 2.



Kuvio 2. Työn rakenne.

Ensimmäisessä luvussa käsitellään opinnäytetyön taustaa, esitellään tutkimusotetta ja sitä, miten tutkittava kohde on rajattu. Luvussa esitellään myös työn tavoitteet, tutkimusongelmat ja esitellään työssä käytetyt tutkimusmenetelmät.

Toinen ja kolmas luku yhdessä muodostavat työn teoreettisen viitekehyksen. Toisessa luvussa tarkastellaan tutkimusongelmien kannalta oleellisia tuotannon tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Kolmannessa luvussa esitellään tehokkuuden mittaamiseen käytetyt tiedonhankintamenetelmiä.

Neljännessä luvussa käsitellään varsinaisen tutkimuksen toteuttamista. Luvussa esitellään pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntiasteen mittareita ja suoritettuja tutkimuksia. Tämän jälkeen tarkastellaan saatuja tutkimustuloksia ja esitetään niiden perusteella kehitysehdotuksia pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntiasteen parantamiseksi. Esitetyt ratkaisut jaotellaan ominaisuuksiensa perusteella joko toiminnallisiksi tai teknisiksi kehitysmahdollisuuksiksi. Työn tulokset kootaan päätösluvussa 5, jossa esitellään myös mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

2 TUOTANTOLINJAN TEHOKKUUS

Tässä teorialuvussa tarkastellaan aluksi käsitteiden tuotanto ja valmistus määritelmiä sekä niihin keskeisesti liittyviä käsitteitä sarjatuo- tonto, linjavalmistus ja layout. Termejä käsitellään yleisesti teollisen kappaletavaratuotannon näkökulmasta. Tämän jälkeen tarkastellaan yrityksen toiminnan menestyksellisyyteen keskeisesti liittyviä käsitteitä tehokkuus ja tuottavuus. Seuraavaksi käsitellään käyntiasteen määritelmää, sekä siihen läheisesti liittyvää käyttöastetta. Luvussa käsitellään lisäksi tuotannon kannattavuuteen vaikuttavaa hävikkiä. Lopuksi tarkastellaan yrityksen henkilöstön ja käytettävien työmenetelmien vaikutusta tuotannon tehokkuuteen.

2.1 Tuotanto ja valmistus

Tuotantoprosessi on yksi yrityksen keskeisimmistä toiminnoista. Tuotanto muodostuu kaikista niistä toiminnoista, joita yritys tarvitsee valmiiden tuotteiden aikaansaamiseksi ja myymiseksi asiakkaille. Työstämällä ja muokkaamalla eri raaka-aineita saadaan aikaiseksi asiakkaille hyötyä tuottavia ratkaisuja. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 351; Martinsuo, Mäkinen, Suomala & Lyly-Yrjänäinen 2016, 10. luku.)

”Tuotanto (production) tarkoittaa työtä, jossa raaka-ainetta (ts. materiaalia tai komponentteja) ja informaatiota muokataan tai jalostetaan arvoa lisäävässä prosessissa asiakkaille tarjottaviksi tuotteiksi ja palveluiksi” (Martinsuo ym. 2016, 10. luku).

Tuotanto edellyttää toteutuakseen erilaisia resursseja. Tavaratuotannon yleisimpiä resursseja ovat fyysiset ja varastoitavat raaka-aineet ja materiaalit, tuotannon suunnittelukuvat, koneet ja laitteet, erilaiset työkalut ja -välineet, työvoima sekä eri käyttöhyödykkeet kuten sähkö ja lämpö. Tuotanto on suunniteltava siten, että tarvittavat resurssit ovat käytettävissä organisoidusti oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa. (Lehtonen 2004, 66–68.)

Tuotannon tavoitteena on valmistaa ominaisuuksiltaan mahdollisimman virheettömiä ja laadukkaita tuotteita mahdollisimman alhaisilla tuotantokustannuksilla. Asiakastyytyväisyyden ja asiakasuskollisuuden varmistamiseksi tuotannon on oltava joustava eli sen pitää pystyä vastaamaan kysynnän kausivaihteluihin asiakastarpeiden muuttuessa. Tavoitteena on lisäksi toimittaa valmistetut tuotteet asiakkaalle luvatussa aikataulussa. (Lehtonen 2004, 61.)

Valmistus on osana tuotantoa tapahtuva toiminto, jossa materiaaleja muutetaan työn ja koneiden avulla valmiiksi tuotteiksi (Haverila ym. 2009, 352; Martinsuo ym. 2016, 10. luku). Valmistustoimintoon kuuluu valmistuksen johdon lisäksi siihen olennaisesti liittyviä tukitehtäviä, kuten esimerkiksi henkilöstön suorittamat laadunvalvontatyöt sekä tuotteenvalmistuksessa käytettävien koneiden ja laitteiden huolto ja ohjelmointi (Haverila ym. 2009, 352).

”Valmistus (manufacturing) tarkoittaa niitä tehtäviä, joilla yritys muuttaa materiaalien muotoa tai olotilaa ja lisää niihin arvoa esimerkiksi materiaaleja yhdistämällä tai toisistaan irrottamalla” (Martinsuo ym. 2016, 10. luku).

Valmistus pohjautuu tuoterakenteeseen, joka sisältää tiedot tuotteen valmistamiseksi tarvittavista materiaaleista ja niiden lukumääristä, sekä mahdollisista suoritusparametreista. Tuotantorakenteeseen tallennetun tiedon perusteella voidaan laskea tuotteen valmistukseen vaadittavien materiaalien kokonaistarve ja kustannukset. Tuoterakenteet mahdollistavat sekä tuotannon vakioimisen, että tuotteiden varioimisen eli eri tuotteiden komponenttien yhdistelemisen keskenään. Samojen materiaalien ja komponenttien käyttö eri tuotteissa vähentää kokonaiskustannuksia ja täten tehostaa kokonaistuotantoa. (Lehtonen 2004, 73–74; Martinsuo ym. 2016, 10. luku.)

2.1.1 Sarjatuotanto

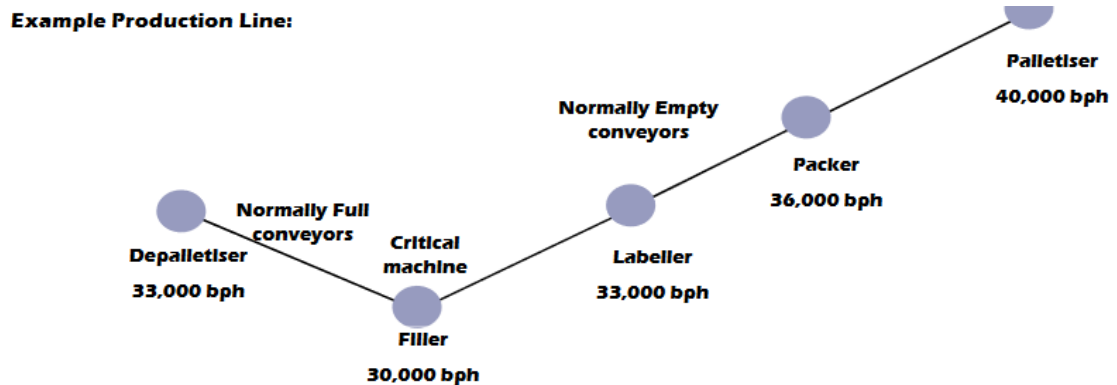
Sarjatuotanto on tuotantomuoto, jossa yritys valmistaa toistuvasti samaa tuotetta tietyn erän eli sarjan kerrallaan. Eri tuotteiden tai tuoteperheiden sarjoja valmistetaan peräkkäin laaditun tuotantosuunnitelman mukaisesti. Tuotantosuunnitelma perustuu tilausnusteisiin, kysyntään ja käytävissä oleviin resursseihin, ja siitä selviää valmistettavien tuotteiden määrä sekä niiden valmistusaikataulu. Sarjatuotannossa käytetään samaa tuotantojärjestelmää useiden tuotteiden valmistamiseen, sillä yhden tuotteen valmistusmäärät eivät salli erikoistuneen tuotantolinjan varaamista yhdelle tuotteelle. Tuotteiden välisiin vaihtoihin kuluu aikaa, ja näitä vaihtoaikoja eli asetusaikoja halutaan minimoida. Sarjatuotannossa on myös tärkeää huomioida varastot ja niiden optimointi. (Martinsuo ym. 2016, 10. luku.)

2.1.2 Linjavalmistus

Linjavalmistuksessa koneet ja työpisteet sijoitetaan peräkkäin tietyn tuotteen tai työvaiheiltaan samankaltaisten tuotteiden työvaihejärjestyksen mukaisesti. Koneiden maksimikapasiteetit ja työvaiheiden kestoajat suunnitellaan mahdollisimman tarkoin yhtä pitkiksi. (Ojanen 2008, 48–49.)

Ojasen (2008, 48–49) mukaan linjavalmistukselle on luonteenomaista, että tuotteet valmistuvat linjan vaiheiden läpi kulkiessaan keskeytyksettä ja että tuotteiden läpäisy nopeus on suuri. Linjavalmistuksessa ei yleensä ole välivarastoja, ja tuotteiden kuljetus työvaiheiden välillä suoritetaan automaattisesti tai kuljetus sisältyy työvaiheeseen. Jokaisen linjalla työskentelevän henkilön työtulos on sama, ja työmäärät linjan eri työpisteissä pyritään tasoittamaan. Linjavalmistuksessa laadunvalvonta on yksinkertaista, ja sitä voidaan suorittaa myös automaattisilla tarkastajilla. Järjestelmä on häiriöaltis, ja usein häiriö yhdessä pisteessä pysäyttää koko linjan. Linjavalmistuksen työvaiheet ovat usein yksinkertaista saman liikkeen toistoa, joten poissaolotilanteissa henkilö pystytään korvaamaan väliaikaisesti.

Linjavalmistuksessa koneiden tuotantonopeudet tulisi määrittellä niin, että ne muodostavat V-muotoisen käyrän (Kuvio 3). V-käyrä määrittää linjan kriittisen koneen, joka omaa linjan huonoimman tuotantonopeuden. Kuviosta 3 nähdään, että ”Critical machine” eli kriittinen kone on kuvion linjan Filler. Fillerin tuotantonopeus on linjan kaikista koneista heikoin, ja täten se määrittää koko linjan maksimituotantonopeuden. Kuviossa 3 Fillerin ympärillä sijaitsevat koneet ovat tuotantonopeudeltaan nopeampia, joten niiden nimellistuotantokykyyn jää ylijäämää. Tämän ylijäämän avulla voidaan varmistaa, että kriittinen kone voi toimia jatkuvasti täydellä tuotantonopeudella. Linjan muiden koneiden korkeammat tuotantonopeudet varmistavat, että kriittiselle koneelle ei muodostu tuotepulaa eikä sen jälkeen muodostu tuoteruuhkaa. (OptimumFX Consulting 2014, 4.)



Kuvio 3. Esimerkki tuotantolinjan V-käyrästä (OptimumFX Consulting 2014, 4).

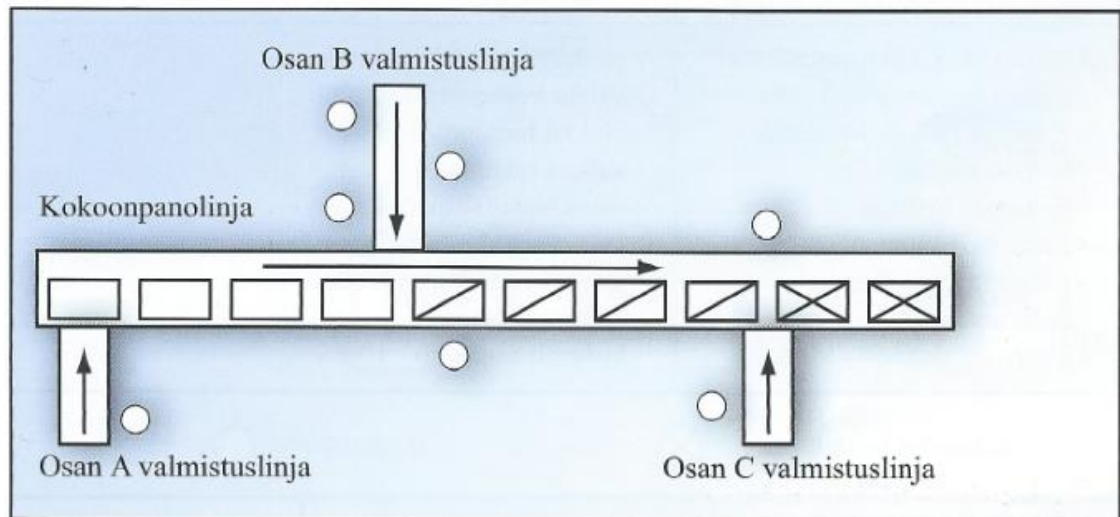
Linjavalmistusta on sen tehokkuuden ja pienen tilantarpeen vuoksi käytetty suurten sarjojen valmistuksessa. Linjassa olevien työstökoneiden asetusajkojen lyhentyessä voidaan linjassa valmistaa jopa suhteellisen pieniä sarjoja. (Ojanen 2008, 48–49.)

2.1.3 Layout

Yrityksen tuotantokoneiden ja -laitteiden sijoittelussa pyritään hyödyntämään käytössä oleva tila mahdollisimman tehokkaasti. Suomen kieleen vakiintunut termi layout tarkoittaa tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten esimerkiksi työpisteiden, koneiden, laitteiden, materiaalivarastojen, kulkureittien ja muiden valmistukseen liittyvien yksiköiden sijoittelua tuotantolaitoksessa. Tavaratuotannon prosessit edellyttävät yleensä kiinteää ja vaikeasti liikuteltavaa laitteistoa. Tästä syystä tuotantoprosessit kannattaa suunnitella toistuvia materiaalivirtoja ajatellen. (Martinsuo ym. 2016, 10. luku.)

Erilaiset layout-tyypit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin tuotantolaitteiden sijoittelun ja työnkulun mukaan. Päätyypit ovat tuotantolinjalayout, funktionaalinen layout ja solulayout. Layoutin valintaan vaikuttaa muun muassa tuotevalikoiman laajuus ja valmistusmäärät. (Haverila ym. 2009, 475; Martinsuo ym. 2016, 10. luku.)

Tämän työn tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan layout on tuotantolinjalayout, jonka teoriaa käsitellään seuraavaksi. Kuviossa 4 havainnollistetaan tuotantolinjalayoutin periaate.



Kuvio 4. Tuotantolinjalayout (Haverila ym. 2009, 476).

Tuotantolinjalayout edellyttää suuria valmistusmääriä ja korkeaa kuormitusastetta. Tuotantolinjan perustamiskustannukset ovat korkeat ja näin ollen perustaminen vaatii pääomaa, mutta suuren volyymin johdosta tuotteen yksikkökustannus saadaan alhaiseksi. Tuotantolinja on erikoistunut samantyyppisten tuotteiden valmistamiseen ja linjan koneet ja laitteet on sijoitettu valmistettavan tuotteen työnkuvan mukaiseen järjestykseen. Tuotantolinjan laadunvalvonta on erittäin tärkeää, sillä linja on herkkä häiriöille ja pystyy tuottamaan nopeasti myös virheellisiä tuotteita, joiden aiheuttamat kustannukset ovat suuria. Linjan haasteena on sen kapasiteetin kasvattaminen valmistumisen jälkeen. Vahvuutena on puolestaan korkea automaatioprosentti ja selkeä työnkulku, joten linjaa on helppoa ohjata yhtenä kokonaisuutena. (Haverila ym. 2009, 475–476.)

2.2 Tehokkuus ja tuottavuus

Yritystoiminnan tavoitteena on mahdollisimman hyvä taloudellinen suorituskyky. Tuotannon päämääränä on suunnitella ja toteuttaa tätä suorituskykyä tukevia toimenpiteitä. (Heikkilä & Ketokivi 2005, 211.) Suorituskyvyllä tarkoitetaan yrityksen tai jonkun muun tarkasteltavaksi valitun kohteen kykyä saavuttaa asetettuja tavoitteita (Lönnqvist, Kujan-sivu & Antikainen 2006, 19). Tuotannon suorituskykyyn liittyvät keskeisesti käsitteet tuottavuus ja tehokkuus.

Kuluneella vuosisadalla teollisen tuotannon tehokkuuteen ja tuottavuuteen on eniten vaikuttanut teollisen automaation kehittyminen. Muutoksella on ollut vaikutusta sekä tuotannollisen työn suunnitteluun että sen toteutukseen. Muutos on tuonut mukanaan uusia vaatimuksia toiminnanohjaukselle, sillä ihmisen ja teknologian keskinäinen vuorovaikutus ja yhteensovittaminen on osoittautunut ohjauksen kannalta haasteelliseksi. (Martinsuo ym. 2016, 24. luku.)

Kuten tämän työn johdannossa jo todettiin, tuottavuudella tarkoitetaan tuotosten ja niiden aikaansaamiseksi käytettyjen tuotannontekijäpanosten välistä suhdetta. Tuotantoyksikkö on sitä tuottavampi, mitä suurempi tuotos syntyy panosten pysyessä vakiona. Tuottavuuden kasvattamiseen ei riitä ainoastaan tuotoksen kasvattaminen. Samanaikaisesti on huolehdittava siitä, että tuotannontekijäpanosten suhteellinen kasvu jää tuotosten kasvua pienemmäksi. Tavaratuotannossa tuottavuutta lasketaan ja mitataan usein volymiperusteisilla mittareilla, kuten tehdyillä työtunneilla, valmistettujen tuotteiden määrällä tai teknisten investointien kustannuksilla. (Heikkilä & Ketokivi 2005, 215; Lumijärvi 2009, 25.)

Tuottavuuden ja tehokkuuden määritelmät ovat usein lähellä toisiaan. Tehokkuuden lisääminen lisää myös tuottavuutta. Käsite tehokkuus kuvaa tuotannon todellisia tuotoksia suhteessa suunniteltuihin tuotoksiin. Tehokkuudella mitataan kykyä saada mahdollisimman pienillä tuotannontekijäpanoksilla aikaan mahdollisimman suuri hyöty. (Heikkilä & Ketokivi 2005, 215–216.)

Tehokkuus mielletään usein laajemmaksi käsitteeksi kuin tuottavuus, sillä sen mittaaminen pitää yleensä sisällään myös esimerkiksi työprosessien ajallisen sujuvuuden ja valmistettujen tuotteiden laadun (Lumijärvi 2009, 27–28). Laineen (2010, 17) mukaan huonolla laadulla voidaan tehokkaasti tuhota yrityksen tuottavuus. Hän kertoo esimerkin tilanteesta, jota erään tehtaan työntekijä kuvasi laatuseminaarissa sanoen ”Meillä on aina niin hirveä kiire, että mitään ei ehditä tehdä kunnolla, mutta meillä on aina aikaa tehdä samoja asioita kahteen kertaan”. Tehokkuudella on siis selvä yhteys laatuun. Mitä aikaisemmassa vaiheessa laatuvirhe havaitaan, sitä pienemmät ovat virheen kustannukset. Tehokkuus onkin pääasiassa yrityksen sisäinen mittari, jolla mitataan sitä, miten tehokkaasti yrityksen resurssit ovat hyötykäytössä (Heikkilä & Ketokivi 2005, 217).

2.3 Käyntiaste ja käyttöaste

Käyntiaste on käyntituntien (T_o) suhde tarkastelujakson vertailtavaan kokonaisaikaan (T). Tässä työssä käyntitunnit ovat pakkauslinjan tehokas tuotantoaika ja tarkastelujakson vertailtava kokonaisaika on pakkauslinjan miehitetty aika. Tehokas tuotantoaika on tuotteen ajoerän pituus, josta on vähennetty seisokit. Seisokki on tila, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa käytön tai kunnossapidon toimenpiteen vuoksi. Käyntiaste kertoo, kuinka suuri aidosti tuottavan työn osuus on pakkauslinjan miehitystä ajasta. (PSK 6201 2011, 4.)

$$\text{Käyntiaste} = \frac{T_o}{T} * 100\%$$

Kaava 1. Käyntiaste (PSK 6201 2011, 4).

Käyntiastetta ei pidä sekoittaa käyttöasteeseen, joka kuvaa käyttötuntien (T_a) suhdetta kokonaisaikaan. Kokonaisajan pituus on yleensä yksi vuosi eli 8760 tuntia, ja käyttötunnit ovat tuotantotuntien sekä käytön ja kunnossapidon seisokkien vaatima kokonaisaika. Käyttötunteja vähentävät jouto- ja valmiusaika sekä ulkoinen toimintakyvyttömyysaika. (PSK 6201 2011, 4.)

Jouto- ja valmiusajat ovat ajanjaksoja, jolloin kohdetta ei käytetä, mutta se on toimintakelpoinen. Joutotilan aikana kohteelle voidaan tehdä kunnossapitotoimenpiteitä ja valmiusaikana niitä voidaan tehdä rajoitetusti. Ulkoinen toimintakyvyttömyysaika on tila, jossa kohde on toimintakelpoisuustilassa, mutta siltä puuttuu tarpeelliset ulkoiset resurssit ollakseen toimintakelpoinen. Tämä voi johtua esimerkiksi raaka-ainepulasta tai kysynnän puutteesta. (PSK 6201 2011, 9–10.)

$$\text{Käyttöaste} = \frac{T_a}{T} * 100\%$$

Kaava 2. Käyttöaste (PSK 6201 2011, 4).

Tässä työssä käyttötunnit ovat pakkauslinjan miehitetty aika ja kokonaisaika on koko tutkimusjakson pituus.

2.4 Tuotannon hävikit

Tuotannossa esiintyy aina hävikkejä. Tuotannon kokonaistehokkuus eli KNL, jota käsitellään tarkemmin luvussa 3.2, pohjautuu TPM (Total Productive Maintenance) ajattelu-tapaan. TPM kehitettiin Japanissa 1970-luvun alkupuolella. Mikkosen (2009, 79–81) mukaan TPM suomennetaan sanatarkasti kokonaisvaltaiseksi tuottavaksi kunnossapidoksi. TPM ajattelutavalla pyritään saavuttamaan mahdollisimman täydellinen tuotanto ilman pysähdyksiä, konerikkoja, hidastumisia tai vikoja. Sen lähtökohta on, että tuotannon koneille luodaan optimaaliset toimintaolosuhteet ja ylläpidetään niitä. (Arrow Engineering 2016.)

Nykyinen tuotannon kokonaistehokkuuden laskenta perustuu TPM-filosofian kuuteen hävikkiin, jotka ovat Mikkosen (2009, 81) mukaan

- laiterikot eli häiriöt
- asetusajat ja säätäminen
- tuotantokatkokset
- alinopeus
- käynnistykseen liittyvä hylky
- viallinen tuotanto

Näihin kuuteen kategoriaan lukeutuu suurin osa tuotannossa esiintyvistä hävikeistä. Hävikit on selitetty kategorioittain tarkemmin luvussa 3.2.

Joissain yhteyksissä puhutaan myös seitsemästä tai kahdeksasta hävikistä. Tällöin hävikeiksi lasketaan alkuperäisten lisäksi myös suunnitellut seisokit. (Mikkonen 2009, 81.)

2.5 Henkilöstö ja työmenetelmät

Henkilöstö on yrityksen tärkein voimavara. Käsite henkilöstön tuottavuus tarkoittaa yrityksen henkilöstön kykyä suorittaa oikeita asioita tehokkaasti. Konkreettisten toimintojen lisäksi tuottavuuteen voidaan laskea myös henkilöstön esittämät aloitteet ja kehitysideat. (Fogelholm & Karjalainen 2001, 35.)

Hyvän henkilöstön kokoaminen vaatii hyvää henkilöstöjohtamista. Sen osa-alueita ovat henkilöstösuunnittelu, henkilöstön hankinta, perehdyttäminen, osaamisen kehittäminen,

suorituksen seuranta ja palkitseminen, työhyvinvoinnin edistäminen, irtisanominen ja uudelleensijoittaminen sekä päivittäisjohtaminen. (Viitala 2007, 22.)

Teknologian kehittyminen vaatii yritysten henkilöstöltä kykyä muutokseen ja joustavuuteen. Ammattitaitoinen ja osaava työvoima on avain yrityksen menestymiseen, sillä osaaminen on yksi tärkeimmistä kilpailueduista. Osaamista voidaan kehittää perinteisen kurssimuotoisen koulutuksen lisäksi esimerkiksi työtehtävien kierrättämisellä ja projekti-työskentelyllä. (Haverila ym. 2009, 118.)

Yrityksen henkilöstörakenne kuvaa muun muassa ikäjakaumaa, työkokemusta, koulutustasoa ja henkilöstön vaihtuvuutta. Yrityksen yleisellä työilmapiirillä ja työtyytyväisyydellä on vaikutusta henkilöstön vaihtuvuuteen. Suuri vaihtuvuus tarkoittaa organisaatioon kertyneen osaamisen karkaamista muihin yrityksiin. Pitkään samoja työtehtäviä tehneiden työntekijöiden on vaikeaa sopeutua muutoksiin ja laajeneviin työtehtäviin. Toisaalta taas uudet työntekijät tuovat parhaimmillaan organisaatioon uutta osaamista ja ajattelutapoja. (Fogelholm & Karjalainen 2001, 35.)

Tuotantolinjojen henkilöstö koostuu yksilöistä, jotka muodostavat yhdessä tuotantotiimin. Tiimin suorittamat toiminnot vaikuttavat koko tuotantoprosessin tuottavuuteen ja käytettävyyteen. Tehtäväkokonaisuudet koostuvat useista perustehtävistä, sekä enemmän osaamista vaativista erityistehtävistä. Henkilöstön moniosaaminen parantaa henkilöstön käytettävyyttä ja mahdollistaa henkilöstön sijoittelun eri tehtäväpisteisiin. Tuotantoprosessin korkea teknologinen taso edellyttää ammatillista koulutusta ja teknillistä ajattelukykyä. Henkilöstön työtehtävät ovat korkean automaation johdosta pääosin koneiden ja laitteiden toimintaan liittyviä valvontatehtäviä, jotka mielletään usein yksitoikkoisiksi.

Yrityksen valmistuksen tuottavuuteen vaikuttavat merkittävästi siihen käytetyt työmenetelmät. Työmenetelmä kuvaa tapaa, jolla koneita, työtä ja materiaalia käytetään työtehtävän suorittamiseksi. Kuten tämän työn johdannossa jo todettiin, tehokkaiden työmenetelmien avulla on mahdollista valmistaa tuote edullisemmin, laadukkaammin ja nopeammin, kuin valmistukseen huonosti soveltuvien menetelmien avulla. Työmenetelmien riittävän varhaisella systemaattisella suunnittelulla voidaan kehittää valmistusprosessien tuottavuutta ja saavuttaa yrityksen kokonaistuottavuutta parantavia etuja. (Haverila ym. 2009, 488–490.)

Työmenetelmiä voidaan tarkastella joko useamman työvaiheen tai yksittäisen työvaiheen näkökulmasta. Erityisesti laajoja työmenetelmiä suunniteltaessa on otettava huo-

mioon koko tuotantojärjestelmän suunnittelu. Yksittäisen työvaiheen suunnittelussa tarkastelukohteena on usein vain yksi työntekijä tai työntekijöiden muodostama tuotantotiimi. Tuotantoprosessin suunnittelussa on huomioitava työnkulun, työpaikan ja työtavan suunnittelu sekä koneiden käyttötapojen suunnittelu, työryhmän työskentely, tuotantovälineiden valinta ja niiden suunnittelu. (Haverila ym. 2009, 489.)

3 TIEDONHANKINTAMENETELMÄT

Tässä teorialuvussa esitellään tutkimuksessa käytettyjä tiedonhankintamenetelmiä ja niiden teoriaa. Aluksi käsitellään prosessin mallintamista osana toiminnan kehittämistä. Tämän jälkeen tarkastellaan tuotannon kokonaistehokkuutta kuvaavaa KNL-lukua ja sen osatekijöitä. Seuraavaksi tarkastellaan teoriaa tuotannon seurantajärjestelmistä, sekä niiden hyödyntämistä tutkimusten tekemisessä. Luvussa käsitellään lisäksi ajankäyttö-tutkimusta, sekä tutkimustuloksista luotujen pareto-diagrammien ja prosessin kyvykkyyss-raporttien teoriaa. Luvun päättää avoimia haastatteluja ja havainnointia käsittelevä kap-pale.










3.1 Prosessin mallintaminen

Martinsuon ja Blomqvistin (2010, 1–3) mukaan opinnäytetöihin sisältyy usein pyrkimys kehittää jotain olemassa olevaa prosessia. Prosessit ovat asiakkaalle lisäarvoa luovia tapahtumaketjuja, joihin yritys käyttää resursseja ja joita yrityksen kannattaa ohjata saavuttaakseen päämääränsä. Prosessi voi koskea mitä tahansa osaa yrityksen liiketoimin-nasta, kuten esimerkiksi uusien innovaatioiden luomista, tuotteiden tuotteistamista tai tuotantoa. Prosessin mallintamisella voidaan havainnollistaa nykyistä prosessia tai ta-voiteprosessia ja tehdä näkyväksi sen mahdolliset viat ja kehitystarpeet.

Prosessin mallintaminen on tarpeen, jotta voimavarat voidaan keskittää arvoa lisäävään toimintaan ja tuloksellisuutta heikentävät tekijät voidaan poistaa. Suorituskyvyn paranta-miseen tähtäävä prosessien kehittäminen edellyttää prosessin mittaamista ja voi merkitä radikaalia uudelleenjärjestelyä tai jatkuvia pienparannuksia. (Martinsuo & Blomqvist 2010, 1–3.)

Eryteisesti joiltakin osiltaan kriittisiä prosesseja on syytä tarkastella yksityiskohtaisem-malla tasolla, mikä voi tarkoittaa hyvinkin yksityiskohtaisten vuokaavioiden luomista ja kuvaamista. Yksityiskohtaisessa prosessikuvauksessa erotellaan mitattavissa ja ohjeis-tettavissa olevat tehtävät ja niiden keskinäinen riippuvuus, kuten esimerkiksi materiaali-virrat. (Martinsuo & Blomqvist 2010, 10.)

Yksityiskohtaiseen prosessikuvaukseen on monia eri kuvaustapoja, joista mikään ei ole saavuttanut standarditavan asemaa. Yksi kuvaustapa on vuokaavio, jossa käytetään varsin vakiintuneita merkintätapoja, joista yleisimmät esitellään kuviossa 5.

Merkintä	Merkitys
	Aloitustai lopetus
	Tehtävä tai prosessi
	Materiaali- tai tietovirta (voidaan merkitä esim. eri värein tai viivatyypein)
	Päätös
	Dokumentti
	Tietojärjestelmä/varasto
	Varasto
	Data
	Viive, odotus

Kuvio 5. Prosessikuvausten keskeiset merkintätavat (Martinsuo & Blomqvist 2010, 11).

Martinsuo ja Blomqvist (2010, 14) toteavat, että prosessia mallinnettaessa kannatta ottaa huomioon, että prosessi on looginen kokonaisuus, jossa on selkeä alku ja loppu. Prosessi kannattaa kuvata johdonmukaisesti ja yksinkertaisesti ja siinä tulisi keskittyä vain olennaiseen.

3.2 KNL-luku tuotannon tehokkuuden mittarina

KNL on tuotannon tehokkuutta mittaava tunnusluku, jonka avulla voidaan seurata ja parantaa niin kokonaisten tuotantolaitosten kuin yksittäisten tuotantokoneiden tehokkuutta. Suomenkielinen lyhenne KNL muodostuu sanoista käytettävyys, nopeus ja laatu. Lyhenne pohjautuu alun perin englannin kieliseen termiin OEE, joka tulee sanoista Overall Equipment Effectiveness. (Arrow Engineering 2016.)

KNL on osa TPM-ajattelutapaa (ks. luku 2.4). KNL-laskennasta tuli yksi mittari TPM-konseptin seuranta varten. Täydellisessä tuotannossa KNL-luku on 100 %. Tässä teoreettisessa tilanteessa tuotantokoneet toimisivat nimellistuotantokyvyllään ilman minkäänlaisia

sia pysähdyksiä ja laatuhäviöitä. On kuitenkin tutkittu, että maailmanlaajuisesti valmistavan teollisuuden keskimääräinen KNL-luku on vain noin 60 %. Yleisesti yli 85 % KNL-lukua pidetään jo todella tehokkaan tuotannon arvona. (Arrow Engineering 2016.)

KNL ottaa huomioon ja mittaa useampia tuotantohävikin syitä, kuten pysähdyksiä, häiriöitä, materiaali puutteita, alentunutta tuotantonopeutta sekä laaturvirheitä (Arrow Engineering 2016).

Nykyinen KNL-laskenta perustuu TPM:n kuuteen hävikkiin, jotka kukin vaikuttavat omalta osaltaan joko käytettävyy-, nopeus- tai laatu kertoimeen. Nopeuskerrointa kutsutaan myös toiminta-asteeksi. Mikkosen (2009, 81–83) mukaan TPM:n mukaiset kuusi hävikkiä ovat:

1. Laiterikot

eli häiriöt vaikuttavat käytettävyyserktoimeen. Näitä ovat esimerkiksi tuotantokoneiden rikkoutumiset ja kaikki muu suunnittelematon kunnossapito, joka pysäyttää tuotannon pidemmäksi aikaa. Joissain tapauksissa on vaikea määrittellä, kuuluuko joku tuotannon pysäytys laiterikkoihin vai tuotantokatkoihin.

2. Asetusajat ja säätäminen

vaikuttavat myös käytettävyyserktoimeen. Näitä ovat esimerkiksi tuotannon asetusten muuttaminen tai tuotteen vaihdot, raaka-ainepuutteet, käyttäjien puute ja tuotannon aloitusaika.

3. Lyhyet tuotantokatkot

vaikuttavat nopeuserktoimeen. Lyhyellä katkolla tarkoitetaan yleensä alle viiden minuutin mittaisia pysäyksiä, joiden selvittämiseen ei tarvita kunnossapitohenkilöstöä. Näitä aiheuttavat esimerkiksi estynyt tuotantovirta, komponenttien lyhyet häiriötilanteet, syöttövirheet ja puhdistukset sekä tarkistukset. Lyhyitä tuotantokatkoja voi aiheutua myös antureiden virhenäyttämien takia, jolloin tuotantokone luulee puolivalmisteiden olevan loppu ja pysäyttää tuotannon.

