

Paalauslinjojen käyttövarmuuden arviointi ja kehittäminen

Simo Ruuskanen

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2020

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Tuotantotekniikka

Tekijä(t) Ruuskanen, Simo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Kesäkuu 2020
	Sivumäärä 75	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Paalauslinjojen käyttövarmuuden arviointi ja kehittäminen		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Harri Tuukkanen, Petri Luosma		
Toimeksiantaja(t) Oy Botnia Mill Service Ab		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Oy Botnia Mill Service Ab, joka vastaa Metsä Fibren Suomen kaikkien sellutehtaiden kunnossapidosta. Työn tavoitteena oli tutkia Äänekosken biotuotetehtaan sellun kuivauskoneen paalaamoja ja sen käyttövarmuutta. Tutkimuksella pyrittiin tunnistamaan kohteet, joiden vaikutus paalaamon käyttövarmuuteen ja tuotannon kokonaistehokkuuteen oli merkittävintä. Tuloksien avulla pyrittiin toiminnassa kohti hyvin suunniteltua ja tehokasta, ennakoivaa kunnossapitoa, jonka avulla hyvää käyttövarmuutta ja tuotannon kokonaistehokkuutta saataisiin ylläpidettyä.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena, jossa yhdisteltiin tutkimusta ja kehittämistä. Työssä käsiteltiin ongelmaa, josta hankittiin tietoa määrällisten- ja laadullisten tutkimusmenetelmien avulla. Määrällisenä aineistona työssä toimi ennalta kerätty tuotanto- ja häiriötieto, joka saatiin käytössä olleesta tietojärjestelmästä. Määrällisen aineiston tueksi työn aikana suoritettiin havainnointijakso, jossa perehdyttiin paalaamon toimintaan. Tämä jakso toimi työn yhtenä laadullisena osana, missä toiminnan seuraamisen ja avoimien haastattelujen avulla syvennettiin ymmärrystä tutkittavan kohteen ongelmakohdista ja niiden aiheuttajista.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin yhtenäinen kuvaus paalaamon nykytilasta, josta kertyneitä häiriötietoja voitiin tarkastella ja vertailla laite- ja linjakohtaisesti. Määrällisen ja sen avulla kohdistetun laadullisen tutkimuksen avulla tehtiin kehitystoimenpide-ehdotuksia, joilla käyttövarmuuden kehittämistä kannattaisi paalaamon osalta aloittaa. Toimenpide-ehdotukset sisälsivät laitteisiin ja yleiseen toimintaan liittyviä toimenpiteitä, joiden tarkoituksena oli pyrkiä parantamaan ja jatkossa ylläpitämään paalaamon käyttövarmuutta kokonaisvaltaisesti.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Käyttövarmuus, kunnossapito, tuotannon kokonaistehokkuus, ennakoiva kunnossapito, vikaantuminen, paalauslinja, biotuotetehdas		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Ruuskanen, Simo	Type of publication Bachelor's thesis	Date June 2020
	Number of pages 75	Language of publication: Finnish
Permission for web publication: x		
Title of publication Evaluation and development of operational reliability of baling lines		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Tuukkanen Harri, Luosma Petri		
Assigned by Oy Botnia Mill Service Ab		
Abstract <p>The thesis was commissioned by Oy Botnia Mill Service Ab, who is responsible for the maintenance of all Metsä Fiber's pulp mills in Finland. The aim of the work was to study the baling plant of the Äänekoski bioproduct factory pulp dryer and its operational reliability. The aim of the study was to identify factors that had the most significant impact on the operational reliability of the baling plant and the overall efficiency of production. The results were used in the operation to achieve well-designed and efficient proactive maintenance that would maintain good operational reliability and overall production efficiency.</p> <p>The thesis was carried out as a development study, which combined research and development. The work dealt with a problem, for which information was obtained with the help of quantitative and qualitative research methods. The quantitative data in the work were pre-collected production and disturbance data obtained from the information system in use. To support the quantitative data, an observation period was carried out during the work, in which the operation of the baling plant was studied. This period served as one of the qualitative parts of the work, where the monitoring of the activities and open interviews deepened the understanding of the problem areas of the research object and their causes.</p> <p>As a result of the thesis, a unified description of the current state of the baling plant was obtained, from which the accumulated disturbance data could be viewed and compared device-by-device and line-by-line. With the help of a quantitative and targeted qualitative study, proposals for development measures were made that would make it worthwhile to start developing operational reliability for the baler. The proposals for measures included measures relating to equipment and general operations, with the aim of improving and maintaining the overall reliability of the baler.</p>		
Keywords/tags (subjects) Reliability, maintenance, overall equipment effectiveness, preventive maintenance, failure, baling line, bioproduct factory		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Tutkimusasetelma	6
2.1	Työn tavoite ja rajaus	6
2.2	Toimeksiantaja	7
2.3	Tutkimusmenetelmä	8
2.4	Tutkimuksen luotettavuus.....	9
3	Kunnossapito -Tuotanto-omaisuuden hoitaminen.....	9
3.1	Kunnossapidon määritelmä.....	9
3.2	Kunnossapitolajit	10
3.2.1	Kunnossapitolajien jaottelu.....	10
3.2.2	Ehkäisevä kunnossapito ja kunnonvalvonta.....	12
3.3	Käyttövarmuus	13
3.4	Tuotannon kokonaistehokkuus KNL.....	16
3.5	Kunnossapidon kustannukset	17
4	Vika ja vikaantuminen	19
4.1	Vian määritelmä	19
4.2	Vikaantumismallit.....	20
4.3	Vikaantumisten syyt ja niiden hallinta	21
4.3.1	Vikaantumisten pääsyyt	21
4.3.2	Menetelmiä vikaantumisten vähentämiseksi	22
4.3.3	Vikaantumattomaan toimintaan pyrkiminen.....	23
5	Käyttövarmuuden analysointimenetelmät	24
5.1	Riskien tunnistaminen ja hallinta	24
5.2	Todennäköisyys- ja luotettavuusmallit	26
6	Paalauslinjojen kriittisten laitteiden tunnistaminen	27
6.1	Paalaamon toiminnallinen kuvaus	28
6.2	Paalaamon kunnossapito	31
6.3	Paalaamon luotettavuuslohkokaavio.....	31

	2
6.4 Linjojen tuotanto	32
6.5 Paalaamon häiriö- ja vikatietojen käsittely ja analysointi.....	33
6.6 Laitteiden välinen tarkastelu	37
6.6.1 Kuljettimet	38
6.6.2 Paalien käsittelylaitteet	40
6.6.3 Paaliyksiköiden käsittelylaitteet	47
6.7 Kunnossapidon työtilaukset ja vikailmoitukset.....	50
6.8 Yhteenveto	51
7 Käyttövarmuuden parantaminen	53
7.1 Kääre, sitoma ja RFID-laitteiden toistuvien häiriönaiheuttajien poistaminen	53
7.2 Tuotannon tasoittaminen linjojen ja laitteiden välillä	55
7.3 Sitomakonehuollon kehittäminen.....	56
7.4 Kriittisimpien ketjukuljettimien ketjut	57
7.5 Yleiset kehityskohteet	58
8 Johtopäätökset ja pohdinta	59
Lähteet	62
Liitteet.....	64
Liite 1. Paalaamon luotettavuuslohkokaavio	64
Liite 2. Luotettavuus- ja tiheyskuvaajat	65
Liite 3. Häiriötaajuuksien histogrammi ja norm.jak kuljettimet ennen latojaa	66
Liite 4. Häiriötaajuuksien histogrammi ja norm.jak kuljettimet latojan jälkeen ..	67
Liite 5. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma paalipuristimet.....	68
Liite 6. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma käärekoneet.....	69
Liite 7. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma viikkaajat	70
Liite 8. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma latojat.....	71
Liite 9. Häiriötaajuuksien histogrammi ja norm.jak sitomakoneet ennen viikkaajaa	72
Liite 10. Häiriötaajuuksien histogrammi ja norm.jak sitomakoneet viikkaajan jälkeen	73

Liite 11. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma vientiyksiköintilaitteet	74
Liite 12. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma paalikipit.....	75

Kuviot

Kuvio 1. Kunnossapitolajit	11
Kuvio 2. Käyttövarmuus	14
Kuvio 3. KNL-laskemisen periaatteet	16
Kuvio 4. Tuotanto-omaisuuden hallinnan vaikutus kannattavuuteen.....	17
Kuvio 5. Kunnossapitokustannuksien jakautuminen	19
Kuvio 6. Vikaantumismallit.....	20
Kuvio 7. Vikaantumattomuuteen pyrkiminen.....	24
Kuvio 8. Järjestelmän kokonaisluotettavuuden laskenta	25
Kuvio 9. Sellun valmistusprosessin kuvaus	28
Kuvio 10. Linjojen tuotannon jakautumien.....	32
Kuvio 11. Tuotannon jakautumien lajeittain.....	33
Kuvio 12. Häiriömäärät tuotettua sellutonna kohti	34
Kuvio 13. Häiriöiden kokonaismäärät laitteittain linja 1.....	35
Kuvio 14. Häiriöiden kokonaismäärät laitteittain linja 2.....	35
Kuvio 15. Häiriöiden kokonaismäärät laitteittain linja 3.....	36
Kuvio 16. Häiriötaajuuden kehitys linja 1 (kuljettimet ennen latojaa)	40
Kuvio 17. Häiriötaajuuden kehitys käärekone linja 2.....	42
Kuvio 18. Käärekoneiden vikamuodot	43
Kuvio 19. Sitomakoneiden vikamuodot	45
Kuvio 20. RFID-laitteiden vikamuodot	46
Kuvio 21. Häiriötaajuuden kehitys vientiyksiköintilaitte linja 2	49
Kuvio 22. Vientiyksiköintilaitteiden vikamuodot	50
Kuvio 23. Häiriötaajuuskeskiarvot tunteina	52

Taulukot

Taulukko 1. Kunnossapidon kustannuksien jaottelu	18
Taulukko 2. Laitteiden luotettavuudet keskimääräisellä vuorokausituotannolla	37

1 Johdanto

Jo noin sadan vuoden ajan on sellun tuotanto, ja sen jalostaminen erilaisiksi paperi- ja kartonkituotteiksi ollut Suomen vaurauden lähde. Voidaan jopa sanoa, että selluosaamisen ansiosta maamme on tällä hetkellä yksi hyvinvoivimmista maista maailmassa. Sellun merkitys kansantaloudelle on nähtävissä Suomen Tullin vientitilastoista, joissa sellupohjaiset paperi- ja kartonkivalmisteet ja sellu sellaisenaan olivat merkittävin vientituote vuonna 2018. Kaikkiaan vientituloja sellutuotteista tuli Suomeen 9,7 miljardia euroa, joka oli 74 % koko metsäteollisuuden viennin arvosta. (Vaurautemme lähde 2019)

Tulevaisuudessa sellupohjaiset innovaatiot korvaavat muovia sekä haastavat tekstiiliteollisuudessa puuvillan ja polyesterin. Sellun kysynnän kasvua tukevat niin arviot ilmastonmuutoksesta, kuin tarve ohjata erilaisten tuotteiden raaka-aineen kulutus kestäväälle pohjalle. Näihin ongelmiin sellu tarjoaa ratkaisuja olemalla uusiutuva raaka-aine, jolla voidaan korvata fossiilisia raaka-aineita sekä vähentämällä veden ja torjunta-aineiden käyttöä raaka-aineiden tuotannossa. Konsultointi- ja suunnittelu-yritys AF Pöyry Oyj on arvioinut, että seuraavan viiden vuoden aikana sellun kysyntä tulee kasvamaan 2,5 % vuosivauhdilla. (Innovaatioiden Sampo 2019; Selluteollisuuden tulevaisuus 2019)

Kysynnän kasvaessa on tuotantoyrityksien varmistettava kilpailukykyisyytensä pidemmällä tähtäimellä, sillä kysynnän kasvu ei tarkoita suoraan hintojen nousua. On ennustettu, että sellun markkinahintojen vaihtelu saattaa lisääntyä, johtuen lisääntyvistä ennakolta sovitusta kaupoista, jotka laskevat avoimesti kaupan olevan sellun osuutta markkinoilla. Suomessa ei pystytä kilpailemaan raaka-aineen hinnalla, vaan kilpailukyky pitää löytää yritysten omasta toiminnasta ja siten pyrkiä pysymään mukana kilpailussa. (Mts. 2019)

Kilpailukyvyn parantamien ja sen ylläpito vaatii yrityksiltä tehokasta tuotantoa, jossa häviöt ovat pieniä, joka taas tarkoittaa tuotantolinjojen, koneiden ja laitteiden korkeaa kokonaistehokkuutta ja hyvää käyttövarmuutta. Tuotantolinjojen ja laitteiden

hyvä käyttövarmuus ja sen kehittäminen vaativat tehokasta, oikein kohdistettua kunnossapitoa, jolla minimoidaan keskeytyksistä ja toiminnantason laskusta aiheutuneita tappioita. (Kohti erinomaisuutta 2019)

2 Tutkimusasetelma

2.1 Työn tavoite ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Metsä Fibren Äänekosken biotuotetehtaan sellun paalauslinjojen käyttövarmuutta sekä linjoille suoritettua kunnossapitoa. Tutkimuksella pyrittiin tunnistamaan paalauslinjojen kriittisimmät, eniten häiriöitä aiheuttaneet laitteet ja niiden toimintavarmuuden nykytila. Työn tuloksilla haluttiin saada aikaseksi selkeä kuvaus paalaamon nykytilasta, laitteiden luotettavuuksista sekä toimenpiteistä, joilla käyttövarmuutta saataisi kehitettyä ja ylläpidettyä tulevaisuutta ajatellen. Toimeksiantajan määrittelemänä osatavoitteena oli, että työn tuloksilla pystyttäisi vaikuttamaan kunnossapidon toimenpiteiden kehittämiseen. Tavoitetilalla kunnossapidossa oli hyvin suunnitellut ja oikein kohdistetut ennakoivan kunnossapidon toimenpiteet, joilla pyrittäisi vähentämään korjaavan kunnossapidon tarvetta. Tätä tavoitetta työn tuloksilla pyrittiin omalta osaltaan edistämään ja löytämään mahdollisimman paljon keinoja, joilla tähän tavoitteeseen tultaisi tulevaisuudessa pääsemään.

Kehittämistutkimus rajattiin käsittelemään Äänekosken biotuotetehtaan kuivauskone (KK2) paalaamo. Tarkemmin määriteltynä kohteeksi rajattiin sellupaalien käsittelyyn tarvittavat laitteet ja työvaiheet arkkileikkurin paalipöydältä, aina viimeiseen paalamossa suoritettavaan työvaiheeseen saakka. Paalauslinjat ja niiden käyttövarmuus ovat merkittävä, sekä yhdessä varastoinnin kanssa viimeinen vaihe koko selluntuotantoprosessissa. Tämä lisäsi työn merkittävyyttä, sillä häiriötön tuotanto paalamossa mahdollistaa selluntuotannon aiempien tuotantoprosessien ajamisen optimaalisilla tuotantoarvoilla, ilman turhia hidastamisia tai pysäytyksiä.

2.2 Toimeksiantaja

Botnia Mill Service

Oy Botnia Mill Service Ab tarjoaa kaikki metsäteollisuuden käynnissäpito, kunnossapito ja asennuspalvelut, sekä projektointi- ja suunnittelupalvelut yksittäisistä tilauksista täydelliseen teollisuuslaitosten kunnossapitoon. Yritys vastaa suomessa kaikista Metsä Fibren sellutehtaiden prosessikunnossapidosta Kemissä, Äänekoskella, Rauhalla ja Joutsenossa. Työntekijöitä on yhteensä 380 seitsemällä paikkakunnalla kuudessa tulosyksikössä. Liikevaihto vuonna 2018 oli 60 milj.€. (Bms yritysesittelymateriaali 2019).

Botnia Mill Service Ab:n historia alkaa vuodesta 1997, jolloin Metsä Fibre ulkoisti kunnossapitopalvelu- projektointi- ja suunnittelutoiminnot Kemissä BMS:lle. Vuodesta 2007 asti BMS on vastannut Metsä Fibren Suomen sellutehtaiden kokonaisvaltaisesta kunnossapidosta. Yrityksen omistavat Metsä Fibre 51 %, ja Caverion 49 % osuuksilla. (Bms yritysesittelymateriaali 2019)

Metsä Fibre

Metsä Fibre on yksi maailman johtavista sellun valmistajista. Asiakkaat ovat korkealaatuisten paperien ja pakkausmateriaalien valmistajia. Yhtiö kuuluu osana Metsä Group konserniin. Metsä Fibre valmistaa sellua suomessa kaikkiaan neljässä tehtaassa, ja yhteenlaskettu tuotanto on n. 3,1 miljoonaa tonnia vuodessa. (Bms yritysesittelymateriaalit 2019)

Äänekoskella sijaitseva tehdas on pohjoisen pallonpuoliskon suurin puuta jalostava laitos, joka käynnistyi kesällä 2017. Biotuotetehdas valmistaa havu- ja koivusellua kartongin, pehmo- ja painopaperin sekä erikoistuotteiden raaka-aineeksi. Suurin osa tuotannosta menee vientiin Suomen ulkopuolelle Eurooppaan ja Aasiaan. Tehtaan puunkäyttö on vuosittain 6,5 milj. kuutiota, ja sellun tuotantokapasiteetti 1,3 milj. tonnia. (Biotuotetehdas n.d)

2.3 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena, joka on yhdistelmä kehittämistyötä ja tutkimusta. Kyseisessä menetelmässä yhdistyy kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen tutkimus. Kehittämistutkimuksen lähtökohtana on usein, että jo olemassa olevassa prosessissa on havaittu ongelmia, joihin halutaan löytää ratkaisuja. Työssä tunnistetaan ongelma, hankitaan tietoa ongelmasta ja siihen liittyvistä ratkaisukeinoista. Hankitun tiedon avulla tehdään johtopäätökset ja kehitysehdotukset, sekä analysoidaan tutkimuksesta saatujen tuloksien toimivuutta. (Kananen 2015, 76; Kananen 2012, 13–14, 44.)