4. Alinopeus

vaikuttaa myös nopeuserktoimeen. Alinopeutta ovat kaikki ne tilanteet, joissa koneita jostain syystä ajetaan alle suunnitellun nopeuden. Alinopeus voi johtua koneiden kulumisesta, käyttäjien kyvyttömyydestä tai tuotantolinjan karkean käyn-

nin aiheuttamasta tuotepulasta eri tuotantolinjan kohdissa, jolloin koneet hidastavat käyntinopeuttaan välttääkseen täyttä pysähdystä. Karkeaa käymistä voidaan ehkäistä tuotantokoneiden välisillä tuotepuskureilla, jotka estävät tuotannon katkeamisen, vaikka jollekin tuotantolinjan koneelle tulee pieni tuotantokatkos. Alinopeus voi olla myös suunniteltua, mutta jos tuotantolinjaa ei pystytä ajamaan sen nimellisteholla, on jonkin oltava pielessä.

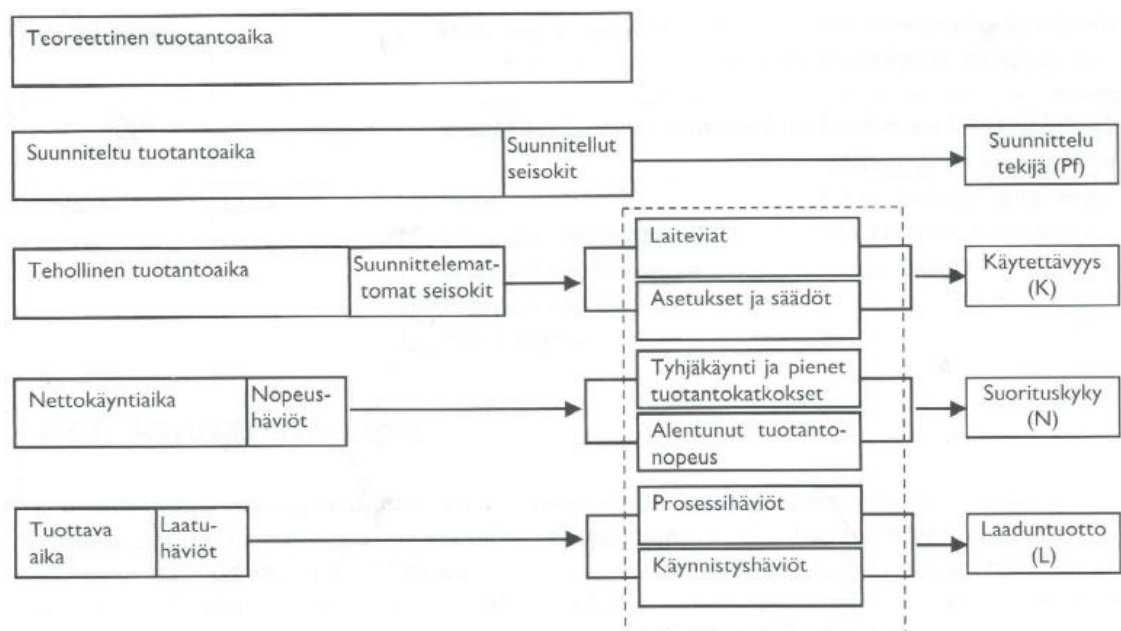
5. Käynnistykseen liittyvä hylky

vaikuttaa laatukertoimeen. Käynnistykseen liittyvää hylkyä syntyy, kun esimerkiksi käynnistysasetukset ovat virheellisiä prosessin virittämisen aikana tai sen lämpenemisen aikana.

6. Viallinen tuotanto

vaikuttaa myös laatukertoimeen. Vialliseen tuotantoon lasketaan kaikki hylky, joka aiheutuu normaalin tuotannon aikana. Esimerkiksi tuotantokoneiden viallisen toiminnan tuloksena tuotteita vaurioituu tai tuotteiden laatu ei vastaa asiakkaiden tai yrityksen standardeja.

Kuviossa 6 on esitelty miten TPM:n kuusi suurta hävikkiä vaikuttavat KNL-laskentaan.



Kuvio 6. TPM:n hävikkien ja KNL-laskennan välinen yhteys (Mikkonen 2009, 81).

KNL-mittauksen osatekijöiden arvot tuovat esiin ongelmia aiheuttavia pullonkauloja tuotannosta. Pullonkaulat liittyvät usein laitteiston häiriöihin, asetusajojen venymiseen, lyhyisiin pysäytyksiin, korjaustöihin, sekä muihin hukkaa aiheuttaviin tekijöihin, eli toisin sanoen käytettävyyteen, nopeuteen ja laatuun. Selvittämällä osatekijät, päästään laskemaan myös kokonaistehokkuuden tilanne. (Arrow Engineering 2016.)

Käytettävyys, nopeus ja laatu saadaan selville keräämällä tietoa tuotannosta. Luotettavin tapa käsitellä tietoa on kerätä se automaattisesti koneiden ohjauslogiikoilta, jolloin tietojen manuaalisesta kirjaamisesta johtuvat inhimilliset virheet poistuvat ja tuotannosta saadaan parhaiten todellisuutta vastaavaa tietoa. Kerätyn tiedon analysointi ja jalostaminen tapahtuvat tuotantokoneiden seurantajärjestelmän tuottaman raportoinnin avulla. (Arrow Engineering 2016.)

Kun tieto on saatu kerättyä ja KNL-tunnusluku on tiedossa, on luku pyrittävä pitämään jatkossakin hyvänä tai sen arvoa on parannettava. Usein tämä tarkoittaa tuotantokoneiden kunnossapitotietojen, kuten vikojen, kunnossapitotuntien ja näiden kustannusten analysointia. Tämän jälkeen on syytä pureutua tarkemmin vikojen juurisyihin ja siihen, miten nämä olisi mahdollista estää tai varautua niihin paremmin tulevaisuudessa. (Arrow Engineering 2016.)

KNL:n laskeminen on sovellettava aina kohteena olevaan prosessiin. Jokaisen prosessin ominaispiirteet ratkaisevat, miten sen KNL lasketaan. Myös käytössä olevat tiedonkeruu- ja analysointimahdollisuudet saattavat asettaa ehtoja tuotannon kokonaistehokkuuden laskentamallille. KNL:n laskentaa on sovellettava erityisesti silloin, kun

- eri tuotteilla on eri läpäisykyky prosessissa
- tuotantosarjat ovat lyhyitä ja tuotevaihtoja on paljon
- raaka-aineiden ja puolivalmisteiden laatu vaikuttaa merkittävästi tuotannon ajonopeuteen ja se vaihtelee runsaasti lyhyilläkin ajanjaksoilla
- tuotantolinjalla käytettävät koneet muuttuvat eri tuotteiden kohdalla

Tämän kaltaisissa tilanteissa voi olla mahdollista, että KNL-lukua joudutaan laskemaan hieman epätarkoilla keskiarvoilla. On kuitenkin hyvä muistaa, että tärkeintä ei ole tietää aivan absoluuttisen tarkkaa KNL-lukua. Tärkeämpää on kyetä seuraamaan tehokkuuden kehitystä pidemmällä aikavälillä samalla tavoin lasketulla mallilla. (Laine 2010, 21–23.)

3.3 Tuotannon kokonaistehokkuuden laskenta

Kun tuotannon kokonaistehokkuuden eri osa-alueiden osuus teoreettisesta maksimista on selvillä, voidaan suorittaa KNL-laskenta. Jos esimerkiksi kaikkien osa-alueiden prosenttiosuuksiksi saadaan 75 %, on kokonaistehokkuus vain 42,2 % teoreettisesta kokonaistehosta.

Tuotannon kokonaistehokkuus KNL lasketaan kaavalla 3

$$KNL = K * N * L$$

Kaava 3. Tuotannon kokonaistehokkuus (Mikkonen 2009, 82).

KNL-luvun pääkertoimet K (käytettävyys), N (nopeus) ja L (laatu) lasketaan kaavoilla 4–6

K eli käytettävyyskerroin kertoo, miten tehokkaasti koneet ovat toimineet niinä aikoina, joina niiden tulisi vuorojärjestelmän mukaan olla käytössä (Laine 2010, 21–23).

$$K = \frac{t_k}{t_k + t_s}$$

Kaava 4. Käytettävyyskerroin (Mikkonen 2009, 82).

Missä t_k on käyntiaika

t_s on seisokkiaika

N eli nopeuskerroin tai toiminta-aste kertoo, kuinka lähellä tuotantolinjan teoreettista huippusuoritusta tuotantoa kyetään ajamaan (Laine 2010, 21–23).

$$N = \frac{p}{p_n * t_k}$$

Kaava 5. Nopeuskerroin (Mikkonen 2009, 82).

Missä p on tuotantomäärä

p_n on nimellistuotantokyky

t_k on käyntiaika

L eli laatukerroin kertoo, kuinka suuri osa tuotetusta määrästä on jollakin tavalla laadullisesti puutteellista. Laatukerroin voidaan määrittää myös vertaamalla, kuinka paljon raaka-aineita ja puolivalmisteita on tuotannossa käytetty verrattuna siihen, kuinka paljon riittävän laadukkaita tuotteita on tuotettu. (Laine 2010, 21–23.)

$$L = \frac{p - p_h}{p}$$

Kaava 6. Laatukerroin (Mikkonen 2009, 82).

Missä p on tuotantomäärä

p_h on viallinen tuotanto

3.4 Tuotannon seurantajärjestelmätutkimus

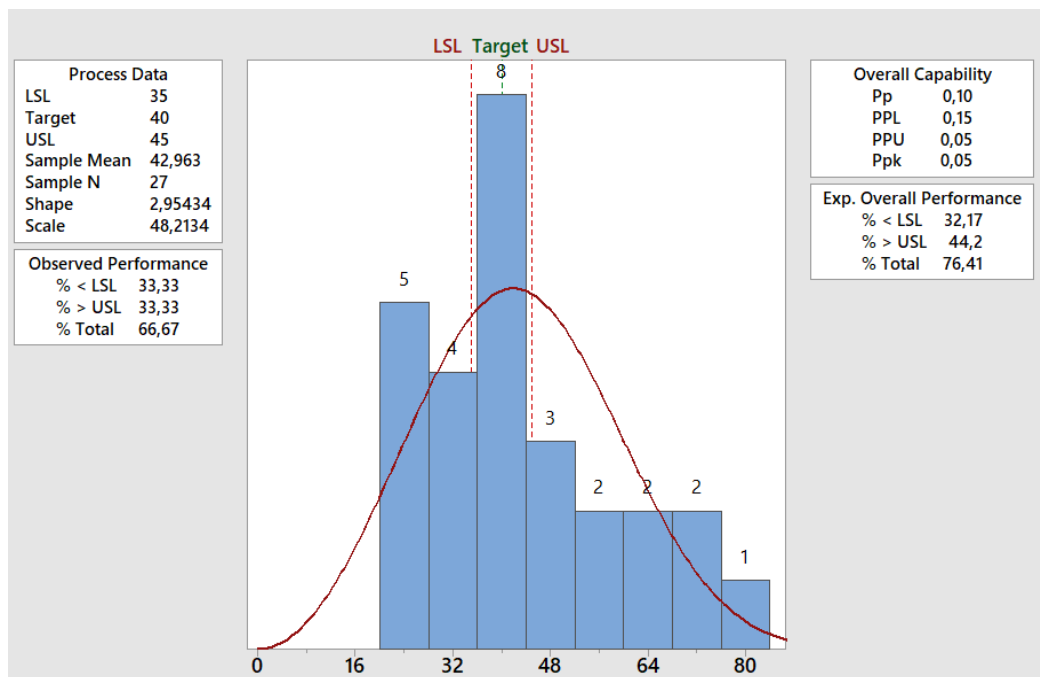
Kehittyminen on hankalaa, jos tekemisen tuloksia ei mitata ja seurata aktiivisesti. Tämä pätee niin tuotantolaitoksissa, kuin missä tahansa muuallakin. Tuotannon mittaamiseen, seurantaan ja kehittämiseen tarvitaan tietyille toiminnalle soveltuvat mittarit ja tunnusluvut. Mitattavalle kohteelle on valittava aina sopivat mittarit. Niiden tavoitteena on ohjata, analysoida ja verrata tuotannon toimintaa.

Martinsuo ym. (2016, 10. luku) toteavat, että yritykset ylläpitävät monitahoista tuotannon seurantaa tietojärjestelmissään. Yritykset saattavat esimerkiksi kerätä jatkuvasti dataa automaattisten koneiden tilasta ja käytöstä suoraan koneiden logiikoista tai koneisiin liitettyistä sensoreista. Tätä tietokantaan kerääntyvää dataa voidaan käyttää työnmittauksen aineistona.

Nykyisin tuotannosta manuaalisesti suoritettava tiedonkeruu on yritystoiminnassa harvinaista. Nykyään tietoa on helppo kerätä automaattisesti ja reaaliaikaisesti tuotantoa ohjaavista järjestelmistä ja koota se esimerkiksi erilliseen tuotannon seurantajärjestelmään. Automaattisesti kerättäviä tietoja ovat yleensä tuotantokoneiden käyntitiedot, tuotant nopeudet ja tuotantomäärät. Usein tuotantokoneet pystyvät nykypäivänä tunnistamaan häiriötapauksissa häiriöiden syyn. Häiriöiden syyt ovat täten kerättävissä tuotannon seurantajärjestelmään. Tuotannon seurantajärjestelmän tietojen avulla päästään käsiksi tuotannon tehokkuuden perustunnuslukuihin ja nähdään, mitkä tuotantokoneet aiheuttavat eniten tuotantoseisokkeja. (Kaikkonen 2007.)

Jos halutaan päästä käsiksi niihin tekijöihin, joita parantamalla voidaan vaikuttaa suoraan tuotannon tehokkuuteen, tarvitaan kokonaisvaltaisempaa tiedonkeruuta. Mitä enemmän tietoa on käytettävissä, sitä tarkempia ja monipuolisempia analyysejä siitä pystytään muodostamaan. Tuotannossa esiintyy jatkuva-arvoista ja tapahtumapohjaista tietoa. Jatkuva-arvoisia tietoja ovat esimerkiksi lämpötila ja kosteus. Tapahtumapohjaista tietoa ovat tuotantoseisokit, tuotevaihdot ja tuote-erät. Usein monilla näistä tiedoista on keskinäisiä syy-seuraus-suhteita, jota ei välttämättä tiedosteta. Esimerkiksi tietyn tuotteen tuotannossa voi jollain tuotantokoneella tapahtua normaalia enemmän häiriöitä. (Kaikkonen 2007.)

Kuvio 7 on esimerkki Minitab -tilasto-ohjelmalla luodusta prosessin kyvykkyysraportista. Työn tutkimusosiossa tuotevaihtoihin kuluneista ajoista luotiin prosessin kyvykkyysraportit käyttäen Minitab -tilasto-ohjelmaa. Prosessin kyvykkyys kertoo prosessin kyvyn tehdä jatkuvasti tuotteita tai palveluja, jotka täyttävät niille määritetyt spesifikaatorajat. Spesifikaatorajoina voi olla esimerkiksi suoritus- tai valmistusaika, määrä tai paino. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 145.)



Kuvio 7. Esimerkki prosessin kyvykkyysraportista.

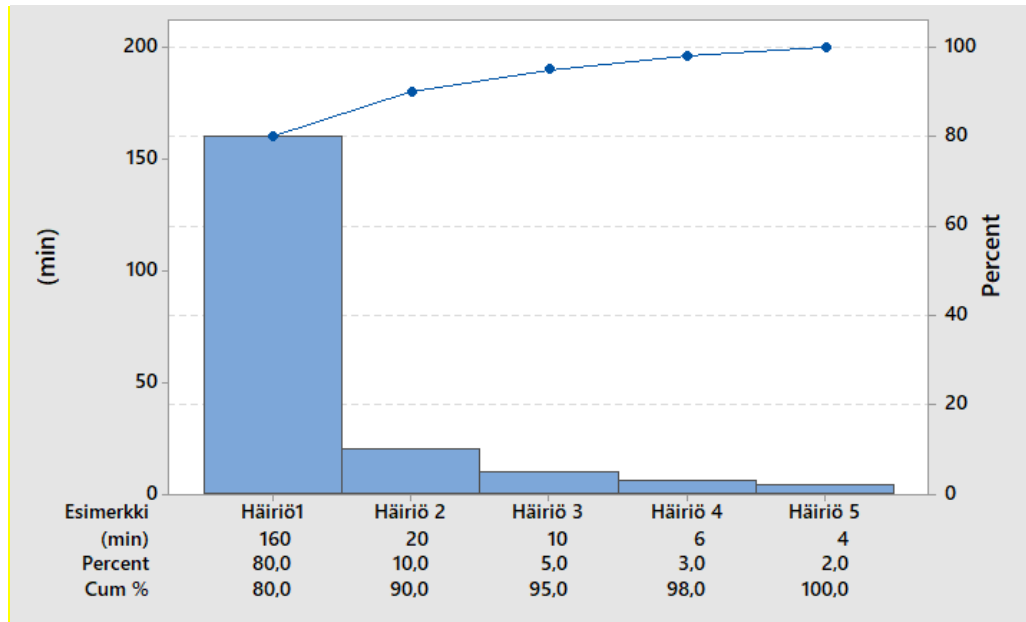
Prosessille määritetään hyväksyttävä alaraja (LSL) ja hyväksyttävä yläraja (USL). Nämä rajat kertovat kuinka tutkitavan prosessin haluttaisiin toimivan. Prosessille määritetään myös tavoitearvo (Target), joka sijoittuu alarajan ja ylärajan väliin. Raporttia luodessa,

Minitab esittää tutkimusdatan histogrammin muodossa. Histogrammi esittää tutkimusdatan jakautumisen valitulla luokkajaolla graafisesti. Se koostuu palkeista, joiden korkeus esittää kyseiseen luokkaan kuuluvien tapausten määrää. Raportti kertoo prosessin hyväksyttävän alarajan alittaneiden tapausten ja ylärajan ylittäneiden tapausten prosenttiosuudet. Raportti kertoo myös tapausten lukumäärän ja otoskeskiarvon. Otoskeskiarvon laskemisessa Minitab ei ota huomioon tapauksia, joiden arvot eroavat muiden tapausten arvoista liikaa, eli se jättää keskiarvon laskennassa huomattavasti liian suuret ja liian pienet arvot pois. Näin varmistetaan, että yksittäistapaukset eivät vääristä keskiarvoa.

3.5 Ajankäyttötutkimus

Ajankäyttötutkimuksessa tarkastellaan työajan jakautumista tehokkaan työajan ja erilaisien aikahäviöiden kesken. Tarkoituksena on selvittää, miten suuri osa tehokkaasta tuotantoajasta kuluu aikahäviöihin ja mikä niitä aiheuttaa eniten. Tutkimuksessa analysoidaan työmenetelmien epäkohdat nimenomaan ajankäytön häviöinä, jotka pyritään ratkaisemaan tavoitteellisesti. Ajankäyttöä voidaan tarkastella jatkuvasti esimerkiksi automaattisesti kerätyn tiedon tai työntekijöiden syöttämien tietojen pohjalta. Ajankäyttöä voidaan tarkastella myös tietyn ajanjakson aikana, jolloin tuotantokoneiden toimintaa voidaan seurata tarkemmin. (Martinsuo ym. 2016, 10. luku.)

Työn tutkimusosiossa pakkauslinjan tuotantokoneille tehdyistä ajankäyttötutkimuksista luotiin pareto-diagrammit käyttäen Minitab -tilasto-ohjelmaa. Kuvio 8 on esimerkki pareto-diagrammista.



Kuvio 8. Esimerkki pareto-diagrammista.

Pareto-diagrammi on hyödyllinen tiedon analysointityökalu tuotantoprosessin kroonisten ongelmien havaitsemiseen. Pareton periaate toteaa, että pieni vähemmistö tuotantoprosessin osatekijöistä aiheuttaa suurimman osuuden tuotantolinjan hävikeistä, kun taas enemmistö osatekijöistä aiheuttaa vain pienen osuuden tuotantolinjan hävikeistä. Pareton periaatetta kutsutaan myös 80/20-säännöksi. Pareto-diagrammin avulla voidaan helposti osoittaa suurimmat ongelmia aiheuttavat osatekijät. Keskittymällä eniten hävikkiä aiheuttavaan pieneen vähemmistöön, voidaan eliminoida suurin osuus hävikistä. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 88; Breyfogle III 2003, 116–117.)

Pareto-diagrammi luodaan seuraavasti:

1. Määritetään tutkittavat ja diagrammissa esitettävät osatekijät
2. Määritetään tutkimuksen aikaväli
3. Listataan kuinka usein ja kuinka paljon eri osa-alueet aiheuttivat hävikkiä
4. Järjestetään osatekijät suuruusjärjestykseen aiheutetun hävikin määrän perusteella
5. Luodaan laskeva pylväsdiagrammi kunkin osatekijän aiheutetun hävikin perusteella aloittaen suurimmasta.
6. Muodostetaan osatekijöiden prosenttiosuutta kaikesta aiheutuneesta hävikistä kuvaava kumulatiivinen viivadiagrammi (Breyfogle III 2003, 117).

3.6 Avoin haastattelu ja havainnointi

Haastattelu on yksi käytetyimmistä tapaustutkimuksen aineistonkeruumenetelmästä. Erityisesti avoin haastattelu sopii moniin tutkimustarkoituksiin joustavuutensa ansiosta. Avoimessa haastattelussa haastattelija ja haastateltava ovat suorassa vuorovaikutuksessa keskenään, jolloin haastattelu muistuttaa lähinnä keskustelua ja voi olla hyvin vapaamuotoinen. Avoin haastattelu on vaivatonta molemmille osapuolille. Paikka, jossa haastattelu toteutetaan, voidaan valita tutkittavan kohteen ja haastateltavan kannalta mahdollisimman suotuisaksi ja haastattelu voidaan ajoittaa haastateltavan haluamalle ajankohdalle ja näin ollen varmistaa haastattelun toteutuminen ja haastateltavan osallistuminen haastatteluun. (Hirsjärvi & Hurme 2000, 34–35; Hirsjärvi ym. 2009, 204–209, Ojasalo ym. 2014, 55.)

Avoimessa haastattelussa haastattelijan on mahdollista tarvittaessa toistaa kysymyksiä, esittää kysymyksiä haluamassaan järjestyksessä, selventää kysymysten sanamuotoa ja pyytää tarkennuksia vastauksiin. Avoimessa haastattelussa haastattelija voi olla varma, että vastaukset on antanut juuri tarkoituksella haastateltavaksi valittu henkilö tai kohde-ryhmä. Vastauksina saatua aineistoa voidaan alkaa analysoida suhteellisen pian haastattelun jälkeen, sillä vastaukset ovat käytettävissä saman tien, eikä niiden saamiseksi tarvitse varata erillistä vastaus- tai palautusaikaa. Avoimen haastattelun vastausten saamiseen liittyy ajansäästön lisäksi myös kustannussäästöä, sillä vastausten saamiseksi ei tarvita esimerkiksi valmiiksi maksettuja palautuskuoria. (Hirsjärvi & Hurme 2000, 34–35; Hirsjärvi ym. 2009, 204–209.)

Avoin haastattelu vie yleensä aikaa ja edellyttää haastattelijalta taitoa kuunnella ja viedä keskustelua eteenpäin. Haastattelukertoja on tyypillisesti useita. (Hirsjärvi & Hurme 2000, 35; Hirsjärvi ym. 2009, 209–210.)

Havainnointia pidetään kaikille tieteenaloille yhtenäisenä ja välttämättömänä tiedonkeruumenetelmänä. Yhdistelemällä esimerkiksi havainnoinnin ja haastattelun tuloksia, voidaan vähentää virheellisiä tutkimustuloksia ja lisätä tulosten todenperäisyyttä ja tutkimusten luotettavuutta. Havainnoinnin avulla saadaan tietoa siitä, toimivatko ihmiset niin kuin he sanovat toimivansa. Tieteellinen havainnointi on tarkkailua, ei pelkästään asioiden näkemistä. Havainnoinnin etuna on tilanteen aitous, jossa tutkija seuraa tutkittavaa kohdeilmiötä sen luonnollisessa toimintaympäristössä. Havainnoinnin käyttö tiedonke-

ruumenetelmänä on perusteltua erityisesti ihmisiin liittyvissä prosesseissa, joissa todellinen tekeminen saattaa erota suunnitellusta. Havainnoinnin avulla voidaan tunnistaa myös henkilökohtainen ja kokemukseen perustuva ns. ”hiljainen tieto”, joka muussa tapauksessa olisi mahdotonta havaita. (Hirsjärvi & Hurme 2000, 37–40; Hirsjärvi ym. 2009, 212–217; Kananen 2013, 88–90.)

Havainnointi voi olla joko systemaattista havainnointia tai osallistuvaa havainnointia. Tutkijan tehtävä riippuu siitä, kummasta havainnoinnin lajista on kyse. Systemaattinen havainnointi on jäsenneiltyä, tarkasti rajatuissa tiloissa suoritettavaa havainnointia, jossa havainnoija on ulkopuolinen toimija. Osallistuva havainnointi on puolestaan vapaata ja luonnolliseen toimintaan mukautunutta havainnointia, jossa havainnoija osallistuu ryhmän toimintaan toimien ryhmän ehdoilla pyrkien saamaan kokonaisvaltaisen kuvan tutkittavasta ilmiöstä. Osallistuvassa havainnoinnissa kommunikaatio voi olla kielellistä, mutta myös eleiden, ilmeiden, liikkeiden ja kosketuksen avulla tapahtuvaa kommunikointia. Osallistuvaa havainnointia käytetään usein kvalitatiivisen tutkimuksen tutkimusmenetelmänä. (Hirsjärvi & Hurme 2000, 37–48; Hirsjärvi ym. 2009, 212–217; Kananen 2013, 89.)

4 PAKKAUSLINJAN TEHOKKUUDEN JA KÄYNTIASTEEN KEHITTÄMINEN KOHDEYRITYKSESSÄ

Tässä luvussa esitellään tutkimuskohteena oleva pakkauslinja, sekä kuvataan linjan tuotteenvalmistusprosessia. Tämän jälkeen esitellään kohdeyrityksen tuotannon seurantajärjestelmä, sekä järjestelmästä saatujen tietojen perusteella tehtyjä analyysejä. Luvussa esitellään myös mistä ja millä tavalla tieto on kerätty ja miten tuotannon seurantajärjestelmästä saatuja tietoja on tulkittu. Seuraavaksi esitellään pakkauslinjalle suoritettuja tutkimuksia ja niiden tuloksia. Työn johtopäätöksinä esitellään toiminnallisia ja teknillisiä kehitysideoita pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntiasteen parantamiseksi.

Kaikki kerätty aineisto dokumentoidaan ja luovutetaan kohdeyritykselle hyödynnettäväksi mahdollisia jatkotutkimuksia varten.

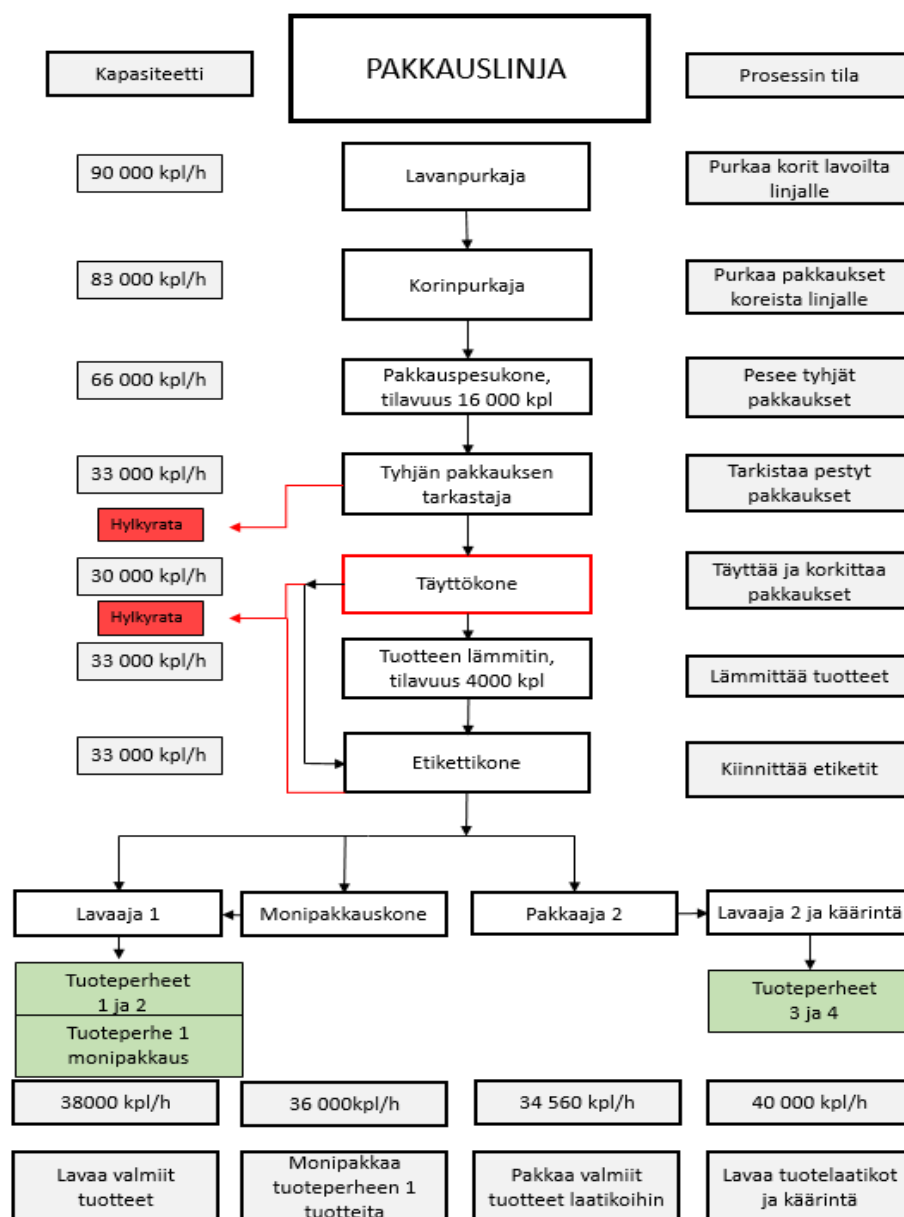
Tutkimuskohteena oleva pakkauslinja kuuluu neljän pakkauslinjan (1, 2, 3 ja tutkimuskohteena oleva) muodostamaan ryhmään, joista tutkimuksen kohteena oleva on tuotantomääriltään suurin. Nämä neljä pakkauslinjaa jakavat saman tuotantotiimin, joka koostuu koneiden käyttäjistä eli operaattoreista sekä yhdestä laitosmiehestä. Pakkauslinjoja 1 ja 2 voidaan ajaa yhdellä operaattorilla ja pakkauslinjaa 3 ajetaan usein kahdella tai kolmella operaattorilla. Tutkimuskohteena olevaa pakkauslinjaa käyttää vähintään kolme operaattoria. Yksi operaattori vastaa yhden tai useamman koneen käytöstä ja valvonnasta pakkauslinjan eri työpisteissä. Operaattoreiden työnkuvaan kuuluu myös linjan ajonaikainen laadunvalvonta. Laitosmies vastaa pakkauslinjan kunnossapito- ja huoltotöistä sekä linjan aloitus- ja vaihtotöistä tuotevaihdon yhteydessä.

Tuotannonsuunnittelu laatii viikoittaisen ajo-ohjelman, joka perustuu myyntiennusteisiin, toteutuneisiin tilauksiin ja varastotilanteeseen. Ajo-ohjelma määrittää mitä linjoja ajetaan milloinkin. Kaikkien neljän linjan samanaikainen ajo on harvinaista.

Tutkimuskohteena olevalla pakkauslinjalla valmistettavat tuotteet on jaettu neljään eri tuoteperheeseen (tuoteperhe 1, 2, 3 ja 4) pakkauksen koon, muodon, pakkausmateriaalin ja tuotteiden valmistukseen käytettävien koneiden perusteella.

4.1 Prosessikuvaus

Tutkimuksen kannalta on tärkeää perehtyä tutkittavan pakkauslinjan toimintaperiaatteen ja sen päivittäiseen käyttöön. Kuviossa 9 on esitelty pakkauslinjaan kuuluvat tuotantokoneet, sekä niiden maksiminopeudet. Kuviossa esitellään myös mitä tuotteelle tapahtuu minkäkin koneen kohdalla. Kaikki tuoteperheet kulkevat samojen koneiden lävitse pakkauslinjan alkupäästä aina etikettikoneelle asti. Etikettikone ja sitä edeltävät koneet ovat kaikkein kriittisimmät komponentit linjan tehokkuuden kannalta. Koneiden maksiminopeudet ovat samat kaikilla tuoteperheillä.



Kuvio 9. Tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan prosessikuvaus.

Pakkauslinjan alkupään lavan- ja korinpurkajan sekä pakkauspesukoneen nopeudet ovat huomattavasti muita pakkauslinjan koneita suurempia. Suuret nopeudet johtuvat pakkauslinjan historiasta. Linjalla on alun perin ollut kaksi identtistä tuotantolinjaa pesukoneesta lavaajalle asti. Linjan alkupään koneiden nopeudet on mitoitettu käsittelemään pakkauksia riittävän nopeasti tuottaakseen tarpeeksi pakkausvolyymia kahdelle linjakonaisuudelle. Pakkauslinjan toinen puoli ajettiin alas vuoden 2018 helmikuun alussa. Alas ajetun linjan koneet ovat yhä paikoillaan.

Kuviosta 9 nähdään, että pakkauslinjan loppupäässä on kaksi eri pakkauskonetta, kaksi eri lavaajaa sekä yksi monipakkaus kone. Tämä johtuu eri tuoteperheiden pakkaustyypeistä. Tuoteperheet 1 ja 2 kulkevat suoraan etikettikoneelta lavaajalle 1, joka korittaa tuotteet ja pinoaa korit lavalle varastoon kuljetusta varten. Joskus tuoteperheen 1 tuotteet kulkevat etikettikoneen jälkeen monipakkaus koneelle, jossa tuotteet pakataan monipakkauksiin ennen lavaamista. Tuoteperheiden 3 ja 4 tuotteet kulkevat etikettikoneelta omalle pakkauslinjalle, jossa tuotteet pakataan suuremmiksi tuotepakkauksiksi pakkaus koneella 2. Tämän jälkeen lavaaja 2 lavaa pakkaukset ja valmiit tuotelavat siirtyvät käärintäkoneelle kelmutettavaksi.