Määrällinen, eli kvantitatiivinen tutkimus koostuu kyselyjen, tai jo valmiiksi kerättyjen tilastotietojen hyödyntämisestä tutkittavassa ongelmassa. Valmiiksi kerätyissä tilastoissa on usein ongelmana se, että ne ovat kerätty jotain tiettyä tarkoitusta varten. Tämä johtaa siihen, että tietoja joudutaan usein muokkaamaan, yhdistelemään ja tarkistelemaan ennen käyttämistä tutkimusongelman ratkaisussa. Valmiita aineistoja voidaan käyttää myös itse kerättyjen aineistojen vertauksena, tai tehdyn tulkinnan viittauksena. (Mts. 73-74)

Laadullisella, eli kvalitatiivisella tutkimuksella tarkoitetaan tutkimusta, jolla pyritään ymmärtämään ilmiötä. Tutkimuksella voidaan täydentää määrällisen tutkimuksen tuloksia, tai sen tuloksien perusteella voidaan toteuttaa määrällinen tutkimus. Kvalitatiivinen tutkimus on joustava, paljon mahdollisuuksia tarjoava menetelmä, jossa vaarana on joutuminen umpikujaan liian monien valittavissa olevien vaihtoehtojen takia. Laadukas tutkimus vaatii tutkijalta panostusta kenttätyöhön, johon kuluva aika on vaikea määrittää etukäteen. Laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmiä ovat havainnointi, haastattelut tai valmiit asiaan liittyvät dokumentit. Suoritettua havainnointia voidaan tukea avoimin haastatteluin, joissa asiasta keskustellaan vapaasti. Näin varmistetaan ja tarkennetaan asian tulkintaa. (Mts. 2015, 70-72, 132, 143)

Tässä työssä hyödynnettiin jo valmiiksi kerättyä tilastotietoa paalauslinjojen tuotannosta ja esiintyneistä häiriöistä. Kerättyjä tietoja jouduttiin muokkaamaan ja yhdistelemään työn tavoitteisiin sekä analysointiin paremmin sopiviksi. Näin työhön saatiin runsaasti määrällistä tietoa, jota täydennettiin laadullisella tutkimuksella työssä suoritetun havainnointijakson avulla. Havainnointijaksolla osallistuttiin paalaamon arkipäiväiseen toimintaan, jonka yhteydessä suoritettiin avoimia haastatteluja, niin käyttäjien, kuin kunnossapitohenkilöidenkin kanssa. Näin toimimalla työn toteutukseen saatiin syvempää ymmärrystä määrällisen tutkimuksen osoittamiin ongelma-kohtiin.

2.4 Tutkimuksen luotettavuus

Opinnäytetyön luotettavuutta tietoperustan osalta pyrittiin varmistamaan käyttämällä mahdollisimman uusia ja luotettavia tietolähteitä. Työn aineistoksi tutkimuskohteesta pyrittiin keräämään työn kannalta vain kaikkein oleellisin tieto. Työn määrällisessä aineistossa suoritettuja laskelmia verrattiin havainnointijakson aikana tehtyihin huomioihin, kommentteihin ja avoimien haastattelujen antamiin laadullisiin tutkimustuloksiin. Laskennassa mahdollisesti tapahtuneita pieniä virheitä ei voida täysin sulkea pois, mutta edellä mainitulla määrällisen ja laadullisen aineiston vertailuilla, voidaan tutkimuksen luotettavuutta lisätä merkittävästi.

3 Kunnossapito -Tuotanto-omaisuuden hoitaminen

3.1 Kunnossapidon määritelmä

Standardissa PSK 6201:2011 kunnossapito määritellään seuraavasti:

”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.”

Kunnossapidon tavoitteeksi PSK 6201 määrittelee tuotannon kokonaistehokkuuden (KNL) ja hyvän käyttövarmuuden, joista on kerrottu myöhemmin tässä osiossa.

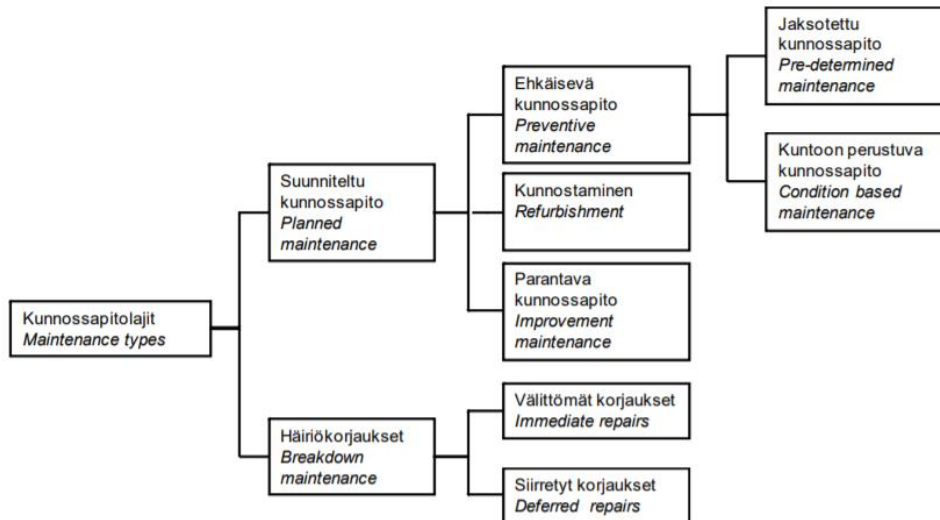
Kunnossapidolle on olemassa useita erilaisia määritelmiä, jotka ovat hyvin lähellä toisiaan ja nykyään ollaan käsitettä kunnossapito, korvaamassa käsitteellä tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Tunnetun alan edelläkävijän John Moubrayn määritelmä kunnossapidosta kuuluu seuraavasti: ”Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän”. Määritelmä korostaa muita määritelmiä enemmän sitä, että laitteiden käyttäjien on tiedettävä mitä laitteiden halutaan tekevän. Käytännössä tällä määritelmällä tarkoitetaan sitä, että laitteistoja käytävillä laitoksilla on oltava selkeä, yhteneväinen näkemys vaaditusta suorituskyvystä ja siitä mitä laitteilta odotetaan. Tätä mukaillen voidaan asettaa kunnossapidolta vaadittava taso, jolla päästään valitsemaan kunnossapitostrategia ja käytännön toimenpiteet. (Heinonen, Jantunen, Kautto, Kokko, Komonen, Lakka, Leinonen, Lumme, Miettinen, Mäkeläinen, Riutta & Sulo 2009, 26; Järviö & Lehtiö 2017, 3)

Tuotanto-omaisuuden hoitaminen eli kunnossapito on osa tuotanto-omaisuuden hallintaa (Asset Management). Kotimaiset voimassa olevat standardit eivät käsitettä tunnista, mutta käsite on kuitenkin käyttökelpoinen, sillä se korostaa kaikkien ihmisten roolia tuotantoprosessin laitteiden toimintakunnon ylläpitämisessä. Tuotantokoneiden toimintakunto kuuluu siis entistä enemmän myös koneiden käyttäjille, eikä pelkästään kunnossapidon henkilöille. Ensimmäisenä tämän ajatuksen toivat esille japanilaiset, jotka oivalsivat, että koneiden tehokas käyttö vaatii saumatonta yhteistyötä käyttäjien ja kunnossapidon välillä. Tätä mallia, jossa yhdistyy koneen käyttö ja kunnossapito kutsutaan usein käynnissäpidoksi. (Järviö ym. 2017, 30)

3.2 Kunnossapitolajit

3.2.1 Kunnossapitolajien jaottelu

Kunnossapidon jaotteluun on olemassa muutama eri malli, mutta PSK 6201:2011 standardi jaottelee sen ehkä kaikista selkeimmin. (Ks. Kuvio 1.)



Kuvio 1. Kunnossapitolajit PSK Standardiyhdistys ry:n mukaan (PSK 6201:2011,22)

Standardi jakaa kunnossapidon suunniteltuihin toimenpiteisiin ja häiriökorjauksiin. Korjaavassa kunnossapidossa vikaantunut laite tai osa palautetaan tilaan, jossa se pystyy suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Korjaava kunnossapito voi olla joko suunnittelematonta tai suunniteltua. Suunnittelemattomalla tarkoitetaan toimintojen välitöntä korjaamista ja suunnitellulla taas siirrettyjä korjauksia. (Järviö ym. 2017, 49)

Suunniteltu kunnossapito on kunnossapidon suorittamista, jonkun ennalta määrätyn suunnitelman mukaan. Siihen kuuluvat kunnostaminen, ehkäisevä ja parantava kunnossapito. Kunnostamisella palautetaan käytöstä poistetun kohteen toimintakyky korjaamalla. Parantavassa kunnossapidossa toimenpiteitä on kolmea eri tyyppiä. Ensimmäisessä ryhmässä kohteeseen vaihdetaan uutta parempaa tekniikkaa, jolloin suorituskyky ei välttämättä muutu. Esimerkiksi vanhat hehkulamput vaihdetaan vähemmän sähköä kuluttaviin ja kestävämpiin led-valaisimiin, jolloin päätoiminto eli tässä tapauksessa valon tuottaminen ei muutu. Toisena parantavan kunnossapidon ryhmänä ovat uudelleensuunnittelut ja korjaukset, joilla muutetaan koneen toimintaa luotettavammaksi. Kolmas pääryhmä on kohteen modernisointi, jossa suorituskykyä parannetaan. Usein modernisaatio muuttaa konetta sekä valmistusprosessia, mitä kautta vanhentuneelle kohteelle saadaan lisää elinaikaa. (Mts. 2017, 49-51)

3.2.2 Ehkäisevä kunnossapito ja kunnonvalvonta

PSK 6201:2011 määrittelee ehkäisevän kunnossapidon seuraavasti: ”Ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen”

Ehkäisevän kunnossapidon päätavoite on vähentää vikaantumisen tai toimintakyvyn heikkenemisen todennäköisyyttä. Ehkäisevää kunnossapitoa toteutetaan säännöllisesti joko aikataulutetusti, jatkuvasti tai vaadittaessa. Ehkäisevän kunnossapidon tulokset ovat perusta suunniteltaville kunnossapitotoimille. Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu mm.

- Tarkastaminen
- Kuntoon perustuva kunnossapito (kunnonvalvonta sekä kuntoon perustuva suunniteltu korjaus)
- Määräystenmukaisuuden toteaminen
- Testaamien / toimituskunnon toteamien
- Käynninvalvonta
- Vikaantumistietojen analysointi

(Järviö ym. 2017, 50)

Kuntoon perustuva kunnossapito on ehkäisevän kunnossapidon menetelmä, millä seurataan kohteen suorituskykyä ja reagoidaan tapauskohtaisesti. Kunnonvalvonta tuottaa tietoa ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteiden suunnitteluun perinteisten aistien, tai mittalaittein suoritettujen mittausten ja niiden tulosten analysoinnin kautta. Kuntoon perustuvaa kunnossapitoa käytetään kohteen toiminnan kannalta merkittävään ja investointikustannuksiltaan kalliiseen laitteeseen tai komponenttiin. Tämän kaltaisiin kohteisiin suoritettava laitteen tai komponentin säännöllinen vaihtaminen jaksotetusti aiheuttaa kustannuksia, eikä ole taattua saadaanko toimintavarmuutta paranemaan. (Heinonen ym. 2009, 100-101; Smith & Hinchcliffe 2004, 24-25)

Yleisimmät käytössä olevat kunnonvalvonnan menetelmät ovat:

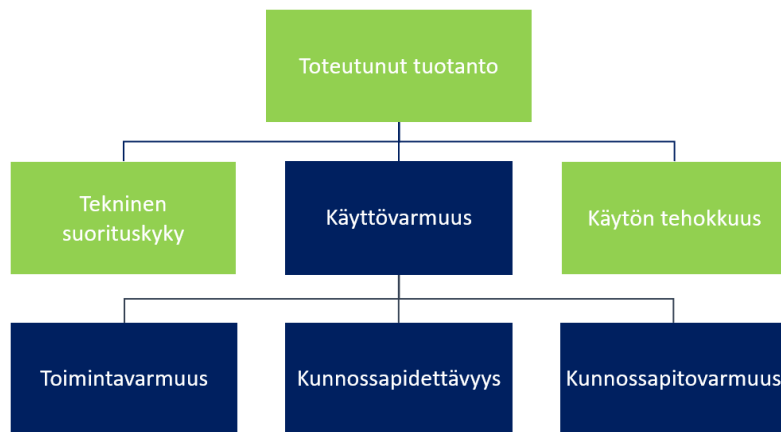
- NDT-menetelmät (ainetta rikkomattomat menetelmät)
- Värähtelymittaukset
- Voiteluaineanalyysit
- Ääni- ja ultraäänimittaukset
- Aistit

Ehkäisevän kunnossapidon määrä mitoitetaan tuotantojärjestelmästä vaaditun toimintavarmuuden kautta. Haluttu toimintavarmuustaso on yrityskohtainen ja sen on vastattava sen hetkisiä tavoitteita. Täydellisen tai ylimitoitettun toimintavarmuuden tavoittelemisen on hyödytöntä ja aiheuttaa turhia kustannuksia. Haluttua toimintavarmuutta määriteltäessä on kustannuksien lisäksi otettava huomioon myös ympäristö- ja turvallisuusriskit. (Järviö ym. 2012, 97)

Hyvällä suunnittelulla ja oikealla kohdistuksella ehkäisevän kunnossapidon hyödyt saadaan käyttöön tehokkaasti. Kunnossapidon osaaja John Moubray on kuitenkin arvioinut, että lähes puolet suoritetusta ehkäisevästä kunnossapidosta on täysin tarpeetonta. Toimenpiteitä suoritetaan liian usein, liian paljon ja menetelmät ovat tehottomia. Pääsääntö on, että ehkäisevää kunnossapitoa kannattaa suorittaa, mikäli sen kustannukset ovat pienemmät, kuin sen puutteesta syntyneet vahingot tai tuotannonmenetykset. (Mts. 2012, 97)

3.3 Käyttövarmuus

Käyttövarmuus on vain yksi osatekijä koneen tai laitteen suorituskykyä. Kaksi muuta osatekijää ovat tekninen suorituskyky ja käytön tehokkuus. (Ks. Kuvio 2.) Käyttövarmuuden mittarina toimii käytettävyyys ja siihen vaikuttavia tekijöitä ovat toimintavarmuus, kunnossapidettävyyys ja kunnossapitovarmuus.



Kuvio 2. Käyttövarmuus (Järviö ym. 2017, 54, 57, muokattu)

Käytettävyyden mittari on käyttövarmuus. Se voidaan ilmaista suunnitellun ja toteutuneen ajan suhteena, joka riippuu toimintavarmuuden, kunnossapidettävyyden sekä kunnossapitovarmuuden yhteisvaikutuksesta. Käytettävyyden suhdeluku, joka kertoo millä todennäköisyydellä järjestelmä on käytettävissä vaaditulla ajanhetkellä. Laskentaan voidaan käyttää useita metodeja, riippuen kohteesta mitä lasketaan, mutta perusperiaate on seuraava: (Mts. 2017, 57)

$$\text{Käytettävyyden A} = \frac{\text{käyntiaika}}{\text{käyntiaika} + \text{suunnittelemattomat seisokit}}$$

Toimintavarmuus

Toimintavarmuus on kohteen kyky tai todennäköisyys suorittaa siltä vaadittu toiminto tietynä ajanjaksona (PSK 6201 2011, 7). Toimintavarmuuden mittarina toimii vikaväli (MTBF) mean time between failures ja sitä kuvataan kirjaimella R (Reliability) Laitteen hyvään toimintavarmuuteen vaikuttavat seuraavat asiat:

- Suunnittelu (materiaali, mitoitus, rakenteellinen kunnossapidettävyys)
- Kunnossapito (ehkäisevä kunnossapito, kunnonvalvonta, kunnossapidon suorittaminen)
- Käyttö (henkilöstön osaaminen, koulutus, työturvallisuus, motivaatio)
- Varakapasiteetti (saatavuus, valintatapa)

(Mts. 2017, 54-55; Laine 2010, 109)

Kunnossapidettävyys

Kunnossapidettävyys on kohteen kyky olla pidettävissä tilassa tai palautettavissa tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon määritellyissä käyttöolosuhteissa, jos kunnossapito suoritetaan määritellyissä olosuhteissa käyttäen vaadittuja menetelmiä ja resursseja (PSK 6201 2011, 8). Kunnossapidettävyyden mittarina toimii korjausaika (MTTR) Mean time to restoration) ja sitä kuvataan kirjaimella M (Maintainability). Laitteen kunnossapidettävyyteen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- Vikojen havaittavuus (vikojen ennakoitavuus, kunnonseuranta)
- Huollettavuus (laitestandardisointi, modulaarisuus, luoksepäästävyys)
- Korjattavuus (dokumentaation ja varaosien saatavuus, luoksepäästävyys, purkaminen ja kokoaminen)

(Järviö ym. 2017, 55-56; Laine, 2010, 109)

Kunnossapitovarmuus

Kunnossapitovarmuus kuvaa kunnossapito-organisaation kykyä suorittaa vaadittu tehtävä tehokkaasti määrättyissä olosuhteissa, vaaditulla ajanhetkellä tai ajanjaksona (PSK 6201 2011, 7). Kunnossapitovarmuutta mitataan viiveillä ja saatavuudella (MWT) mean waiting time. Kirjainlyhenne kunnossapitovarmuudelle on S (Supportability) ja siihen vaikuttavia tekijöitä ovat:

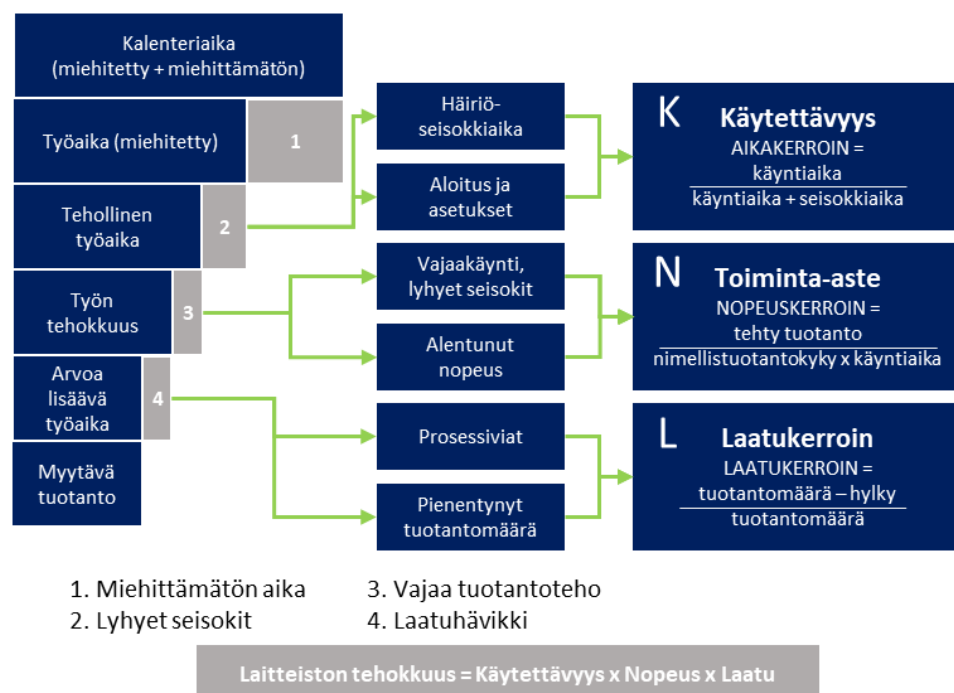
- Kunnossapitohenkilöstön kyvyt (määrä, ammattitaito, sijainti, motivaatio)
- Korjausvälineet (vakiotyökalut, koneet, erikoistyökalut, sijainti)
- Varaosat (vaihto- ja varaosat, materiaalit, sijainti, saatavuus)
- Dokumentaatiot (Piirustukset, ohjeet, vikahistoria, saatavuus, ylläpito)

- Hallinto (organisaatio, avainhenkilöt, ohjausjärjestelmä)

(Mts. 2017, 55-56; Mts. 2010, 109)

3.4 Tuotannon kokonaistehokkuus KNL

KNL, eli Overall Equipment Effectiveness (OEE) ajattelu perustuu TPM filosofiaan, jossa yksi tärkeimmistä oletuksista on se, että kaikki tuotannon osa-alueet osallistuvat kunnossapidon toteuttamiseen (Heinonen ym. 2009, 81-84). KNL-laskenta on sovellettava kohteeseensa niin, että jokaisen prosessin ominaispiirteet otetaan huomioon. Laskennassa tarkkaa KNL-arvoa tärkeämpää on, että sen kehitystä pystytään seuraamaan pidemmällä aikavälillä. Tämä vaatii pidempää seuranta ja laskemista samoilla malleilla, riippumatta siitä onko arvo täsmällisesti oikea. KNL-laskennan periaate on esitetty kuviossa 3. (Laine, 2010, 21)



Kuvio 3. KNL-laskemisen periaatteet (Järviö ym. 2017, 138; Mts. 2010, 20, muokattu)

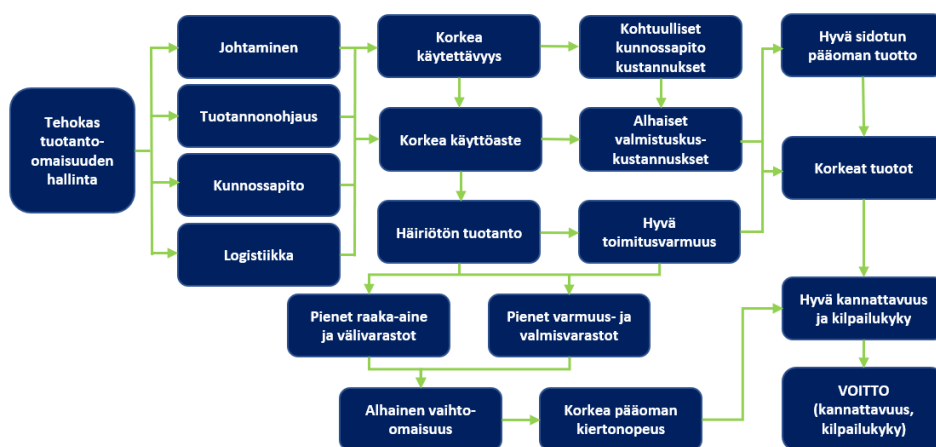
Korkeaan KNL-prosenttiin pääseminen edellyttää tuotannolta seuraavia asioita:

- Mahdollisimman vähän odottamattomia seisokkeja- ja laitevikoja
- Lyhyitä, hyvin suunniteltuja huoltoseisokkeja
- Koneiden on toimittava huipputeholla ja optimaalisella prosessitehokkuudella
- Koneiden on tuotettava asiakkaan määrittelemää laatua
- Kunnossapitokustannuksien on oltava kilpailukykyiset
- Työ ympäristön on oltava turvallinen

(Laine, 2010, 20)

3.5 Kunnossapidon kustannukset

Kunnossapidon taloudellisen merkityksen osoittamiseksi ei ole olemassa mitään selkeää kansallista tai kansainvälistä tilastointia, joka johtuu pääosin siitä, ettei kunnossapito ole oma toimialansa. Vaikka kunnossapito ei ole oma toimialansa, on se kuitenkin mukana kaikenlaisessa valmistavassa teollisuudessa, missä sen taloudellista merkitystä arvioidaan kustannusten sekä siitä johtuvien tuotannonmenetysten kautta. Kuviossa 4 on havainnollistettu kunnossapidon vaikutus yrityksen kannattavuuteen professori Veli Siekkisen tutkimuksien pohjalta. Kuten kuviosta voi päätellä, on kunnossapidon vaikutusketju pitkä ja vaatii sen panos-tuotosyhteyden ymmärrystä pitkää kokemusta ja ammattitaitoa. (Heinonen ym. 2009, 38)



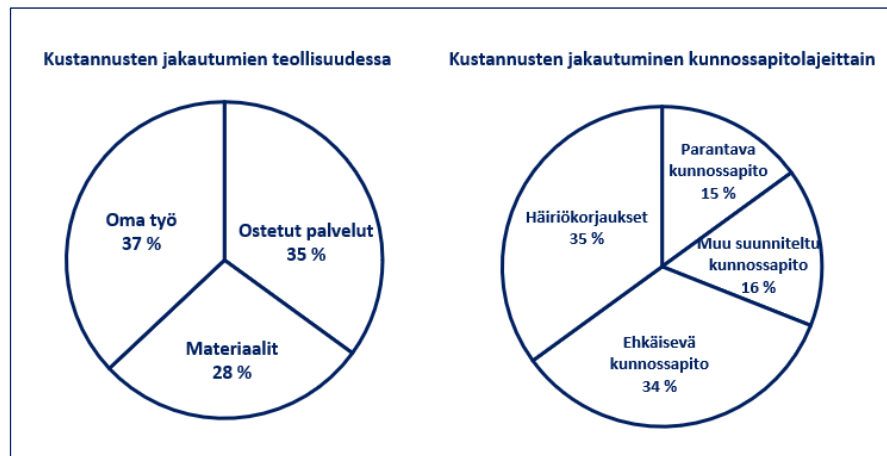
Kuvio 4. Tuotanto-omaisuuden hallinnan vaikutus kannattavuuteen (Järviö ym. 2017, 27 muokattu)

Kunnossapidon kustannukset jaetaan välittömiin ja välillisiin kustannuksiin. Välittömät kustannukset käsittävät toiminnan tekemisestä aiheutuneita kustannuksia, niiden mittaaminen on helppoa ja vaikutus tulokseen luultua pienempi. Välilliset kustannukset ovat vaikeampia mitata, ne ovat suurempia ja niiden vaikutus koko toimintaan on suuri. Kustannussäästöjä etsittäessä kannattaakin toimet kohdistaa välillisiin kustannuksiin välittömien sijasta. Välittömiä ja välillisiä kustannuksia on esitelty taulukossa 1. (Mts. 2017, 184-185)

Taulukko 1. Kunnossapidon kustannuksien jaottelu (Mts. 2017, 184, muokattu)

Välittömät kustannukset	Välilliset kustannukset
<ul style="list-style-type: none"> - kunnossapidon palkat yms. työkustannukset - varaosat - hankintakustannukset - varastointikustannukset - materiaalit, tarvikkeet - alihankinta, ulkopuoliset työt - kunnossapidon yleiskustannukset (hallinto, kiinteistö, vuokra varastointikulut, jne.) 	<ul style="list-style-type: none"> - hylky (huono laatu) - uusiminen, uudelleen tekeminen - epäsuhtaiset varastot (osa vaihtomaisuutta) - ylimitoitettu käyttö- omaisuus (koneet, rakennukset, maa-alueet) - epäsuhtainen rahoitusomaisuus - hallitsematon resurssien käyttö - ylityökustannukset - tuotannonsuunnittelun lisäkustannukset - tuotantovakuutukset - kasvaneet elinaikakustannukset - menetetty uustuotantomahdollisuus - epäkäytettävyyuskustannukset (toteutumaton kate)

Kunnossapitokustannuksien jakautuminen oman työn, ostettujen palveluiden ja materiaalien kanssa on melko tasainen. Viime aikoina kustannuskehityksen suunta on ollut se, että vähennetään omaa työtä ja lisätään palvelujen käyttöä. Kunnossapito- ja jeittain kustannukset jakaantuvat tasaisesti ehkäisevän ja häiriökorjauksien kesken, sekä parantavan ja muun suunnitellun kunnossapidon kesken. (Ks. Kuvio 5.) (Heinonen ym. 2009, 40-41)



Kuvio 5. Kunnossapitokustannuksien jakautuminen (Mts. 2009, 40-41, muokattu)

4 Vika ja vikaantuminen

4.1 Vian määritelmä

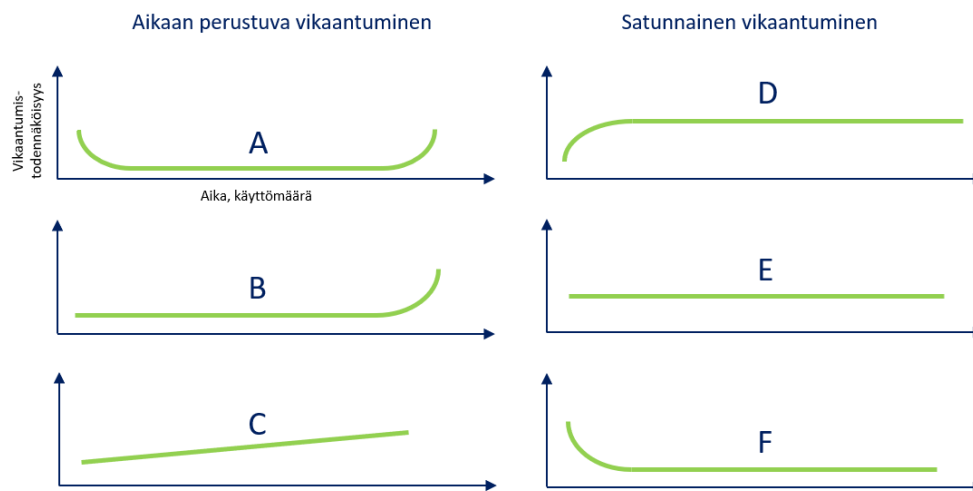
PSK 6201:2011 standardi määrittelee vian seuraavasti:

”Vika on tila, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa täydellisesti pois lukien ehkäisevän kunnossapidon, jonkin muun suunnitellun toimenpiteen tai ulkoisten resurssien puutteesta johtuvan toimintakyvyttömyyden takia”

Vaaditun toiminnon näkökulmasta vika poistaa toiminnon kokonaan tai toiminto hidastuu. Myös laatu tai turvallisuus näkökulmat voivat aiheuttaa vian, mikäli nämä vaatimukset eivät enää täyty. Vika jaotellaan häiriöihin ja vaurioihin. Häiriössä kohde ei ole rikki, mutta se aiheuttaa tuotannonmenetyksiä ja vaatii välitöntä korjausta. Häiriö poistuu säätämällä, puhdistamalla tai uudelleen käynnistämällä. Vaurioissa kohde on rikki, mutta vaikutukset ovat samat kuin häiriössä. Vaurio korjataan korjaavan kunnossapidon keinoja käyttäen. (Järviö ym. 2017,71)

4.2 Vikaantumismallit

Olkoon kyseessä mikä tahansa laite, on se tarkoitettu ja lähtökohtaisesti suunniteltu toimimaan moitteitta. Vaikka laite olisikin suunniteltu oikein, vääränlainen käyttö tai ylläpito johtaa vikaantumiseen. Mikään vika ei synny itsestään tai ilmesty tyhjästä, vaan jokaisella vialla on oma kehittymismekanisminsa. Vikaantuminen voidaan kuvata erilaisten vikaantumismallien avulla. (Ks. Kuvio 6.) (Järviö ym. 2017, 71)



Kuvio 6. Vikaantumismallit (Järviö ym. 2017, 81; Moubray, 1997, 14, muokattu)

Aikaan perustuva vikaantumien

Aikaan perustuvia vikaantumisia ovat edellisen kuvion mukaiset mallit A, B ja C. A-mallin käyrää kutsutaan kylpyammeikäyräksi, jossa laitteen käyttöiän alussa näkyvät esimerkiksi valmistus tai asennusvirheet. Mikäli kohde ei vikaannu eliniän alussa, säilyy vikaantumistodennäköisyys vakiona, mutta loppua kohden riski vikaantumiselle kasvaa loppuun kulumisen seurauksena. B-vikaantumismalli noudattaa A-mallia, mutta alun lastentaudit puuttuvat. C-vikaantumismallissa vikaantumisen todennäköisyys on alusta loppuun tasaisessa nousussa, eikä äkillisiä muutoksia tapahdu (Mts. 2017, 81; Mts. 1997, 12).

Pääsääntöisesti aikasidonnainen vikaantuminen keskittyy yksinkertaisiin laitteisiin tai komponentteihin. Nämä laitteet ovat usein kosketuksissa lopputuotteen kanssa, kuten esimerkiksi vaikka ketjukuljettimien ketjut, pumppujen juoksupyörät, yms. Kun laite vikaantuu, on siitä havaittavissa rakenteen väsymistä, korroosiota ja mekaanisen kulumisen merkkejä. (Järviö ym. 2017,82)

Satunnainen vikaantuminen

Vikaantumismallit D, E ja F ovat malleja, joiden todennäköisyys ei perustu aikaan. (Ks. Kuvio 6.) Suurin osa teollisuuden laitteiden vioista on joitain edellä mainituista. Tähän vaikuttaa nykyisten laitteiden monimutkaisuus, joiden komponenttikohtaiset vikaantumismallit sekoittuvat. Lopputuloksena tästä vikaantumismallien sekoittumisesta, on laitteen vikaantumistodennäköisyys lähes vakio ja noudattaa mallia F. (Mts. 2017,83)

4.3 Vikaantumisten syyt ja niiden hallinta

4.3.1 Vikaantumisten pääsyyt

Yleisesti ajatellaan, että vikaantuminen johtuu laitteiden huonosta suunnittelusta tai niiden kestävydestä. Tämä ajatusmalli ei kuitenkaan ole todenmukainen, sillä Japanilaiset TPM:n (Total Productive Maintenance) kehittäjät ovat tutkineet vikaantumisia hieman perusteellisemmin. He luokittelevatkin vikaantumisten syyt viiteen eri luokkaan, joita ovat:

- Laitteiden vääränlainen käyttö: ei tunneta oikeita käyttötapoja tai asiaan suhtaudutaan väärällä tavalla. Työtä jaetaan minä käytän, sinä korjaat ajatuksella. Laitteiden käyttäjät havaitsevat oirehtivat viat, mutta toimenpiteisiin ei ryhdytä. Raportointi voi olla työlästä ja osaaminen vajavaista.
- Käyttäjien ja kunnossapitäjien ammattitaito on kapeahkoa, ja keskitytään enemmän korjaamisiin. Tarkistuksissa ei huomata oirehtivia vikoja, oireet tulkitaan väärin, laitetta käytetään tai jopa kunnossapidetään väärin.

- Laitteiden ikääntymisen tuomaa toiminnan heikkenemistä ei huomata, tai niitä ei korjata vaan ne hyväksytään. Usein pieniä muutoksia ei huomata vaan ne on nähtävissä vain vertailemalla.
- Laitteen käyttöolosuhteet ovat puutteelliset. Lika voi aiheuttaa ongelmia laitteiden toiminnassa, tai ylimääräiset tavarat laitteen läheisyydessä estävät tarkastelun tekemisen.
- Laitteiden suunnittelu on puutteellista. Todellisia käyttöolosuhteita ei ole huomioitu riittävästi tai laitteen käyttötarkoitus on muuttunut alkuperäisestä.