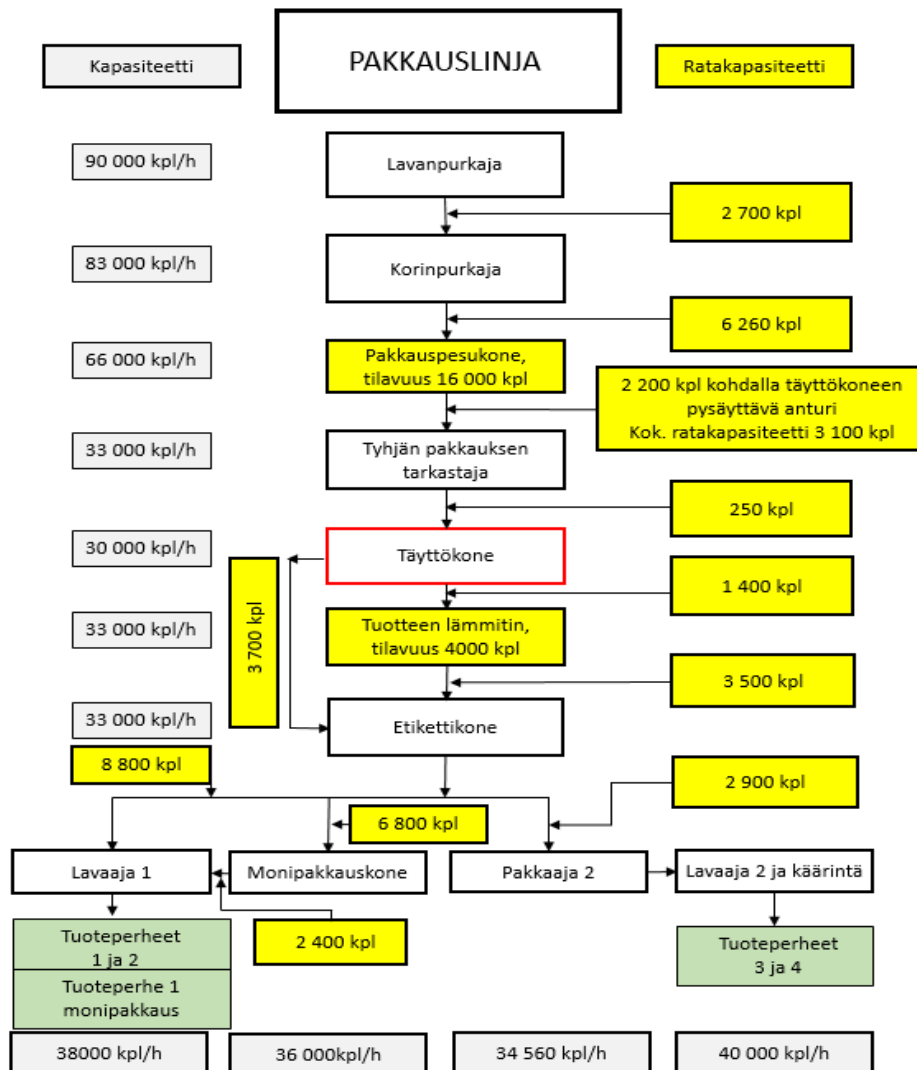
Pakkauslinjalla on erilaisia automaattisia tarkastajia, jotka poistavat laadullisesti puutteellisia tuotteita linjalta. Pestyt ja tyhjät pakkaukset tarkastetaan tyhjän pakkauksen tarkastajalla, joka ohjaa vääränlaiset tai vialliset pakkaukset hylkyradalle tai jätelavalle. Täyttökoneen yhteydessä oleva tarkastaja hylkää alitäytettyjä ja sinetöintivirheellisiä pakkauksia omalle hylkyradalleen. Etikettikoneen yhteydessä oleva tarkastaja hylkää virheellisesti etiketöityjä tuotteita omalle hylkyradalleen. Pakkauspesukoneen sisään syötöllä operaattori suorittaa silmämääräistä laaduntarkkailua ja poistaa linjalta vääränlaiset ja vialliset pakkaukset. Pesukoneen sisään syötössä on myös pakkauksen korkeuden tarkastaja, joka pysäyttää pakkauslinjan väärän korkuisen pakkauksen kohdalla. Operaattori poistaa virheellisen pakkauksen ja käynnistää linjan uudelleen.

Pakkauslinjalla on kolmesta neljään operaattorin työpistettä pakattavasta tuotteesta ja pakkaustyyppistä riippuen. Ensimmäinen työpiste on pakkauslinjan robottipäädystä, johon kuuluvat lavan- ja korinpurkaja, lavaaja 1 sekä tuoteperheiden 3 ja 4 kohdalla pakkaaja 2, lavaaja 2, sekä käärintäkone. Toinen työpiste on pesukoneella, jossa operaattori vastaa pakkauslaadun tarkkailusta, sekä pesukoneen käytöstä. Kolmas työpiste on pakkauksen tarkastajan, täyttökoneen ja etikettikoneen alueella, jossa yksi operaattori vastaa näiden koneiden käytöstä. Kolmas työpiste vaatii eniten manuaalista työtä. Jos tuoteperheen 1 tuotteita ajetaan monipakkaus koneen kautta, on sielläkin

oltava operaattori vastaamassa monipakkaus koneen laadun valvonnasta, pakkausmateriaalin syötöstä ja koneen käytöstä. Jos linjalla pakataan tuoteperheiden 3 ja 4 tuotteita, vaativat pakkaus kone 2, lavaaja 2 ja käärintäkone yhden operaattorin työpanoksen.

4.1.1 Ratakapasiteetit

Kuviossa 10 on kuvattu pakkauslinjan koneiden maksiminopeuksia ja niiden välisiä ratakapasiteetteja. Pakkauslinjan ratojen kapasiteetit ja koneiden maksiminopeudet vaihtelevat suuresti. Koneiden maksiminopeuksia ja niiden välisiä ratakapasiteetteja tarkasteltiin mahdollisten pullonkaulojen ja kriittisten työvaiheiden tunnistamiseksi.



Kuvio 10. Tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan tuotantonopeudet ja ratakapasiteetit.

Kuten kuvioista 10 voidaan nähdä, pakkauslinjan alkupään ei pitäisi aiheuttaa ongelmia linjan ajonopeudessa, koska lavan- ja korinpurkajan tuotantonopeudet ovat suurempia kuin muiden pakkauslinjan koneiden nopeudet. Ongelmia voi aiheutua vain koneiden toiminnan pitkäaikaisesti seisauttavien häiriöiden aikana. Ongelmaksi voi muodostua myös lajittelusta tulleet liian tyhjät pakkauskorit, jotka alentavat korinpurkajan nopeutta. Korinpurkajan häiriötilanne saa kestää maksimissaan noin 12 minuuttia 30 000 kpl/h ajonopeudella, jotta sillä ei ole vaikutusta linjan muuhun toimintaan.

Kuviosta 10 huomataan, että pesukoneeseen mahtuu 16 000 pakkausta. Tämä kapasiteetti ei kuitenkaan toimi puskurina kovinkaan hyvin, koska pesukoneessa on yksittäiset paikat kaikille pakkauksille. Jos pakkauspesukonetta ajetaan sen sisäänsyötön ollessa kiinni, jäävät lokerot tyhjiksi. Pesukoneen sisäänsyötön katkeaminen näkyy pakkausvirran katkeamisena vasta, kun pakkauksen ovat kulkeneet sen läpi. Näin voi käydä usein, koska pesukoneessa pakkaukset kulkevat ensin lipeäpesualueiden läpi. Jos pakkaukset ovat liian kauan lipeäpesualueella, niistä tulee käyttökelvottomia, joten pakkaukset pyritään ajamaan pois lipeäalueelta pysähdysten sattuessa. Tämä on kuitenkin mahdotonta jos pesukoneen jälkeinen rata on täynnä ja linja pysähdyksissä. Käyttökelvottomien pakkausten hylkääminen suoritetaan manuaalisesti ja sen aikana pesukonetta on ajettava alennetulla nopeudella.

Kuviosta 10 voidaan nähdä, että pesukoneen ja tarkastajan välisellä linjalla on pakkausvirta-anturi, jota ennen ratatilavuus on noin 2 200 pakkausta. Kun anturi huomaa, että linjalla ei ole enää pakkauksia, täyttökone pysähtyy. Täyttökone hidastaa merkittävästi tuotantonopeuttaan, mikäli pakkausvirta katkeaa pesukoneelta. Täyttökone pysähtyy kokonaan, jos se ehtii täyttämään alennetulla nopeudella 2 200 tuotetta. Täyttökone käynnistyy uudelleen, kun pakkausvirta jatkuu pesukoneelta ja saavuttaa kyseisen anturin. Tarkastajan häiriötilanteet katkaisevat täyttökoneen toiminnan lähes heti, koska niiden välinen ratatilavuus on sen verran pieni.

Kuviosta 10 nähdään myös täyttökoneen, tuotteen lämmittimen ja etikettikoneen väliset ratatilavuudet. Tuotteita lämmitetään etiketöinnin helpottamiseksi sekä pakkaajan 2 ja monipakkaajan toiminnan varmistamiseksi. Täyttökoneen ja lämmittimen välinen ratakapasiteetti on 1 400 kpl. Lämmittimen kapasiteetti on noin 4 000 kpl ja se toimii pakkauspesukonetta paremmin puskurina, koska tuotteet virtaavat sen läpi vapaasti. Lämmittimen ja etikettikoneen välinen ratakapasiteetti on 3 500 kpl. Lämmitin on myös mahdollista ohittaa rataohjaimien avulla, jolloin ratakapasiteetti täyttökoneelta etikettikoneelle on noin 3 700 kpl. Kun tuotanto ohjataan lämmittimen läpi on

täyttökoneen ja etikettikoneen välinen ratakapasiteetti 8 900 kpl. Suuren ratakapasiteetin ansiosta etikettikone voi jatkaa toimintaansa noin 20 minuuttia maksiminopeudella, vaikka täyttökone olisi pysähtyneenä. Etikettikone myös alentaa nopeuttaan automaattisesti huomattuaan tuotevirran vähentyneen täyttökoneelta tai etikettikoneen jälkeisen tuoteruuhkan. Nopeutta voidaan säätää myös manuaalisesti.

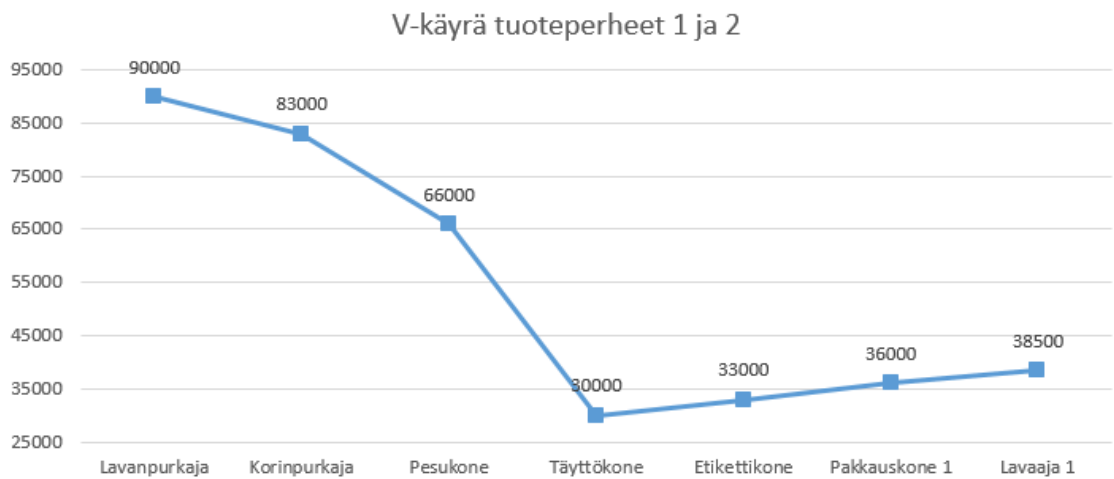
Etikettikoneen ja pakkaajan 2 välinen ratakapasiteetti on 2 900 kpl. Pakkaaja 2, lavaaja 2 ja käärintäkone sijaitsevat niin lähellä toisiaan, että niiden välinen ratakapasiteetti on lähes olematon. Jos joku niistä pysähtyy, pysähtyvät myös muutkin tähän loppupakkauslinjaan kuuluvat koneet. Etikettikoneen ja lavaajan 1 välinen ratakapasiteetti on suuri, 8 800 kpl. Etikettikoneen ja monipakkauslavan välinen ratakapasiteetti on 6 800 kpl. Monipakkauslavan ja lavaajan välinen ratakapasiteetti on 2 400 kpl. Jos radat ovat aivan täynnä loppupakkauksen pysähtyessä, myös muut pakkauslinjan koneet pysähtyvät, koska tuotteita ei enää mahdu radoille.

Tuotantokoneiden tuotantonopeuksien alentamisella voidaan välttää tuotantokoneiden pysähdyksiä. Tuotantokoneet toimivat parhaiten kun ne ovat koko ajan käynnissä, vaikka joskus alennetuilla nopeuksilla.

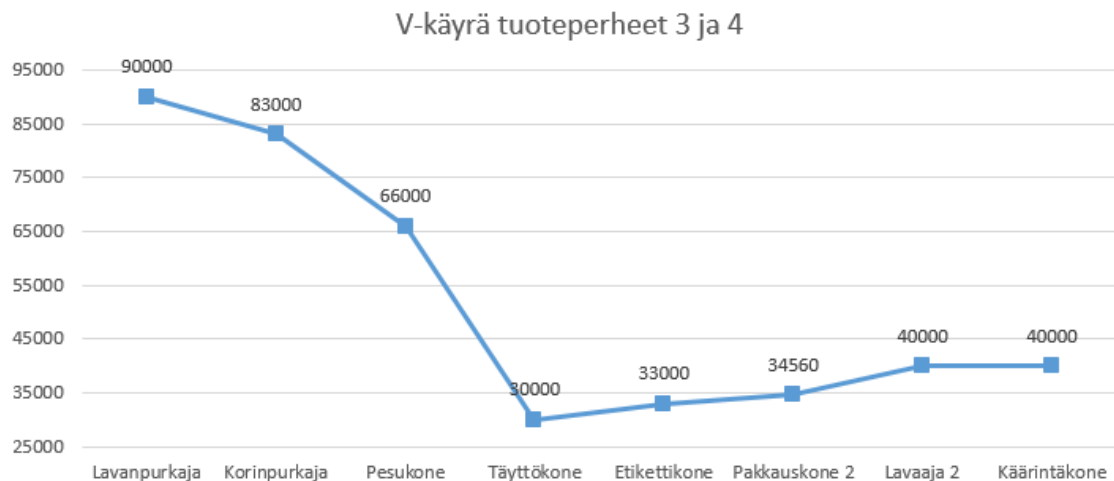
4.1.2 Tuotantokoneiden maksiminopeudet ja V-käyrä

Pakkauslinjan koneiden nopeuksista laadittiin V-käyrät, jotta voidaan määrittellä kriittinen kone. Kriittinen kone määrittää koko pakkauslinjan maksiminopeuden, koska pakkauslinja pystyy valmistamaan tuotteita yhtä nopeasti kuin sen hitain kone.

Työssä luotiin kaksi V-käyrää, toinen tuoteperheille 1 ja 2 (kuvio 11) ja toinen tuoteperheille 3 ja 4 (kuvio 12), koska näiden tuoteperheiden tuotteiden loppupakkauksessa käytetään eri koneita etikettikoneen jälkeen. Kuvioista 11 ja 12 voidaan todeta, että tämän pakkauslinjan kriittinen kone on täyttökone. Sen maksiminopeus 30 000 kpl/h on linjan hitain. Pakkauslinjan koneiden nopeudet muodostavat selkeän V-käyrän, joka takaa normaalissa ajotilanteessa, että täyttökoneelle ei aiheudu pakkauspulaa. Myöskään täyttökoneen jälkeiselle radalle ei synny ajonopeutta alentavaa tuoteruuhkaa.



Kuvio 11. V-käyrä tuoteperheet 1 ja 2.



Kuvio 12. V-käyrä tuoteperheet 3 ja 4.

Pakkauspesukone ja etikettikone sijaitsevat kriittisen koneen molemmin puolin. Tästä syystä niiden jatkuva toiminta on lähes yhtä tärkeää kuin täyttökoneen toiminta pakkauslinjan tuotantonopeuden kannalta.

4.2 Kohdeyrityksen pakkaamon tuotannon seurantaseurantajärjestelmä

Kohdeyrityksessä on käytössä sähköinen tuotannon seurantajärjestelmä, jota hyödynnetään pakkauslinjojen toiminnan seurantaan. Järjestelmä mahdollistaa pakkauslinjojen tuotannon seuraamisen reaaliajassa, ja myös takautuvasti. Järjestelmän avulla voidaan

seurata yksittäisen pakkauslinjan tuotantoarvoja, kuten esimerkiksi hävikkiä, operaattorilukumäärää ja tuotantomäärää ajoeräkohtaisesti, tai tietyn aikavälin keskiarvallisesti.

Järjestelmän vuoropäiväkirjan avulla voidaan seurata, miten pakkauslinjan käyttöaika jakautuu. Vuoropäiväkirjasta voidaan seurata muun muassa sitä, miten pitkään pakkauslinja on miehittämättömänä tai kuinka kauan aloitustyöt, vaihdot, pesut, tauot ja ajoerät ovat kestäneet. Eri toimintojen kestot ja ajankohdat merkitään tarkasti. Vuoropäiväkirjasta voidaan lukea myös, mitä tuotetta on ajettu, kuinka paljon tuotetta on tuotettu täyttökoneella ja kuinka suuri osa täytetyistä tuotteista on ollut hyväksytyjä. Tuotteiden valmistusmäärät luetaan suoraan täyttökoneen tuotantojärjestelmästä ja hyväksytyjen tuotteiden osuus määräytyy pakkauslinjalta varastoon lähtevien tuotelavojen mukaan. Tuotannon viimeisenä valmistuvat lavalliset ovat joskus vajaita, jolloin vajaa lava kirjataan manuaalisesti kokonaisten lavojen lisäksi. Hyväksytyt tuotteet lähetetään kohdeyrityksen logistiikkaosastolle.

Järjestelmän häiriökirjanpidosta voidaan seurata pakkauslinjan eri koneiden häiriöitä ja niiden kestoja. Häiriökirjanpitoon merkitään häiriön kesto, sekä tieto siitä, kuinka kauan tuotanto on ollut pysähdyksissä häiriön takia. Häiriökirjanpitoon merkitään yleisesti kaikki häiriöt, jotka ovat pysäyttäneen pakkauslinjan tuotannon yli viideksi minuutiksi. Häiriökirjanpidon merkintöjä ei merkitä vuoropäiväkirjaan. Jos halutaan tarkastella, kuinka paljon pakkauslinjan tuotanto on ollut häiriöiden takia pysähdyksissä eri aikaväleillä, se on tarkistettava manuaalisesti molemmista järjestelmistä ajankohtia vertaamalla.

Tiedot tallentuvat järjestelmään joko automaattisesti, tai tuotantotiimin toimesta manuaalisesti merkiten. Esimerkiksi yhden ajoerän pituus tallentuu järjestelmään automaattisesti alkaen siitä, kun ensimmäinen valmis lavallinen tuote lähtee varastoon ja päättyen viimeisen tuotelavan lähtöön.

Järjestelmään tallentuvia tietoja käytetään kohdeyrityksen pakkaamon tuotannon seurantaan, joten järjestelmästä saatavia tietoja voidaan pitää luotettavina tiedonlähteinä työn tutkimusosion kannalta.

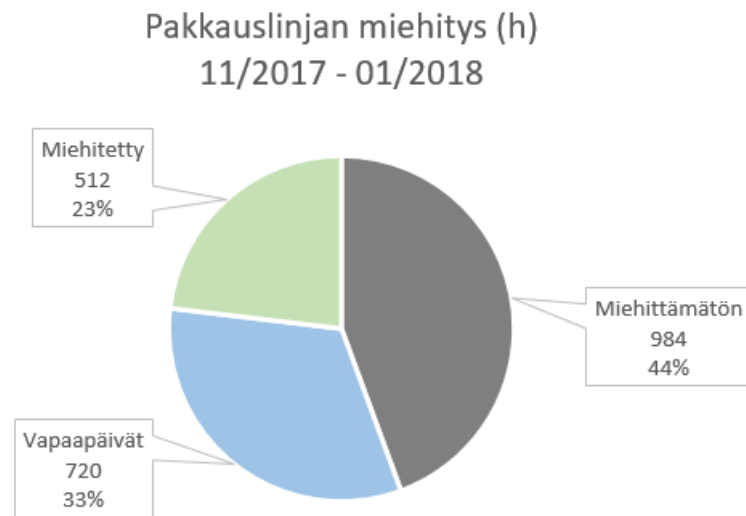
4.3 Pakkauslinjan kokonaisajan tarkastelu

Kokonaisajan tarkastelu on jaettu kahteen osaan kuuden kuukauden jaksolla. Ensimmäinen jakso kattaa 11/2017–01/2018 ja toinen jakso 02/2018–04/2018. Jaottelu on tehty siksi, että saadaan mahdollisimman todenmukainen ja nykytilannetta vastaava kuva pakkauslinjan toiminnasta. Mikäli tutkimus olisi suoritettu kuuden kuukauden jaksolla ilman jaottelua, eivät tulokset vastaisi nykytilannetta, jossa toinen pakkauslinja ei ole käytössä. Jaottelun ansiosta voidaan myös tehdä havaintoja siitä, miten toisen puolen alasajo on vaikuttanut tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan toimintaan. Tutkimustulosten tulkinnaissa keskitytään enemmän toiseen jaksoon, koska se vastaa pakkauslinjan nykytilannetta.

Kaikki tutkimukset, joissa käytetään kohdeyrityksen tuotannon seurantajärjestelmästä saatuja tietoja, jaotellaan ensimmäisen ja toisen jakson osiin.

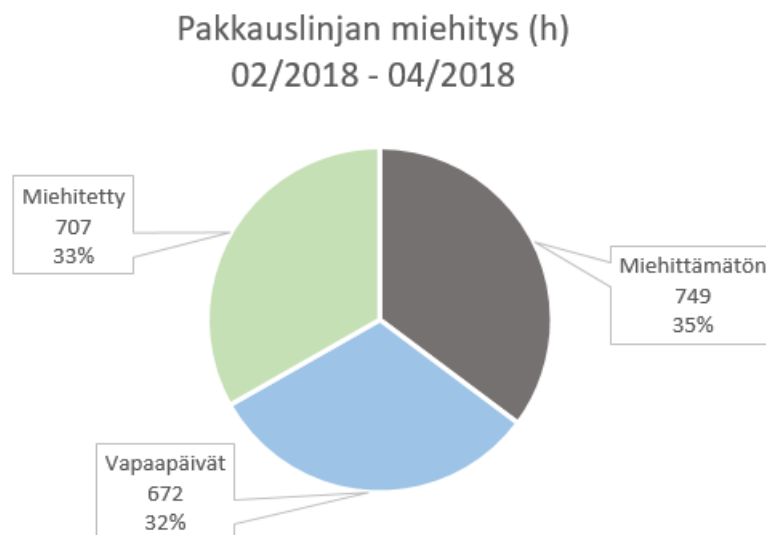
4.3.1 Pakkauslinjan kokonaisajan jakautuminen

Tässä luvussa tarkastellaan pakkauslinjan kokonaisajan jakautumista. Aikatiedot on kerätty pakkauslinjan tuotannonseuranjärjestelmän vuoropäiväkirjasta. Kuvioissa 13 ja 14 on kuvattu pakkauslinjan ensimmäisen ja toisen jakson vuorojärjestelmällistä ajan jakautumista vapaapäivien, miehittämättömän ja miehitetyn ajan osalta. Vapaapäiviin kuuluvat viikonloput ja muut yleiset vapaapäivät. Kohdeyrityksessä viikonloppuaika alkaa perjantaina kello 22.00 ja päättyy sunnuntaina kello 22.00. Miehittämättömään aikaan kuuluu kaikki se aika, jolloin tutkimuskohteena olevalla pakkauslinjalla ei työskentele yhtään operaattoria. Miehitetty aika alkaa, kun pakkauslinjaa aletaan valmistella tuotantoon aloitustöillä miehittämättömän ajan päätteeksi. Miehitettyyn aikaan kuuluu aloitustyöt, tuotantoaika, tuotteenvaihtotyöt, yhteistauot, pakkauslinjan pesuihin kulunut aika sekä muu aika, kuten tuotteiden laatua koskevat testit ja parannukset, odotusaika ja koulutukset.



Kuvio 13. Pakkauslinjan kokonaisajan jakautuminen ensimmäisellä jaksolla.

Kuviosta 13 nähdään, että pakkauslinja on ollut ensimmäisen tutkimusjakson aikana miehitettynä vain 23 % kokonaisajasta. Arkipäivinä, joka saadaan vähentämällä viikonloput ja vapaapäivät kokonaisajasta, pakkauslinja on ollut miehitettynä vain 34 % ajasta.



Kuvio 14. Pakkauslinjan kokonaisajan jakautuminen toisella jaksolla.

Toisen tutkimusjakson aikana, pakkauslinjan käyttöaste on kohonnut. Kuten kuviosta 14 nähdään, pakkauslinja on ollut miehitettynä 33 % kokonaisajasta ja 49 % arkipäivistä.

Miehitetyn ajan nousu tutkimuksen toisella jaksolla selittyy pakkauslinjan maksimituotantonopeuden puoliintumisella. Pakkauslinjan toinen osa ajettiin alas tuotantokäytöstä.

4.3.2 Miehitetyn ajan jakautuminen ja pakkauslinjan käyntiaste

Seuraavaksi tutkittiin pakkauslinjan miehitetyn ajan jakautumista. Miehitetty aika on jaettu yhdeksään kategoriaan.

1. Aloitustyöt

Aloitustöihin kuuluu linjan valmistelu tuotantoon miehittämättömän ajan jälkeen.

2. Tuotevaihdot

Tuotevaihtoihin kuuluu eri tuotantokoneiden komponenttien ja asetusten muuttaminen pakattavan tuotteen mukaan. Tuotevaihto alkaa edellisen ajoerän viimeisen tuotelavan valmistumisesta ja päättyy uuden tuotteen ensimmäisen tuotelavan valmistumiseen.

3. Aloitustöiden ja vaihtotöiden aikaiset häiriöt

Kohdeyrityksen tuotannon seurantajärjestelmän häiriökirjanpidosta luetut häiriöt, jotka ovat tapahtuneet aloitustöiden ja vaihtotöiden aikana. Vain se aika, jonka pakkauslinja on merkitty olevan pysähtyneenä häiriön takia on laskettu aloitustöiden ja vaihtotöiden aikaisiin häiriöihin. Häiriö on voinut kestää kauemminkin, mutta häiriö ei ole mahdollisesti vaikuttanut aloitus- tai vaihtotöiden keston.

4. Tehokas tuotantoaika

Tuoteperheiden 1, 2, 3 ja 4 tuotantoon käytetty kokonaisaika. Tehokkaasta tuotantoajasta on vähennetty tuotannonaikainen häiriöaika, jolloin pakkauslinja on ollut pysähtyneenä sekä yhteistauot ja tuotannonaikaiset pesut.

5. Tuotannon aikaiset häiriöt

Kohdeyrityksen tuotannon seurantajärjestelmän häiriökirjanpidosta luetut häiriöt, jotka ovat tapahtuneet tuoteperheiden 1, 2, 3 ja 4 tuotannon aikana. Vain se aika, jonka pakkauslinja on ollut pysähtyneenä häiriön takia, on laskettu tuotannon aikaiseksi häiriöksi. Häiriö on voinut kestää kauemminkin, mutta osa häiriöajasta on mahdollisesti vain alentanut pakkauslinjan nopeutta tai se ei ole vaikuttanut tuotantonopeuteen lainkaan.

6. Yhteistauot

Vuoropäiväkirjaan merkitään myös operaattoreiden lukumäärä ajon aikana. Esimerkiksi, jos pakkauslinjalla työskentelee kolme operaattoria ajon aikana, merkitään vuoropäiväkirjaan operaattoreiden lukumääräksi neljä, koska myös laitospies lasketaan linjan operaattorivahvuuteen. Laitospies voi tuurata operaattoreita linjan työpisteillä operaattoreiden taukojen aikana, mutta kuitenkin kohtuudella. Jos laitospies joutuisi tuuraamaan jokaisen operaattorin molemmat tauot, jäisi laitospieshelle liian vähän aikaa omien työtehtävien hoitamiseen tuurausten ja omien taukojen jälkeen. Laitospies vastaa myös kolmen muun pakkauslinjan kunnossapitotöistä. Usein vuoron laitospies ei ehdi tuuraamaan operaattoreiden taukoja. Operaattorit pitävät yhteistaukoja, jos operaattoreiden määrä ei riitä pitämään kaikkia työpisteitä miehitettyinä taukojen aikana. Operaattorilla on kaksi 30 minuutin taukoa kahdeksan tunnin työvuoron aikana. Yhteistaukoihin on laskettu kaikki Kohdeyrityksen tuotannon seurantajärjestelmään merkityt yhteistauot. Lisäksi, mikäli vuoropäiväkirjasta on nähtävissä, että ajoerän aikainen vuorohtainen operaattorimäärä on ollut enintään 4,5 henkilöä, on yhteistaukoja merkitty manuaalisesti. Näin on varmistettu taukojen totuudenmukainen määrä aineistossa. Jos pakkauslinja on ollut häiriön takia pysähdyksissä kohtuuttoman paljon ajoerän aikana, ei yhteistaukoa ole merkitty, koska tauot on oletetusti pidetty kunnossapitotöiden aikana.

7. Tuotannon aikaiset pesut

Pakkauslinjan täyttökone pestään säännöllisesti tietyn tuotantomäärän jälkeen. Pesulla varmistetaan tuotteiden laatu. Täyttökoneen pesu pysäyttää tuotannon noin 20 – 30 minuutiksi. Operaattorit pyrkivät pitämään yhteistauon aina pesun aikana, mutta ajoittain pesu ei osu taukojen ajalle. Yhteistaukojen aikainen pesu merkitään vuoropäiväkirjaan usein vain yhteistaukona, joten todellisuudessa pesuja on enemmän. Pesuja ei merkitä erikseen, jotta taukoihin ja pesuihin kuluva aika ei näyttäisi kaksinkertaiselta todelliseen tilanteeseen nähden. Tuotannon aikaisiin pesuihin lasketaan se aika, jonka pakkauslinja on ollut pysähtyneenä pesujen takia.

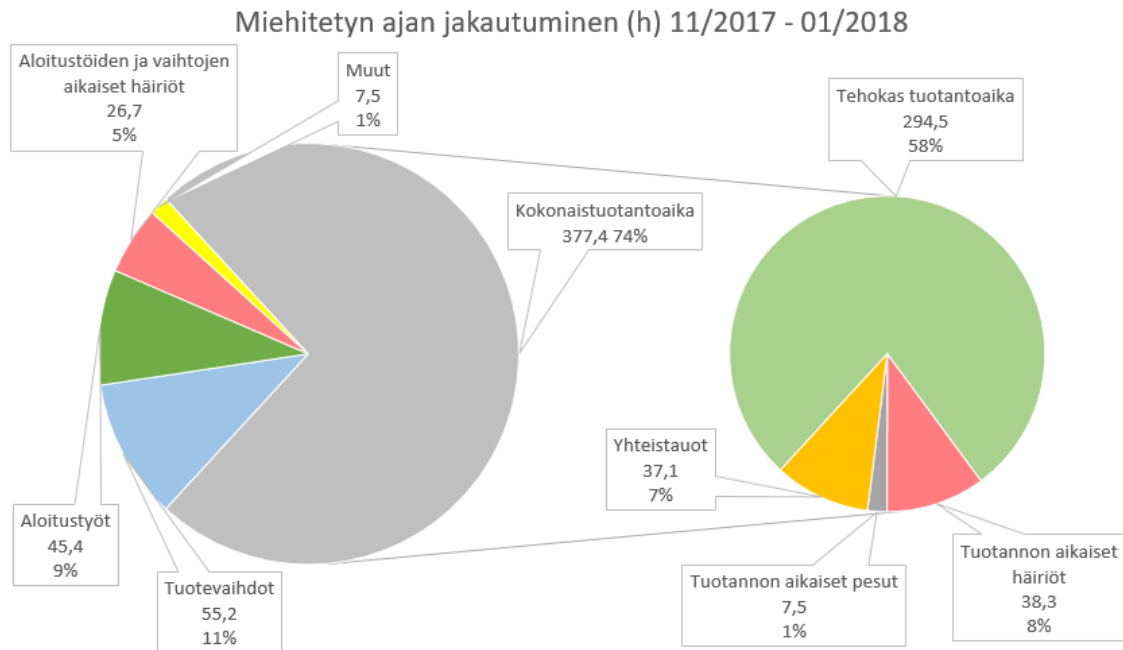
8. Muut

Muuhun aikaan lasketaan odotusaika, pakkauslinjan ilta- ja viikkopesut, koulutukset, tuotantotiimin omat palaverit, testit ja parannukset.

Pakkauslinjan kokonaistuotantoaika tarkoittaa tässä tutkimuksessa aikaa, jolloin pakkauslinjan olisi teoriassa mahdollista toimia täydellä nopeudella. Kokonaistuotantoaika

jakautuu tehokkaaseen tuotantoaikaan, tuotannon pysäyttäviin häiriöaikoihin, yhteistaukoihin ja tuotannon aikaisiin pesuihin.

Kuvioissa 15 ja 16 on kuvattu pakkauslinjan miehitetyn ajan jakautumista ensimmäisellä ja toisella jaksolla.



Kuvio 15. Pakkauslinjan miehitetyn ajan jakautuminen ensimmäisellä jaksolla.

Kuviosta 15 huomataan, että ensimmäisen jakson aikana kokonaistuotantoajan osuus miehitetystä ajasta oli 74 %. Pakkauslinjan käyntiaste, eli tehokkaan tuotantoajan suhde miehitettyyn aikaan, oli 58 %. Aloitustöihin kului 9 % kokonaisajasta. Tuotteenvaihtotöihin, johon kuuluu pakattavan tuotteen vaihtamiseen kuluva aika, kului 11 % kokonaisajasta. Aloitustöiden ja tuotteenvaihtojen aikainen häiriöaika oli 5 % kokonaisajasta. Häiriöaika selvitettiin vertaamalla tuotannon seurantajärjestelmän vuoropäiväkirjan merkintöjä häiriökirjanpidon tietoihin.