(Järviö ym. 2017, 85)

Vian oireiden tulkinta on usein hyvinkin vaikeaa, ja toiminta on useimmiten painottunut korjausten tekemiseen eikä niinkään vian juurisyiden selvittämiseen. Haluttaessa parantaa laitteiden luotettavuutta, on tartuttava edellä mainittuihin vikaantumisten syihin. (Mts. 2017, 85)

4.3.2 Menetelmiä vikaantumisten vähentämiseksi

Useimmat ihmiset tiedostavat vikaantumisten merkitykset ja niiden vaikutukset tuotantotappioihin, mutta harvassa yrityksessä niiden vähentämiseen panostetaan kunnolla. Vioista tulee oirehtivia, joko organisaation ongelmien tai laitteiden teknisten ongelmien takia. Organisaatioissa on useita rakenteellisia syitä siihen, miksi oirehtiiviin vikoihin reagointi on tehotonta ja hidasta. Oirehtivat viat jäävät pääsääntöisesti huomaamatta, syyt selvittämättä ja todetaan ettei ongelmaan ole ratkaisua ja vaihdetaan kone uuteen. Oirehtivien vikojen korjaamien voi vaatii systemaattista työtä, jonka toteuttamiselle ei useimmiten ole aikaa tai resursseja. (Mts. 2017, 75, 86)

Varmaan ja häiriöttömään tuotantoon pyrkiminen vaatii piilevien vikojen paljastamista. Piilevät viat voivat aiheuttaa häiriöitä, jotka muuttuvat ajan myötä kroonisiksi ja ilmenevätkin niin usein, että niistä tulee osa normaalia toimintaa. Koneen tai suuremman laitekokonaisuuden nopeuden putoamista on useimmiten vaikea havaita, mutta sillä on suora vaikutus tuotannon kokonaistehokkuuteen, eli KNL prosenttiin. (Mts. 2017, 86)

Vaatimukset häiriöttömään toimintaan ovat:

- Laitteen toimintakunnon ylläpitämien (puhdistus, voitelu, suuntaukset, liitosten kiristäminen)
- Oikeiden käyttöolosuhteiden noudattaminen
- Toimintojen palauttaminen uutta vastaavaan kuntoon
- Suunnitteluheikkouksien korjaaminen
- Käyttö- ja kunnossapitotaitojen kehittäminen

Edellä mainittuja toimenpiteitä tulee noudattaa ja minkä tahansa laiminlyönti voi laukaista vikaantumisen. Useamman yhtäaikainen laiminlyönti taas aiheuttaa laitteessa toimintahäiriöitä epäsuorasti tai piilevästi. (Järviö ym. 2017, 87)

4.3.3 Vikaantumattomaan toimintaan pyrkiminen

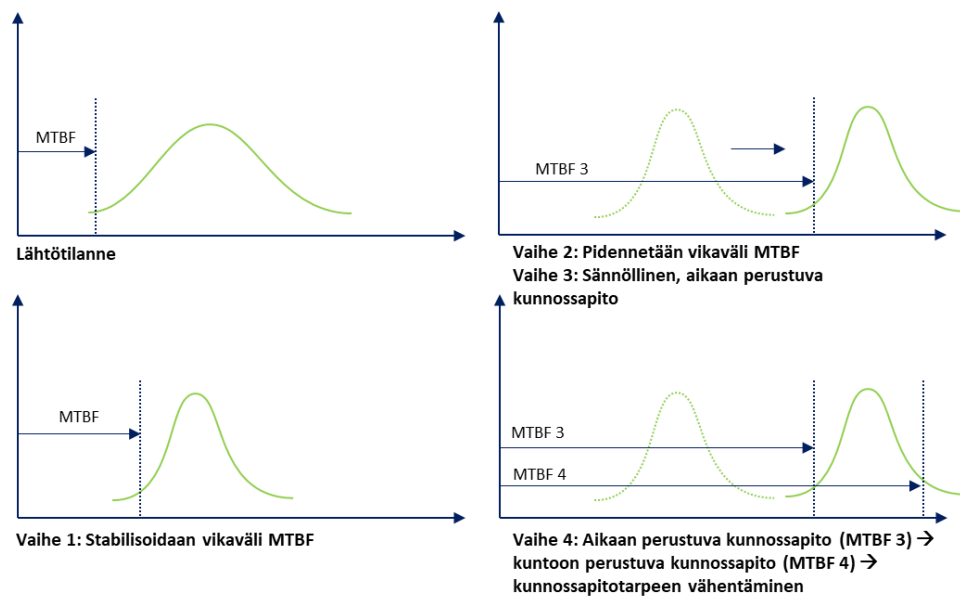
Pyrittäessä tasaiseen ja vikaantumattomaan käyntiin on noudatettava seuraavia lähestymisstrategioita:

- Pidetään kone kunnossa, eli puhtaana, voideltuna sekä linjattuna.
- Pidetään koneen toimintaedellytykset kunnossa (toimintalämpötilat, paineilman- ja hydraulikkaöljyn puhtaus, ja ympäristön puhtaus)
- Seurataan koneen tehokkuutta.
- Kompensoidaan toimintakyvyn heikkeneminen, eli uusitaan kulutusosia niiden ikääntymiseen perustuen, eikä pelkästään korjauksen yhteydessä. Näin vähennetään rikoontumisen todennäköisyyttä.
- Parannetaan koneen rakennetta huolto- ja käyttäjäystävällisemmäksi, sekä korjataan suoranaiset suunnitteluvirheet.
- Koulutetaan koneiden käyttäjiä ja kunnossapitäjiä, jolla vältetään tahaton väärinkäyttö.

(Mts. 2017, 92)

Lähtötilanteessa viat ovat pääsääntöisesti satunnaisia ja niiden tiheyttä kuvaava kellokäyrä on leveä ja matala. Ensimmäisenä pyritäänkin stabilisoimaan kellokäyrä niin,

että viat muodostavat kapean ja korkean käyrän. Toisessa vaiheessa pyritään pidentämään vikaväliä. Viimeisessä vaiheessa kunnossapidon perustaksi otetaan koneen kunto. Tätä kautta päästään aikaan tai kuntoon perustuvaan ennakoivaan kunnossapitoon, joilla pyritään vähentämään kunnossapitotarvetta. (Ks. Kuvio 7.) (Järviö ym. 2017, 92)



Kuvio 7. Vikaantumattomuuteen pyrkiminen (Mts. 2017, 93 muokattu)

5 Käyttövarmuuden analysointimenetelmät

5.1 Riskien tunnistaminen ja hallinta

Käyttövarmuuden suunnittelu ja kunnossapito ovat pohjimmiltaan ryhmä erilaisia keinoja, joilla pyritään pienentämään satunnaisia vikaantumisia ja niiden aiheuttamia seurauksia. Kriittisten komponenttien, vikamuotojen, vikamekanismien sekä virheettömän käytön tunnistamiseen ja varmistamiseen on olemassa monia pitkälle kehitettyjä menetelmiä. Vaikka menetelmät ovat kehittyneitä ja standardisoituja, ei niiden käyttö ole niin yleistä mitä nykyiset käyttövarmuusvaatimukset edellyttäisivät. (Heinonen ym. 2009, 124-129)

Luotettavalta riskien hallinnalta edellytetään, että tarpeet tuotteen rakenteiden, ominaisuuksien, käytön ja käyttöolosuhteiden osalta tunnetaan. Riskien analysoinnin kohteena voi olla palvelu, laite, suorite kokonaisuutena tai niiden osasuorite tai toiminto. Kohteita analysoitaessa tulisi käyttää kvalitatiivisia sekä kvantitatiivisia menetelmiä. Kvalitatiivinen tarkastelu jaetaan usein kahteen osaan: häiriöiden tunnistamiseen ja tapahtumaketjujen mallintamiseen ja sen tuloksilla voidaan luoda perusta kvantitatiiviselle tarkastelulle. (Heinonen ym. 2009, 124-129)

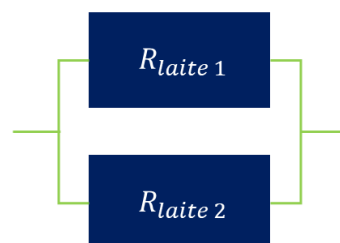
Seuraavissa kappaleissa on esitelty muutamia menetelmiä, joilla järjestelmää voidaan kuvata ja analysoida.

Luotettavuuslohkokaavio

Luotettavuuslohkokaavio (RBD, reliability block diagram) esittää graafisesti järjestelmän toimintaan vaadittavien laitteiden ja työvaiheiden luotettavuustekniset yhteydet. Kaavion avulla järjestelmän kokonaisluotettavuuden tarkastelu on helppoa, ja sen laadinta onnistuu virtaus, prosessi- ja instrumenttikaaviosta tai kohteen rakennekuvasta (Mts. 2009, 129). Järjestelmät ovat joko sarja- tai rinnankytkettyjä tai niiden yhdistelmiä. (Ks. Kuvio 8.)



$$R_{järjestelmä} = R_{laite\ 1} * R_{laite\ 2} * R_{laite\ 3}$$



$$R_{järjestelmä} = 1 - (R_{laite\ 1} * R_{laite\ 2})$$

Kuvio 8. Järjestelmän kokonaisluotettavuuden laskenta (McCool, 2012, 12-14, muokattu)

Vikapuuanalyysi

Vikapuuanalyysi (FTA, fault tree analyysi) on vaarojentunnistamis- ja taajuusanalyysitekniikka, joka aloitetaan ei toivotusta tapahtumasta ja edetään määrittäen kaikki siihen johtaneet tapahtumat graafisesti. Vikapuuanalyysi voi olla joko kvalitatiivinen tai kvantitatiivinen. (Heinonen ym. 2009, 129)

Pareto-analyysi

Pareto-analyysissa tarkastellaan esiintyneitä ongelmia ja järjestetään ne frekvenssin mukaan suurusjärjestykseen. Kehitystoimenpiteet kohdistetaan tämän perusteella tärkeimpiin, eli suurimpien frekvenssien omaaviin kohteisiin. Pareto-analyysi on yksi seitsemästä laatutyökalusta, mutta sillä voidaan myös tutkia ja analysoida laitteiston eliniänaikaisia käyttövarmuusongelmia. (Mts. 2009, 130)

5.2 Todennäköisyys- ja luotettavuusmallit

Kunnossapitotoimenpiteitä pyritään toteuttamaan taloudellisesti ajateltuna mahdollisimman optimaalisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että toimenpiteitä tulisi pystyä ajoittamaan niin, etteivät ne aiheuta tuotantoprosessille ylimääräisiä katkoksia laitteiden vioittumisen tai ylimitoitettun kunnossapidon vuoksi. Tähän erilaisien datalähteiden tietoja yhdistelemällä ja niitä analysoimalla voidaan luoda ennusteita siitä, milloin tuotantolaitteiden komponentit kaipaavat huoltoa (Mts. 2009, 483). Luotettavuus tekniikassa dataa kerätään usein toimittajilta saapuvista osista ja materiaaleista, testeistä valmistuksen aikana ja sen jälkeen. Kun kerätty tieto voidaan mallintaa, on siitä hyötyä päätöksenteossa niiden valmistuksessa, sekä valmista tuotetta käytettäessä ja huollettaessa. Mallintamiseen käytetään useita eri jakaumia, joista yleisimpiä ovat normaali, eksponentti ja weibull jakaumat. (Kapur & Pecht, 2014, 45)

Kunnossapidossa eliniän ennustaminen on osa luotettavuusteoriaa, jonka juuret johtavat toisen maailmansodan tapahtumiin, missä alettiin tutkia V1-rakettien vikaantumisia. Saksalaisten valmistamissa V1-raketeissa ilmeni kahdenlaista vikaa, jotka olivat

räjähdyksessä ilmassa tai iskeytyminen maahan ennen kohdetta. Tätä tilannetta analysoimaan pyydettiin matemaatikko Robert Lusser, joka kehitti analyysinsä pohjalta ensimmäisen komponenttien vikaantumiseen liittyvän matemaattisen säännön. Tämä sääntö loi pohjan erilaisille matemaattisille menetelmille ja niiden avulla muodostuikin myöhemmin luotettavuusteoria. (Heinonen ym. 2009, 485)

Laitteen eliniän ennustaminen pohjautuu siis laitteen vikaantumisen todennäköisyysfunktion arvioimiseen. Funktio kertoo laitteen vikaantumisen todennäköisyyden tapauskohtaisesti käyttötuntien tai vaikka tuotettujen kappaleiden mukaan, ja antaa näin ollen ennusteen laitteen käyttöajasta. On kuitenkin muistettava, etteivät ennusteet anna täyttä varmuutta ja aikaa laitteen rikkoontumisesta tai häiriöistä. Ne soveltuvat paremminkin kunnossapidon suunnitteluun, sekä varaosavarastojen tai kunnossapitoressurssien optimointiin. (Mts. 2009, 485)

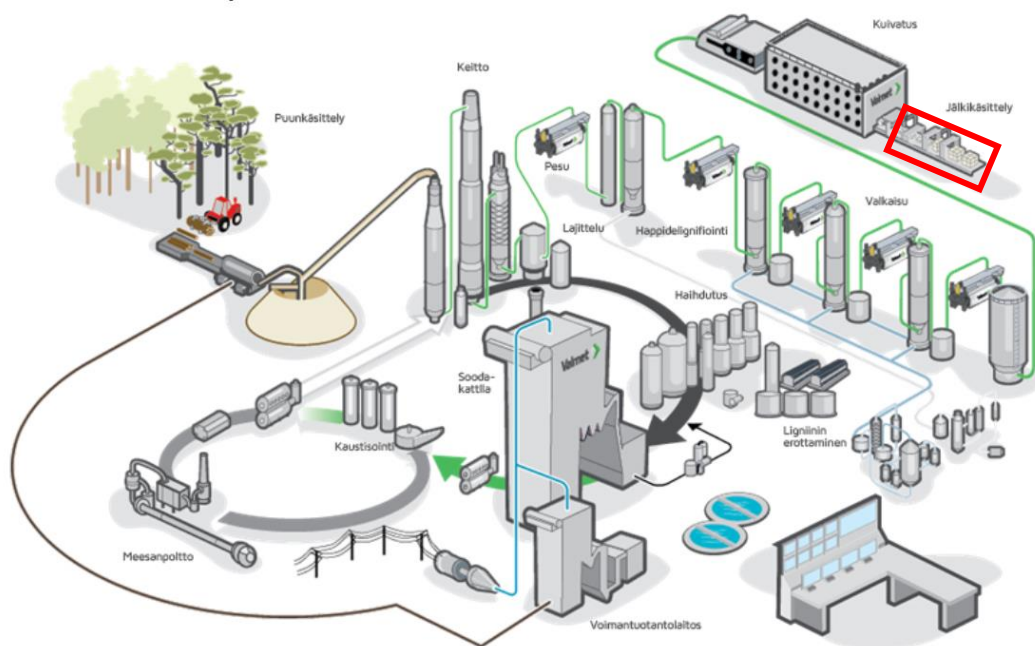
Huolimatta siitä, että vikaantumisaikojen todennäköisyysjakauksiin ja vikataajuuksiin perustuvilla teorioilla ja malleilla on jo pitkä historia, eivät ne ole käytännön kunnossapidossa riittävän laajalti käytössä. Nykyisillä tietokoneilla ja järjestelmillä ei ole ongelma lisätä tämän menetelmän käyttöä, sillä ohjelmistot ovat koko ajan helppokäyttöisempiä ja nopeampia käsittelemään tarvittavaa dataa. Ajan kuluessa ja käytettävyyksivaatimuksien kasvaessa onkin varmaa, että kyseisten menetelmien käyttö lisääntyy tulevaisuudessa merkittävästi. (Mts. 2009, 132)

6 Paalauslinjojen kriittisten laitteiden tunnistaminen

Paalaamon nykytilan selvittämisessä ja kriittisimpien laitteiden tunnistamisessa hyödynnettiin työn tutkimusmenetelmäksi valitun kehittämistutkimuksen menetelmiä. Paalaamosta oli hyödynnettävissä kattavasti valmiiksi kerättyä häiriötaajuus ja tuotantotietoa, joka toimi työn kvantitatiivisena eli määrällisenä aineistona. Tätä aineistoa tuettiin tarkastelujaksolla, joka toimi osaltaan työn laadullisena, eli kvalitatiivisena osana syventäen ymmärrystä nykytilasta ja määrällisen tutkimuksen osoittamista ongelmakohdista paalaamossa.

6.1 Paalaamon toiminnallinen kuvaus

Sellun paalaus on koko valmistusprosessin viimeinen vaihe ennen varastointia. Sen käyttövarmuus on merkittävä, koko tehtaan ajamisen kannalta, sillä huono käyttövarmuus paalaamossa merkitsee aiempien prosessien hidastamista, kierrättämistä tai pahimmassa tapauksessa pysäyttämistä. Paalaamoa ennen olevia prosesseja tulisi pystyä ajamaan ennalta määrätyillä arvoilla, jotta tuotantotehokkuus olisi mahdollisimman optimaalinen. Joten tietty käyttövarmuus ja tuotantotaso tulisi pystyä paalaamossa säilyttämään sille varatuilla resursseilla. Sellun valmistusprosessi on esitetty kuviossa 9, josta selviää selluntuotannon vaiheet ja opinnäytetyön kohdeympäristö, joka on merkittynä punaisella korostuksella.



Kuvio 9. Sellun valmistusprosessin kuvaus (Sellun valmistusprosessi 2019, muokattu)

Paalaus on sellun jäykkäsittely prosessi, joka alkaa kuivatuskoneen arkkileikkurin paalipöydältä. Kuivatuskoneella sellumassa kuivataan levittämällä massa tasaisesti eteenpäin liikkuvalla viiralla, joka alkaa kuljettaa massaa eteenpäin kohti puristimia ja kuivauskaappia. Puristimilla massasta poistuu suurin osa vedestä ja muodostuu rata,

joka puristinosan jälkeen kierrätetään kuivauskaapin kautta arkkileikkurille. Arkkileikkurilla kuivattu massarata leikataan määrätyn mittaisiksi arkeiksi. Leikkauksen yhteydessä arkit pinotaan vierekkäin 250 kg pinoiksi ja paalipöydän kautta pinot kuljeteaan kuljettimilla kohti paalauslinjoja.

Äänekoskella KK2 (kuivaamo kaksi) paalaamo koostuu kolmesta samanlaisesta paalauslinjasta, sekä kahdesta vienti- ja kotimaanyksiköinti laitteistoista, joiden kautta paalausprosessi saadaan suoritettua (Ks. Liite 1.). Linjojen jälkeen paaliyksiköt siirtyvät kuljettimilla kohti automaattivarastoa, josta tuotettu sellu lastataan juniin tai rekoihin kuljetettavaksi asiakkaille ympäri maailmaa. Paalaamo on automatisoitu kokonaisuus, jota hallitaan samasta valvomosta kuivauskoneen kanssa. Laitteistossa on runsaasti kuluvia mekaanisia osia, kuten kuljetinketjuja, rattaita, laakereita, vaihteistoja yms. sekä paljon hydraulikkaa, pneumatiikkaa, sähkömoottoreita ja automaatiojärjestelmiä.

Paalipöytä, kääntö- ja siirtokuljettimet

Paalaamo voidaan siis määritellä alkavaksi arkkileikkurin paalipöydältä, josta leikatut arkkipinot siirretään kääntökuljettimille kuljetinketjujen avulla, joko oikealle tai vasemmalle puolelle. Kääntökuljettimilla arkkipinot käännetään 90° astetta kohti siirtokuljettimia, joille paalit siirtyvät seuraavaksi. Siirtokuljettimia on paalaamossa kaksi, joiden tehtävä on siirtää paaleja sivuttaissuunnassa kolmelle eri paalauslinjalle, automatiikan tai käsiajon valitsemaan linjaan.

Paalien kääntö ja puristamien

Siirtokuljettimien jälkeen paalauslinjoilla tapahtuu paalien kääntämien, vaakaus ja puristaminen yksi paali kerrallaan. Kääntö tehdään laitteella, joka nostaa paalin irti ketjukuljettimesta ja kääntää paalia 90° astetta, jonka jälkeen laskee paalin takaisin kuljettimelle. Ennen puristamista arkkipino punnitaan, jonka jälkeen kuljetin kuljettaa käännetyn arkkipinon hydraulipuristimelle, jossa se puristetaan tiiviimmäksi pakeiksi.

Paalien kääriminen ja sidonta

Puristetut paalit siirtyvät puristimelta käärekoneelle (vientipaalit), jossa paalin ylä- ja alapuolelle laitetaan normaaleja selluarkkeja isommat käärearkit. Käärekoneella käärearkit taitetaan linjan suuntaisesti ylä- ja alapuolelta kiinni paalin reunoihin. Käärearkit ovat paalaamossa leikattuna samasta massaradasta mistä normaalitkin selluarkit. Käärearkkeja leikataan sen hetkisen tuotantotarpeen mukaan kääreiden käsittelylaitteille.

Käärekoneelta paali siirtyy sitomakoneelle, jossa paalin ympäri sidotaan kaksi rautalankaa paalin molemmille reunoille. Sidonnan jälkeen paali siirtyy viikkaukoneelle, jossa paali käännetään 90° astetta ja käärearkit taitellaan valmiiksi. Viikkauksen jälkeen paali siirtyy seuraavalle sitomakoneelle, jossa lisätään samanlaiset rautalangat kuin ennen viikkaustakin. Viikkauksen jälkeen paaleihin liimataan RFID (radio frequency identification) tarra, johon on tallennettuna tarvittava data niiden jatkokäsittelyä varten. RFID-tarran lisäksi paaleihin leimataan lajiteksti, joka toteutetaan väriaineilla suihkuttamalla se liikkuvan paalin kylkeen. Kotimaan paaleissa edellä mainittuja toimenpiteitä ei suoriteta lukuun ottamatta RFID-tarran lisäystä ja leimaamista, vaan paalit ohittavat kyseiset laitteet aina ilman toimenpiteitä. Kotimaahan kuljetettavia paaleja ei siis kääritä, vaan ne pinotaan ja yksiköidään sellaisenaan, josta lisää seuraavassa kappaleessa.

Paalien ladonta ja yksiköinti

Ladonnassa paalit pinotaan neljän kappaleen pinoiksi. Vientipaalipinoja ei sidota ladonnan jälkeen, mutta kotimaan paalipinot sidotaan kolmella rautalangalla yhdeksi paketiksi. Ladonnan jälkeen paalipinot siirtyvät kuljettimilla, joko vientiyksikötilaitteeseen, tai kotimaanyksiköitä käsittelevään paalikippiin. Vientiyksiköllä tarkoitetaan kahdeksan paalin yksikköä, joka sidotaan yhteen rautalankojen avulla. Vientiyksikötilaitteen tehtävänä on puristaa ja sitoa nämä kahdeksan paalia yhdeksi vientiyksiköksi. Tämän jälkeen yksikkö siirtyy ketjukuljettimien avulla varastoon ja siitä junaan lastattavaksi sitomiseen käytettyjen rautalankojen avulla.

Kotimaanyksiköitä käsitellään hieman eri tavalla, jonka takia ne kulkevatkin eri laitteiden ja työvaiheiden kautta. Kotimaan yksikössäkin on kahdeksan paalia, mutta niitä ei sidota yhteen, vaan sen muodostaa kahdesta neljän paalin pinosta syntyvä kokonaisuus. Nämä kaksi pinoa käännetään pystyasennosta vaakaan paalikipin avulla, jonka jälkeen ne kuljetetaan päällekkäin varastoon samoilla kuljettimilla, kuin vientipaalitkin.

6.2 Paalaamon kunnossapito

Äänekoskella biotuotetehtaan kuivaamoiden kunnossapidon ja johtamisen kokonaisvastuu on Botnia Mill Servicellä. Tähän kuuluu suunniteltujen pesu- ja kunnossapitoseisokkien töiden toteutus koko kuivauskoneen alueella, aluehuoltomiestoiminta sekä ennakkohuoltotyöt ja korjaukset BMS:n vastuualueilla. Metsä Fibren vastuulla olevia töitä ovat päivittäiset vikakorjaukset ja huollot paalauslinjoilla, kuitenkin niin, että kokonaisvastuu kunnossapidollisten toimenpiteiden toteuttamisesta on BMS:llä. Tarvittaessa BMS avustaa Metsä Fibreä sille määrätyissä vastuualueissa, joita ovat esimerkiksi paalauslinjojen päivittäiset vikakorjaukset. Vastuu paalauslinjojen ennakkohuolloista ja niiden suorittamisesta kuuluu siis Metsä Fibrelle, pois lukien paalipuristimien ennakkohuoltotarkastuksia ja hydraulikkojen vuositarkastuksia.

6.3 Paalaamon luotettavuuslohkokaavio

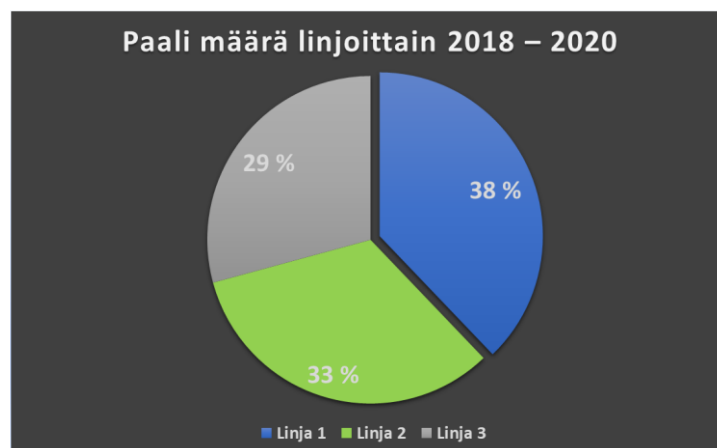
Tässä työssä toiminnallisen kuvauksen mallinnus päätettiin toteuttaa luotettavuuslohkokaavion ja materiaalinvirtauskaavion yhdistelmällä, sillä se on kohteeseen sovellettuna yksinkertaisin ja selkein kokonaisuuden tarkastelun kannalta. Kaaviosta tehtiin paalaamon layoutin mukainen, jossa on esitettyinä mahdolliset materiaalivirrat, tuotantovaiheiden väliset riippuvuudet sekä kytkennät eli käytännössä ovatko laitteet sarjakytkettyjä vai rinnakkain kytkettyjä kokonaisuuksia. Kaavion tarkoituksena oli selventää kunkin laitteen tai laitekokonaisuuksien vaikutus tuotannon kapasiteettiin häiriö tai vikaantumistilanteessa ja sitä kautta helpottaa kriittisten laitteiden tunnistamista. (Ks. Liite 1.)

Kaaviosta voidaan helposti todeta esimerkiksi kääntö- tai siirtokuljettimien merkityksen tuotannon kapasiteetin kannalta. Siirtokuljettimen kaksi vikaantuessa on kapasiteetista pois 2/3, kun taas siirtokuljetin yksi vikaantuessa 1/3 jne. Linjojen yksi, kaksi ja kolme laitteen ovat sarjakytkettyjä, joten yhdenkin laitteen vikaantuessa aiheutuu linjan tuotanto kapasiteetin menetys vian tai häiriön poistumiseen asti. Linjojen jälkeen paaliyksiköiden käsittelyssä kaaviosta voidaan todeta, että yksikkökuljetin kaksi, vientiyksiköinti kaksi ja paalikippi kaksi, ovat merkittävämpi riski vikaantuessaan verrattuna laitteisiin yksikkökuljetin, vientiyksiköintilaitte- ja paalikippi yksi tuotannon kulkureitin takia.

6.4 Linjojen tuotanto

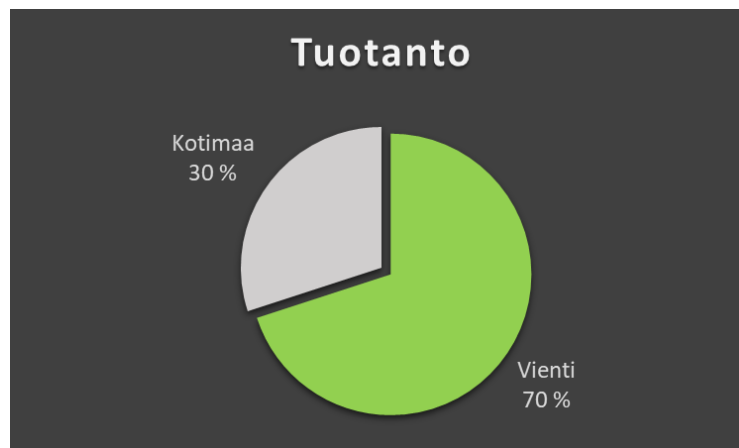
Paalaamon laitteista oli saatavilla järjestelmän keräämää tuotanto- ja häiriödataa, jota hyödyntämällä voitiin tarkastella linjojen laitteiden tuotantoa sekä niiden häiriöitä. Käsiteltäväksi ajanjaksoksi valittiin 26.2.2018-1.1.2020 välinen ajanjakso. Kaikkien laitteiden osalta yksityiskohtaista tietoa ei kuitenkaan ollut saatavilla, mutta merkittävimpien laitteiden osalta tarkastelua pystyttiin tekemään melko luotettavasti. Tuotannon osalta työssä tutkittiin sen jakautumista eri linjojen kesken. Toinen tutkittava asia oli se, miten tuotanto jakautui vienti- ja kotimaanpaalien välillä.

Tuotanto tarkastelujakson aikana oli jakautunut linjoilla kuvion 10 mukaisesti. Kuviossa on esitettyinä linjojen käsittelemät paalimäärät prosenttiosuuksina.



Kuvio 10. Linjojen tuotannon jakautumien

Linjoilla tuotetaan siis, joko vienti- tai kotimaanpaaliyksiköitä. Tältä osin tuotanto jakautuu kuvion 11 mukaisesti. Merkittäväntä tässä jakaumassa oli se, että tarkasteltaessa laitteita ja niiden häiriöitä oli otettava huomioon vientipaalien suurempi osuus tuotannossa. Kuten luvussa 6.1 kerrottiin, on vientipaalien käsittelyssä tuotannollisesti enemmän vaiheita ja laitteita, jotka siis kotimaan paalit ohittavat.



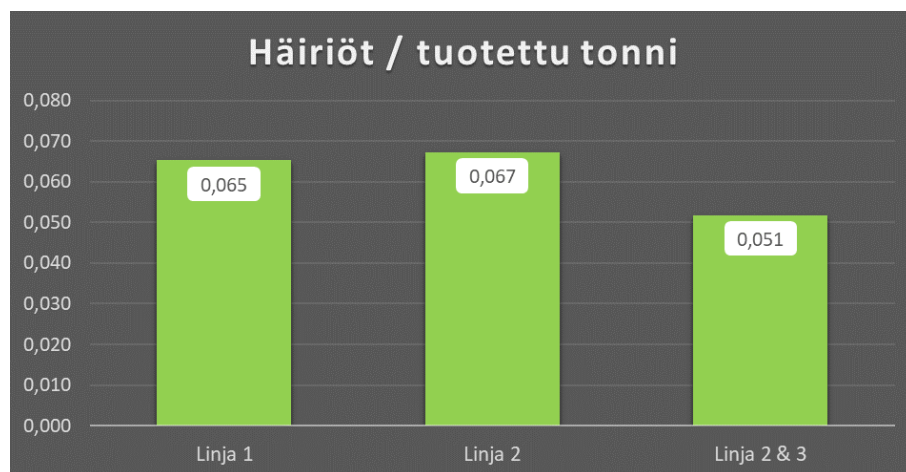
Kuvio 11. Tuotannon jakautumien lajeittain

6.5 Paalaamon häiriö- ja vikatietojen käsittely ja analysointi

Kokonaiskuvan selkeyttämiseksi järjestelmän keräämää tietoa muokattiin mahdollisimman havainnollistavaan, hyödylliseen ja yksinkertaiseen muotoon. Käytössä olevaan tietojärjestelmään oli kerännyt tietoja laitteista, joiden avulla laskettiin toteutunutta tuotantoa sekä paalaamon käytettävyyttä. Työn toteutuksen kannalta pelkkä käytettävyyssprosentti ei olisi ollut riittävä, vaan tietoja yhdistelemällä saatiin tehtyä tarkempaa tarkastelua linja- ja laitekohtaisesti.

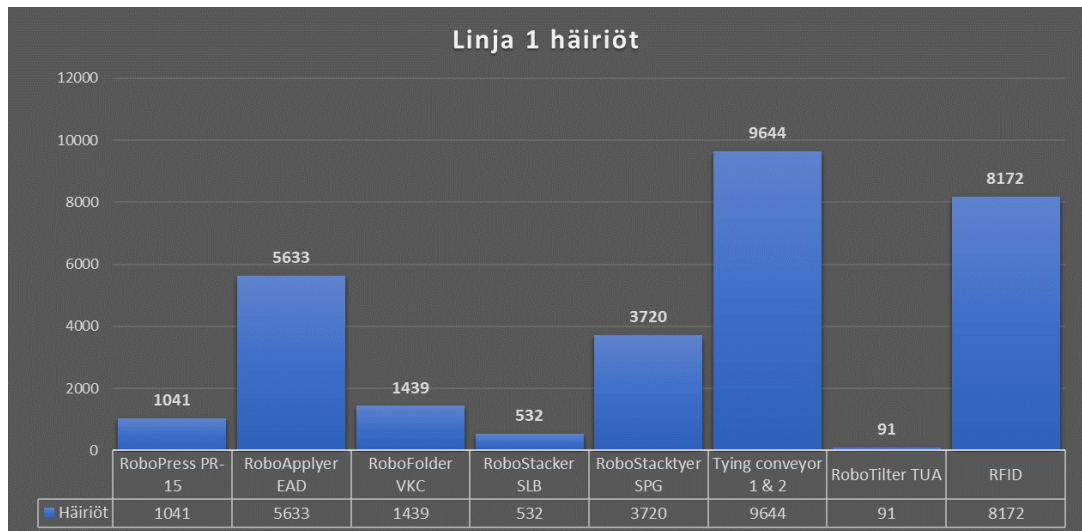
Jakamalla linjojen toteutuneet tuotantomäärät ja häiriöiden kokonaismäärä tarkastelujakson ajalta linjakohtaisesti, saatiin selville häiriöiden määrä tuotettua sellutonnina

kohden. Luotettavuuslohkokaavion mukaan (Ks. liite 1), ovat linjat kaksi ja kolme tuotannollisesti rinnankytkettyjä, joista molemmilta tuotanto ohjataan yksiköiden käsittely kaksi laitteille. Paalauslinjan kolme häiriölaskenta ei ottanut huomioon paaliyksiköiden käsittelyyn käytettäviä laitteita, jotka oli laskettu paalauslinjan kaksi häiriöihin. Edellä mainittujen seikkojen takia laskettiin linjojen kaksi ja kolme tuotanto- ja häiriömäärät yhteen ja lisättiin se pylväskaavioon erilliseksi tiedoksi havainnollistamaan tilannetta paremmin. (Ks. Kuvio 12.)