Jos häiriöaikaa ei vähennettäisi aloitustyöajasta ja tuotteenvaihtoajasta, olisi aloitustyöaika 58,8 tuntia eli 11,4 % kokonaisajasta. Ja vastaavasti tuotevaihtoihin kulunut aika 68,6 tuntia eli 13,4 %.

Kuviosta 15 voidaan lukea myös ensimmäisen jakson kokonaistuotantoajan jakautuminen. Tehokkaan tuotantoajan osuus oli 78 %. Tuotannon aikaisten häiriöiden ajallinen

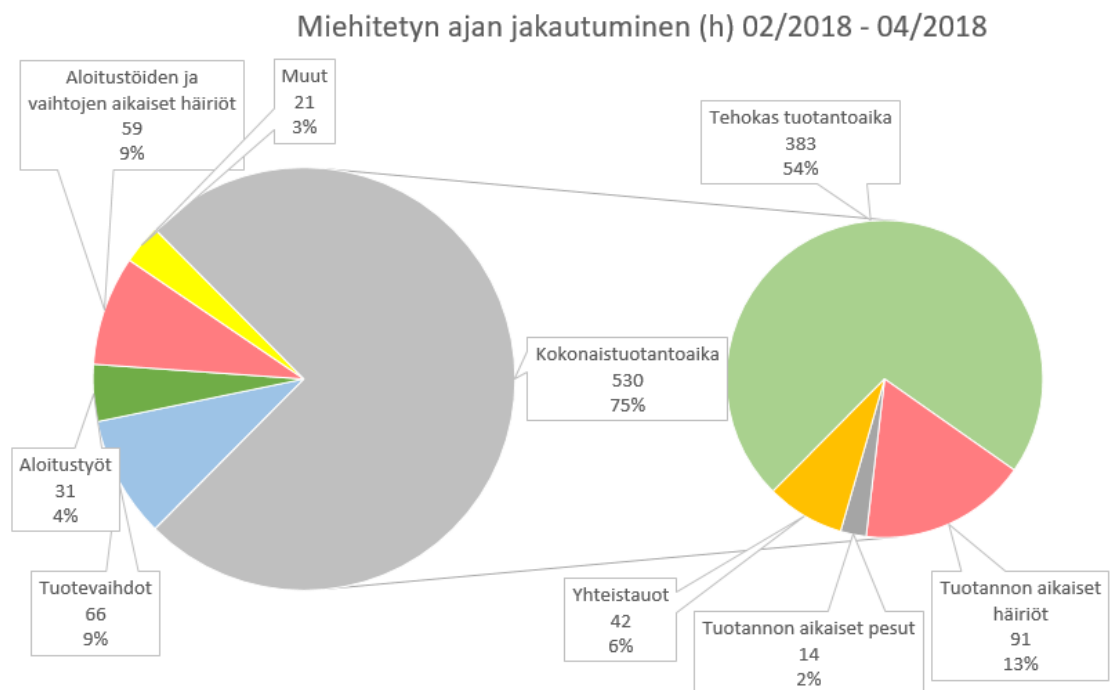
osuus oli 10 %, samoin kuin yhteistaukojen. Tuotannon aikaisiin pesuihin kului vain 2 % kokonaistuotantoajasta.

Ensimmäisellä jaksolla tehokas tuotantoaika (**294,5 h**) jakautui neljän tuoteperheen kesken taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Ensimmäisen jakson tehokkaan tuotantoajan jakautuminen.

Tuoteperhe	Tuotantoaika	Prosenttiosuus
Kaikki	294,5 h	100,0%
Tuoteperhe 1	156,9 h	53,0%
Tuoteperhe 2	79,2 h	27,0%
Tuoteperhe 3	18,3 h	6,2%
Tuoteperhe 4	36,8 h	12,5%

Pakkauslinjan ensimmäisen jakson yhteenlaskettu häiriöaika miehitetystä ajasta oli 13 %.



Kuvio 16. Pakkauslinjan miehitetyn ajan jakautuminen toisella jaksolla.

Kuviosta 16 voidaan tarkastella toisen jakson miehitetyn ajan jakautumista. Kokonaistuotantoajan osuus miehitetystä ajasta oli 75 %, joka on suunnilleen sama kuin ensimmäisen jakson aikana. Pakkauslinjan käyntiaste eli tehokkaan tuotantoajan suhde miehitettyyn aikaan oli 54 %. Aloitustöihin kului 4 % ja tuotevaihtoihin 9 % miehitetystä ajasta. Aloitustöiden ja tuotevaihtojen aikaisiin häiriöihin kului 9 % miehitetystä ajasta.

Jos häiriöaikaa ei vähennettäisi aloitustyöajasta ja tuotevaihtoajasta, vaan jaettaisiin häiriöaika näiden kesken, olisi aloitustyöaika 60,4 tuntia eli 8,5 % kokonaisajasta. Vastavasti tuotevaihtoihin kulunut aika olisi 95,3 tuntia eli 13,5 %.

Aloitus- ja vaihtotöiden häiriöaika kasvoi lähes kaksinkertaisesti ensimmäisestä jaksosta toiseen jaksoon, mutta aloitus- ja vaihtotöiden sekä niiden aikaisten häiriöiden yhteenlaskettu osuus miehitetystä ajasta laski 11,7 %. Suurin muutos tapahtui aloitustöiden ja niiden aikaisiin häiriöihin kuluneessa ajassa, mikä laski 25,4 %. Tämä tarkoittaa sitä, että kokonaistuotantoajan osuus miehitetystä ajasta kasvoi, koska ajoerien aloitukseen kului suhteellisesti vähemmän aikaa.

Kuviosta 16 voidaan lukea toisen jakson kokonaistuotantoajan jakautuminen. Tehokkaan tuotantoajan osuus oli 72,2 %. Yhteistaukoihin kului 7,9 % ja tuotannon aikaisiin häiriöihin 17,2 % kokonaisajasta. Tuotannon aikaisiin pesuihin kului 2,6 % kokonaisajasta.

Toisella jaksolla tehokas tuotantoaika (**383 h**) jakautui neljän tuoteperheen kesken taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Toisen jakson tehokkaan tuotantoajan jakautuminen.

Tuoteperhe	Tuotantoaika	Prosenttiosuus
Kaikki	383,0 h	100,0%
Tuoteperhe 1	208,2 h	54,4%
Tuoteperhe 2	75,5 h	19,8%
Tuoteperhe 3	27,9 h	7,3%
Tuoteperhe 4	66,1 h	17,3%

Yhteistaukojen osuus kokonaistuotantoajasta laski toisella jaksolla ensimmäisen jakson kymmenestä prosentista kahdeksaan prosenttiin.

Tuotannon aikaisten häiriöiden osuus kokonaistuotantoajasta kasvoi ensimmäisen jakson kymmenestä prosentista toisella jaksolla 17,2 %:n. Kasvu on suhteellisesti 72%.

Pakkauslinjan toisen jakson yhteenlaskettu häiriöaikojen osuus miehitetystä ajasta oli 22 %. Suhteellinen kasvu verrattuna ensimmäisen jakson yhteenlaskettuun häiriöaikaan oli noin 70 %.

Tuotannon aikaisten häiriöiden kasvua selittäviä tekijöitä ovat tuotantomäärän kasvu siirryttäessä pakkaamaan tuotteita kahdelta linjalta yhdelle linjalle, sekä linjamuutoksen mukana tulleet monipakkauskoneen vaihtotyöt. Kun pakkauslinjalla oli kaksi linjakokonaisuutta pakkauspesukoneen jälkeen, oli molemmilla linjoilla oma monipakkauskoneensa. Molemmilla monipakkauskoneella pakattiin vain yhtä monipakkaustyyppiä. Toisen linjan lakkauttamisen johdosta tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan monipakkauskoneella alettiin pakkaamaan molempia monipakkaustyyppijä. Koneen häiriöiden määrä alkoi nousta lisääntyneiden vaihtojen, sekä ajon aikana.

4.4 Häiriöiden jakautuminen

Tässä luvussa käsitellään pakkauslinjan kokonaistuotantoajan aikaisia häiriöitä. Häiriöiden aiheuttajat ja linjan pysähdysajat jaoteltiin ensimmäisen ja toisen jakson miehitetylle ajalle. Häiriöt jaoteltiin myös tuoteperheiden 1, 2, 3 ja 4 ajoille, alkaen aloitustöistä tai tuotteenvaihdosta ja päättyen seuraavan tuotteenvaihdon alkamiseen. Tutkimukseen ei ole laskettu häiriöitä, jotka on merkitty pakkauslinjan miehittämättömälle ajalle niiden vähäisyyden takia, sillä ne eivät vaikuta pakkauslinjan suunniteltuun tuotantoaikaan.

Häiriöiden syitä ja kestoja kuvattiin Minitab -tilasto-ohjelmalla luoduilla pareto-diagrammeilla. Pareto-diagrammeissa tutkimustulokset asetettiin suuruusjärjestykseen vasemmalta oikealle suurimmasta häiriön aiheuttajasta pienimpään. Pareto-diagrammeissa on myös häiriöiden kestoja kuvaava kumulatiivinen prosenttikuvaaja, joka mahdollistaa suurimpien häiriöiden aiheuttajien osuuden laskemisen kaikista häiriöistä.

Häiriöiden kestoihin ja jakautumiseen keskityttiin, koska haluttiin selvittää, mitkä pakkauslinjan osa-alueet aiheuttivat eniten tuotannon pysähdystä. Häiriöiden kestoja ja aiheuttajia tutkittiin myös tuoteperhekohtaisesti, koska haluttiin selvittää, mitkä osa-alueet ovat kaikkein häiriöalttiimpia eri tuoteperheiden ajon aikana. Eri tuoteperheiden tuotannossa käytetään myös eri loppupakkaamislinjoja. Häiriöiden tuotannon pysäyttävät kestot ja aiheuttajat luettiin häiriökirjanpidosta ja ne jaoteltiin ajoerille vuoropäiväkirjan avulla.

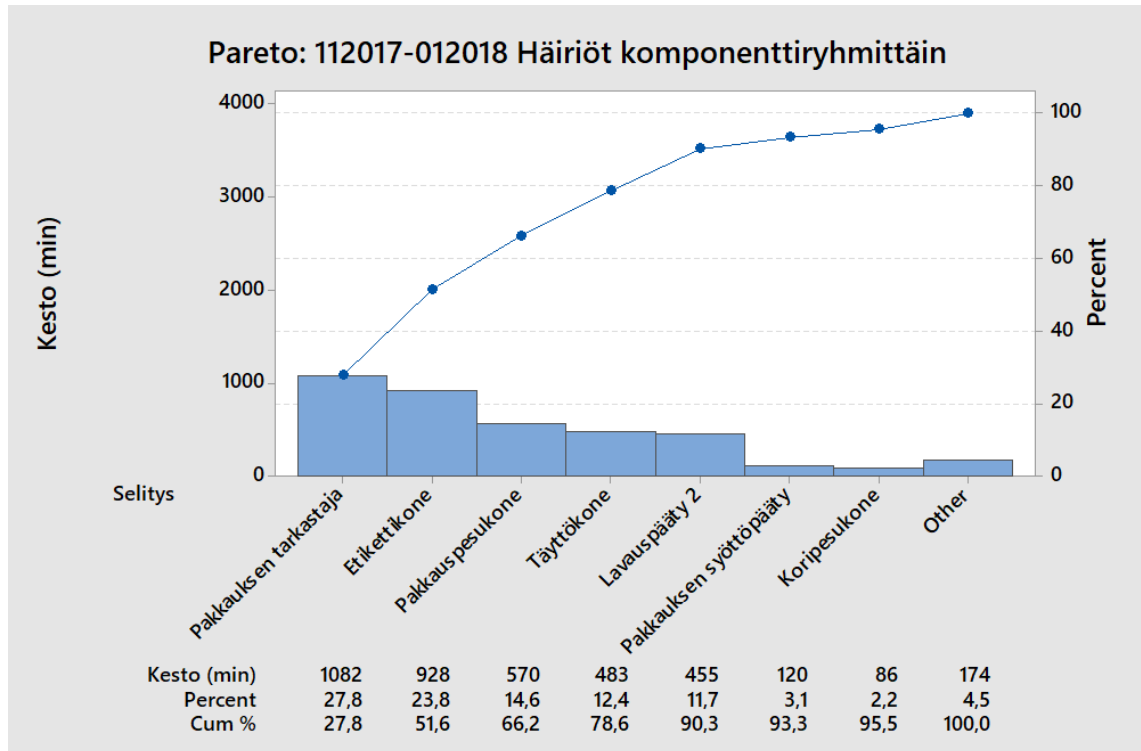
Tutkimusjaksojen aikana häiriöitä merkattiin 25:lle eri komponentille. Pareto-diagrammeja varten komponentit jaettiin yhteentoista pääkomponenttiryhmään. Jako tehtiin, jotta saataisiin parempi käsitys siitä, missä vaiheessa pakkauslinjaa häiriöitä on tapahtunut eniten. Komponentit jaettiin taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Pääkomponenttiryhmät.

#	Pääkomponenttiryhmä	Sisältyvät komponentit
1.	Pakkauksien syöttöpääty	Lavantuontivaunut Lavakuljettimet Lavanpurkaja Korinjakaja Sinetinpoistaja Korinpurkaja
2.	Pakkauspesukone	Pakkauspesukone
3.	Koripesukone	Koripesukone
4.	Pakkauksen tarkastaja	Pakkauksen tarkastaja
5.	Täyttökone	Täyttökone Sinetöintikone
6.	Lämmitin	Lämmitin
7.	Etikettikone	Etikettikone Etiketintarkastaja Laserleimaus
8.	Monipakkauskone	Monipakkauskone
9.	Lavauspääty 1	Pakkaaja 1 Lavaaja 1 Korikuljettimet Tuotelavakuljettimet
10.	Lavauspääty 2	Pakkaaja 2 Lavaaja 2 Käärintäkone
11.	Pakkauskuljettimet	Ratakuljettimet Ratavoitelujärjestelmä

4.4.1 Häiriöiden jakautuminen jaksokohtaisesti

Häiriöiden jakautumista tutkittiin ensimmäisen ja toisen jakson ajoilta. Ensimmäiseksi analysoidaan ensimmäisen jakson häiriöistä luotua pareto-diagrammia (kuvio 17).



Kuvio 17. Ensimmäisen jakson häiriöiden jakautumisen pareto-diagrammi.

Kuviosta 17 voidaan lukea, että ensimmäisen jakson aikana eniten linjan pysäyttäviä häiriöitä aiheutti pakkauksen tarkastaja, joka aiheutti **1082** minuuttia pysähdysaikaa (**27,8 %**). Seuraavaksi eniten häiriöitä aiheuttivat:

Etikettikone (**928 min, 23,8 %**), jonka häiriöt muodostuivat etikettikoneen (608 min), etiketintarkastajan (85 min) ja laserleimauksen (235 min) häiriöistä.

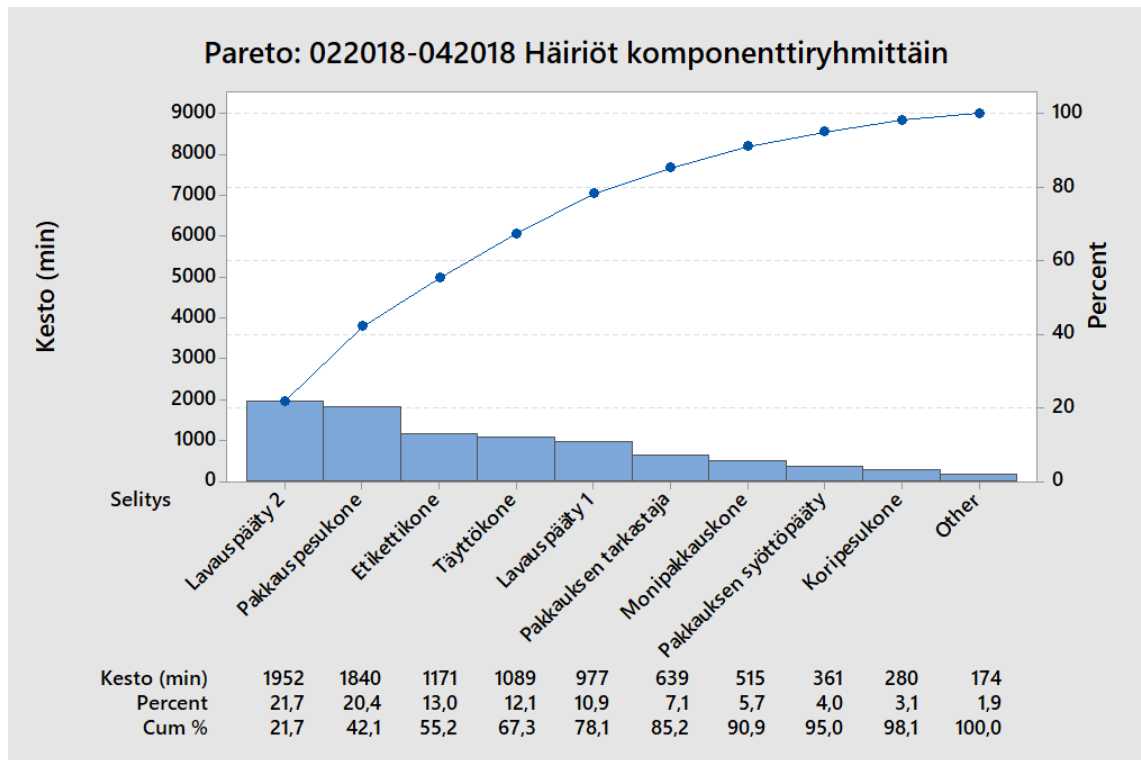
Pakkauspesukone (**570 min, 14,6 %**)

Täyttökone (**483 min, 12,4 %**), jonka häiriöt muodostuivat täyttökoneen (täyttökoneen (383 min) ja sinetöintikoneen (100 min) häiriöistä.

Lavauspääty 2 (**455 min, 11,7 %**), jonka häiriöt muodostuivat pakkaajan 2 (340 min), lavaajan 2 (0 min) ja käärintäkoneen (115 min) häiriöistä. Lavauspääty 2 oli käytössä vain tuoteperheiden 3 ja 4 tuotannossa, joiden osuus ensimmäisen jakson kokonaistuotantoajasta oli $70,7 \text{ h} / 377,4 \text{ h} = 19 \%$. Silti lavauspäädyn 2 häiriöiden kesto on suuri.

Nämä viisi komponenttiryhmiä aiheuttivat 90,3% häiriöistä ensimmäisen jakson aikana.

Seuraavaksi analysoidaan toisen jakson aikaisia häiriöitä niistä luodun pareto-diagrammin (kuvio 18) avulla.



Kuvio 18. Toisen jakson häiriöiden jakautumisen pareto-diagrammi.

Kuviosta 18 voidaan lukea, että toisen jakson aikana eniten linjan pysäyttäviä häiriöitä aiheutti lavauspääty 2, joka aiheutti **1952** minuuttia pysähdysaikaa (**21,7 %**). Lavauspäädyn 2 häiriöt jakautuivat pakkauskoneen 2 (1129 min), lavaajan 2 (681 min) ja käärintäkoneen (142 min) välille. Seuraavaksi eniten häiriöitä aiheuttivat:

Pakkauspesukone (**1840 min, 20,4 %**), joka aiheutti eniten häiriöitä yksittäisistä komponenteista toisen jakson aikana. Toiseksi eniten häiriöitä aiheutti pakkauskone 2.

Etikettikone (**1171 min, 13 %**), jonka häiriöt muodostuivat etikettikoneen (1096 min), etiketintarkastajan (40 min), ja laserleimauksen (35 min) häiriöistä, oli kolmanneksi eniten häiriöitä aiheuttava yksittäinen komponentti.

Täyttökoneen (**1089 min, 12,9 %**) häiriöt muodostuivat täyttökoneen (797 min) ja sine-töintikoneen (292 min) häiriöistä. Täyttökone aiheutti neljänneksi eniten häiriöitä yksittäisistä pakkauslinjan komponenteista.

Nämä neljä komponenttiryhmää aiheuttivat 67,3 % koko pakkauslinjan häiriöistä toisella jaksolla.

Lavauspäädyn 2 häiriöaika on erittäin merkittävä ottaen huomioon, että se on käytössä vain tuoteperheillä 3 ja 4. Tuoteperheiden 3 ja 4 osuus kokonaistuotantoajasta oli vain $138,7 \text{ h} / 530 \text{ h} = 26 \%$.

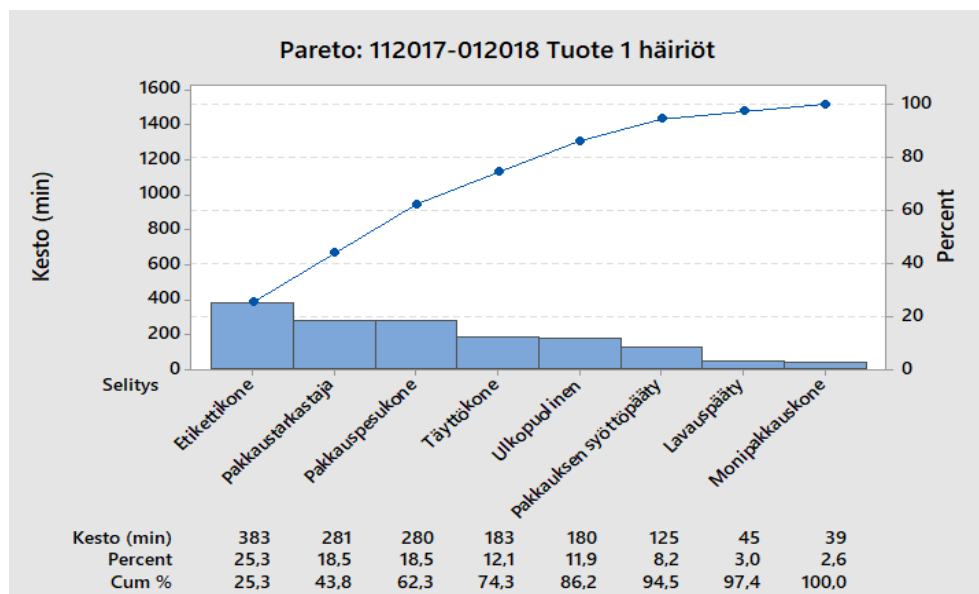
On syytä huomata myös monipakkaus koneen aiheuttamat häiriöt (515 min). Lukema on suuri, kun ottaa huomioon, että monipakkaus kone oli käytössä vain $76,7 \text{ h} / 530 \text{ h} = 14,5 \%$ toisen jakson kokonaistuotantoajasta. Ensimmäisen tutkimusjakson aikana monipakkaus koneella oli vain 39 minuuttia häiriöaikaa, vaikka se oli käytössä noin 15 % kokonaistuotantoajasta myös sinä aikana.

4.4.2 Häiriöiden jakautuminen tuoteperhekohtaisesti

Tuoteperhe 1

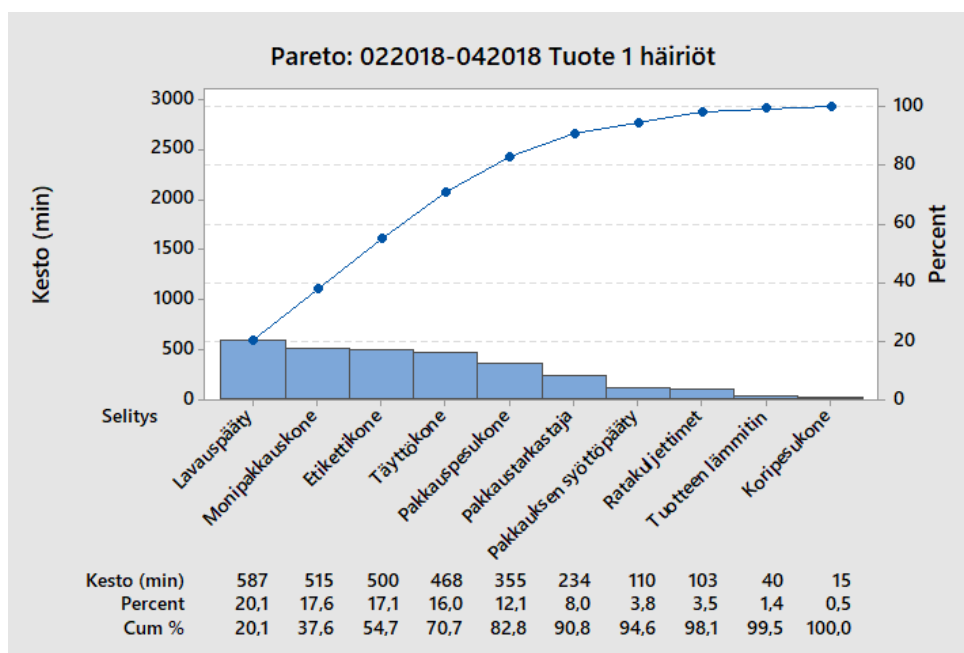
Kun pakkauslinjalla ajetaan tuoteperheen 1 tuotteita, käytetään 1. lavauspäätä. Lavauspäädyn 2 koneet eivät ole käytössä. Monipakkaus kone on käytössä vain silloin, kun valmiit tuotteet pakataan monipakkauksiin.

Kuvioista 19 ja 20 voidaan lukea tuoteperheen 1 tuotannon suurimmat häiriöiden aiheuttajat komponenttiryhmittäin ensimmäisen ja toisen jakson ajoilta.



Kuvio 19. Tuoteperheen 1 tuotannon aikaiset häiriöt ensimmäisellä jaksolla.

Ensimmäisen jakson aikana eniten häiriöitä aiheutti etikettikone (383 min, 25,3 %), jota seurasi pakkaustarkastaja (281 min, 18,5 %) ja pakkauspesukone (280 min, 18,5 %).



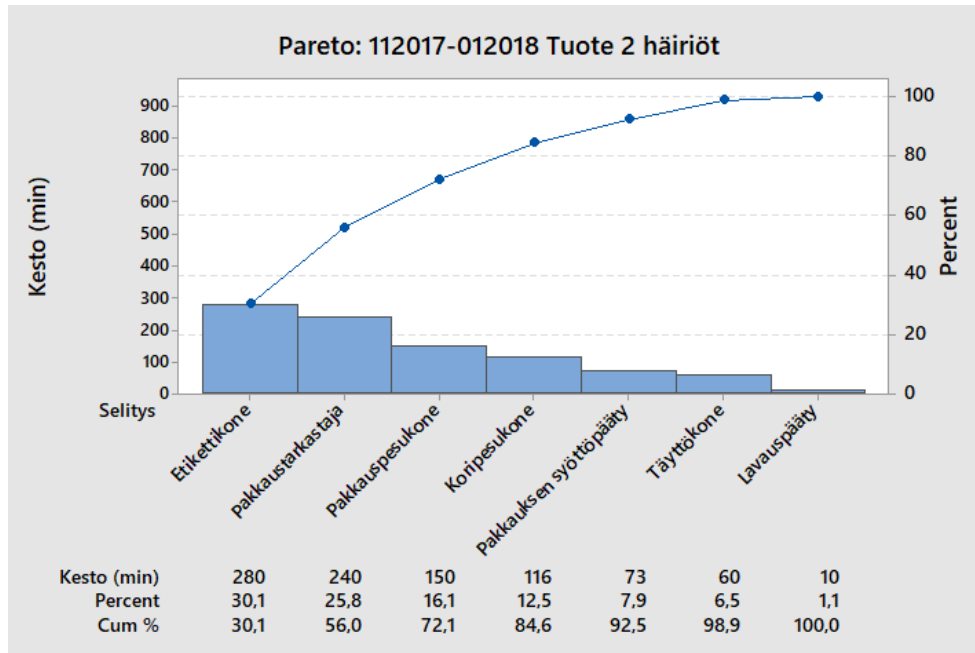
Kuvio 20. Tuoteperheen 1 tuotannon aikaiset häiriöt toisella jaksolla.

Toisen jakson aikana lavauspääty 1 oli suurin häiriöiden aiheuttaja (587 min, 20,1 %). Seuraavaksi eniten häiriöitä aiheutti monipakkaus-kone (515 min, 18,5 %), etikettikone (500 min, 17,1 %) ja täyttökone (468 min, 16 %).

Tuoteperhe 2

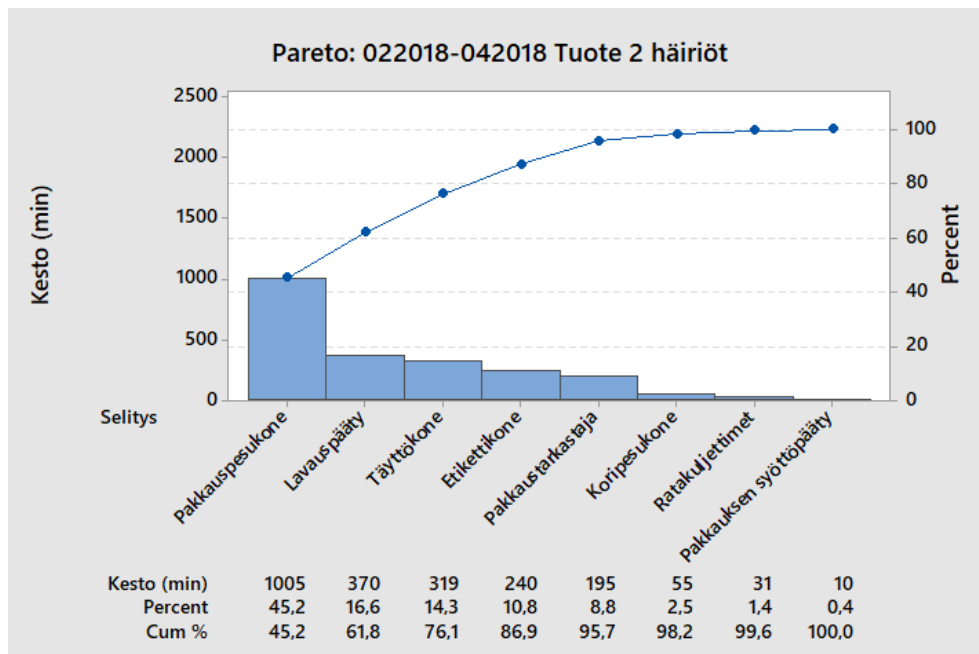
Kun pakkauslinjalla ajetaan tuoteperheen 2 tuotteita, loppupakkaukseen käytetään vain 1. lavauspäätyä.

Kuvioista 21 ja 22 voidaan lukea tuoteperheen 2 tuotannon suurimmat häiriöiden aiheuttajat komponenttiryhmittäin ensimmäisen ja toisen jakson ajoilta.



Kuvio 21. Tuoteperheen 2 tuotannon aikaiset häiriöt ensimmäisellä jaksolla.

Ensimmäisen jakson aikana etikettikone (280 min, 30,1 %) ja tyhjän pakkauksen tarkastaja (240 min, 25,8 %) aiheuttivat 56 % kaikista häiriöistä.



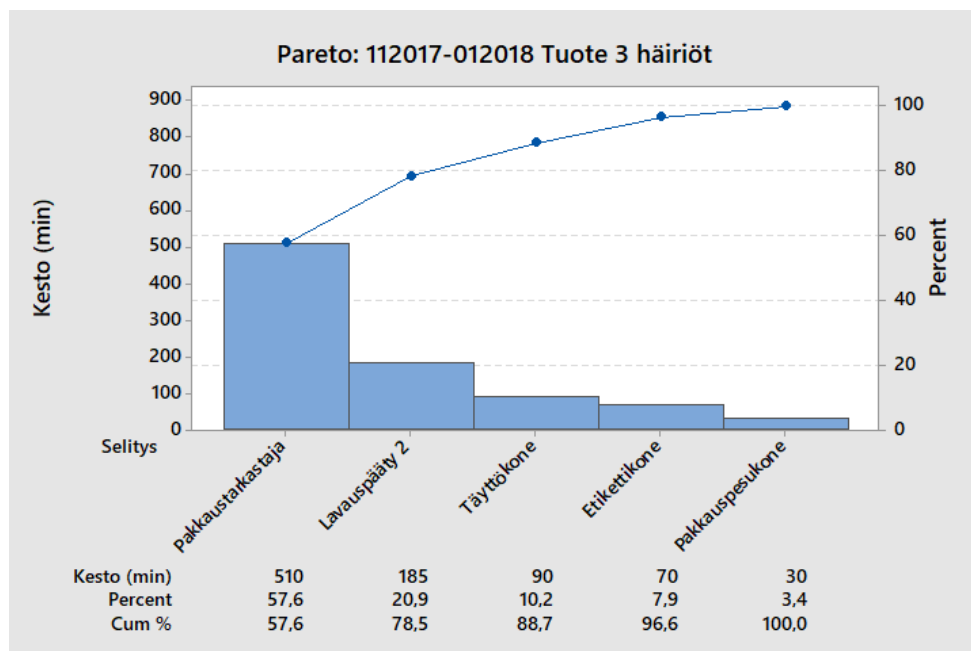
Kuvio 22. Tuoteperheen 2 tuotannon aikaiset häiriöt toisella jaksolla.

Yksi merkittävä havainto häiriöiden jakautumisessa on pakkauspesukoneen häiriöiden kestot toisen jakson aikana. Suuri, yli 1000 minuutin häiriöaika selittyy pakkauspesukoneella tapahtuneella moottoririkolla, joka pysäytti pakkauslinjan tuotannon yli 11 tunniksi (675 min).