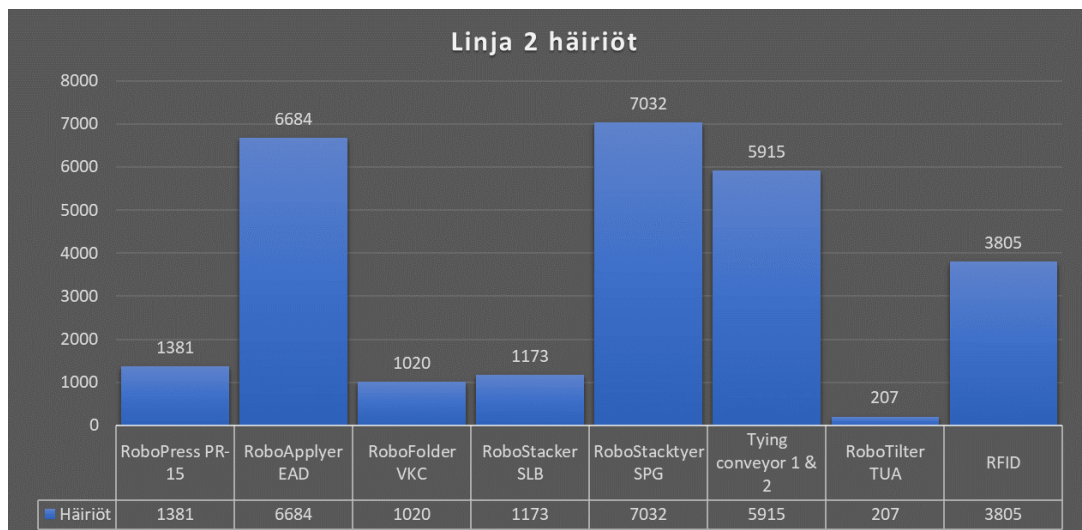


Kuvio 12. Häiriömäärät tuotettua sellutonnia kohti

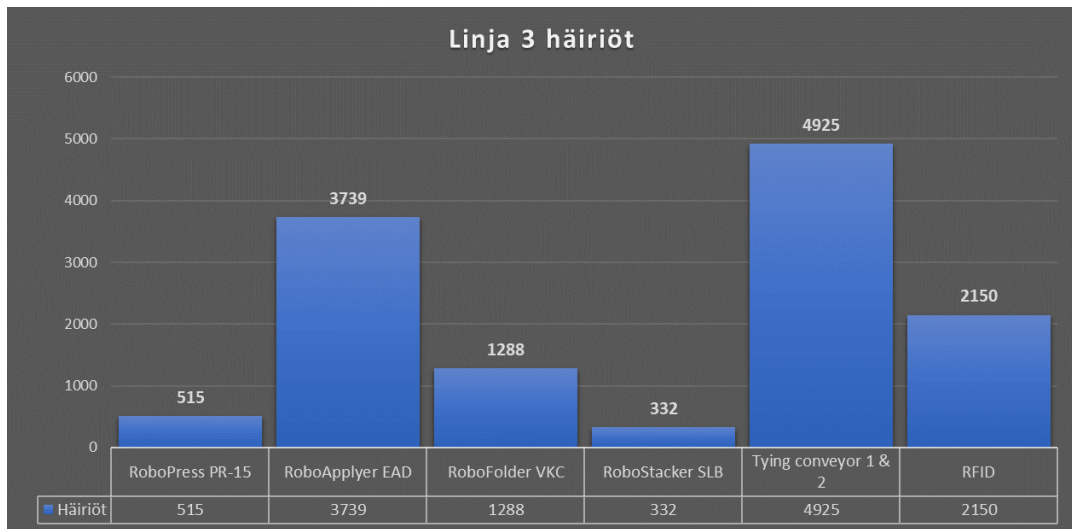
Edellisestä kuviosta kävi siis ilmi häiriöiden määrä linjoittain tuotettua sellutonnia kohden. Häiriöiden kokonaismäärät työssä tarkastelluista laitteista saatiin tietojärjestelmästä laitekohtaisesti ja ne ovat esitettyinä kuvioissa 13, 14 ja 15.



Kuvio 13. Häiriöiden kokonaismäärät laitteittain linja 1



Kuvio 14. Häiriöiden kokonaismäärät laitteittain linja 2



Kuvio 15. Häiriöiden kokonaismäärät laitteittain linja 3

Laitteiden luotettavuus

Häiriöiden kokonaismäärän laskentaa tehtiin tietojärjestelmässä linjojen jokaisesta laitteesta, mutta häiriötaajuustietoa oli saatavilla vain osasta laitteista. Työssä keskityttiin pääosin tarkastelemaan niitä laitteita, joiden osalta häiriötaajuustietoa oli päätetty ennen työn toteutusta alkaa seuraamaan. Tähän poikkeuksena oli RFID-laitteet, jotka lisättiin histogrammikuvaajiin runsaiden häiriömäärien takia. Kaikista muista paitsi RFID-laitteista laskettiin luotettavuus- ja tiheyskuvaajat, joista saatiin selville, kuinka luotettavia laitteet olivat olleet suhteessa käsiteltyyn paalimäärään, sekä mihin paalimäärään laitteiden häiriöt olivat otantajakson aikana painottuneet. Yhteiskuvaajien ja Exceliin luodun laskurin avulla voitiin helposti vertailla keskenään eri laitteita ja linjoja, joissa samanlaisia laitteita oli kuormitettu hieman erilaisilla tuotantosuuksilla. (Ks. Liite 2.)

Järjestelmän keräämää häiriötaajuustietoa voitiin hyödyntää myös yhdistämällä se toteutuneeseen tuotantoon. Toteutunut tuotantomäärä jaettiin jakson aikana käytävissä olleisiin tuotanto vuorokausiin, joissa huomioitiin jakson aikana olleet vuosi- ja kuukausi- ja arvioitiin kuivauskoneen lyhyempien pesuseisokkien kokonaisaika. Laskuihin arvioitiin myös muiden lyhyempien tuotantokatkoksien kokonaisaika. Saatu

keskimääräinen vuorokausituotanto muutettiin paalimääräksi ja jaettiin ne linjoille työssä aiemmin esitetyn kuvion 10 mukaisesti. Näin saatiin laskettua tuotantomäärät huomioiden laitteiden luotettavuudet tarkastelujakson ajalle. Taulukossa esitetyt prosenttiluvut kuvaavat laitteiden luotettavuutta, eli tässä tapauksessa todennäköisyyttä selvitä keskimääräisestä vuorokausituotannosta ilman häiriötä tarkastelujakson häiriötaajuustietojen perusteella. (Ks. Taulukko 2.)

Taulukko 2. Laitteiden luotettavuudet keskimääräisellä vuorokausituotannolla

Laite	Luotettavuus keskimääräisellä vrk tuotannolla 26.2.2018-1.1.2020		
	Linja 1	Linja 2	Linja 3
RoboPress PR-15	14,0 %	18,0 %	27,5 %
RoboApplyer EAD	0,2 %	0,0 %	1,2 %
RoboFolder VKC	12,5 %	16,2 %	16,2 %
RoboStacker SLB	20,2 %	9,9 %	20,7 %
RoboStacktyer SPG	1,9 %	0,0 %	0,1 %
Tying conveyor 1	1,2 %	3,4 %	4,3 %
Tying conveyor 2	0,8 %	4,4 %	10,1 %
RoboTilter TUA	6,3 %	4,9 %	8,7 %
Conveyors (after stacker)	7,7 %	2,0 %	17,9 %
Conveyors (before stacker)	0,0 %	3,1 %	7,7 %

Taulukon lukuarvoista voitiin tehdä johtopäätös, että laitteet eivät ole kovinkaan luotettavia tuotantomääriin suhteutettuna. On myös huomioitava, ettei taulukossa ole kaikkia linjojen laitteita, jotka olivat häiriöitä aiheuttaneet. Tuotantovaatimuksien täyttäminen vaatiikin lähes jatkuvaa työtä häiriöiden poistamisen parissa. Tämä voitiin havaita myös työn aikana suoritetun havainnointijakson aikana, johon vertaamalla saatuja lukuarvoja voidaan pitää melko luotettavina ja todellisina.

6.6 Laitteiden välinen tarkastelu

Tässä luvussa selostetaan, kuinka työssä käsiteltiin laitteiden häiriöitä ja kriittisyyksiä määrällisen ja laadullisen tiedon yhdistelmällä. Laitteiden häiriöiden jakautumisen tarkastelun tueksi tehtiin yhdistetyt histogrammi- ja normaalijakaumakuvaajat. Kuvaajista voitiin tarkastella, kuinka häiriötaajuusarvot olivat jakautuneet keskiarvoon nähden ja havaita mahdolliset eroavaisuudet eri linjojen keskenään samanlaisten laitteiden välillä. Histogrammi- ja normaalijakaumakuvaajat luotiin käyttämällä Microsoft Excelin tietojen analysointi työkalua, jonka avulla järjestelmän tiedot saatiin

muutettua rivitiedosta helpommin visuaalisesti tarkasteltavaan muotoon. Kuvaajien luomiseen työkalulla tarvittiin otannan minimi, maksimi, keskiarvo ja keskihajonta lukuarvot. Luokkaväleiksi määriteltiin luku 20 ja luokkavälien pituus tarkasteltavalle laitteelle saatiin laskettua vähentämällä maksimi arvosta minimiarvo ja jakamalla se luokkaväliarvoksi määritetyllä luvulla 20.

Häiriötietojen histogrammi tarkastelun tueksi käsiteltiin laitteiden tyyppillisimpiä häiriöiden tai vikojen aiheuttajia, käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön kokemuksien ja työssä suoritetun seurantajakson aikana tehtyjen avoimien haastattelujen avulla. Luvussa analysoitiin myös laitteiden kriittisyyksiä hyödyntämällä käyttöhenkilöstön osaamista, ja palaamosta tehtyä luotettavuuslohkokaaviota.

6.6.1 Kuljettimet

Paalipöytä, kääntö- ja siirtokuljettimet

Kuljettimien osalta kriittisin on arkkileikkurin jälkeen paalipöydän ketjukuljetin, jonka vikaantuminen aiheuttaa välittömän hylkyluukun aukeamisen ja sitä kautta tuotannon kierrätyksen. Seuraavaksi merkittävimmät kuljettimet ovat kääntö- ja siirtokuljettimet. Näistä merkittävämpiä olivat kääntö- ja siirtokuljettimien kaksi muodostama kokonaisuus, sillä niiden kautta tuotanto voidaan ohjata linojoille kaksi tai kolme. Eli kumpi tahansa kuljetin tästä yhdistelmästä aiheuttaa vikaantuessaan $2/3$ tuotantokapasiteetin menetyksen ja lähes varmaa hylkyluukun aukeamista vian korjaantumiseen saakka. Kääntö- ja siirtokuljetin yksi yhdistelmän mahdollisissa vikaantumistilanteissa poistuu tuotantokapasiteetista $1/3$. Ongelmaksi tässä tilanteessa muodostuu se, ettei kääntö- ja siirtokuljetin kaksi yhdistelmä välttämättä ehdi käsittelemään kaikkea tuotantoa. Lisäksi yhtäaikainen vikaantumien linjojen kaksi tai kolme laitteilla muodostaa yhdistelmän, joka voi pakottaa kierrättämään tuotantoa vikojen korjaantumiseen saakka.

Pääsääntöisesti edellä mainitut kuljettimet ovat luotettavia, eikä niistä myöskään kerätä järjestelmässä tarkempaa häiriödataa tarkastelua varten. Niiden rakenne ja tehtävät ovat yksinkertaisia, mutta kuivaamon ja paalaamon käyttövarmuuden kannalta kyseisten kuljettimien hyvä toimintavarmuus on välttämätöntä.

Paalauslinjojen kuljettimet

Jokaisella linjalla on yksi pitkä kuljetin ennen paalipuristinta, jonka jälkeen kuljettimet liittyvät laitteisiin, jotka ovat linjoilla peräkkäin. Paalit siirtyvät työvaiheelta toiselle ketjukuljettimilla, jotka ovat yhdistettynä itse työvaiheita suorittaviin laitteisiin. Linjoilla minkä tahansa kuljettimen häiriö tai vikaantumien aiheuttaa linjan pysähtymisen vikaantuneeseen laitteeseen asti, vian poistumiseen saakka. Tämä taas tarkoittaa suoraan 1/3 käytettävissä olevasta tuotantokapasiteetista. Yhden linjan yksi kuljetin ei ole merkittävä, mutta kahdella eri linjalla yhtäaikainen vikaantuminen aiheuttaa pidempiaikaisena ongelmia tuotannon läpivientiä ajatellen.

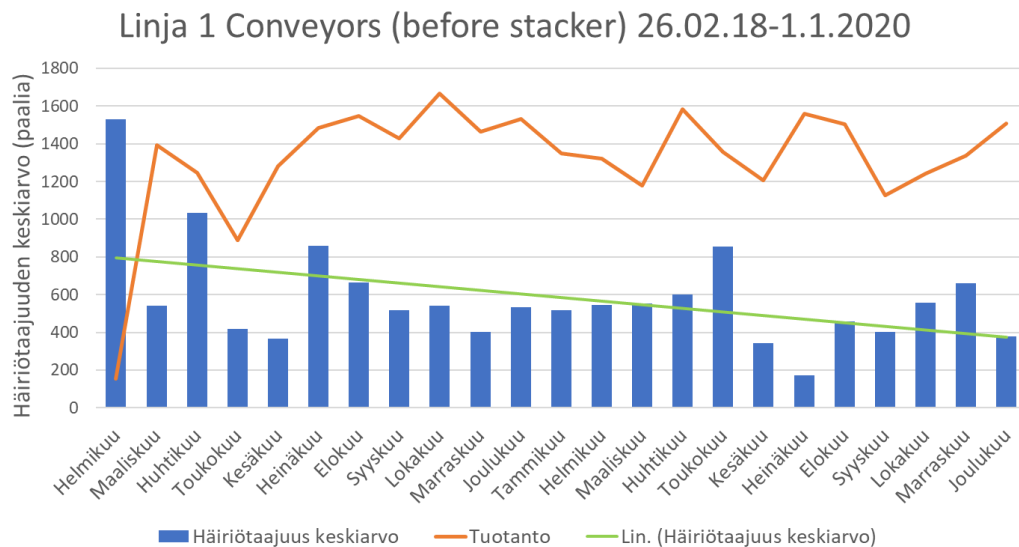
Paaliyksiköiden kuljettimet

Linjojen jälkeisten paaliyksiköiden siirtokuljettimien merkitys häiriö tilanteissa tuotantokapasiteettiin on keskenään erilainen. Merkittävin on yksikkökuljetin kaksi, jonka kautta kulkee yli 60 % tuotannosta riippumatta onko vienti vai kotimaan ajoa. Tämä johtuu siitä, että kuljettimella kaksi siirretään paaliyksiköitä linjoilta kaksi ja kolme. Kyseisen laitteen vikaantuessa poistuu paalaamon tuotantokapasiteetista näin ollen 2/3. Mutta vaikutus ei ole välitön sillä tuotantoa voidaan ohjalla arkipuskureihin sekä ajaa paalauslinjalla yksi mahdollisten korjaustoimenpiteiden ajan.

Kuljettimien häiriötiedot

Kuljettimista kerätty häiriötaajuustieto ei ollut tarkasti kohdistettua, vaan kuljettimissa esiintyneitä häiriöitä käsiteltiin kahtena eri kokonaisuutena ennen ja jälkeen paalien latojaa (Ks. Liitteet 3&4.). Saatujen tietojen perusteella voitiin todeta, että linjan yksi kuljettimet ennen latojaa olivat taajuustiedon perusteella selvästi muita häiriöherkempiä. Tämän tiedon pohjalta otettiin linja yksi tarkempaan tarkasteluun.

Tässä otantajakson kuukausittaisten häiriötaajuuskeskiarvojen perusteella havaittiin ennen latojaa olevien kuljettimien kehitys huonompaan suuntaan. Kuviossa 16 on esitetty häiriötaajuuden keskiarvo kuukausittain, kehitystrendi lineaarisesti, sekä toteutuneen kokonaistuotannon vaihtelua kuvaava viiva. Tämän kehityksen syitä ei työssä ehditty kokonaisuudessa selvittämään, mutta tiedon perusteella kohteita voitiin alkaa tutkimaan tarkemmin.



Kuvio 16. Häiriötaajuuden kehitys linja 1 (kuljettimet ennen latojaa)

6.6.2 Paalien käsittelylaitteet

Paalipuristimet

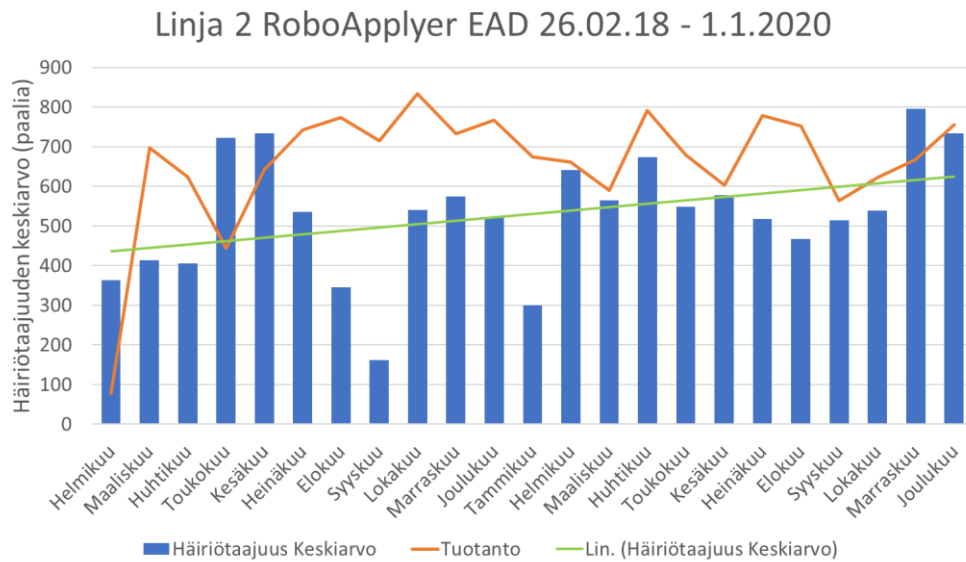
Paalipuristimet ovat tuotannon kannalta merkittäviä, sillä jokainen paali tuotannossa puristetaan ennen muita tuotantovaiheita. Häiriötaajuusdatan perusteella epäluotettavin laite oli linjan 2 puristin, jonka häiriötaajuuskeskiarvo otannassa oli 1753 paalia. Linjan 3 häiriötaajuuskeskiarvo oli 1887 paalia ja luotettavimman linjan 1 paalipuristimen 1915 paalia. Häiriöiden jakautumien linjojen puristimilla oli varsin tasainen keskiarvoon ja muihin linjojen laitteisiin nähden (Ks. Liite 5.). Ongelmia aiheuttivat mm. huonolaatuiset arkipinot, jotka puristimelle tullessaan osuivat puristimen rakenteisiin. Huonosti ladotuista arkipinosta tippuneet arkit aiheuttivat hälytyksiä, johtuen

valokennojen peittymisistä pudonneiden arkkien takia. Työssä ei tehty syvempää tutkimusta paalipuristimien häiriöiden osalta, johtuen niiden paremmasta luotettavuudesta verrattuna muihin laitteisiin.