Tuotepihe 3

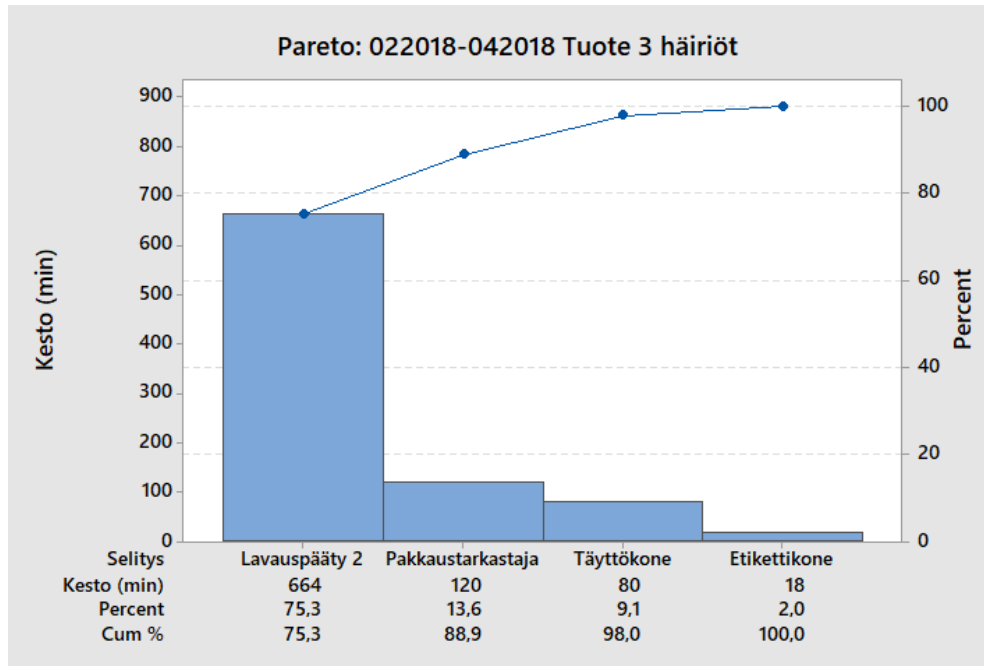
Kun pakkauslinjalla ajetaan tuotepiheen 3 tuotteita, loppupakkaukseen käytetään vain pakkauslinjaa 2.

Kuvioista 23 ja 24 voidaan lukea tuotepiheen 3 tuotannon aikana suurimmat häiriöiden aiheuttajat komponenttiryhmittäin ensimmäisen ja toisen jakson ajoilta.



Kuvio 23. Tuotepiheen 3 tuotannon aikaiset häiriöt ensimmäisellä jaksolla.

Ensimmäisen jakson aikana, tyhjän pakkauksen tarkastaja oli kaikkein häiriöalttein (510 min). Se aiheutti yli 57 % kaikesta häiriöajasta. Toiseksi eniten häiriöaikaa aiheutti lavauspääty 2 (185 min, 20,9 %). Yhdessä nämä koneet aiheuttivat 78,5 % kokonaishäiriöajasta.



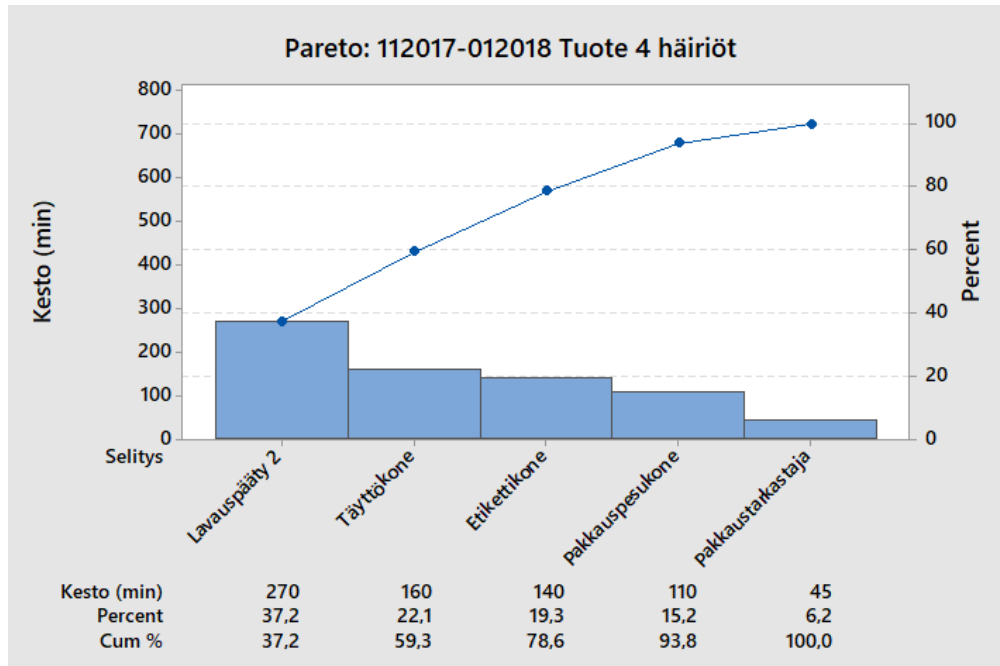
Kuvio 24. Tuoteperheen 3 tuotannon aikaiset häiriöt toisella jaksolla.

Toisen jakson aikana lavauspääty 2 aiheutti yli 75 % (664 min) kaikesta häiriöajasta. Muuten tuoteperheen 3 tuotannossa häiriöt olivat vähäisiä.

Tuoteperhe 4

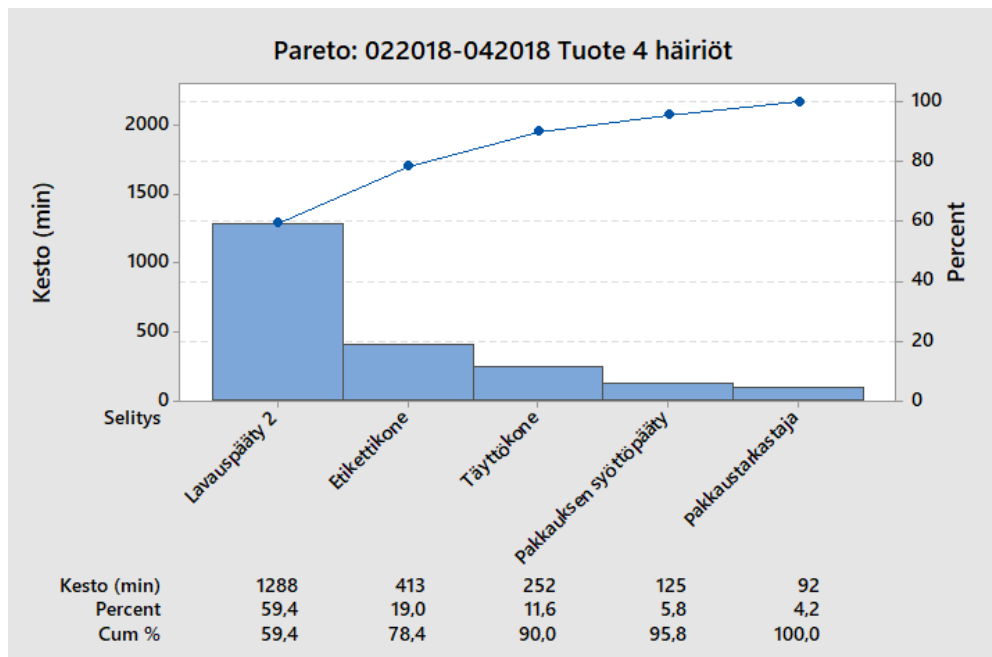
Tuoteperheen 4 tuotannossa pakkauslinjalla käytetään samoja koneita kuin tuoteperheen 3 tuotannossa eli tuotteet loppupakataan lavauspäädellä 2.

Kuvioista 25 ja 26 voidaan lukea suurimmat häiriöiden aiheuttajat tuoteperheen 4 tuotannon aikana ensimmäisen ja toisen jakson ajoilta.



Kuvio 25. Tuoteperheen 4 tuotannon aikaiset häiriöt ensimmäisellä jaksolla.

Ensimmäisen jakson aikana lavauspääty 2 aiheutti eniten häiriöitä (270 min, 37,2 %). Seuraavaksi eniten häiriöaikaa aiheuttivat täyttökone (160 min, 22,1 %) ja etikettikone (140 min, 19,3 %). Yhteensä nämä kolme suurinta häiriönaiheuttajaa aiheuttivat 78,6 % kokonaishäiriöajasta.



Kuvio 26. Tuoteperheen 4 tuotannon aikaiset häiriöt toisella jaksolla.

Toisen jakson aikana eniten häiriöaikaa aiheutti lavauspääty 2 (1288 min, 59,4%). Toisen jakson aikana lavauspäädyn 2 aiheuttamien häiriöiden määrä oli todella suuri verrattuna muihin komponenttiryhmisiin. Lavauspäädyn 2 häiriöajan suuri osuus viittaa sen komponenttien heikkoon toimintavarmuuteen tai häiriötilanteiden ratkaisun haasteellisuuteen.

4.5 Ajankäyttötutkimukset

Pakkauslinjan pakkauspesukoneelle, täyttökoneelle ja etiketikoneelle tehtiin ajankäyttötutkimukset, joissa seurattiin koneiden ajonaikaista toimintaa 3,5–4 tunnin ajan yhtäjaksoisesti. Ajankäyttötutkimusten aikana seurattiin:

- Koneiden pysähdysten kestoja ja syitä
- Koneiden tuotantomäärää
- Tuotannon laatua

Ajankäyttötutkimusten kohteet valittiin toisen jakson aikaisten häiriöaikojen perusteella. Nämä kolme konetta aiheuttivat yksittäisistä komponenteista eniten häiriöaikaa. Valintaan vaikutti myös koneiden sijainti pakkauslinjalla kriittiseen koneeseen nähden. Pakkauspesukone sijaitsee linjalla ennen täyttökoneita ja niiden välissä on vain vähän ratakapasiteettia, joten sen toimivuus vaikuttaa täyttökoneeseen melko vahvasti. Jos pakkauspesukone ei syötä täyttökoneelle riittävästi pakkauksia, täyttökoneen tuotantopeus hidastuu.

Etiketतिकone taas sijaitsee pakkauslinjalla täyttökoneen jälkeen, joten sen toimivuus vaikuttaa täyttökoneeseen vahvasti. Jos etiketikone ei toimi tarpeeksi tehokkaasti, sen ja täyttökoneen välinen ratakapasiteetti täyttyy, jolloin täyttökoneen tuotanto pysähtyy.

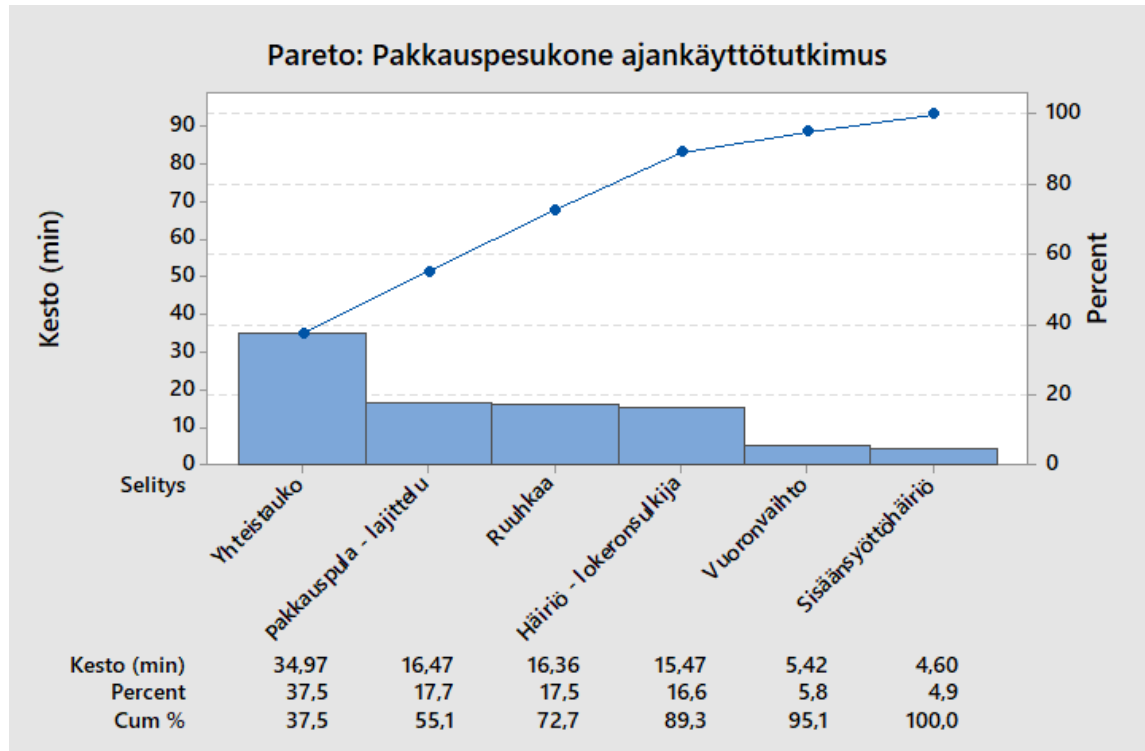
Pesukone ja etiketikone vaikuttavat suoraan pakkauslinjan maksiminopeuteen, koska pakkauslinjan maksiminopeus määräytyy täyttökoneen perusteella.

Ajankäyttötutkimukset tehtiin tuoteperheen 1 tuotteilla, koska niitä tuotetaan pakkauslinjalla eniten.

Pysähdysten syistä ja kestoista luotiin pareto-diagrammit, joissa suurimmat pysähdysten syyt laitettiin suuruusjärjestykseen kestoittain vasemmalta oikealle. Ajankäyttötutkimuksista saatujen tietojen perusteella pakkauslinjan koneille tehtiin myös KNL-laskenta.

4.5.1 Pakkauspesukone

Kuvio 27 on pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksesta tehty pareto-diagrammi, joka on tehty liitteen 1 tutkimuspöytäkirjan mukaan.



Kuvio 27. Pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen aikahäviöiden pareto-diagrammi.

Kuviosta 27 ja liitteestä 1 voidaan lukea, että operaattoreiden pitämä yhteistauko aiheutti ajankäyttötutkimuksen aikana kaikista eniten aikahäviötä pakkauspesukoneella.

Seuraavaksi eniten pakkauspesukoneen pysähdyksiä aiheutti lajittelusta johtuva pakkauspula. Pakkauspula johtui siitä, että pakkauslinjan syöttöpäätyn tulevissa koreissa oli keskimääräisesti todella vähän pakkauksia. Vaikka korinpurkajan maksiminopeus on suurempi kuin pakkauspesukoneen, ei se pystynyt tuottamaan tarpeeksi pakkausvolyyminä pesukoneelle. Korinpurkajan nopeus on mitoitettu olettaen purettavien korien olevan täysiä.

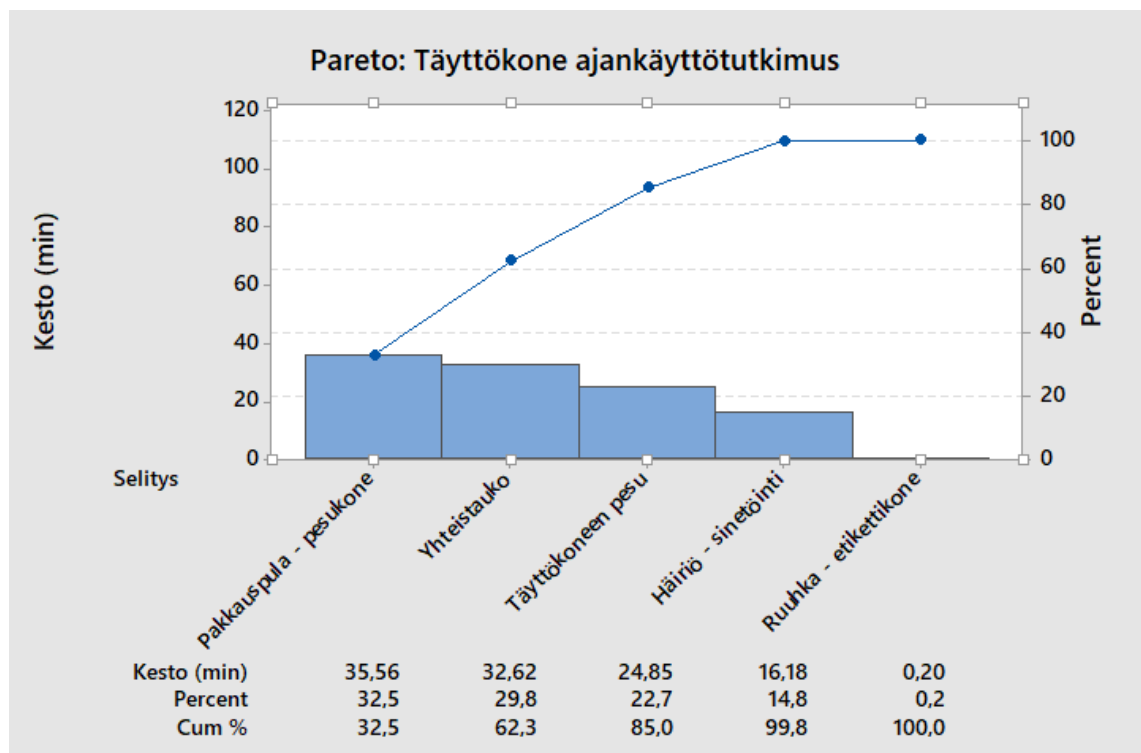
Pakkauspesukonetta seuraavien koneiden häiriöt aiheuttivat seuraavaksi eniten pysähdysaikaa. Tämä aika on merkitty pareto-diagrammiin ”ruuhkana”.

Yleisimmät häiriöt pakkauspesukoneella liittyvät pakkausten sisään- ja ulossyöttöön. Yli-voimaisesti yleisin pesukoneen pysäyttävä häiriö on lokeronsulkijahäiriö. Lokeronsulkijahäiriössä pesukone ei saa sisäänsyötössä pakkauksista kunnollista otetta, jonka takia pesukone menee häiriöön. Tämä häiriö tapahtui ajankäyttötutkimuksen aikana 11 kertaa ja se kesti keskimääräisesti noin 1,5 minuuttia kerrallaan. Lokeronsulkijahäiriö aiheutti yhteensä noin 16 minuuttia aikahäviötä neljän tunnin tutkimuksen aikana.

Muut aikahäviöt johtuivat vuoron vaihdosta sekä sisäänsyöttöhäiriöistä. Sisäänsyöttöhäiriössä pesukoneeseen joutuu väärä tai viallinen pakkaus tai pakkaus kaatuu sisään- syötössä.

4.5.2 Täyttökone

Kuvio 28 on täyttökoneen ajankäyttötutkimuksesta tehty pareto-diagrammi, joka on tehty liitteen 2 tutkimuspöytäkirjan mukaan.



Kuvio 28. Täyttökoneen ajankäyttötutkimuksen aikahäviöiden pareto-diagrammi.

Kuviosta 28 huomataan, että pesukoneen häiriöistä johtuva pakkauspula aiheutti eniten täyttökoneen pysähdyksiä. Pakkauspula aiheutti enemmän aikahäviötä kuin yhteistauko.

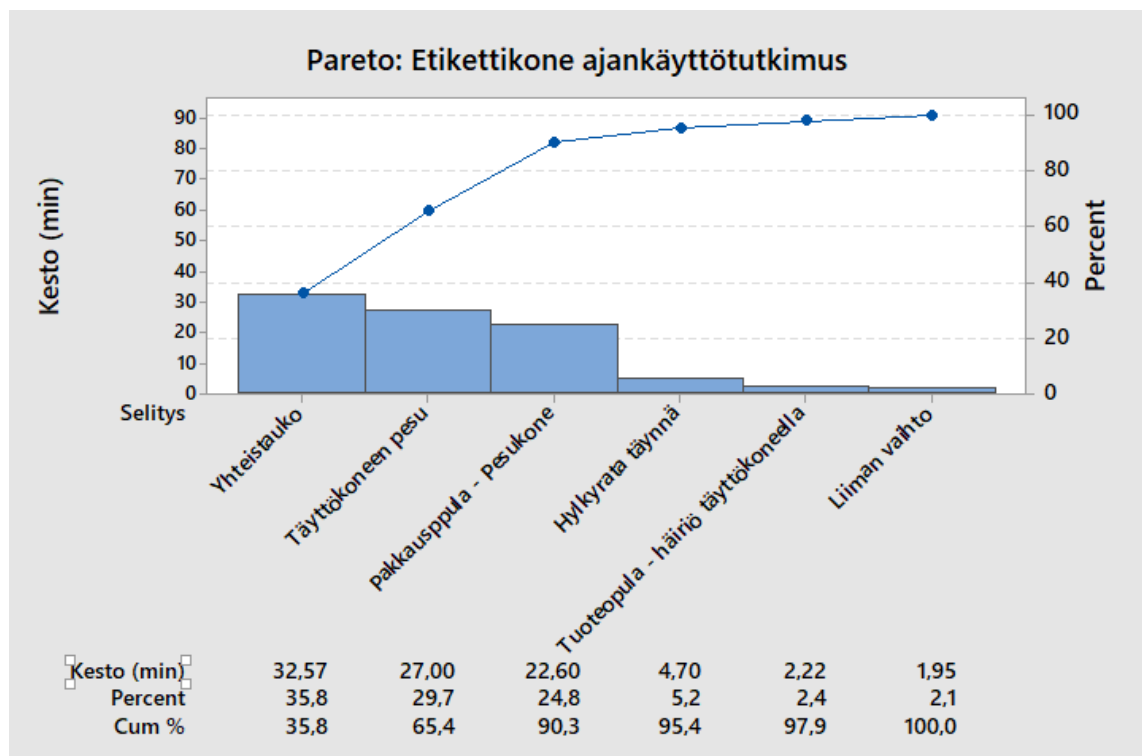
Kun pakkauspesukone menee häiriöön, täyttökone alkaa hidastaa tuotantonopeuttaan. Täyttökone pysähtyy kokonaan, kun se on tuottanut noin 2 200 kpl tuotetta pesukoneen ollessa pysähtyneenä olettaen, että niiden välinen rata oli täynnä. Täyttökone oli pysähtyneenä tämän takia yhteensä noin 36 minuuttia 3,5 tunnin tutkimuksen aikana.

Yhteistauko ja kerran vuorossa tapahtuva täyttökoneen pesu pysäyttivät täyttökoneen toiseksi ja kolmanneksi pisimmäksi aikaa.

Täyttökoneen yhteydessä olevan pakkauksen sinetöintikoneen häiriöt aiheuttivat noin 16 minuuttia aikahäviötä lyhyiden pysähdysten muodossa.

4.5.3 Etikettikone

Kuvio 29 on etikettikoneen ajankäyttötutkimuksesta tehty pareto-diagrammi, joka on tehty liitteen 3 tutkimuspöytäkirjan mukaan. Etikettikoneen ja täyttökoneen ajankäyttötutkimus tehtiin samanaikaisesti.



Kuvio 29. Etikettikoneen ajankäyttötutkimuksen aikahäviöiden pareto-diagrammi.

Kuviosta 29 nähdään että, etikettikoneen pysähdyksistä suurin osa oli rinnakkaisia täyttökoneen kanssa. Koska ajankäyttötutkimuksen aikainen ajoerä oli niin katkonainen, suurilta osin pakkauslinjan syöttöpäädyn sekä pesukoneen takia, ei täyttökoneen ja etikettikoneen välinen ratakapasiteetti päässyt missään vaiheessa täyttymään. Tämän takia täyttökoneen toiminta vaikutti erittäin paljon etikettikoneen toimintaan, koska koneiden välissä ei ollut lähes ollenkaan tuotepuskuria. Suurin pienistä pysähdyksistä koostuva aikahäviön aiheuttaja oli tuotepula, jonka aiheuttajana oli pesukone.

Etikettikone pysähtyi noin viiden minuutin ajaksi hylkyratojen täytyttyä. Operaattorin pitää syöttää etikettikoneelle etikettimateriaaleja tasaisin väliajoin, sekä valvoa tuotteiden laatua. Näistä syistä operaattorin pitää pysäyttää etikettikone, kun hän joutuu poistumaan työpisteeltään, tässä tilanteessa tyhjentääkseen hylkyradat hylätyistä tuotteista ja pakkausista.

4.5.4 Ajankäyttötutkimusten KNL

Ajankäyttötutkimusten perusteella jokaiselle kolmelle koneelle laskettiin tutkimuksen aikainen KNL-luku ja sen osatekijät.

Lasketaan esimerkkinä pakkauspesukoneen tuotannon kokonaistehokkuus liitteen 1 tutkimuspöytäkirjan perustella.

Käytettävyyserroimen laskemiseen käytetään kaavaa 4. Seisokkiaika t_s on aika, jonka pakkauspesukone oli pysähtyneenä ajankäyttötutkimuksen aikana. Pakkauspesukoneen seisokkiaika oli yhteensä 1,55 tuntia. Käyntiaika t_k on pakkauspesukoneen tuotantoaika ajankäyttötutkimuksen aikana. Pakkauspesukoneen käyntiaika oli yhteensä 2,45 tuntia. Näiden arvojen avulla voidaan laskea pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen aikainen käytettävyyserroin K_{pk} .

$$K_{pk} = \frac{t_k}{t_k + t_s} = 61\%$$

Nopeuskertoimen laskemiseen käytetään kaavaa 5. Tuotantomäärä p on pakkauspesukoneen pesemät pakkaukset. Pakkauspesukone pesi 80100 pakkausta ajankäyttötutkimuksen aikana. Nimellistuotantokyky p_n on pesukoneen maksimituotantonopeus. Pakkauspesukoneen todellinen maksimituotantonopeus on 66 000 kpl/h, mutta ajankäyttötutkimuksen aikana se oli rajoitettu 52 000 kpl/h nopeuteen. Käyntiaika t_k on sama kuin

käytettävyyserkertoimen laskemisessa eli 2,45 tuntia. Näiden arvojen avulla voidaan laskea pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen aikainen nopeuserkero N_{pk} .

$$N_{pk} = \frac{p}{p_n * t_k} = 62,9\%$$

Laatukertoimen laskemiseen käytetään kaavaa 6. Tuotantomäärä p on sama kuin nopeuserkertoimen laskemisessa eli 80100 pakkausta. Viallinen tuotanto p_h on pakkauspesukoneen hylkäämät pakkaukset ajankäyttötutkimuksen aikana. Pakkauspesukone ei itessään hylkää pakkauksia pesun aikana tai sen jälkeen, joten viallinen tuotanto on täten 0 pakkausta. Näiden arvojen avulla voidaan laskea pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen aikainen laatukerroin L_{pk} .

$$L_{pk} = \frac{p - p_h}{p} = 100\%$$

Pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen aikaisen KNL-luvun laskemiseen käytetään kaavaa 3. Pakkauspesukoneen KNL-luku muodostuu sen osakertoimien K_{pk} , N_{pk} ja L_{pk} tulosta.

$$KNL = K_{pk} * N_{pk} * L_{pk} \approx 38,4\%$$

Täyttökoneelle sekä etikettikoneelle suoritettiin myös KNL-laskenta liitteiden 2 ja 3 tutkimuspöytäkirjojen perusteella samalla tavalla kuin pakkauspesukoneelle. Taulukossa 4 on esitelty kaikkien kolmen tutkimuskohteena olleiden koneiden KNL-laskennan tulokset. Liitteessä 4 eritelty ajankäyttötutkimusten KNL-laskennat tarkemmin myös täyttö- ja etikettikoneelle.

Taulukko 4. Ajankäyttötutkimusten KNL-laskennan tulokset.

KNL-laskenta				
Kone	Käytettävyys (K)	Nopeus (N)	Laatu (L)	KNL
Pakkauspesukone	61,0%	62,9%	100,0%	38,4%
Täyttökone	49,0%	77,8%	99,4%	37,9%
Etikettikone	57,4%	70,0%	100,0%	40,2%

Taulukosta 4 huomataan, että käytettävyyserkertoimet olivat kaikista osakertoimista matalimmat. Tämä tarkoittaa, että tuotantokoneet pysähtelivät paljon erilasten häiriöiden ja tuoteruuhkan sekä tuotepulan takia eivätkä pystyneet toimimaan jatkuvasti. Myös yhteis-

tautot vaikuttivat paljon käytettävyyserkertoimeen. Myös tuotantokoneiden nopeuskertoimet olivat suhteellisen alhaisia ajankäyttötutkimusten aikana. Tästä voidaan päätellä, että käydessään tuotantokoneet eivät kyenneet toimimaan maksimituotantonopeudellaan. Käytettävyys- sekä nopeuskertoimet alensivat tuotannon kokonaistehokkuutta eniten ja niiden takia KNL-luvut olivat heikkoja.

4.6 Ajoerien KNL

Jokaiselle pakkauslinjalla ajatulle ajoerälle laskettiin oma KNL-arvo. Ajoerät jaettiin tuotepäryhekohtaisesti ja niiden käytettävyys (K), nopeus (N), laatu (L) ja tuotannon kokonaistehokkuuden (KNL) arvot esitettiin viivadiagrammeina. Viivadiagrammien x-akselilla on ajoerän alkamispäivämäärä. Yksi ajoerän alkamispäivämäärästä on muutettu, ja sen kohdalla lukee ”YKSI LINJA”. Tämän on viimeinen ajoerä ensimmäisen jakson eli 01.11.2017–31.01.2018 aikana, jonka jälkeen tulevat ajoerät ovat ajettu toisen jakson aikana.

Tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan KNL-tunnuslukuja tutkittiin, koska KNL-tunnusluku, sekä sen pääkertoimet kertovat oleellista tietoa linjan ajonaikaisesta tehokkuudesta. Käytettävyyskerroin kuvaa linjan ajonaikaista käyntiastetta. Nopeuskerroin kertoo tietoa linjan pysähdys- sekä alinopeushäviöistä. Laatukerroin kertoo, miten suuri osa linjan ajoerän tuotannosta päätyy varastoitavaksi tai myytäväksi. KNL-laskennan eri arvot kuvattiin viivadiagrammeilla, jotta laskennan tuloksia olisi helpompi ja selkeämpi tulkita.

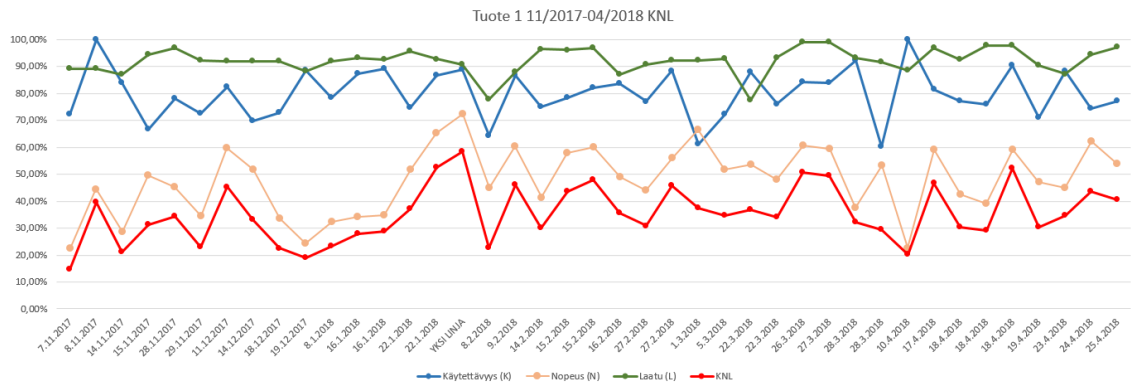
Ajoerän käytettävyyskerroin laskettiin vähentämällä ajoerän kokonaistuotantoajasta mahdolliset ajoerän aikaisten häiriöiden kestot, yhteistautot ja tuotannon aikaiset pesut. Jäljelle jäänyt tehokas tuotantoaika jaettiin kokonaistuotantoajalla. Tuloksena saatiin käytettävyyskerroin (K). Käytettävyyskerroimella saadaan selville, miten suuren osan ajoerän kokonaisajasta pakkauslinja on ollut ajossa ilman pidempiä pysähdyksiä.

Ajoerän nopeuskerroin laskettiin jakamalla ajoerän kokonaistuotanto teoreettisella maksimituotannon määrällä. Ajoerän aikainen teoreettinen maksimituotanto laskettiin kertomalla ajettavan tuotepäryheen pakkaustilavuus, pakkauslinjan maksiminopeus (30 000 kpl/h) ja tehokas tuotantoaika keskenään.

Ajoerän laatukerroin laskettiin jakamalla varastoon lähteneen tuotannon määrä täyttökoneella tuotettujen tuotteiden määrällä. Arvot luettiin kohdeyrityksen tuotannon seuranta-järjestelmästä.

Kuvioista 30, 31, 32 ja 33 voidaan lukea eri tuoteperheiden ajoerien KNL-laskennan arvoja. Käytettävyyserroita kuvataan sinisellä viivalla, nopeuserroita keltaisella, laatueroita vihreällä ja tuotannon kokonaistehokkuutta punaisella viivalla. Taulukoista 5, 6, 7 ja 8 voidaan lukea eri tuoteperheiden KNL-laskennan keskiarvot, keskimääräinen vuoropäiväkirjaan merkitty operaattorivahvuus ajon aikana, sekä keskimääräinen ajoerän kesto.

Tuoteperhe 1



Kuvio 30. Tuoteperheen 1 ajoeräkohtaiset KNL-arvot.

Kuviosta 30 nähdään, että tuoteperheen 1 tuotteiden ajoerien KNL-arvot vaihtelivat paljon ajoeräkohtaisesti. Eniten tuotannon kokonaistehokkuuteen vaikutti nopeuserroin. Nopeuskertoimen alhaisuus kertoo pakkauslinjan tuotannon katkonaisuudesta. Nopeuserroin alenee sitä enemmän mitä useammin tuotannossa tapahtuu lyhyitä, alle 5 minuutin mittaisia pysähdyksiä. Nopeuserrointa alentaa myös alennetulla tuotantonopeudella ajo.

Taulukosta 5 ja kuviosta 30 voidaan lukea, että nopeus- ja laatueroit parantivat toisen jakson aikana, mikä myös puolestaan nosti tuotannon kokonaistehokkuuden arvoa yli viidellä prosentilla.

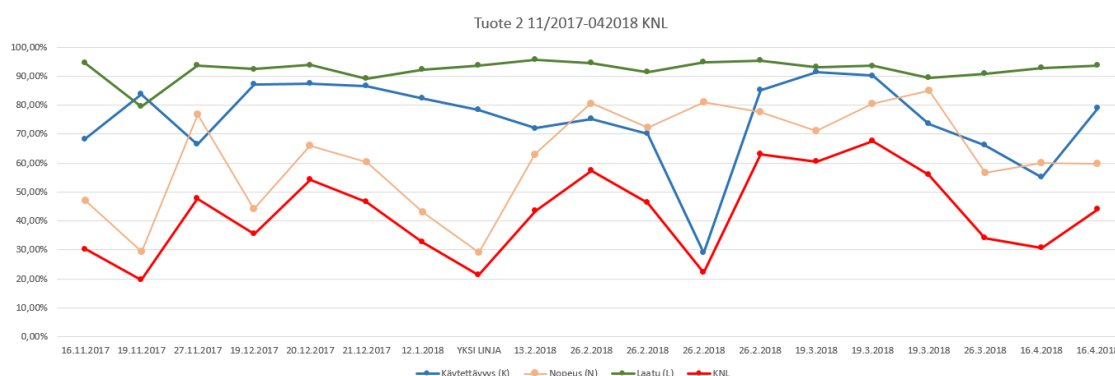
Taulukko 5. Tuoteperheen 1 KNL-laskennan jaksokohtaiset keskiarvot.

Tuoteperheen 1 KNL-laskennan keskiarvot			
01.11.2017-31.01.2018		01.02.2018-30.04.2018	
K%	80,8%	K%	79,6%
N%	42,8%	N%	51,0%
L%	91,9%	L%	92,3%
KNL%	32,0%	KNL%	37,4%
Operaattori lkm.	2,96	Operaattori lkm.	3,98
Ajoerän kesto (h)	12,55	Ajoerän kesto (h)	10,81

Toisen jakson aikana pakkauslinjalla työskenteli keskiarvoisesti yksi operaattori enemmän. Operaattoreiden riittävä määrä alentaa mahdollisia tuotannon pysähdyksiä. Esimerkiksi, jos operaattorit joutuvat jättämään oman työpisteensä tyhjentääkseen hylkyrajoja, heidän on pysäytettävä työpisteen tuotantokoneet. Tuotantokoneita ei saa jättää ilman valvontaa, sillä se voi johtaa suurimpiin häiriöihin, eikä laadun tarkkailu ole silloin mahdollista. Myös etiketikoneelle on jatkuvasti syötettävä lisää etikettejä, muuten etiketintarkastaja hylkää jokaisen etikettivirheellisen tuotteen. Riittävällä operaattorimäärällä kaikki työpisteet voidaan pitää miehitettyinä koko vuoron ajan.

Tuoteperhe 2

Kuviosta 31 nähdään, että myös tuoteperheen 2 tuotteiden ajoerien KNL-arvot vaihtelivat paljon ajoeräkohtaisesti.



Kuvio 31. Tuoteperheen 2 ajoeräkohtaiset KNL-arvot.

Laatukerroin pysyi suurimmalta osalta tasaisen hyvänä. Eniten tuotannon kokonaistehokkuuteen vaikutti ensimmäisen jakson aikana heikko nopeuskertoimen, mutta toisen jakson aikana nopeuskertoimen kasvoi huomattavasti, ja sen vaikutus KNL-lukuun oli aika

ajoin jopa pienempi kuin käytettävyyden. Korkea nopeuskerroin kertoo tuotannossa olleen vain vähän pieniä pysähdyksiä, sekä tuotantonopeuden olleen korkea aina, kun tuotanto oli käynnissä.

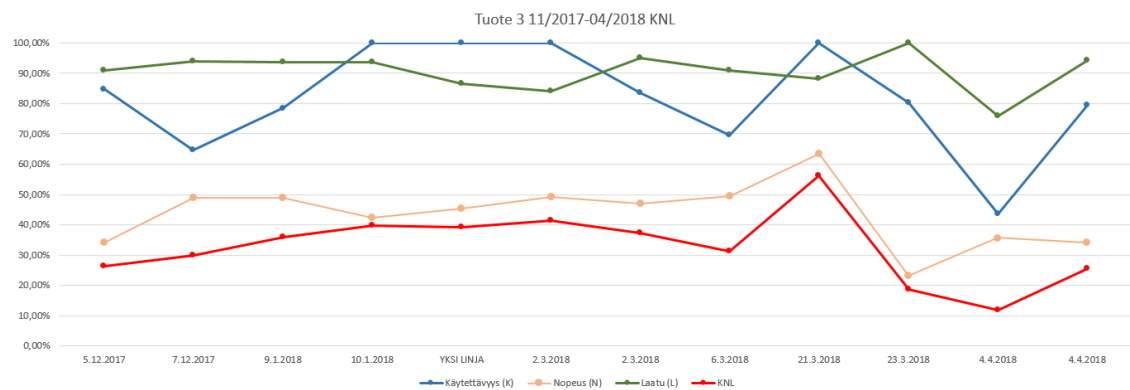
Taulukosta 6 voidaan lukea että, käytettävyys laski toisella jaksolla 8,5 %, mutta nopeuskerroin nousi 22,1 %. Nopeuskertoimen suurta nousua voi selittää keskimääräisen operaattorilukumäärän suuri kasvu.

Taulukko 6. Tuoteperheen 2 KNL-laskennan jaksokohtaiset keskiarvot.

Tuoteperheen 2 KNL-laskennan keskiarvot			
01.11.2017-31.01.2018		01.02.2018-30.04.2018	
K%	80,0%	K%	71,5%
N%	49,5%	N%	71,6%
L%	91,1%	L%	93,2%
KNL%	36,0%	KNL%	47,7%
Operaattori lkm.	2,45	Operaattori lkm.	4,03
Ajoerän kesto (h)	12,53	Ajoerän kesto (h)	10,24

Tuoteperhe 3

Kuten kuviosta 32 nähdään, tuoteperheen 3 ajoerien kokonaistehokkuus seurasi hyvin pitkälti nopeuskerrointa. Kokonaistehokkuus oli tasaisempaa ensimmäisen jakson aikana.



Kuvio 32. Tuoteperheen 3 ajoeräkohtaiset KNL-arvot.

Toisen jakson aikana käytettävyyskerroin ja nopeus olivat joidenkin ajoerien kohdalla heikkoja. Tämä selittyy pakkauslinjan 2 häiriöalttiudella, kuten kuviosta 24 nähdään.

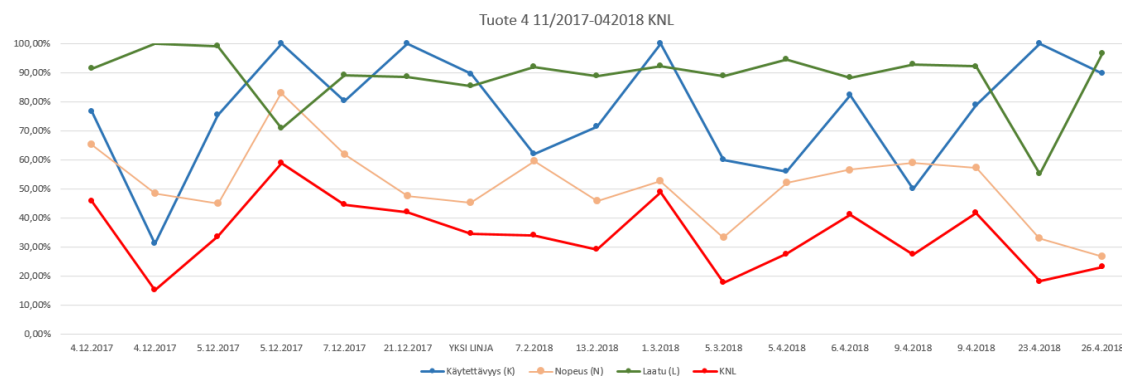
Taulukosta 7 voidaan lukea, että keskiarvillisesti suurin muutos toisella jaksolla verrattuna ensimmäiseen jaksoon oli käytettävyyseron laskeminen 6,1 %. Muuten arvot pysyivät melko lailla samoina.

Taulukko 7. Tuoteperheen 3 KNL-laskennan jaksokohtaiset keskiarvot.

Tuoteperheen 3 KNL-laskennan keskiarvot			
01.11.2017-31.01.2018		01.02.2018-30.04.2018	
K%	85,6%	K%	79,5%
N%	43,9%	N%	43,1%
L%	91,7%	L%	89,8%
KNL%	34,2%	KNL%	31,7%
Operaattori lkm.	3,70	Operaattori lkm.	4,19
Ajoerän kesto (h)	4,90	Ajoerän kesto (h)	5,29

Tuoteperhe 4

Kuviosta 33 ja taulukosta 8 voidaan lukea, että tuoteperheen 4 ajoerien kokonaistehokkuuden välillä on paljon eroja.



Kuvio 33. Tuoteperheen 4 ajoeräkohtaiset KNL-arvot.

Kokonaistehokkuuteen on vaikuttanut eniten nopeuserroin, mutta aika ajojen käytettävyyserroin on ollut todella huono alentaen pakkauslinjan kokonaistehokkuutta. Laatuero on yleisesti ollut tasaisen korkea, paitsi toiseksi viimeisen ajoerän kohdalla. Kyseinen ajoerä oli vain alle tunnin mittainen ja tuotetuista tuotteista suuri osa oli viallisia todennäköisesti lavaajan 2 virheellisen toiminnan takia. Huomattava keskiarvoinen muutos toisen jakson aikana on ajoerän keskimääräisen keston kasvu 6,6 tunnista 10,2 tuntiin. Tämä voi osittain selittyä pakkauslinjan 2 häiriöiden takia, koska häiriöaika laskeaan mukaan ajoerän kokonaiskesto. Keskiarvoinen KNL-luku laski toisella jaksolla

39,2 %:sta 30,9 %:iin. Laskuun vaikuttivat eniten nopeus- ja käytettävyyškertoimien suu-
rehkot laskut.

Taulukko 8. Tuoteperheen 4 KNL-laskennan jaksokohtaiset keskiarvot.

Tuoteperheen 4 KNL-laskennan keskiarvot			
01.11.2017-31.01.2018		01.02.2018-30.04.2018	
K%	79,0%	K%	75,0%
N%	56,6%	N%	47,7%
L%	89,3%	L%	88,2%
KNL%	39,2%	KNL%	30,9%
Operaattori lkm.	3,79	Operaattori lkm.	3,98
Ajoerän kesto (h)	6,60	Ajoerän kesto (h)	10,17

4.7 Tuotevaihdot

Pakkauslinjalla tuotettavan tuotteen vaihtuessa, pitää joillekin linjan komponenteille suorittaa erilaisia vaihtotöitä. Vaihtotöihin kuuluu tuotantokoneiden osien vaihtoa ja asetusten säätöä. Vaihtotöiden laajuudet, sekä niiden vaatima aika vaihtelevat riippuen siitä, mitä tuotetta pakkauslinjalla on ajettu ja mitä seuraavaksi aletaan ajamaan.

Pakkauslinjalla ajettavien nimikkeiden määrä on kasvanut, koska toisen linjan lakkauttamisen jälkeen pakkauslinjalla on alettu ajamaan lakkautetun linjan tuotteita. Nimikkeiden määrän lisääntymisen takia pakkauslinjalla suoritetaan enemmän vaihtotöitä. Tutkimuksen ensimmäisen jakson aikana pakkauslinjalla suoritettiin yhteensä 17 vaihtoa, kun taas toisen jakson vastaava määrä oli 35.

Vaihtotyöt jaetaan kohdeyrityksessä kolmeen ryhmään; vaihtotyyppi 1, vaihtotyyppi 2 ja vaihtotyyppi 3. Eri vaihtotyypille on määritetty tavoiteaika, jonka alle vaihtotyöt pyritään suorittamaan. Eri vaihtotyypit saavat kestää enintään 20 minuuttia enemmän kuin tavoiteaika. Jos vaihtotyöt saadaan tehtyä tavoiteajassa tai jos tavoiteaika ylittyy enintään 20 minuutilla, lasketaan vaihto onnistuneeksi.

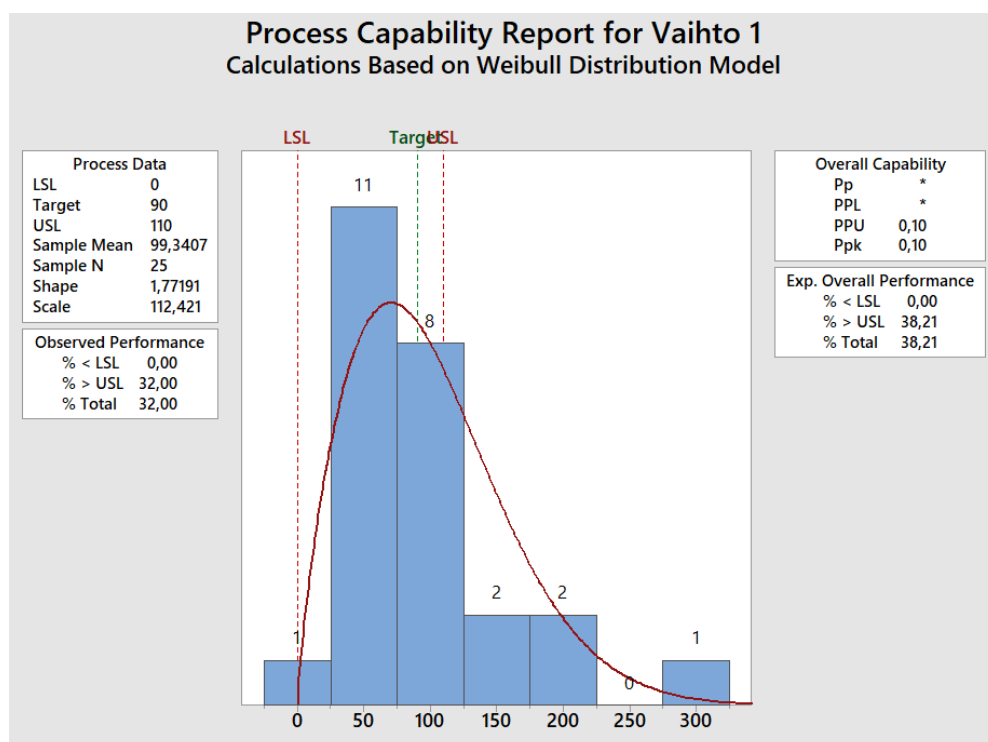
Eri vaihtotyyppien kestoista luotiin prosessin kyvykkyysraportit Minitab -tilasto-ohjelmalla. Raportteihin laskettiin mukaan molempien jaksojen aikana suoritettavat vaihdot, jotta vaihtotyyppien otantakoko olisi riittävän suuri. Raportteihin merkittiin hyväksyttäväksi alarajaksi (LSL) 0 minuuttia, koska vaihtotyyppien kestolla ei ole hyväksyttävää alarajaa.

Tavoitteeksi (Target) merkittiin kyseiselle vaihtotyyppille määritetty aikataavoite ja hyväksyttäväksi ylärajaksi (USL) alarajan aikataavoite lisättynä 20 minuutilla. Raportteihin ei laskettu mukaan vaihtoja, joiden kesto ylitti hyväksyttävän ylärajan johtuen häiriöistä.

Histogrammien x-akselilla aika on merkitty minuutteina. Raporteista voidaan lukea myös vaihtojen otantakoko. Raportit ilmoittavat myös LSL:n alittaneiden vaihtojen prosenttiosuuden ja USL:n ylittäneiden vaihtojen prosenttiosuuden. Tavoiteajan alittaneiden vaihtojen prosenttiosuus laskettiin mittaustiedoista. Se saataisiin näkyviin myös raporttien Observed Performance kohdassa, jos LSL-arvoksi ilmoitettaisiin tavoiteaika. Tämä kuitenkin vääristäisi raportin muita arvoja. Raporteista voidaan lukea myös vaihtojen kestojen otoskeskiarvo.

Vaihtotyyppi 1

Kuvio 34 on ensimmäisen vaihtotyypin kestoista luotu prosessin kyvykkyyseraportti. Ensimmäisen vaihtotyypin tavoiteaika oli 90 minuuttia ja hyväksyttävä yläraja 110 minuuttia.



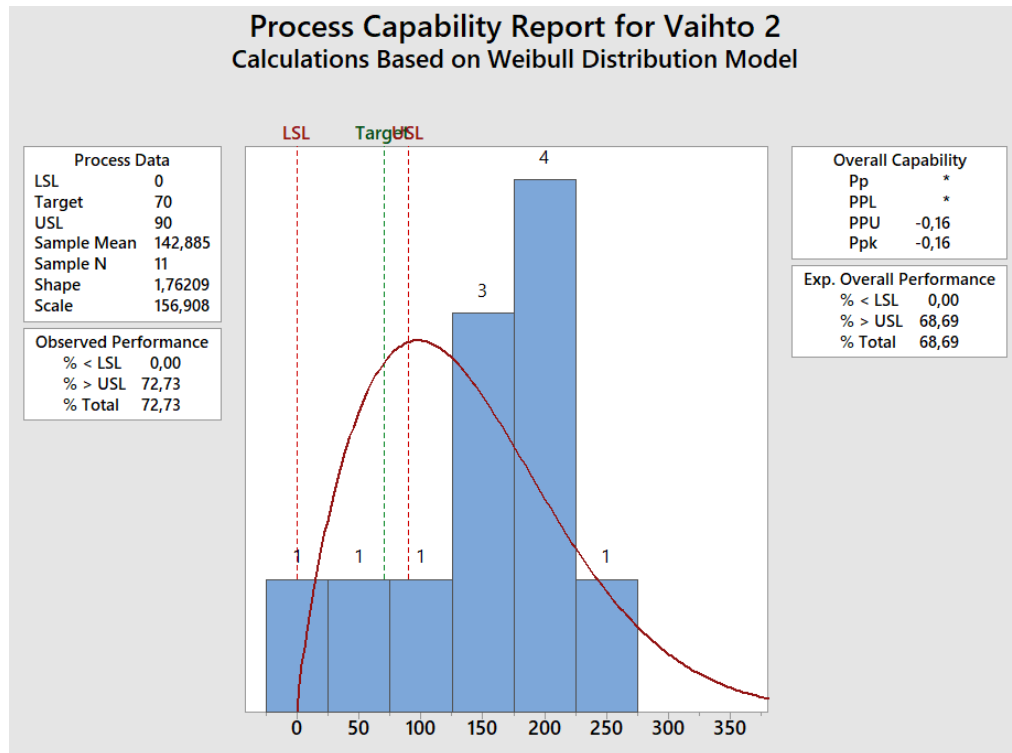
Kuvio 34. Ensimmäisen vaihtotyypin prosessin kyvykkyyseraportti.

Vaihtotyypin 1 vaihdoista 56 % suoritettiin tavoiteajassa ja 68 % suoritettiin nopeammin kuin hyväksyttävä yläraja (USL). Vaihtoaikojen otoskeskiarvo oli molempien jaksojen

ajalta 99 minuuttia. Toisen jakson aikana suoritettujen vaihtojen otoskeskiarvo oli 97 minuuttia. Vain yksi vaihto 26:sta ylitti USL:n johtuen häiriöistä.

Vaihtotyyppi 2

Kuvio 35 on toisen vaihtotyypin kestoista luotu prosessin kyvykkyysraportti. Toisen vaihtotyypin tavoiteaika oli 70 minuuttia ja hyväksyttävä yläraja 90 minuuttia.

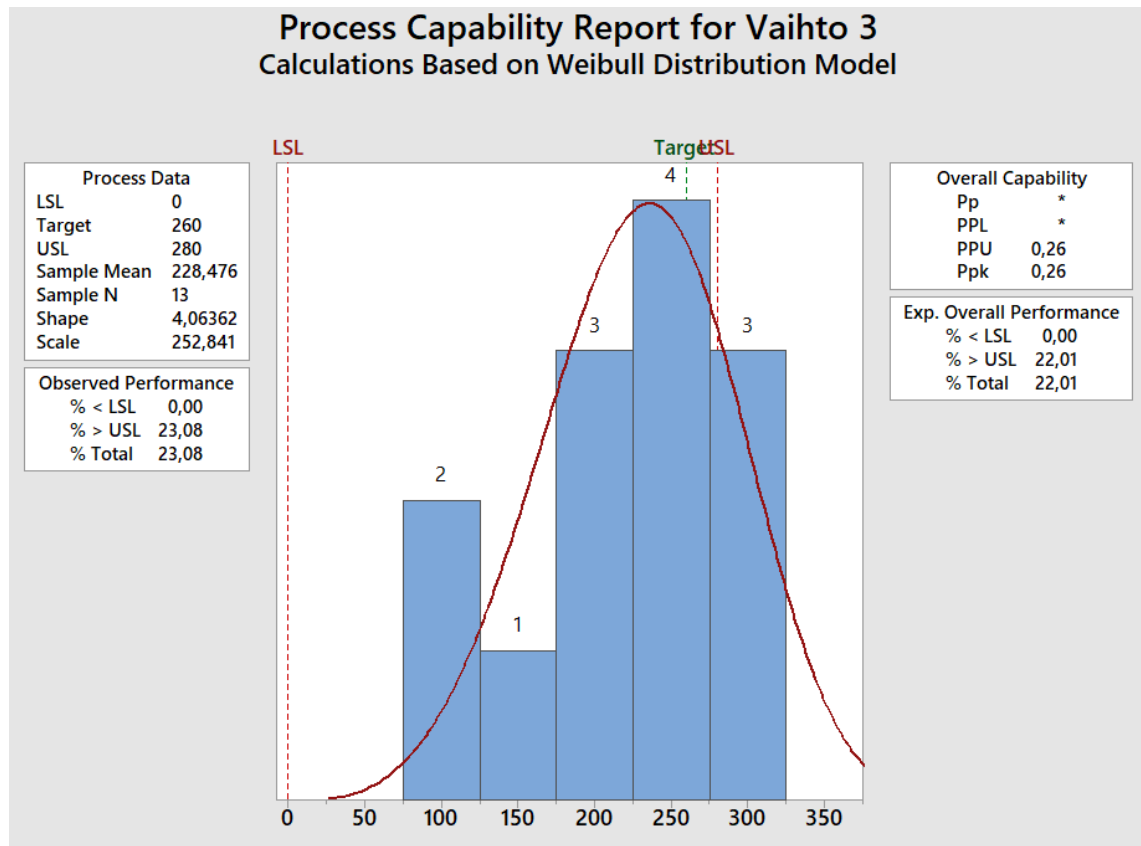


Kuvio 35. Toisen vaihtotyypin prosessin kyvykkyysraportti.

Vain 18,17 % toisen vaihtotyypin vaihdoista suoritettiin tavoiteajassa riippumatta siitä, tähdättiinkö tavoiteaikaan vai ylärajaan. Vaihdoista suurin osa kesti 125–225 minuuttia, ja kaikkien vaihtojen kestojen otoskeskiarvo oli 143 minuuttia. Toisen jakson aikana suoritettujen vaihtojen otoskeskiarvo oli 157 minuuttia, eli vaihtojen otoskeskiarvo kasvoi 14 minuutilla. Vain yksi 12:sta toisen vaihtotyypin vaihdosta ylitti USL:n johtuen häiriöistä.

Vaihtotyyppi 3

Kuvio 36 on kolmannen vaihtotyypin kestoista luotu prosessin kyvykkyysraportti. Kolmas vaihtotyyppi on kaikista vaihtotyypeistä työläin ja vie eniten aikaa. Kolmannen vaihtotyypin tavoiteaika oli 260 minuuttia ja hyväksyttävä yläraja 280 minuuttia.



Kuvio 36. Kolmannen vaihtotyypin prosessin kyvykkyysraportti.

Vaihtotyypin 3 vaihdoista 53,9 % suoritettiin tavoiteajassa ja 76,9 % suoritettiin nopeammin kuin hyväksyttävä yläraja. Kolmannen tyyppin vaihdoista 23,1 % ylitti USL:n. Kaikkien kolmannen tyyppin vaihtojen kestojen otoskeskiarvo oli 228 minuuttia. Toisen jakson aikana suoritettujen vaihtojen otoskeskiarvo oli 246 minuuttia, eli vaihtojen otoskeskiarvo kasvoi 18 minuutilla. Kolmannen tyyppin vaihdot olivat häiriöalttiita. Viisi vaihtoa eli noin 28 % kaikista 18:sta kolmannen vaihtotyypin vaihdosta ylitti USL:n johtuen häiriöistä.

4.8 Pakkauslinjan käyttöhyödykkeiden kulutuksen mittaus

Pakkauslinjan alhaisen miehitysasteen vuoksi haluttiin tutkia kuinka paljon käyttöhyödykkeitä pakkauslinjalla kuluu sen ollessa miehittämätön. Käyttöhyödykkeiden kulutusta mitattiin tuotannon aikaisilla jaksoilla ja miehittämättömällä ajalla. Mittauksista saatujen tulosten perusteella voitiin määrittää pakkauslinjan miehitetyn ja miehittämättömän ajan kulutus.

Kohdeyrityksen tuotantolaitoksen käyttöhyödykkeiden kulutusarvoja seurataan Honeywellin Experion PMD -automaatiojärjestelmällä. Experion PMD -järjestelmän keräämää tietoa analysoitiin Honeywellin Uniformance Process History Database eli PHD -prosessidatan analysointiohjelmalla. PHD:n avulla Experion PMD:n keräämä data voitiin muuttaa numeeriseksi, mikä helpotti käyttöhyödykkeiden kulutuksen keskiarvojen laskemista. Käyttöhyödykkeiden kulutuksesta muodostettiin viivadiagrammit, jotka havainnollistavat kulutuksen jakautumista.

Mittauksista saaduista tuloksista tehdään johtopäätöksiä ja kehitysehdotuksia tulevaisuuden varalle. Käyttöhyödykkeiden yksikkökustannukset on muutettu kohdeyrityksen tietojen suojelemiseksi.

4.8.1 Sähkönkulutus

Sähkönkulutus mitattiin pakkaamon sähköpääkeskuksen kulutusmittareista 1 ja 2. Sähkönkulutusmittarit mittaavat pakkauslinjalla kulutettua sähköä kumulatiivisesti. Sähkönkulutusta ei ollut liitetty kohdeyrityksen automaatiojärjestelmään, joten niiden lukemia mitattiin manuaalisesti. Kulutusmittareiden lukemia seurattiin säännöllisesti pakkauslinjan ollessa miehitettyinä ja miehittämättöminä. Mittauksesta saatujen arvojen perusteella laskettiin keskiarvoinen tuntikulutus kilowattitunteina.

Taulukossa 9 on esitetty pakkauslinjan sähkönkulutusmittausjaksojen alku- ja loppuajan kohdat, pakkauslinjan tila, sekä sähkönkulutuksen keskiarvoja mittausjaksokohtaisesti ja yhteenlasketusti. Taulukosta 9 voidaan lukea, että pakkauslinjan keskimääräinen sähkönkulutus miehitettyinä oli 166 kWh/h. Vastaava kulutus miehittämättöminä oli keskimääräisesti 16 kWh/h.

Taulukko 9. Pakkauslinjan sähkönkulutus.

Pakkauslinjan sähkönkulutus mittari 1 ja 2					
Pakkauslinjan tila	Alku	Loppu	Keskimääräinen sähkönkulutus kWh/h	Mittausjakso ka. kWh/h	Keskiarvo kWh/h
Miehitetty	4.4.2018 10:00	4.4.2018 14:20	132,9	144,2	166
Miehitetty	4.4.2018 10:00	4.4.2018 14:20	11,3		
Miehitetty	4.4.2018 14:20	5.4.2018 14:09	150,1	164,5	
Miehitetty	4.4.2018 14:20	5.4.2018 14:09	14,4		
Miehitetty	5.4.2018 14:09	6.4.2018 14:51	145,2	160,7	
Miehitetty	5.4.2018 14:09	6.4.2018 14:51	15,6		
Miehitetty	16.4.2018 09:10	17.4.2018 11:29	145,0	168,8	
Miehitetty	16.4.2018 09:10	17.4.2018 11:29	23,8		
Miehitetty	17.4.2018 11:29	18.4.2018 16:44	157,6	181,2	
Miehitetty	17.4.2018 11:29	18.4.2018 16:44	23,6		
Miehitetty	18.4.2018 16:44	19.4.2018 10:08	159,3	186,0	
Miehitetty	18.4.2018 16:44	19.4.2018 10:08	26,7		
Miehitetty	19.4.2018 10:08	19.4.2018 17:35	135,6	153,2	
Miehitetty	19.4.2018 10:08	19.4.2018 17:35	17,6		
Miehittämätön	10.4.2018 13:52	11.4.2018 14:46	9,9	16,8	16
Miehittämätön	10.4.2018 13:52	11.4.2018 14:46	6,9		
Miehittämätön	11.4.2018 14:46	12.4.2018 14:03	9,6	16,4	
Miehittämätön	11.4.2018 14:46	12.4.2018 14:03	6,8		
Miehittämätön	12.4.2018 14:03	13.4.2018 14:03	9,2	15,7	
Miehittämätön	12.4.2018 14:03	13.4.2018 14:03	6,5		

Kohdeyritys maksaa sähköstä 66 €/MWh. Miehitettynä yhdessä vuorokaudessa pakkauslinja kuluttaa sähköä noin 4 MWh, jonka kustannus kohdeyritykselle on 260 €. Kuukausitasolla käyttövuorokausia tulee keskimäärin kymmenen, joten sähkön kokonaiskustannus on 2 600 €/kk. Miehittämättömänä yhdessä vuorokaudessa pakkauslinja kuluttaa sähköä noin 0,38 MWh, jonka kustannus kohdeyritykselle on 25 €. Kuukausitasolla miehittämättömiä vuorokausia tulee keskimäärin kaksikymmentä, joiden aikana pakkauslinja kuluttaa sähköä 500 €/kk edestä.

Pakkauslinjan toisen jakson käyttöasteen mukainen sähkönkulutuksen kokonaiskustannus on **3100 €/kk**.

4.8.2 Vedenkulutus

Tutkimuskohteena olevalle pakkauslinjalle syötetään kylmää käyttövettä kahdesta eri putkesta. Ensimmäisestä putkesta kylmä käyttövesi haarautuu pakkauspesukoneelle, mikä on suurin vedenkuluttaja pakkauslinjalla. Toisesta putkesta kylmä käyttövesi haarautuu etikettikoneelle, lämmittimelle, täyttökoneelle ja korinpesukoneelle. Kumpaankin putkeen asennettiin uudet veden tilavuusvirtamittarit, mutta toista mittaria ei saatu toimintakuntoon tutkimuksen aikana.

Vedenkulutusta mitattiin SAINT GOBAIN WEF-P DN 50 -kylmävesimittarilla. Kyseessä on Woltmann-tyyppinen siipipyörämittari, johon on asennettu Reed-impulssilaite (1 m³/pulssi). Vedenkulutusta mitattiin pesukoneelle haarautuvasta kylmävesisyötön päähaarasta. Päähaarassa sijaitseva mittari liitettiin Experion PMD -järjestelmään, jotta mitaustuloksia olisi helppo käsitellä ja niitä pystyisi analysoimaan myös takautuvasti Uniformance PHD:n avulla. Vedenkulutusta mitattiin kumulatiivisesti. Liite 5 on veden kulutuksen kumulatiivinen kuvaaja. Taulukossa 10 on esitetty vedenkulutusmittausjaksojen alku- ja loppuajankohdat sekä vedenkulutuksen keskiarvot. Vedenkulutusmittaukset tehtiin pakkauslinjan ollessa miehitetty ja kulutuksista määritettiin myös kokonaiskeskiarvo. Taulukosta 10 voidaan lukea, että pakkauslinjan keskiarvoinen vedenkulutus oli 9,17 m³/h.

Taulukko 10. Pakkauslinjan vedenkulutus.

Pakkauslinjan tila	Alku	Loppu	Kulutuksen keskiarvo m ³ /h	Keskiarvo m ³ /h
Miehitetty	6.5.2018 22:30	9.5.2018 18:00	9,56	9,17
Miehitetty	1.5.2018 22:00	4.5.2018 16:00	9,06	
Miehitetty	22.4.2018 22:00	26.4.2018 15:00	8,89	

Vuorokaudessa vettä kuluisi keskimäärin 220 m³/h. Veden hinta kohdeyritykselle on 3,7 €/m³. Vuorokauden vesimaksu on keskimäärin noin 810 €. Pakkauslinjan toisen jakson käyttöaste oli 33 % eli pakkauslinja on miehitettynä noin 10 päivää kuukaudessa. Veden arvioitu hinta kuukausitasolla on **8 100 €**. Miehitettömänä pakkauslinjan vedenkulutus on lähellä nollaa, kuten liitteestä 5 nähdään.

4.8.3 Höyryn kulutus

Tutkimuskohteena oleva pakkauslinja kuluttaa ajon aikana paljon höyryä. Kohdeyrityksen pakkaamossa käytetään 6 baarista 160 asteista höyryä. Pakkauslinjalla höyryä käytetään eniten kori- ja pakkauspesukoneiden sekä pakkauslämmittimen lämmittämiseen. Pakkauslinjalle syötetään höyryä kahden pääputkesta haarautuvan pienemmän putken kautta. Ensimmäisestä putkesta höyry haarautuu koripesukoneelle, pakkauslämmittimelle, sekä muille pienemmille höyrynkuluttajille. Toisesta putkesta höyry haarautuu

pakkauspesukoneelle. Toisesta putkesta on höyry-yhteet myös lakkautetun linjan pakkauslämmittimelle, sekä muille pienemmille höyrynkuluttajille. Putkiin on asennettu höyryn massavirtamittarit.

Höyryn kulutusta mitattiin DN 100 höyryputkiin asennetuilla McCrometer V-Cone -paineeromittareilla, jotka mittasivat höyryn massavirtaa. Mittarit mittaavat myös höyryn painetta ja lämpötilaa. Mittarien toiminta alue oli 0-4800 kg/h. Mittarit on liitetty Experion PMD -järjestelmään, josta höyryn kulutusta voidaan seurata reaaliajassa ja takautuvasti. Höyryn kulutusta seurattiin Experion PMD-järjestelmän avulla. Pakkauslinjan miehitylle ja miehittämättömälle ajalle määritettiin keskiarvoinen höyryn kulutus Uniformance PHD -järjestelmän avulla. Ennen mittausten tekemistä höyrymittarit kalibroitiin ja viritettiin näyttämään todellisia kulutuslukemia. Kalibrointi suoritettiin 14.04.2018.

Taulukossa 11 on esitelty keskimääräisiä höyryn kulutusarvoja miehityiltä ja miehittämättömiltä ajoilta. Höyrymittari 1 on koripesukoneelle ja lämmittimelle haarautuvassa putkessa ja höyrymittari 2 pakkauspesukoneelle haarautuvassa mittarissa.

Taulukko 11. Pakkauslinjan höyryn kulutus.