Käärekoneet

Käärekoneen tehtävänä on lisätä puristetun paalin ylä- ja alapuolelle käärearkit ja taittaa ne linjan suuntaisesti paalin ympärille. Tämä toimenpide tehdään kaikille vientipaaleille, joiden osuus tuotannosta on siis 70 %. Selvästi epäluotettavin käärekone häiriödatan perusteella oli linjalla kaksi, jonka häiriötaajuuskeskiarvo oli 531 paalia. Linjan yksi käärekoneella keskiarvo oli 736 paalia, ja linjalla kolme keskiarvo oli 762 paalia. Yhteneväisyyksiä kaikissa laitteissa oli, että suurin osa häiriöistä painottui noin 500 käsitellyn paalin alapuolelle, joka on tuotantomääriin ja muihin laitteisiin suhteutettuna todella huono tulos. (Ks. Liite 6)

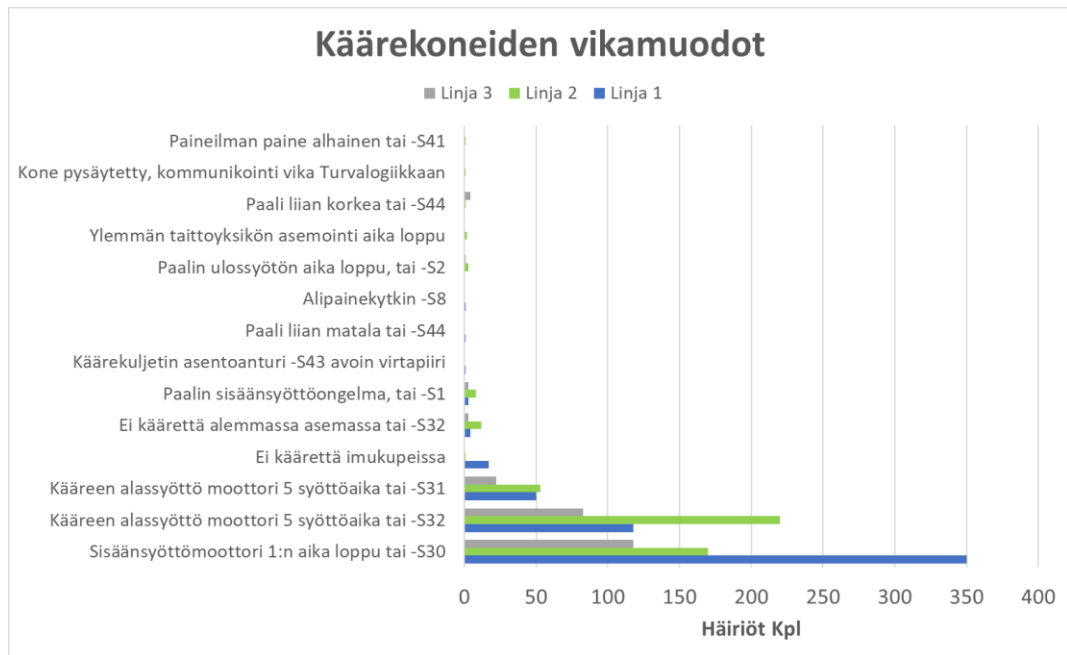
Linjan kaksi käärekoneen häiriötaajuuskehitystä tarkasteltiin samalla tavalla kuin aikaisemmin työssä kuviossa 16, jossa tutkittiin kuljettimien kehitystrendiä otantajaksolla. Tässä tarkastelussa voitiin todeta pientä parannusta laitteen luotettavuudessa, mutta tästä huolimatta ovat käärekoneet kokonaisuutena auttamatta epäluotettavimpia laitteita tuotannossa. (Ks. Kuvio 17)



Kuvio 17. Häiriötaajuuden kehitys käärekone linja 2

Työssä suoritetun havainnointijakson, sekä avoimien keskustelujen ja haastattelujen perusteella ongelmat liittyivät lähes kokonaan käärearkkien siirtämiseen käärekoneen sisälle. Ongelmia aiheuttivat huonolaatuiset käärepinot, kääreitä nostavat imu-
kupit ja virheasentoon jääneet käärearkit koneen sisällä. Havainnointijaksolla havaittiin useita samanlaisia häiriönaiheuttajia kaikkien linjojen käärekoneilla, jotka työllistivät käyttöhenkilöitä tasaisesti vuoron aikana.

Järjestelmään tallentuneita vikamuotoja oli laitteissa useita, mutta suurin osa oli painottunut kolmeen eri vikamuotoon. Vikamuotoja tarkasteltiin kevään 2020 aikana lyhyen otantajakson aikana, josta tämä ilmeni varsin selvästi. (Ks. Kuvio 18.)



Kuvio 18. Käärekoneiden vikamuodot

Viikkaajat

Viikkauskoneiden tehtävänä on ensimmäisenä kääntää käärekoneilta tulleet paalit, jonka jälkeen taittaa arkit molemmin puolin kiinni paaliin. Tämäkin vaihe suoritetaan jokaiselle vientipaalille ja on siten merkittävä laite kokonaisuuden kannalta. Viikkaajista otannan mukaan epäluotettavin laite oli linjalla kolme, jonka häiriötaajuuskeskiarvo oli 1432 paalia. Linjojen yksi- ja kaksi viikkaajat olivat melko tasaisia häiriötaajuuskeskiarvojen ollessa 1769 ja 1696 paalia. Histogrammikuvaajat noudattavat kaikki samanlaista kaksoishuippumallia, jossa häiriöitä oli painottuneena kahteen eri paalimäärään. (Ks. liite 7)

Piensitojat

Piensitojia käytetään vientipaalien kanssa käytettävien käärearkkien sitomiseen paalin ympärille. Paalauslinjoilla koneita on kaksi, joista toinen on sijoitettuna käärekoneen jälkeen, jossa se sitoo kaksi rautalankaa paalin molempiin päihin. Toinen kone on sijoitettuna viikkauskoneen jälkeen, johon paali tulee käärearkit viikattuna ja

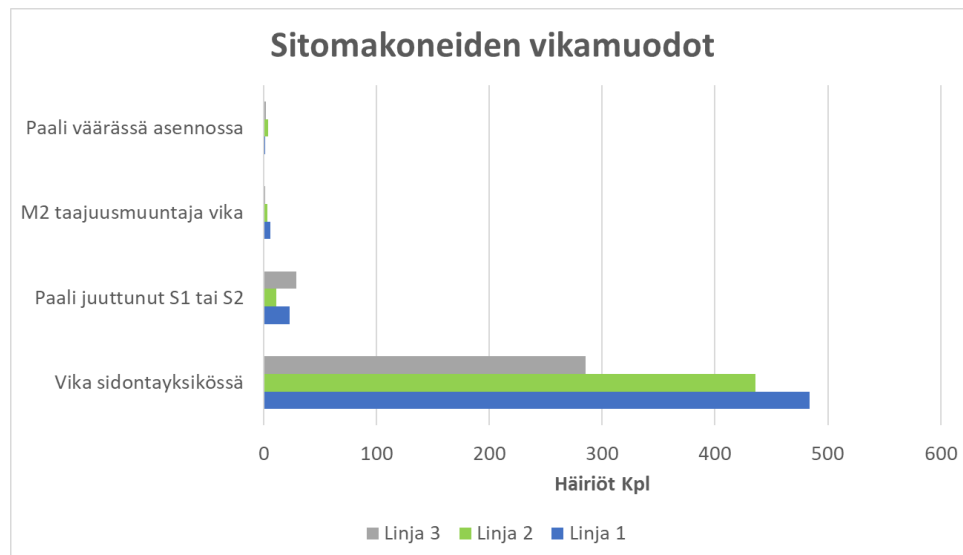
käännettynä. Näin paaliin saadaan sidottua langat myös toisesta suunnasta. Kaikkiin piensitojia on paalaamossa yhdeksän kappaletta. Kuusi yhtäaikaaisesti tuotannossa ja kolme varakoneina. Varakoneiden tarkoituksena on varmistaa tuotannon sujuvuus, sekä mahdollistaa koneiden huoltaminen.

Yksittäisen piensitojan luotettavuuden tarkka mallinnus ja analysointi ei työssä ollut mahdollista, koska sitomakoneita on mahdollisuus vaihtaa keskenään eri linjoille. Häiriötiedot olivat tallennettuna paikkojen mukaan, riippumatta siitä mikä sitomakone kyseisellä paikalla oli ollut. Piensitojien huollon toteuttaminen ja seuranta ei myöskään ollut kovin tarkasti dokumentoitua tarkempien käytäntöjen puuttuessa. Huoltoja suoritettiin aina sitä mukaan, kuin huolto paikalle oli ilmestynyt linjalta pois otettu sitoja tai siihen käyvä vaihdettava sitomayksikkö. Sitojien ongelmia ja syitä miksi ne oli otettu pois linjalta, oli raportoitu vaihtelevasti sitomakoneessa roikku-neisiin ruutuvihkoihin muutamilla lauseilla. Suoritettuja mahdollisia huoltotoimia tai vaihdettuja varaosiakaan ei raportoitu niin, että niiden pohjalta olisi voinut alkaa pohtia laadukasta jaksotettua ennakkohuoltoa häiriöiden vähentämiseksi.

Sitojien häiriödatan keräys tapahtui sitomakoneiden yhteydessä olevien kuljettimien avulla, joihin häiriöt olivat tallentuneet kuljettimista sekä sitomakoneista. Näiden avulla kerätyn datan perusteella piensitojat olivat yleisessä tarkastelussa toiseksi epäluotettavin laiteryhmä paalaamon kaikkien laitteiden vertailussa. Taajuustiedon perusteella voitiin todeta kaikkien sitomakoneiden sijaintipaikkojen noudattavan suunnilleen samanlaista jakaumaa, jossa häiriökeskiarvot olivat noin 1000-1200 paalin välissä. (Ks. Liitteet 9 ja 10)

Häiriödatan tarkemman tarkastelun mukaan yli 3/4 sitomakoneiden häiriöistä kohdistui sitomayksikköön, joka ilmenee vikamuodoista, joita tarkasteltiin lyhyellä ajanjaksolla kevään 2020 aikana. (Ks. Kuvio 19.) Havainnointijakson aikana tehtyjen havaintojen, sekä käyttöhenkilökunnalta saatujen kommenttien perusteella sitomayksikön vikojen aiheuttajista jopa puolet saattoivat olla lähtöisin sitomiseen käytettävien rautalankarullien purkautumisesta aiheutuneesta solmusta. Solmun takertuessa lankarullan kruunuun tai mennessä sitomakoneelle aiheuttaa se häiriötilanteen, joka tallentuu järjestelmään vikana sitomayksikössä. Seurantajakson aikana kyseisiä vikoja

oli kymmeniä sitomakoneen sijainnista riippumatta, joten voitiin todeta ongelman olevan osittain käytössä olleissa lankahäkeissä tai lankarullissa. Toisena ongelmana kommentaiteista esille nousi lankahäkien ahtaat langanohjauskehät. Nämä keräsivät käytettäessä langasta irtovia epäpuhtauksia, jonka takia langan huono kulku sitomakoneelle oli mahdollisesti tallentanut aiheutuneita häiriöitä sitomayksikön kohdalle.



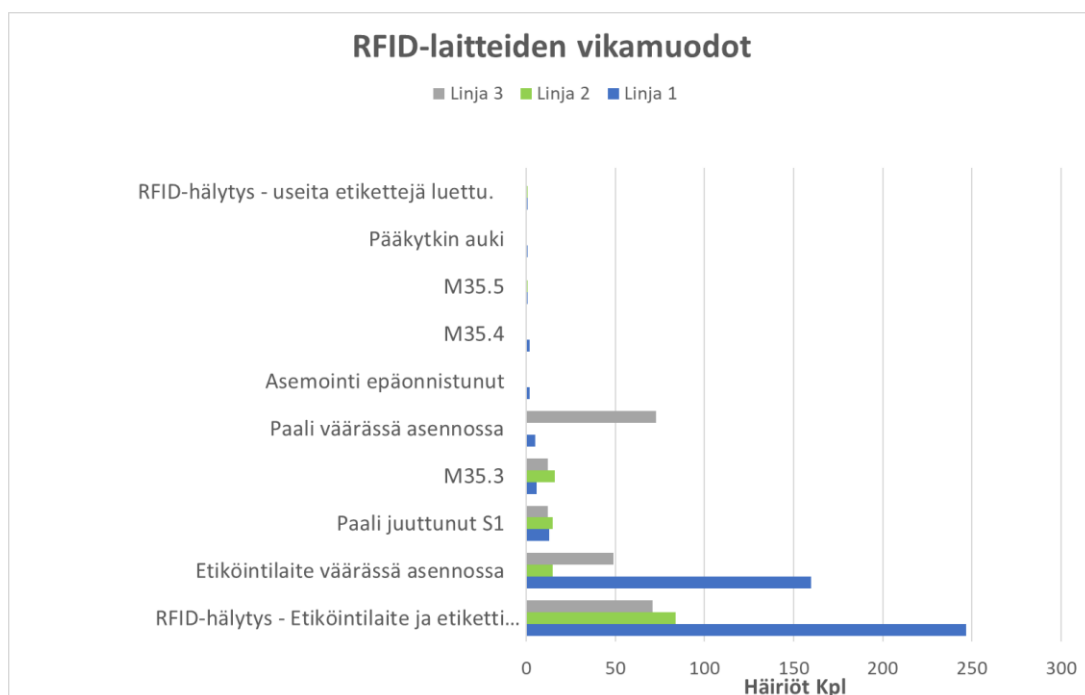
Kuvio 19. Sitomakoneiden vikamuodot

Kotimaansitojat

Kotimaanpaalien sidonta tapahtuu paalien ladonnan jälkeen. Paalipinon ympärille sidotaan kolme kappaletta rautalankoja. Kotimaansitojien osalta ei ollut seuranta häiriötaajuudesta, sillä laitteena sitä kuormitetaan muihin verrattuna erittäin vähän johtuen tuotannon jakautumisesta viennin ja kotimaan välillä. Ongelmat olivat kuitenkin samoja mitä piensitojillakin, jotka edellisessä kappaleessa mainittiin, sillä laite on toimintaperiaatteeltaan täysin samanlainen. Häiriöiden esiintyvyys oli kuitenkin harvempaa, johtuen kotimaanpaalien vähemmästä määrästä tuotannossa. Havainnointijaksolla kotimaan paaleja ajaessa ilmeni useita ongelmia, jotka olivat lankahäkien kautta sitomayksikköön kohdistuneita hälytyksiä.

RFID-laitteisto

Laitteiden tehtävänä on kääntää paalia 90° astetta ja lisätä RFID-tarra 1/4 paaleista. RFID-laitteet olivat siis työn ainoat tarkasteltavat laitteet, joista ei ollut saatavilla häiriötaajuustietoa. Laitteen häiriömäärät olivat kuitenkin suurimpien häiriönaiheuttajien joukossa, joka selviää aikaisemmin työssä 6.5 luvussa olleista histogrammikuvauksista. Havainnointijakson ja häiriödatan perusteella linjan yksi RFID-laite oli selvästi häiriöherkin. Yhdessä muiden linjojen RFID-laitteiden kanssa ne työllistivät käyttökäyttökäyttöhenkilöitä useita kertoja vuoron aikana häiriökuittailujen takia. Vikamuodot RFID-laitteissa painottuivat muutamisiin yleisimpiin vikamuotoihin lyhyen keväällä 2020 otetun otantajakson ajalla. (Ks. Kuvio 20.)



Kuvio 20. RFID-laitteiden vikamuodot

Latojat

Latojan tehtävänä on pinota venti- ja kotimaanpaalit neljän paalin pinoiksi. Pinoaminen tapahtuu nostamalla paalia molemmilta puolilta ohuiden nostohaarukoiden

avulla. Paalin ollessa nostettuna tulee seuraava paali kuljettimen avulla nostettujen paalien alapuolelle, jonka päälle nostetut paalit lasketaan. Latojat kuuluivat tarkastelussa luotettavimpien laitteiden joukkoon, mutta vaihtelu linjoittain oli suurta. Linjan yksi latojan häiriötaajuuskeskiarvo oli 2138 paalia, joka oli joukon paras. Linjan kolme lukema oli 1657 paalia ja linjalla kaksi taajuuskeskiarvo oli selvästi alhaisin 1407 paalia. (Ks. liite 8.) Havainnointijakson aikana latojissa ei ilmennyt häiriöitä, eivätkä ne nousseet käydyissä keskusteluissakaan esille häiriö herkkyyden takia.

6.6.3 Paaliyksiköiden käsittelylaitteet

Paalikipit

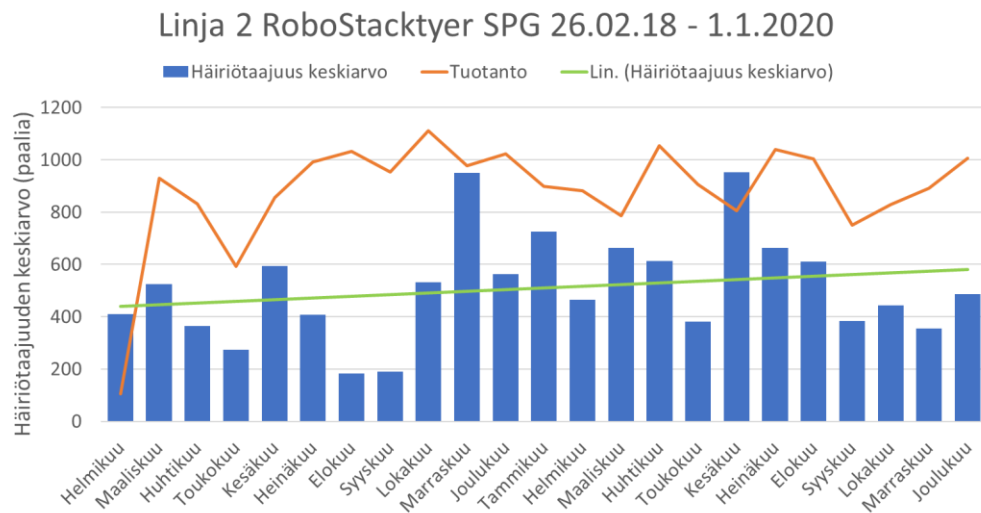
Paalikippien tehtävänä on kääntää kaksi neljän kappaleen peräkkäistä kotimaan paalipinoa pystystä vaakaan. Laitteen toiminta on yksinkertainen ja kuormitus tuotannon jakautumisen takia pientä, verrattuna joihinkin muihin paalaamon laitteisiin. Laite käsittelee vain kotimaan paaliyksiköitä. Luotettavuuslohkokaaviosta sekä tuotannon jakautumisesta linjoittain voitiin todeta paalikippi yksi ja kaksi käsittelemät tuotantomäärät. Tässä laitteiden välillä oli huomattava ero, sillä paalikipin kaksi kautta kulki linojen kaksi ja kolme tuotanto käsittäen yli 60 % koko tuotannosta. Häiriökuvaajissa paalikipit olivat muita laitteita määrällisesti huomattavasti vähemmän häiriössä kappalemäärässä mitattuna. Osaltaan tämä varmasti johtui kotimaan paalien pienemmästä osuudesta kokonaistuotannossa. Mutta laitteiden välillä oli suuri ero, paalikipin yksi häiriökeskiarvon ollessa 1514 paalia ja paalikipin kaksi keskiarvo 884 paalia. (Ks. Liite 12.)