Höyrymittari 1				
Pakkauslinjan tila	Alku	Loppu	Keskimääräinen höyryn kulutus kg/h	Keskiarvo kg/h
Miehitetty	26.3.2018 19:00	29.3.2018 11:00	154,3	149,2
Miehitetty	4.4.2018 23:00	7.4.2018 15:00	131,1	
Miehitetty	17.4.2018 3:00	19.4.2018 19:00	162,3	
Miehittämätön	6.4.2018 21:11	8.4.2018 19:31	74,5	74,0
Miehittämätön	29.3.2018 03:53	4.4.2018 06:04	73,5	
Miehittämätön	9.3.2018 18:30	26.3.2018 16:40	73,9	
Höyrymittari 2				
Miehitetty	1.5.2018 23:16	4.5.2018 09:44	1194,2	1213,8
Miehitetty	22.4.2018 23:07	26.4.2018 17:34	1191,5	
Miehitetty	16.4.2018 06:13	19.4.2018 17:04	1255,7	
Miehittämätön	9.5.2018 19:45	13.5.2018 17:04	158,7	162,8
Miehittämätön	4.5.2018 17:04	6.5.2018 19:04	179,0	
Miehittämätön	26.4.2018 20:35	1.5.2018 00:04	156,6	
Miehittämätön	20.4.2018 17:00	22.4.2018 17:04	156,8	

Taulukosta 11 huomataan, että ajonaikainen höyryn kulutus on linjalla todella suuri. Pakkauslinjalla kuluu miehittämättömänäkin aikana huomattava määrä höyryä. Höyrymittari 2 mittaa höyryn kulutusta pakkauspesukoneelle vievästä höyryputkesta. Taulukosta 11 huomataan myös, että tuotannon aikana toiselta höyrymittarilta mitattu kulutus on yli 8 kertaa suurempi kuin ensimmäiseltä. Myös miehittämättömänä aikana höyryn kulutus on

yli 2 kertaa suurempi toisessa mittarissa kuin ensimmäisessä. Höyrymittareiden 1 ja 2 mittaamista höyryn kulutuksista luotiin pylväsdiagrammit Experion PMD:llä (liitteet 6 ja 7).

Pakkauslinjan keskimääräinen höyryn kulutus miehitettynä on $1214 \text{ kg/h} + 149 \text{ kg/h} = \mathbf{1363 \text{ kg/h}}$.

Pakkauslinjan keskimääräinen höyryn kulutus miehittämättömänä on $163 \text{ kg/h} + 74 \text{ kg/h} = \mathbf{237 \text{ kg/h}}$.

Kuukausitasolla miehitettyjä vuorokausia tulee keskimäärin kymmenen (10d). Pakkauslinja on miehittämättömänä keskimäärin kaksikymmentä vuorokautta kuukaudessa (20d). Keskimääräisillä kulutusarvoilla ja keskimääräisten miehitysvuorokausien avulla lasketaan höyryn kulutukset kuukausitasolla.

Miehitetyn linjan höyryn kulutus kuukaudessa:

$$1363 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 10\text{d} * \frac{24\text{h}}{\text{d}} = 327\,120 \text{ kg} \approx 327\text{t}$$

Miehittämättömän linjan höyryn kulutus kuukaudessa:

$$237 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 20\text{d} * \frac{24\text{h}}{\text{d}} = 113\,760 \text{ kg} \approx 114\text{t}$$

Ominaisentalpia 6 baarin mittaripaineessa olevalle höyrylle on 2763,9 kJ/kg ja vedelle 697,7 kJ/kg. Näiden erotuksena saadaan höyrystymisen ominaisentalpia 2065,7 kJ/kg jota käytetään kuukauden keskimääräisen höyryenergian kulutuksen arvioimiseen kaavalla 7.

$$E = m * h$$

Kaava 7. Höyryn sisältämä energia.

Missä E on energia

m on höyryn massa

h on höyrystymisen ominaisentalpia

Miehitetyn linjan höyryn energiamäärä:

$$327 \text{ kg} * 2065,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 675 483 900 \text{ kJ}$$

Tiedetään, että kJ = kW/s. Tätä kaavaa hyödyntäen energiamäärä muutetaan kilowattitunneiksi ja edelleen megawattitunneiksi

$$675 483 900 \frac{\text{kW}}{\text{s}} \div 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 187 634 \text{ kWh} \approx 188 \text{ MWh}$$

Miehittämättömän linjan höyryn energiamäärä:

$$114 \text{ kg} * 2065,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 235 489 800 \text{ kJ}$$

Muutetaan energiamäärä megawattitunneiksi:

$$235 489 800 \frac{\text{kW}}{\text{s}} \div 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 65 414 \text{ kWh} \approx 65 \text{ MWh}$$

Pakkaamossa käytetty höyry maksaa kohdeyritykselle 66 €/MWh.

Kuukauden keskimääräisen miehitetyn ajan (10d) höyrykustannus:

$$188 \text{ MWh} * \frac{66\text{€}}{\text{MWh}} = 12 400\text{€}$$

Kuukauden keskimääräisen miehittämättömän ajan (20d) höyrykustannus:

$$65 \text{ MWh} * \frac{66\text{€}}{\text{MWh}} = 4 290\text{€}$$

Pakkauslinjan käyttöasteen mukainen höyryn kulutuksen kokonaiskustannus on yhteensä **16 690 €/kk**.

Laskelmissa on arvioitu kulutetun höyryenergian hintaa. Höyryä kuluu vuotoihin, mutta siitä otetaan myös jonkin verran lauhdetta talteen lauhteenpoistimien avulla. Tutkimuksissa ei otettu kantaa höyryjärjestelmän lauhteen talteenottoon.

4.8.4 Paineilman kulutus

Tutkimuskohteena oleva pakkauslinja on korkeasti automatisoitu. Esimerkiksi pakkauslinjan syöttö- ja lavauspäädissä on lukuisia teollisuusrobotteja, jotka käyttävät yhtenä

voimanlähteenään paineilmaa. Myös pakkauslinjan muissa komponenteissa hyödynnetään paljon pneumatiikkaa. Seuraavaksi haluttiin tutkia, miten paljon paineilmaa pakkauslinjalla kulutetaan. Kulutuksen määrää vertailtiin miehittämättömän ja miehitetyn ajan välillä.

Pakkauslinjalle haarautuu paineilman syöttölinjasta kaksi pienempää paineilmaputkea. Syöttölinjaan asennettiin ilmanvirtausmittari ennen pakkauslinjalle vieviä paineilmaputkia. Pakkauslinjalle vievät paineilmaputket sijaitsevat syöttölinjan päässä, joten kaikki mittarin läpi kulkeva paineilma menee tutkimuskohteena olevalle linjalle.

Paineilman kulutusta mitattiin Schmidt SS 20.60-ilmanvirtausmittarilla. Ilmanvirtausmittaus perustuu lämpötilan muutokseen. Anturin kärjessä sijaitseva sähköisesti lämmitetty lämpövastus pidetään jatkuvasti virtaavan ilman lämpötilaa korkeamana. Virtauksen kasvaessa myös lämpöhäviö kasvaa. Lämmitysännite on täten suoraan verrannollinen ilman massavirtaan. Ilmanvirtausmittari liitettiin Experion PMD -järjestelmään. Saatua dataa analysoitiin Uniformance PHD -järjestelmällä.

Taulukossa 12 on esitelty pakkaamon paineilman tuottamiseen käytetyt kompressorit. Lähes kaikki paineilma tuotetaan Atlas Copco ZR 250 -ruuvikompressorilla.

Taulukko 12. Paineilmakompressorien tekniset tiedot.

Tehtävä	Positio	Toimittaja	Tyyppi	Sarjanumer	Tuotto l/s	Moottoriteho kW	Vuosimalli	Käyttöpaine	Max paine
Varakone	IK1	Atlas Copco	ZR4A	ARP596000	583	250	1987	6	8,5
Varakone	IK2	Atlas Copco	ZR3-58	ARP482138	304	132	1978	6	10,5
Pääkone	IK4	Atlas Copco	ZR250	AIF072589	627	250	2001	6	10

Kaksi muuta Atlas Copcon ruuvikompressoria toimivat varakoneina, jos paineilman tarve kasvaa tai pääkoneen paineilmatuotanto loppuu. Kohdeyrityksen pakkaamossa käytetään 6 baarin paineista paineilmaa.

Taulukossa 13 on kuvattu pakkauslinjan tila paineilman kulutusmittausten ajankohtina, mittausten alku- ja loppuajankohdat ja mittausjakson keskimääräinen kulutus. Paineilman kulutuksesta luotiin myös viivadiagrammi Experion PMD:llä (liite 8). Miehitetyn ajan paineilman kulutusta kuvattiin viivadiagrammilla tarkemmin liitteessä 9. Keskimääräisistä kulutuksista laskettiin keskiarvot miehittämättömälle ja miehitetylle ajalle.

Taulukko 13. Pakkauslinjan paineilman kulutus.

Paineilman kulutus				
Pakkauslinjan tila	Alku	Loppu	Keskimääräinen paineilman kulutus m ³ /h	Keskiarvo m ³ /h
Miehitetty	5.4.2018 09:54	6.4.2018 21:13	232,3	233,2
Miehitetty	8.4.2018 22:57	10.4.2018 07:24	216,7	
Miehitetty	16.4.2018 02:31	19.4.2018 15:34	249,8	
Miehitetty	23.4.2018 05:21	24.4.2018 11:38	233,9	
Miehitämätön	6.4.2018 21:56	8.4.2018 22:14	171,0	159,7
Miehitämätön	10.4.2018 08:07	16.4.2018 01:48	145,6	
Miehitämätön	19.4.2018 16:18	23.4.2018 04:38	162,5	

Taulukosta 13 huomataan, että paineilman kulutus on suuri myös pakkauslinjan ollessa miehitämätön. Paineilman kulutus kasvaa vain noin 70 m³/h linjan ajon aikana verrattuna miehitämättömään tilaan. Miehitämättömän ajan kulutuksen määrä viittaa suuriin paineilmanvuotoihin.

Atlas Copco ZR 250 -kompressorilla pystytään tuottamaan paineilmaa 2257 m³/h. Miehitetyn vuorokauden aikana pakkauslinjalla kuluu 5592 m³ paineilmaa. Kompressorilla kuluu tämän tuottamiseen noin 2,5 tuntia. Siinä ajassa kompressori kuluttaa 250 kW * 2,5 h = 625 kWh sähköä. Paineilman tuottaminen vuorokaudessa maksaa siis 0,625 MWh * 66 €/MWh ≈ 41 €. Pakkauslinja on miehitettynä keskimäärin 10 päivää kuukaudesta, joten kuukausitason kustannus on noin 410 €.

Miehitämättömän vuorokauden aikana pakkauslinja kuluttaa paineilmaa 3840 m³. Tämän tuottamiseen kompressori kuluttaa 205 kW * 1,7 h = 425 kWh sähköä. Paineilman tuottaminen vuorokaudessa maksaa täten 0,425 MWh * 66 €/MWh ≈ 28 €. Pakkauslinjan käyttöasteen mukainen kuukausitason kustannus on tällöin 560 €.

Paineilman kulutuksen kustannuslaskennassa ei otettu huomioon ilmankuivaimien tai varakompressorien sähkönkulutusta.

Pakkauslinjan käyttöasteen mukainen paineilman kokonaiskustannus on käyttöaikana 410 €/kk ja joutoaikana 560 €/kk eli yhteensä **970 €/kk**.

Paineilman kulutuksen kustannuksia vertailtiin Motivan verkkosivuilta löydettyyn vuotomääriä ja kustannuksia arvioivaan taulukkoon (taulukko 14). Taulukko liittyy Paineilmaa Tehokkaasti PATE-analyyysiin, jossa tarkastellaan paineilmajärjestelmien energiatehokkuutta.

Taulukko 14. Paineilman vuotomääriä ja kustannuksia arvioiva taulukko (Motiva 2017).

Reiän läpimitta (mm)	Reiän poikkipinta-ala (mm ²)	Ilmamäärä (m ³ /min)	Kustannus (€/a)
1	0,79	0,064	179
1,5	1,77	0,145	406
2	3,14	0,257	720
3	7,07	0,578	1 618
4	12,57	1,028	2 878
5	19,64	1,606	4 497
6	28,27	2,313	6 476
8	50,27	4,112	11 514
10	78,54	6,425	17 990
12	113,1	9,252	25 906

Pakkauslinjalle tehtyjen paineilman kulutusmittausten tulokset ja paineilman kokonaiskustannuksen arvio mukailivat taulukon 14 tietoja.

4.8.5 Käyttöhyödykkeiden kokonaiskustannukset

Kulutusmittausjaksoista pyrittiin tekemään mahdollisimman pitkiä, jotta saadut tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia. Mittaukset pyrittiin tekemään mahdollisimman normaalien miehitysjaksojen aikana.

Käyttöhyödykkeiden kulutuksen kustannuksista luotiin taulukko (taulukko 15). Taulukossa on eritelty käyttöhyödykkeiden miehitetyn ja miehittämättömän ajan kuukausitason kulutus. Nämä ovat laskettu yhteen kokonaiskuukausikustannukseksi, jonka perusteella arvioitiin vuositaso kustannuksia.

Taulukko 15. Käyttöhyödykkeiden kokonaiskulutuksen kustannukset.

Käyttöhyödykkeiden kokonaiskulutus				
Hyödyke	Miehitysaste 33%/67%		Kuukausikustannus	Vuosikustannus
	Miehitetty 10d/m	Miehittämätön 20d/m		
Sähkö	2 600 €	500 €	3 100 €	37 200 €
Vesi	8 100 €	0 €	8 100 €	97 200 €
Höyry	12 400 €	4 290 €	16 690 €	200 280 €
Paineilma	410 €	560 €	970 €	11 640 €
Yhteensä	23 510 €	5 350 €	28 860 €	346 320 €

Käyttöhyödykkeiden kokonaiskulutus on melko suurta tuotannon aikana. Veden ja höyryn kulutus on huomattavan suurta. Pakkauspesukone kuluttaa suurimman osan vedestä ja höyrystä. Paineilmaa ja höyryä kuluu huomattavan paljon, vaikka linja olisi miehittämätön.

Kuukauden keskimääräisten miehityspäivien (10 d) aikainen kustannus käyttöhyödykkeistä on 23 510 €. Kuukauden miehittämättömän ajan (20 d) kulutuksen kustannukset ovat 5 350 €. Vuositasolla pakkauslinja kuluttaa näitä neljää käyttöhyödykettä yli 340 000 euron edestä. Laskelmissa ei ole huomioitu höyrymäärää, joka kuluu pesukoneen lämmittämiseen miehitetyn jakson alkaessa. Lämmityksessä höyryn kulutus on noin 4000 kg/h ja lämmitys kestää noin kaksi tuntia. Pesukoneen lämmityskustannukset noin 330 €/lämmityskerta.

4.9 Avoimet haastattelut ja yleinen havainnointi

Case-tutkimuksen kannalta on tärkeää, että tutkittavasta kohteesta saadaan mahdollisimman kokonaisvaltainen kuva. Hyvä tapa saada lisätietoa tutkittavasta kohteesta on keskustella niiden ihmisten kanssa, jotka ovat paljon tekemisissä tutkittavan kohteen kanssa. He voivat antaa tutkittavasta kohteesta tärkeää tietoa, jota ei saa muualta. Tutkijan kannalta on myös tärkeää tarkkailla tutkittavaa kohdetta mahdollisimman paljon. Kun tutkija seuraa tutkittavaa kohdetta ja sen toimintaa sivusta, hän voi huomata asioita, joita kohteen kanssa päivittäin tekemisissä olevat ihmiset eivät välttämättä huomaa.

Tutkimuksen aikana tarkkailin pakkauslinjan yleistä toimintaa ja linjan häiriökirjanpito päivittäin. Lisäksi työskentelin pakkauslinjan tuotantotiimissä laitospäivä miehenä noin kahden viikon ajan tutkimuksen aikana. Keskustelin pakkauslinjan yleisestä toiminnasta ja häiriöistä toimihenkilöiden, operaattoreiden ja kunnossapidon henkilökunnan kanssa. Keskusteluissa kohdeyrityksen työntekijät kertoivat omia mielipiteitään siitä, mitkä tekijät vaikuttavat pakkauslinjan tuotannon tehokkuuteen. Koska pakkauslinjan tuotantotiimin jäsenet työskentelevät tuotannon rajapinnassa päivittäin, heillä on hyvä näkemys siitä, mitkä tekijät alentavat pakkauslinjan tehokkuutta.

Yksi yleisin esille noussut asia oli vuorojen liian vähäinen operaattorimäärä. Pakkauslinjan ajonaikainen operaattorimäärä on usein alin mahdollinen. Vaikka vuorossa olisi enemmänkin operaattoreita, osa heistä ajaa samanaikaisesti vähintään yhtä muuta pie-

nempää pakkauslinjaa tutkimuskohteena olevan pakkauslinjan ajon ohella. Operaattoreiden vähäinen määrä ajoerää kohden vaikuttaa pakkauslinjan tehokkuuteen. Se lisää yksittäisen operaattorin työmäärää, mikä puolestaan vaikeuttaa laadun valvomista, häiriöiden ratkaisemista ja niiden ehkäisemistä. Yksittäisen operaattorin lisääntynyt työmäärä aiheuttaa myös pysähdyshäviöitä. Operaattoreiden olisi hyvä olla työpisteidensä läheisyydessä tuotantokoneiden ollessa käynnissä, tuotannon laadun valvomiseksi ja häiriöiden ehkäisemiseksi. Operaattoreille kuuluu myös työtehtäviä, joita ei voi suorittaa pelkästään työpisteillä. Jos vuorossa on vain minimimäärä operaattoreita, tuotanto pitää pysäyttää siksi ajaksi, kun jokin työpisteistä on miehittämättömänä operaattorin hoitaessa muita tehtäviä.

Toinen esille noussut asia oli yhteistauot, jotka liittyvät myös vahvasti operaattorimäärään. Kuten luvussa 4.3.2 todettiin, yhteistaukojen välttäminen minimioperaattorimäärällä on hyvin haasteellista. Tuotantotiimin jäsenten mielestä pakkauslinjan ajonaikainen tehokkuus nousisi, jos tauot voitaisiin pitää porrastettuna pakkauslinjaa pysäyttämättä. Jotta tämä toteutuisi, tulisi pakkauslinjalla olla ajoerien aikana vähintään yksi operaattori enemmän kuin minimioperaattorimäärä.

Lavauspääty 2 on lisätty pakkauslinjaan vain noin vuosi sitten ja se on aiheuttanut paljon pakkauslinjan pysähtymisiä, vaikka sitä käytetään vain tuoteperheiden 3 ja 4 tuotannossa. Operaattoreiden ja kunnossapitohenkilökunnan kanssa käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että lavauspäädyn 2 käyttö ja sen häiriöiden selvittäminen on usein haasteellista. Operaattorit ja kunnossapitohenkilökunta ovat saaneet koneiden käyttöön koulutusta, mutta koulutus on ollut osan mielestä liian vähäistä.

Operaattoreiden ja kunnossapitohenkilökunnan mielestä myös kierrätettävien pakkausten lajittelua voisi parantaa. Tuoteperheiden 1 ja 2 tuotteet pakataan kierrätettäviin pakkauksiin. Tämä tarkoittaa sitä, että käytön jälkeen pakkaukset palautuvat kohdeyrityksen tuotantolaitokselle, missä ne lajitellaan. Pakkaukset lajitellaan automaattilajittelulinjalla täysinä koreina, jotka voivat sisältää kaikkien neljän tuoteperheen pakkauksia ja myös vieraita pakkauksia. Korit kuvataan ylhäältäpäin, jolloin lajittelulinjan kuvaussolu merkkää väärät pakkaukset, minkä jälkeen lajittelurobotti poistaa ne. Tuoteperheen 1 pakkausten lajittelu päästää kuitenkin läpi tietyn määrän tuoteperheiden 2 ja 4 pakkauksia. Lajittelu ei myöskään erota tuoteperheen 1 ja 3 tuotteita toisistaan, koska ne ovat hyvin samannäköisiä ylhäältäpäin kuvattuina. Joskus lajittelusta pääsee läpi myös vieraita pakkauksia, jotka aiheuttavat pesukoneelle asti päästyään mahdollisesti pitkiä häiriöitä.

Tarkkaillessani pakkauslinjan ajoeriä huomasin, että pakkauspesukoneen toiminta oli aika ajoin todella katkonaista. Kuten luvussa 4.1 esitettiin, pakkauspesukoneen lyhyet pysähdykset aiheuttavat paljon aikahäviötä myös täyttökoneella. Kuten luvussa 4.5.2 esitettiin, täyttökoneen yhteydessä oleva sinetöintikone aiheuttaa myös paljon aikahäviötä.

Tuotantokoneiden välisten ratojen täytyminen aiheutti myös paljon koneiden pysähdyksiä. Vaikka molempien lavauspäätyjen maksiminopeudet ovat suurempia kuin etikettikoneen ja etikettikoneen maksiminopeus on suurempi kuin täyttökoneen, olivat niiden väliset radat usein täynnä. Ratojen täytyminen johtaa esimerkiksi lavauspäädystä tapahtuvan lyhyen pysähdyksen heijastumiseen aina täyttökoneelle asti tai niin pitkälle kuin radat ovat täynnä. Tämä aiheuttaa koko linjan pysähtymisen. Ihannetilanteessa tuotantokoneiden välisillä radoilla olisi aina tilaa, jotta linjan eri kohdissa tapahtuvat pienet pysähdykset vaikuttaisivat muiden koneiden tuotantonopeuteen mahdollisimman vähän. Radoilla tulisi olla kuitenkin tarpeeksi tuotteita, jotta pysähdysten sattuessa seuraavan koneen tuotanto ei pysähtyisi.

Kunnossapitohenkilökunnan kanssa käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että pakkauspesukoneeseen syötettävä vaahtoutumisen- ja kivettymänestoaine vaihdettiin toiseen jokin aika sitten. Kunnossapitohenkilökunta huomasi, että uuden aineen käyttöönoton jälkeen pakkauspesukoneen lokeronsulkijan häiriöt yleistyivät. Kuten luvussa 4.5.1 todettiin, lokeronsulkijasta johtuva häiriö on yksi pakkauspesukoneen yleisimmistä häiriöistä ja eniten aikahäviötä aiheuttavista tekijöistä.

Yksi merkittävä huomio pakkauslinjaa tarkkaillessani oli paineilmavuotojen määrä. Lähes joka puolella pakkauslinjaa kuului selkeästi paineilmavuotojen ääniä. Huomiota kiinnitti myös se, että suuria paineilmavuotoja kuului myös jo lakkautetulta linjalta.

4.10 Kehitysmahdollisuudet

Tämän työn tarkoituksena oli esittää tutkimustulosten perusteella pakkauslinjan tehokkuutta ja käyntiastetta parantavia kehitysehdotuksia. Tässä luvussa esitellään linjan toiminnallisia ja teknillisiä kehitysehdotuksia. Ensimmäiseksi esitellään toiminnallisia kehitysehdotuksia, jotka liittyvät pakkauslinjan jokapäiväiseen toimintaan ja sen tuotannon seurantaan. Tämän jälkeen esitellään teknillisiä kehitysehdotuksia, joiden avulla pakkauslinjan ajonaikaista tehokkuutta voidaan parantaa.

4.10.1 Toiminnalliset kehitysmahdollisuudet

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että yhteistauot ovat yksi suurimmista pakkauslinjan ajonaikaisista aikahäviöistä. Jotta pakkauslinjalla voitaisiin ajaa ilman yhteistaukoja, pakkauslinjalla pitäisi työskennellä yksi operaattori enemmän kuin mikä on ajettavan ajoerän vaativa minimimäärä. Operaattorit voisivat tällöin tuurata toistensa tauot eikä yhteistaukoa tarvitsisi pitää. Tämä niin sanottu ylimääräinen operaattori voisi normaalin ajon aikana tehdä myös niitä operaattoreiden tehtäviä, joita ei voi suorittaa poistumatta työpisteen läheisyydestä. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi jätelavojen ja hylkyratojen tyhjennys sekä kulutusmateriaalien noutaminen ja varastojen täydentäminen. Operaattorimäärän kasvu helpottaisi myös ajonaikaista laadunvalvontaa. Näin pakkauslinjan tuotannon ei tarvitsisi pysähtyä muutoin kuin häiriötilanteissa ja täyttökoneen vuorohtaisen pesun aikana.

Täyttökoneen kerran vuorossa tapahtuva pesu voitaisiin suorittaa vuoron vaihdon aikana, koska vuoron vaihtuessa pakkauslinja yleensä pysäytetään hetkeksi. Näin osa täyttökoneen pesuun kuluttamasta ajasta saataisiin yhdistettyä vuoron vaihdon aikaiseen lyhyeen pysähdykseen. Tämä antaisi myös vuorosta lähteville operaattoreille enemmän aikaa keskustella vuoroon saapuvien operaattoreiden kanssa kuluvan ajoerän tapahtumista. Tilanteissa, joissa operaattorit joutuvat pitämään yhteistaukoja, tulisi täyttökoneen pesu suorittaa aina yhteistauon aikana. Tällöin vuoron laitosmies voisi mahdollisuuksien mukaan tuurata toisen, porrastettuna pidettävän tauon. Molempien taukojen tuuraaminen veisi laitosmieheltä kohtuuttoman paljon aikaa ottaen huomioon myös hänen omat tauot.

Tuotantotiimin jäsenille tulisi pitää koulutusta liittyen lavauspäädyn 2 koneisiin. Kuten kuvioista 24, 25 ja 26 nähdään, lavauspäädyn 2 koneet aiheuttivat toisella jaksolla ylivoimaisesti eniten häiriöitä. Lisäkoulutus alentaisi mahdollisesti häiriöiden lukumäärää sekä häiriötilanteiden ratkaisemiseen kuluvaan aikaan. Lavauspäädyn 2 koneiden toimintaa tulisi seurata säännöllisesti ja määrittää, mitkä niistä aiheuttavat eniten häiriöitä.

Kohdeyritys voisi seurata pakkauslinjan tehokkuutta tarkemmin. Tehokkuutta seurataan nykyisin vain ajoerän pituuden ja valmistetun tuotemäärän mukaan. Tuotannon tehokkuutta laskiessa tulisi ottaa huomioon pakkauslinjan todellinen käyntiaika, pysähdysaika,

pysähdyksien syyt, sekä valmistettu että hylätty tuotemäärä. Tehokkuutta voitaisiin seurata esimerkiksi tuote- tai vuorokohtaisesti. Mitä tarkemmin tuotannon eri arvoja seurataan, sitä helpompi on huomata tuotannon tehokkuutta alentavia tekijöitä.

Pakkauslinjan tuotannon pysäyttäviä häiriöitä tulisi myös seurata tarkemmin. Nykyisin häiriöiden syitä ja kestoja voidaan kerätä suoraan tuotantokoneilta automaattisesti. Pakkauslinjan tuotantokoneet osaavat itse tunnistaa häiriön syyn, joten tätä tietoa tulisi hyödyntää paremmin. Analysoimalla pieniä pysähdyksiä aiheuttavia syitä, voisi kohdeyritys tunnistaa yleisimmät tuotannon pysäyttävät häiriöt ja selvittää mistä ne johtuvat. Näin ollen olisi helppo keskittää korjaavat toimenpiteet tuotannon tehokkuutta tällä hetkellä eniten laskeviin tekijöihin. Tietoa voitaisiin hyödyntää myös koneiden ennakkohuollossa. Häiriöitä voitaisiin tarkastella esimerkiksi viikoittain ja suorittaa korjaavia toimenpiteitä aina pakkauslinjan ollessa miehittämätön.

4.10.2 Teknilliset kehitysmahdollisuudet

Tutkimuksissa kävi ilmi, että pesukoneen toiminta vaikuttaa hyvin paljon pakkauslinjan kriittisen koneen eli täyttökoneen toimintaan, vaikka pesukoneen maksimituotantokapasiteetti on yli kaksinkertainen täyttökoneeseen verrattuna. Täyttökoneen riippuvuus pesukoneesta selittyy niiden välisen ratakapasiteetin vähäisyydellä. Tilannetta voisi parantaa leventämällä pesukoneen ja täyttökoneen välistä rataa, jotta niiden välinen ratakapasiteetti voidaan moninkertaistaa. Jos niiden väliselle radalle mahtuisi esimerkiksi 10 000 pakkausta, eivät pesukoneen toistuvat lyhyet pysähdykset vaikuttaisi täyttökoneen toimintaan. Täyttökone voisi tällä teoreettisella ratakapasiteetilla toimia täydellä teholla noin 20 minuuttia, vaikka pesukone olisi pysähdyksissä. Koska pesukoneen maksiminopeus on niin paljon suurempi kuin täyttökoneen, se saisi täytettyä pysähdyksen aiheuttaman tyhjän ratakapasiteetin nopeasti.

Toinen ratakapasiteetteihin liittyvä kehitysehdotus on, että täyttökoneen ja etikettikoneen välistä lämmittimen kapasiteettia tulisi hyödyntää jokaisen tuotteen ajon aikana. Näin ollen ratakapasiteetti olisi aina melkein 8 000 tuotetta. Suurin osa tästä 8 000 tuotteen kapasiteetista tulisi pyrkiä pitämään vapaana, jotta etikettikoneen pysähtyessä täyttökone pystyisi jatkamaan omaa toimintaansa mahdollisimman pitkään.

Pakkauslinjan tuotantokoneiden nopeudet muodostavat hyvän V-käyrän. Tuotantokoneiden ajonopeuden säätelyllä tulisi varmistaa täyttökoneen toimintaa. Sitä edeltävien koneiden tulisi toimia aina maksimituotantonopeudella, jotta täytettävät pakkaukset eivät lopu täyttökoneelta kesken. Täyttökoneen jälkeisiä koneita pitäisi pyrkiä ajamaan aina nopeammin, jotta vältettäisiin ratojen täyttymistä. Pakkauslinjan lavauspäätyjä tulisi ajaa korkeammalla nopeudella etikettikoneeseen nähden, jotta niiden välinen rata ei olisi koskaan täynnä.

Vuoden 2018 helmikuun alussa alas ajetun pakkauslinjan monipakkauskone ei ole enää toiminnassa, mutta se on yhä paikoillaan. Se sijaitsee yhä toiminnassa olevan monipakkauskoneen vieressä. Toisen linjan lakkautuksen myötä toiminnassa olevan pakkauslinjan monipakkauskoneella on pakattu molempia kahdesta monipakkaustyypeistä. Ennen kutakin monipakkausta pakattiin omalla monipakkauskoneella. Kuten kuvioista 17 ja 18 on nähtävissä, tämä muutos on aiheuttanut lisääntyneitä häiriöitä tuotannossa. Häiriöt johtuvat monipakkauskoneen uudelleensäätämiseen kuluva ajasta, sekä säätöihin liittyvästä lisääntyneestä häiriöriskistä. Pienillä ratamuutoksilla molemmat monipakkauskoneet saataisiin yhdistettyä toiminnassa olevaan pakkauslinjaan. Täten kummallakin pakkauskoneella voitaisiin ajaa omaa monipakkaustyyppiä. Tämä alentaisi monipakkauskoneiden häiriöalttiutta, sekä eliminoisi monipakkauskoneelle tehtävän pitkän tuotevaihdon.

Avoimissa haastatteluissa nousi esille pesukoneen vaahtoutumisen- ja kivetymänestoaineen vaihtuminen. Vaihtuminen oli aiheuttanut pesukoneen lokeronsulkijahäiriön huomattavaa lisääntymistä. Kohdeyritys voisi kokeilla eri vaahtoutumisen- ja kivetymänestoaineita pesukoneella ja seurata lokeronsulkijahäiriöiden määrää. Koska pesukoneen toiminta vaikuttaa täyttökoneen toimintaan huomattavasti, on sen jatkuva toiminta tärkeää pakkauslinjan tehokkuuden kannalta.

Pakkauslinjan paineilman kulutus on suurta miehittämättömänä aikana. Pakkauslinjan paineilmapuodot voitaisiin paikantaa ja paikata jonkin miehittämättömän viikonlopun aikana. Paineilmapuotojen paikannus olisi tällöin helppoa, koska pakkaamossa ei olisi tuotannosta tavanomaisesti aiheutuvaa meteliä. Sama voitaisiin tehdä pakkaamon kaikille pakkauslinjoille.

Myös pakkauslinjan höyrynkulutus on merkittävää miehittämättömänä aikana. Yhden miehittämättömän kuukauden aikana höyryä kuluu yli 4 000 € edestä. Kohdeyrityksen

tulisi selvittää, kuinka suuri osa höyrynkulutuksesta on vuotoja ja kuinka suuri osa kerätään lauhteen erottimien avulla talteen. Pakkauslinjan höyryvuodot voitaisiin paikantaa esimerkiksi lämpökameran avulla ja paikata ne.

Tuoteperheiden 1 ja 2 kiertopakkausten lajittelu aiheuttaa pakkauslinjalla lukuisia ongelmia. Väärät pakkaustyypit voivat aiheuttaa pakkauspesukoneella pitkäkestoisia häiriöitä ja liian tyhjät pakkauskorilliset voivat aiheuttaa pakkauspulaa linjalla. Lajittelusta läpi päässeet väärät pakkaukset kertyvät pakkauksen tarkastajan hylkyradalle, joka on tyhjennettävä äärimmäisissä tilanteissa jopa 15 min välein. Lajittelua pitäisi parantaa mikäli halutaan nostaa pakkauslinjan tuotannon tehokkuutta. Lajittelusolun voisi ohjelmoida uudelleen siten, että se ei päästäisi läpi yhtään havaitsemaansa väärää pakkaustyyppiä. Jos lajittelua haluttaisiin kehittää radikaalisti, lajittelun voisi toteuttaa pakkauksittain eikä koreittain. Tämä kuitenkin vaatisi suhteellisen suuria investointeja. Lakkautetun linjan tyhjien pakkausten tarkastajaa voisi mahdollisesti hyödyntää lajittelun kehittämisessä. Kyseinen lakkautetun linjan tarkastaja ei päästä läpi yhtään väärää pakkausta, sillä se lajittelee pakkaukset yksi kerrallaan.

5 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö käsitteli kohdeyrityksen suuren pakkauslinjan tuotannon kehittämistä. Opinnäytetyön päätavoitteena oli selvittää, miten pakkauslinjan tehokkuutta ja käyntiastetta voidaan kehittää.

Työn teoriaosuus muodostui kahdesta pääluvusta. Ensimmäiseksi tarkasteltiin tuotantoa yleisesti, sekä tuotantoon keskeisesti liittyviä käsitteitä. Luvussa tutustuttiin myös tuotantolinjavalmistuksen edellytyksiin ja ominaispiirteisiin, sekä tuotannon tehokkuuteen ja tuottavuuteen vaikuttaviin tekijöihin. Tuotannon tehokkuutta käsiteltiin kappaletavaratuotannon näkökulmasta.

Seuraavaksi teoriaosuudessa esiteltiin tutkimuksessa käytettyjä tiedonhankintamenetelmiä. Case-tutkimuksessa tutkittavasta kohteesta halutaan saada mahdollisimman kokonaisvaltainen ja todellisuutta vastaava kuva, joten pakkauslinjan toimintaa tutkittiin monien erilaisten menetelmien avulla. Ensimmäiseksi käsiteltiin prosessin mallintamista osana toiminnan kehittämistä. Tämän jälkeen keskityttiin tuotannon kokonaistehokkuutta kuvaavaan KNL-lukuun ja kuvailtiin, mitä KNL-luku ja sen osatekijät kertovat tuotannon tehokkuuden tilasta. Seuraavaksi käsiteltiin kohdeyrityksen tuotannon seurantajärjestelmiä ja niiden hyödyntämistä tutkimuksen tiedonlähteenä. Luvussa käsiteltiin myös ajankäyttötutkimusta, jossa selvitetään mihin eri osatekijöihin tuotannon aikahäviöt jakautuvat. Tämän avulla KNL-luvusta ja osatekijöistä voidaan määrittää tiettyjä syy-seuraussuhteita. Luvussa esiteltiin myös tutkimuksen tulosten esittämiseen käytettyjen pareto-diagrammien ja prosessin kyvykkyysraporttien teoriaa. Luvun lopussa käsiteltiin avoimia haastatteluita ja havainnointia, jotka ovat case-tutkimuksissa yleisesti käytetyimpiä tiedonkeruumenetelmiä.

Opinnäytetyön yhtenä alatutkimuskysymyksenä oli selvittää, mitkä asiat vaikuttavat pakkauslinjan tehokkuuteen ja käyntiasteeseen. Työn tarkoituksena oli määrittää pakkauslinjan tehokkuuden ja käyntiasteen nykytilanne ja tehtyjen tutkimusten perusteella määrittää niihin vaikuttavat asiat. Työn tarkoituksena oli myös esittää tutkimustuloksista saatujen tietojen perusteella pakkauslinjan tehokkuutta ja käyntiastetta parantavia kehitysehdotuksia.

Asetettuihin tutkimuskysymyksiin saatiin monipuolisten ja onnistuneiden tutkimusten avulla kattavat vastaukset. Työn päätutkimusongelmaan esitettiin kehitysehdotuksia

laaja-alaisesti. Työtä kommentoitiin toimeksiantajan puolesta huolellisesti ja laadukkaasti suoritetuksi sekä hyvin rajatuksi. Toimeksiantajan edustaja arvioi työn tavoitteen saavuttamisen ja työn hyödynnettävyyden toimeksiantajalle kiitettäväksi. Toimeksiantajan edustaja totesi myös, että työn tekijän osaaminen ja johtopäätökset sekä aktiivisuus olivat kiitettävää tasoa.

Tässä työssä kohdeyritykselle ehdotetut kehitysmahdollisuudet perustuivat tutkimustuloksista tehtyihin havaintoihin sekä avoimien haastatteluiden ja yleisen havainnoinnin pohjalta tehtyihin huomioihin. Kehitysehdotuksissa otettiin huomioon, millaisilla helposti toteutettavissa olevilla toimenpiteillä pakkauslinjan tuotannon tehokkuutta voitaisiin kehittää parhaiten. Kehitysehdotuksissa otettiin myös huomioon, miten kohdeyritys voisi seurata tuotannon tehokkuutta alentavia tekijöitä tarkemmin ja tarkemman seurannan avulla tehdä pieniä jatkuvan parantamisen toimenpiteitä.

Työn tekijän näkemyksen mukaan suurimmat kehitystarpeet liittyivät pakkauslinjalla ajon aikana työskentelevään operaattorimäärään, tuotantokoneiden nopeuksien ja ratakapasiteettien hyödyntämiseen, sekä useimmiten ilmenevien häiriötekijöiden eliminoimiseen. Kehitysehdotukset on esitelty tarkemmin kohdassa 4.10.

Mahdollisen jatkotutkimusten aiheena voisi olla ehdotettujen kehitystoimenpiteiden toteuttaminen ja niiden vaikutusten mittaaminen. Tutkimuskohteena olleelle pakkauslinjalle suoritettavat tutkimukset voitaisiin tehdä myös kohdeyrityksen muille pakkauslinjoille, mutta rajattuna tarkemmin esimerkiksi pelkästään tuotannon aikaisiin häiriöihin ja niihin liittyviin syy-seuraus-tekijöihin. Jatkotutkimuksen aiheena voisi olla kohdeyrityksen pakkauslinjaan asennettavien automaattisten tiedonkeruujärjestelmien suunnittelu ja toteuttaminen.

LÄHTEET

- Arrow Engineering 2016. Mitä on OEE / KNL? Viitattu 10.05.2018 <https://blogi.arro-weng.fi/mit%C3%A4-on-oee/-/knl>
- Breyfogle III, F. W. 2003. Implementing SIX SIGMA – Smarter Solution Using Statistical Methods. 2. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Elintarviketeollisuusliitto ry. 2018. Elintarviketeollisuus. Viitattu 29.04.2018 <http://www.etl.fi/elintarviketeollisuus.html>
- Fogelholm, J. & Karjalainen. J. 2001. Tuotantotoiminnan mittaaminen. Helsinki: WSOY.
- Haverila, M.; Uusi-Rauva, E.; Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. painos. Tampere: Infacs Oy.
- Heikkilä, J. & Ketokivi, M. 2005. Tuotanto murroksessa – Strategisen johtamisen uusi haaste. Helsinki: Talentum Media Oy.
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2000. Tutkimushaastattelu - Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Helsinki University Press ja tekijät.
- Hirsjärvi, S.; Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15., uudistettu painos. Helsinki: Tammi.
- Kaikkonen, A. 2007. Pelkkä kokonaistehokkuuden mittaaminen ei riitä. Helsinki: Kehittyvä elintarvike. Viitattu 18.5.2018 <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/32-pelkka-kokonaistehokkuuden-mittaus-ei-riita>
- Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu 143.
- Karjalainen, T. & Karjalainen E.E. 2002. SIX SIGMA – Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Hollola: Quality Knowhow Karjalainen Oy.
- Laine, H. S. 2010. Tehokas kunnossapito – tuottavuutta käynnissäpidolla. Helsinki: KP-Media Oy.
- Lehtonen, J-M. 2004. Tuotantotalous. Helsinki: WSOY.

Lumijärvi, I. 2009. Johtamisen vaikutus organisaation tuloksellisuuteen. Tampere: Juvenes Print–Tampereen yliopistopaino Oy.

Lönnqvist, A.; Kujansivu, P. & Antikainen, R. 2006. Suorituskyvyn mittaaminen – Tunnusluvut asiantuntijaorganisaation johtamisvälineenä. 2. uudistettu painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Martinsuo, M. & Blomqvist, M. 2010. Prosessien mallintaminen osana toiminnan kehittämistä. Vuosikerta 2 Tampere: Unknown Publisher. Saatavissa myös <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201012131381>

Martinsuo, M.; Mäkinen, S.; Suomala, P. & Lyly-Yrjänäinen, J. 2016. Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.

Motiva 2017. Energiatehokas paineilmajärjestelmä. Viitattu 15.5.2018 https://www.motiva.fi/yritykset/ohjeita_ ja_vinkkejaa/paineilmajarjestelmaa

Ojanen R. 2008. Prosessi- ja layout-suunnittelu. Teoksessa Käki T. (toim.) Taidolla tuottavuuteen – työkaluja tuottavuuden kehittämiseen. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu.

Ojasalo, K.; Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2009. Kehittämistyön menetelmät - Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. Helsinki: WSOYpro Oy.

OptimumFX Consulting 2014. Line Control Achieving Perfect Flow. Viitattu 20.05.2018 http://oeejourney.optimumfx.com/PDFstore/Line_control_5Levels_perfect_flow_161208.pdf

PSK 6201 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointiyhdistys ry.

Viitala, R. 2007. Henkilöstöjohtaminen - Strateginen kilpailutekijä. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Yleisradio Oy. 2018. Kananmunia ja sianlihaa viedään Suomesta Aasiaan - sian spermallekin löytyy markkinarako. Viitattu 3.5.2018 <https://yle.fi/uutiset/3-10184509>

LIITTEET

Liite 1. Pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen tutkimuspöytäkirja.

Test date:		27.3.2018	Käsitelty määrä		80100	Hylätyt		0	Area	case-pakkauslinja
Start of test:		13:14:00	Pakkauspesukone						No	Machine:
End of test:		17:14:00							1	Pakkauspesukone 30000 kpl/h
Breaks:										
		04:00								
M	Begin	End	Duration	Starv.	Block	Häiriö	Muu	Remarks		
	13:30:08	13:31:04	00:00:56	1				Pakkauspula - lajittelu		
	13:32:27	13:32:42	00:00:15	1						
	13:36:01	13:37:06	00:01:05			1		Häiriö - lokeronsulkija		
	13:43:33	13:44:37	00:01:04			1				
	13:44:46	13:50:12	00:05:26				1	Yuorovaihto		
	14:04:29	14:05:05	00:00:36				2	Sisäänsyöttöhäiriö		
	14:08:08	14:11:02	00:02:54		1			Ruuhkaa		
	14:12:06	14:13:43	00:01:37				2	Sisäänsyöttöhäiriö		
	14:14:32	14:15:51	00:01:19			1				
	14:19:44	14:21:12	00:01:28			1				
	14:23:09	14:23:47	00:00:38			1				
	14:24:33	14:26:17	00:01:44			1				
	14:26:44	14:28:04	00:01:20			1				
	14:33:03	14:33:29	00:00:26	1						
	14:34:04	14:34:41	00:00:37	1						
	14:34:56	14:35:01	00:00:05	1						
	14:35:24	14:35:52	00:00:28	1						
	14:36:25	14:37:06	00:00:41	1						
	14:37:47	14:38:16	00:00:29	1						
	14:38:42	14:39:16	00:00:34	1						
	14:40:04	14:40:43	00:00:39	1						
	14:41:50	14:42:18	00:00:28	1						
	14:52:30	14:53:53	00:01:23				2	Sisäänsyöttöhäiriö		
	14:57:19	15:01:27	00:04:08			1				
	15:01:28	15:03:12	00:01:44			1				
	15:01:28	15:05:55	00:04:27	1						
	15:12:47	15:15:03	00:02:16	1						
	15:15:33	15:15:57	00:00:24	1						
	15:16:39	15:17:09	00:00:30	1						
	15:17:32	15:18:10	00:00:38	1						
	15:18:44	15:19:12	00:00:28	1						
	15:21:10	15:22:46	00:01:36			1				
	15:28:34	15:30:41	00:02:07	1						
	15:30:42	16:05:40	00:34:58				3	Ruokatauko		
	16:13:02	16:13:34	00:00:32		1					
	16:17:25	16:18:13	00:00:48		1					
	16:19:43	16:23:30	00:03:47		2			Ruuhkaa		
	16:30:33	16:31:31	00:00:58				2			
	16:51:20	16:51:34	00:00:14		1					
	16:52:08	16:52:59	00:00:51		1					
	16:55:58	16:56:39	00:00:41		1					
	16:56:52	16:59:29	00:02:37			1		Häiriö - lokeronsulkija		
	17:00:35	17:02:49	00:02:14			1				
	17:04:10	17:05:15	00:01:05			1				
	17:06:16	17:10:31				1				

Liite 1. Täyttökoneen ajankäyttötutkimuksen tutkimuspöytäkirja.

Test date:		17.4.2018					Area	case-pakkauslinja
Start of test:		10:10:00	Tuotantomäärä	Hylätyt tuotteet			No	Machine:
End of test:		13:44:00	Täyttökone	40821	206		1	Täyttökone 30000 plo/h
Breaks:			Etikettikone	43081	15		2	Etikettikone 30000 plo/h
Duration		03:34						
M	Begin	End	Duration	Starv.	Block	Häiriö	Muu	Remarks
1	10:16:41	10:16:53	00:00:12		1			Ruuhka etikettikoneella
1	10:19:18	10:23:26	00:04:08	1				Pakkauspuola - pesukone
1	10:23:26	10:24:03	00:00:37	1				
1	10:24:52	10:26:46	00:01:54			1		Häiriö - sinetöinti
1	10:28:22	10:28:58	00:00:36			1		
1	10:29:51	10:35:01	00:05:10			1		
1	10:42:25	10:43:09	00:00:44	1				
1	10:45:42	10:46:11	00:00:29	1				
1	10:46:59	10:47:11	00:00:12	1				
1	10:52:50	10:53:00	00:00:10	1				
1	10:54:22	10:54:39	00:00:17			1		
1	10:55:24	10:55:51	00:00:27					
1	10:58:10	10:59:26	00:01:16			1		
1	10:59:53	11:32:30	00:32:37				1	Yhteistauko
1	11:33:36	11:34:13	00:00:37			1		
1	11:35:04	11:35:39	00:00:35			1		
1	11:39:05	11:47:19	00:08:14	1				
1	11:51:49	12:09:17	00:17:28	1				
1	12:10:19	12:10:36	00:00:17			1		
1	12:10:47	12:11:10	00:00:23			1		
1	12:11:22	12:11:51	00:00:29			1		
1	12:21:35	12:21:54	00:00:19			1		
1	12:22:21	12:23:02	00:00:41			1		
1	12:23:22	12:23:55	00:00:33			1		
1	12:29:26	12:29:47	00:00:21	1				
1	12:30:18	12:31:14	00:00:56	1				
1	12:32:04	12:32:18	00:00:14			1		
1	12:32:45	12:32:59	00:00:14			1		
1	12:34:41	12:39:51	00:05:10					
1	12:40:25	12:40:34	00:00:09			1		
1	12:40:53	13:05:44	00:24:51				2	Täyttökoneen pesu
1	13:19:08	13:19:43	00:00:35			1		
1	13:22:12	13:22:58	00:00:46			1		
1	13:28:06	13:28:38	00:00:32			1		
1	13:31:41	13:31:59	00:00:18	1				
1	13:32:52	13:33:21	00:00:29	1				
1	13:34:23	13:35:28	00:01:05	1				
1	13:37:28	13:37:51	00:00:23	1				
1	13:39:38	13:40:12	00:00:34			1		
			00:00:00					

Liite 2. Etikettikoneen ajankäyttötutkimuksen tutkimuspöytäkirja.

Test date:	17.4.2018					Area	case-pakkauslinja	
Start of test:	10:10:00		Tuotantomäärä	Hylätyt tuotteet		No	Machine:	
End of test:	13:44:00	Täyttökone	40821	206		1	Täyttökone 30000 plo/h	
Breaks:		Etikettikone	43081	15		2	Etikettikone 30000 plo/h	
Duration	03:34							
M	Begin	End	Duration	Starv.	Block	Häiriö	Muu	Remarks
2	10:24:48	10:29:30	00:04:42		1			Hylkyrata täynnä väärää pullotyyppiä
2	10:31:47	10:34:00	00:02:13	1				Täyttökoneella häiriö
2	10:45:53	10:46:11	00:00:18	2				Pakkauspula - Pesukone
2	10:58:15	10:58:48	00:00:33	2				
2	10:59:57	11:32:31	00:32:34				1	Yhteistauko
2	11:45:40	11:46:03	00:00:23	2				
2	11:52:23	11:54:20	00:01:57				2	Liiman vaihto
2	11:55:53	11:59:25	00:03:32	2				
2	12:01:06	12:01:33	00:00:27	2				
2	12:03:36	12:04:07	00:00:31	2				
2	12:04:24	12:20:54	00:16:30	2				
2	12:21:08	12:21:30	00:00:22	2				
2	12:35:58	12:58:19	00:22:21	3				Täyttökoneen pesu kesken ajon
2	13:23:01	13:27:42	00:04:41	3				
			00:00:00					
			00:00:00					
			00:00:00					
			00:00:00					

Liite 4. Ajankäyttötutkimusten tarkemman KNL-laskennat.

Pakkauspesukoneen ajankäyttötutkimuksen aikainen KNL-luku:

$$K = \frac{t_k}{t_k + t_s}$$

$$K = \frac{2,45 \text{ h}}{4,00 \text{ h}} = 61\%$$

Pakkauspesukoneen todellinen maksimituotantonopeus on 66 000 kpl/h, mutta ajankäyttötutkimuksen aikana sen nopeus oli rajoitettu 52 000 kappaleeseen tunnissa.

$$N = \frac{p}{p_n * t_k}$$

$$N = \frac{80100 \text{ kpl}}{52000 \frac{\text{kpl}}{\text{h}} * 2,45 \text{ h}} = 62,9\%$$

Laatukerroin pakkauspesukoneen kohdalla on 100%, koska pesukone ei itsessään hylkää pakkauksia ennen tai jälkeen pesun tai sen aikana.

$$L = \frac{p - p_h}{p}$$

$$L = \frac{80100 \text{ kpl} - 0 \text{ kpl}}{80100 \text{ kpl}} = 100\%$$

Lopuksi suoritetaan KNL-laskenta.

$$KNL_{PK} = 61\% * 62,9\% * 100\% \approx 38,4\%$$

Täyttökoneen ajankäyttötutkimuksen aikainen KNL-luku:

$$K = \frac{1,75 \text{ h}}{3,57 \text{ h}} = 49\%$$

Täyttökoneen maksimituotantonopeus on 30 000 kpl/h.

$$N = \frac{40821 \text{ kpl}}{30000 \frac{\text{kpl}}{\text{h}} * 1,75 \text{ h}} = 77,8\%$$

Täyttökone hylkää täyttövirheellisiä sekä sinetöintivirheellisiä tuotteita.

$$L = \frac{40821 \text{ kpl} - 206 \text{ kpl}}{40821 \text{ kpl}} = 99,4\%$$

$$KNL_{TK} = 49\% * 77,8\% * 99,4\% \approx 37,9\%$$

Etikettikoneen ajankäyttötutkimuksen aikainen KNL-luku:

$$K = \frac{2,05 \text{ h}}{3,57 \text{ h}} = 57,4\%$$

Etikettikoneen todellinen maksimituotantonopeus on 33 000 kpl/h, mutta ajankäyttötutkimuksessa on käytetty täyttökoneen 30 000 kpl/h tuotantonopeutta. Muutos tehtiin, koska normaalin tuotannon aikana etikettikone ei pystyisi toimimaan 33 000 kpl/h tuotantonopeudella ilman täyttökoneesta aiheutuvaa tuotepulaa.

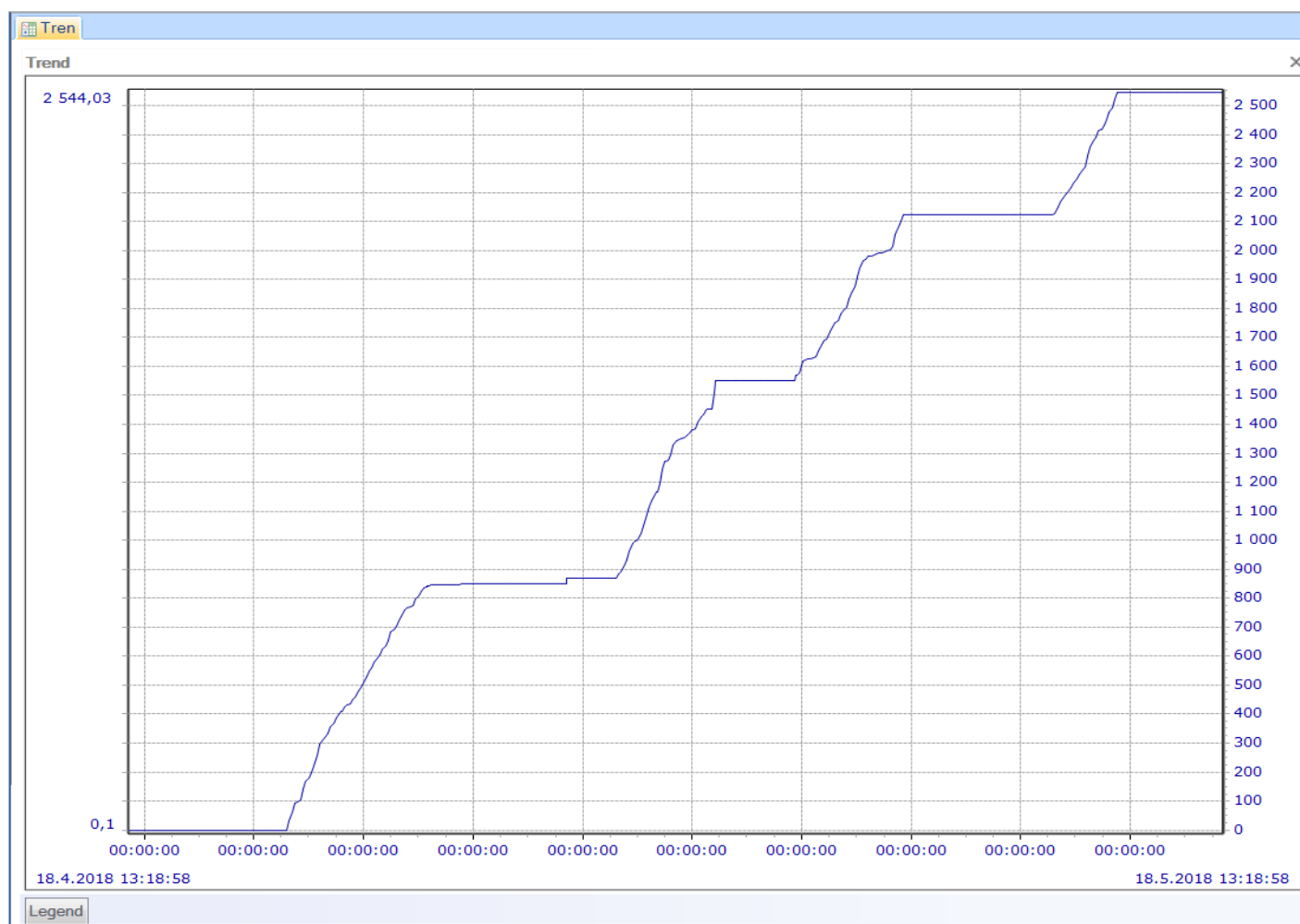
$$N = \frac{43081 \text{ kpl}}{30000 \frac{\text{kpl}}{\text{h}} * 2,05 \text{ h}} = 70\%$$

Etikettikone hylkää etikettivirheelliset tuotteet.

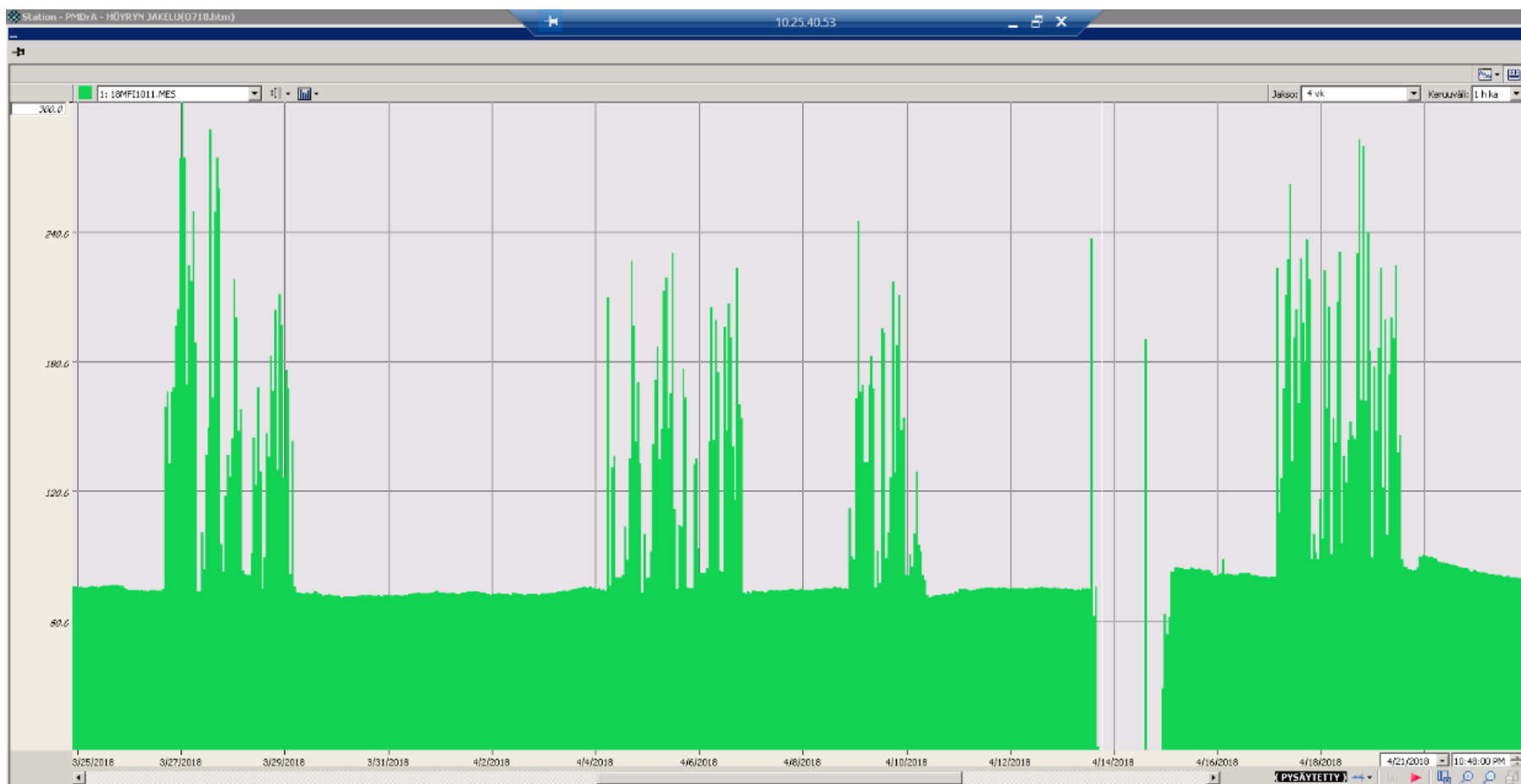
$$L = \frac{43081 \text{ kpl} - 15 \text{ kpl}}{43081 \text{ kpl}} = 99,96\% \dots$$

$$KNL_{EK} = 57,4\% * 70\% * 99,96\% \approx 40,2\%$$

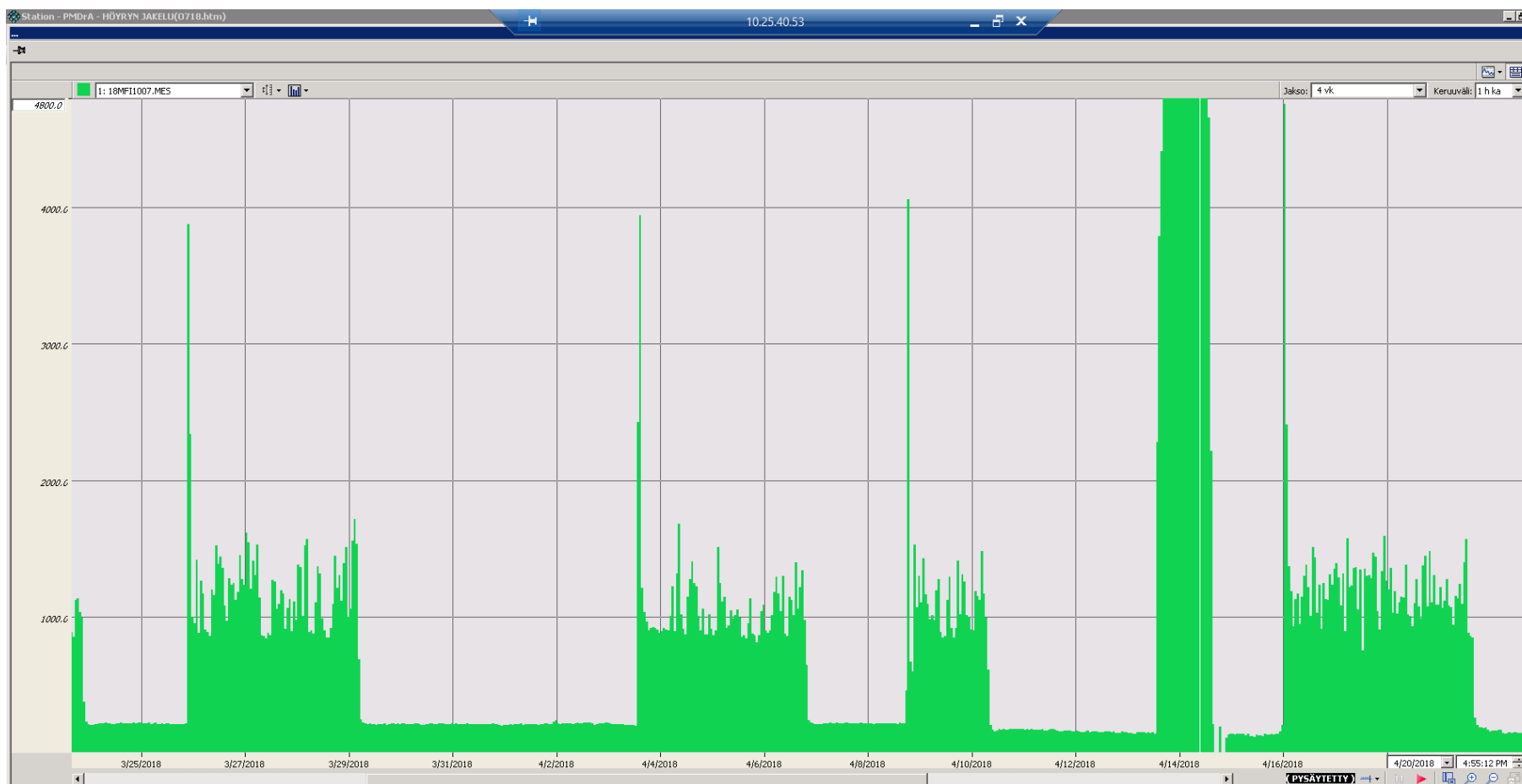
Liite 5. Vedenkulutuksen kuvaaja 18.4.2018–18.5.2018 - Honeywell Uniformance PHD.



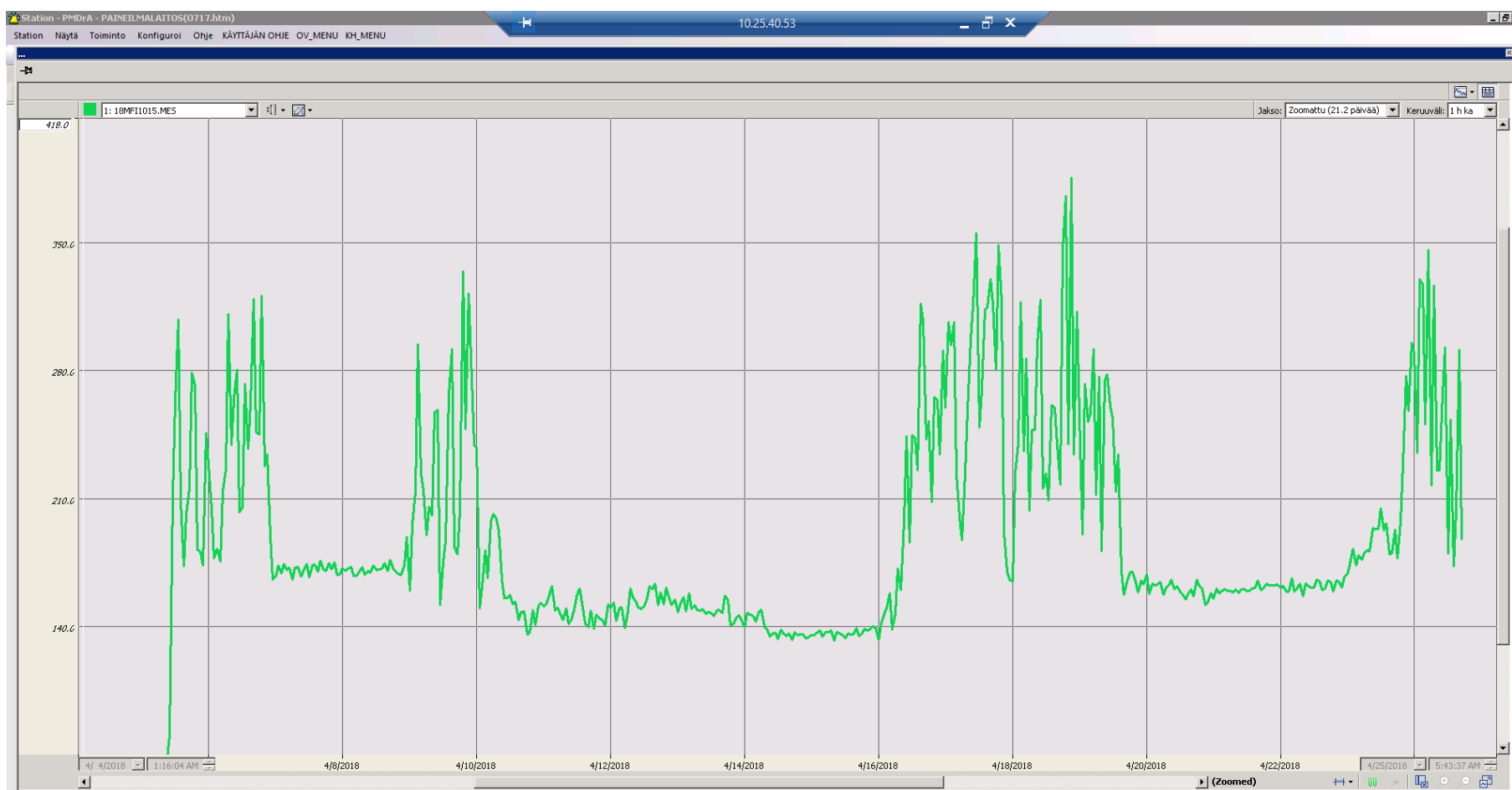
Liite 6. Höyrymittari 1:n mittaama höyryn massavirta 25.3.2018–22.4.2018 - Honeywell Experion PMD.



Liite 7. Höyrymittari 2:n mittaama höyryn massavirta 24.3.2018–20.4.2018 - Honeywell Experion PMD.



Liite 8. Paineilman kulutus pakkauslinjalla 4.4.2018–25.4.2018 - Honeywell Experion PMD.



Liite 9. Lähikuva paineilman kulutuksesta pakkauslinjalla 16.4.2018–20.4.2018 - Honeywell Experion PMD.