Vientiyksiköintilaitteet

Vientiyksiköintilaitteiden tehtävänä on puristaa ja sitoa kahdeksan käärittyä vientipaalia yhdeksi vientiyksiköksi. Työvaihe alkaa paaliyksiköiden puristamisella sivu ja pystysuuntaisesti hydraulikan avulla, jonka jälkeen sitomakone sitoo paalien ympärille kahdeksan rautalankaa. Tämän jälkeen kuljettimet siirtävät yksikön eteenpäin ja kierto alkaa alusta seuraavan yksikön tullessa koneelle.

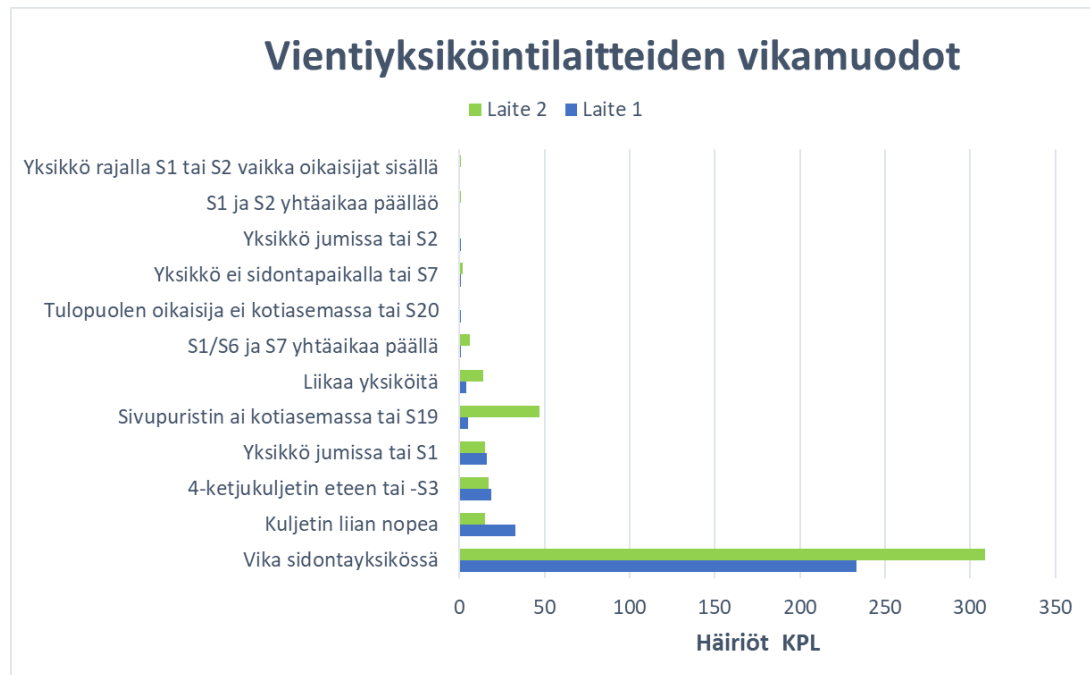
Vientiyksiköintilaitteissa on erillisenä vaihdettava sitomakone, joka toimii samalla periaatteella kuin muutkin tuotannossa olevat sitoajat. Eroavaisuuksia olivat vain paksumpi sitomisessa käytettävä lanka ja koneen fyysinen koko. Tuotannon käytössä on yhtäaikaaisesti kaksi sitomakonetta sekä yksi vaihdettava varakone. Niin kuin piensitojienkin kohdalla, ei vientisitojiakaan voitu seurata kovin tarkasti. Niiden häiriöt olivat tallentuneet koko vientiyksiköintilaitteelle, eikä niitä ollut eroteltu toisistaan tarkempaa tarkastelua varten. Vika ja huoltoraportointi oli toteutettu ruutuvihkon avulla, johon kirjaamiset olivat laadultaan vaihtelevia.

Luotettavuuslohkokaaviosta ja tuotannon jakautumisesta, jotka käsiteltiin aikaisemmissa luvuissa, voitiin havaita tuotannon kulkevan yli 60 % vientiyksiköintilaitteen kaksi kautta. Tämä johtui siitä, että laitteen oli käsiteltävä linjojen kaksi ja kolme tuottamat paalit. Laitteista kerätystä häiriödatasta tehdyt laskelmat osoittivat, että vientiyksiköintilaitte kaksi oli puolet useammin häiriössä, kuin vientiyksiköintilaitte yksi. Dataa tarkemmin tarkasteltaessa voitiin myös todeta, että vientiyksiköintilaitteen kaksi häiriöt olivat painottuneet yli 80 % alle 826 käsitellyn paalin, kun taas vientiyksiköintilaitteen yksi häiriöjakauma oli huomattavasti tasaisempi (Ks. Liite 11). Kuviossa 21 on tarkempi kuvaus vientiyksiköintilaitteen kaksi häiriökeskiarvon kehityksestä tarkastelujakson aikana. Tästä nähtiin pienin kehitys suurempaan keskiarvohäiriötaajuusväliin, mutta laite oli siitä huolimatta koko paalaamon epäluotettavin yksittäinen laite.



Kuvio 21. Häiriötaajuuden kehitys vientiyksiköintilaite linja 2

Keväällä 2020 tehdyn lyhyen häiriötietotarkastelun perusteella laitteiden vikamuodot kohdistuivat lähes kokonaan sitomayksikköön (Ks. Kuvio 22.). Suoritetun havainnointijaksen aikana ilmeni joitain kuljettimiin liittyviä häiriöitä, mutta niiden osuus kokonaisuudessa on hyvin pientä verrattuna sitomakoneen aiheuttamiin häiriöihin. Sitomakoneen ongelmat voitiin johtaa samalla kaavalla kuin pien- ja kotimaan sitojissaakin, eli lankahäkissä aiheutuneisiin solmuihin, langan takertumiseen, jumittuneisiin syöttörulliin tai sitomayksikköön itseensä. Havainnointijaksolla oli useita edellä mainittuja ongelmia. Lisäksi ilmeni häiriöitä, jossa lanka oli takertunut yksiköintilaitteen sivupuristimien rakenteisiin aiheuttaen häiriön kuljettimelle tai sitomakoneen paikoitukselle paaliyksikön jumiutuessa laitteeseen. Käyttäjien kommenttien perusteella tällaisetkin häiriöt olivat melko yleisiä ja joissain tapauksissa oli takertunut lanka repinyt irti ohjukseen käytettäviä antureitakin, aiheuttaen pidempiaikaisen vikaantumisen.



Kuvio 22. Vientiyksiköintilaitteiden vikamuodot

6.7 Kunnossapidon työtilaukset ja vikailmoitukset

Paalaamoon kohdistettujen työtilauksien ja vikailmoitusten läpikäyntiin työn aikana ei käytetty paljoa aikaa, mutta nopean tarkastelun perusteella voitiin todeta ilmoitusten kohdistuvan eniten RFID laitteisiin, paalipuristimiin, kuljettimiin ja käärekoineisiin. Ilmoitusten laadussa olisi varmasti parantamisen varaa, mutta yhden yhteisen tekijän ilmoituksista pystyi nopealla tarkastelulla tekemään. Tämä oli eri kuljettimien ketjuihin liittyneet ilmoitukset, joita oli tallennettuna useita. Ketjuja oli ollut poikki ja löysällä, rattaita kulunut loppuun sekä kulutuskiskoja oli vaihdettu. Tuotannossa paljon häiriöitä aiheuttaneet sitomakoneet eivät nousseet listalta juurikaan esiin, jota voitiin pitää hieman yllättävänä tuloksena.

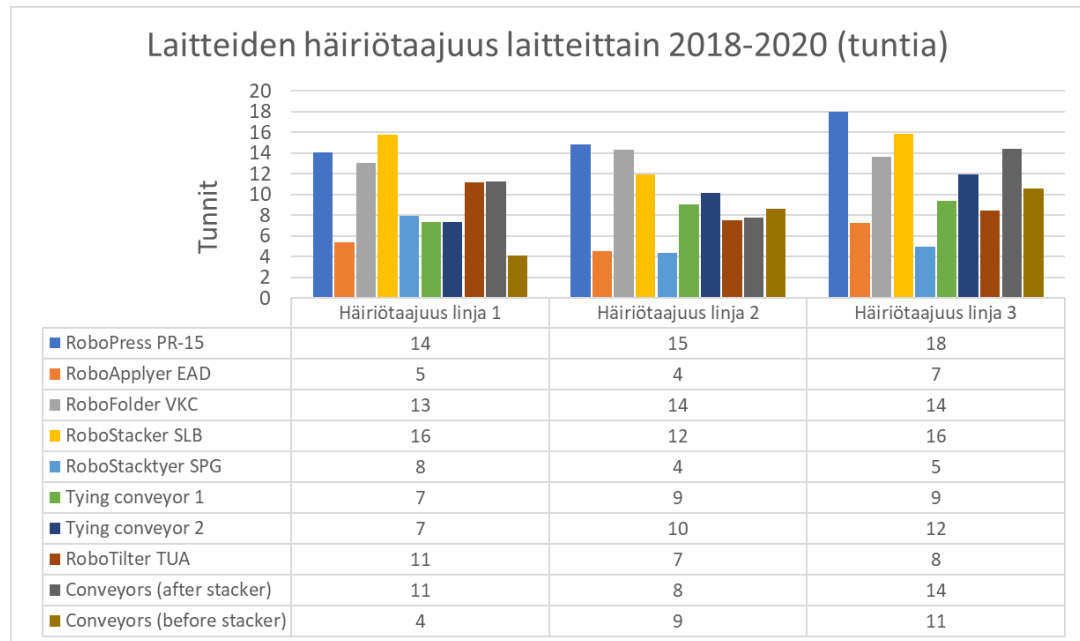
6.8 Yhteenveto

Luotettavuuslohkokaavion ja häiriödatan tarkastelun, osallistuvan havainnoinnin ja yleisen keskustelun sekä kunnossapidon työtilausten määrien tarkastelun tarkoituksena oli selvittää kohteet, joihin mahdollisia kehitystoimenpiteitä kannattaisi kohdistaa. Paalaamon nykytilasta voitiin tehdä johtopäätös, että tällä hetkellä tuotanto saadaan paalaamon osalta pääsääntöisesti käsiteltyä vaaditulla tavalla. Tuotantotavoitteiden saavuttaminen vaatii kuitenkin lähes jatkuvaa työtä laitteiden häiriötilanteiden selvittelyn ja kuittailujen osalta, varsinkin vientipaaleja ajettaessa. Nykyisillä häiriömäärillä tämän mahdollistavat luotettavuuslohkokaaviostakin ilmenevät seikat. Paalaamon tuotantokapasiteetti oli mitoitettu sietämään näinkin runsaita häiriömääriä, joka tässä tapauksessa käytännössä tarkoitti kolmatta käytössä ollutta paalauslinjaa sekä runsaita puskuri varastoja. Lisäksi tuotantoa voitiin joissain tapauksissa vaihtaa vienniltä kotimaalle tai toisin päin, mikäli vikaantumiset tarvittavilla laitteilla olivat pidempiaikaisia.

Toistuvien häiriönaiheuttajien poistamien kuitenkin vapauttasi työntekijöiden aikaa mm. ennakkohuoltojen laadukkaaseen toteuttamiseen ja toiminnan yleiseen kehittämiseen. Useat linjoilla esiintyneet häiriönaiheuttajat olisivat poistettavissa hyvinkin pienillä toimenpiteillä, eivätkä ne vaatisi suuria resursseja tai kehitysprojekteja niiden toteuttamisen osalta. Näiden niin sanottujen turhien häiriöiden poistamisella olisi positiivinen vaikutus tuotannon sujumisen, häiriödatan laadun, ja kunnossapidon kehittämisen kannalta. Tässä häiriödatan laadulla tarkoitetaan sitä, että nykytilassa kunnossapidon kehittämisen kannalta tärkeät todelliset häiriötiedot sekoittuvat edellä mainittuihin turhiin, jatkuvasti toistuviin ja jopa kroonistuneisiin häiriöihin, joilla ei välttämättä ole suoraa yhteyttä ennakoivan kunnossapidon toimenpiteisiin.

Asian havainnollistamiseksi, muutettiin häiriötaajuustiedot paaleista tunneiksi, tuotannon linjoille jakautumisen perusteella. Käytettävissä olevat tuotantotunnit jaettiin linjojen käsittelemillä kokonaispaalimäärillä, joista saatiin tulokseksi linjojen käsittelemät keskimääräiset paalimäärät tunnissa. Tästä saadut arvot jettiin paaleista mitatusta keskiarvohäiriötaajuudesta laitteittain, jonka tuloksena saatiin laitekohtainen

häiriötaajuuskeskiarvo tunteina. Arvoissa voi todellisuudessa olla pieniä vaihteluja johtuen vienti ja kotimaan paalien määrästä, mutta nykytilanteen havainnollistamiseksi ne ovat riittävän tarkkoja. (Ks. kuvio 23)



Kuvio 23. Häiriötaajuuskeskiarvot tunteina

Työssä suoritetun havainnointijakson aikana voitiin todeta kuvion 23 osoittamat arvot melko luotettavaksi. Esiin nousivat juuri ne työssä jo aikaisemmin esiteltyjen kuvaajien mukaiset epäluotettavimmat laitteet ja niiden aiheuttamat häiriöt. Tasaisesti vuorotellen esiintyneet häiriöt työllistivät käyttökäyttöhenkilöitä runsaasti vuorojen aikana, joten tähän verrattuna voitiin pitää työssä aiemmin esitettyjä lukuarvoja luotettavina ja todellisina.

Työn rajauksen takia työssä ei käsitelty yhtä paalaamon häiriölähdettä, joka oli kuitenkin merkittävässä roolissa kokonaisuuden kannalta. Työssä toteutetun osallistuvan havainnoinnin ja avoimen keskustelun perusteella ongelmat arkkileikkauksen laadussa aiheuttivat välittömiä häiriöitä paalaamon kaikilla linjoilla. Ongelmia aiheuttivat huonolaatuiset arkit ja käärepihot, jotka johtuivat leikattavan massan laadun vaihtelusta tai arkkileikkurin terien huonosta kunnosta tai säädöistä. Tämä ilmeni

arkkipinoissa reunojen kohoamisena, jotka paalipuristimelle mennessä osuivat rakenteisiin. Jos huonolaatuinen arkkipino ei pysäyttänyt linjaa jo paalipuristimella aiheutti se mahdollisesti ongelmia edempänä tuotannossa. Huonolaatuiset käärearkkipinot taas aiheuttivat tai ainakin lisäsivät toistuvia ongelmia käärekoneilla.

Seuraavassa luvussa käsitellään tarkastelun pohjalta valittuja kehityskohteita ja mahdollisia toimenpiteitä. Kehitystoimenpiteitä ja kohteita valikoitaessa huomioitiin niin häiriöiden kokonaismäärät pareto-analyysiin perustuen, luotettavuuslohkokaavio, sekä havainnointijaksolla saadut käytännön kokemukset ja avoimien keskustelujen kautta esiin nousseet ongelmakohdat. Työssä toteutettu havainnointijakso olisi voinut olla pidempikin, jolloin tutkimuksen laatu olisi lisääntynyt, mutta kriittisimpien kohteiden ongelmiin saatiin tietoa riittävästi.

7 Käyttövarmuuden parantaminen

7.1 Kääre, sitoma ja RFID-laitteiden toistuvien häiriönaiheuttajien poistaminen

Yleisesti varsinkin kyseisissä laitteissa toistuvat häiriöt noudattavat aikaisemmin työssä luvussa 4.3 käsiteltyjä häiriöiden syitä ja niiden vähentämisessä olisi käytettävä luvussa esitettyjä menetelmiä. Kyseisissä laitteissa suurin osa häiriöistä oli painottunut melko stabiilisti tietylle paalimäärälle. Vikamuotojenkin osalta painottuminen oli kohdistunut pääsääntöisesti samoihin vikojen aiheuttajiin. Joten tunnistamalla toistuvia häiriöitä aiheuttavien vikojen juurisyyt ja korjaamalla ne luvussa 4.3 esitetyillä toimenpiteillä, voitaisi käyttövarmuutta parantaa todella merkittävästi.

Käärekoneet

Käärekoneilla suurin osa häiriöistä liittyi arkin väärään asentoon tai arkit eivät olleet tarttuneet kunnolla imukuppeihin, joilla ne nostetaan koneeseen. Tarkastelujaksolla esiintyi kymmeniä samanlaisia tapauksia, jossa ensimmäinen käärearkki oli jäänyt

käärekoneen kuljetinketjujen päälle. Tämä ongelma jouduttiin jokainen kerta korjaamaan pudottamalla käärearkki käsin oikealle paikalle, ennen paalin tuloa koneelle käärittäväksi. Pienillä parantavan kunnossapidon toimenpiteillä saataisi karsittua kymmeniä turhia häiriöitä vuorokaudessa liittyen käärekoneisiin.

Käärekoneiden toiminta ja häiriöt vaatisivat kuitenkin tarkempaa tarkastelua sekä juurisyiden löytämistä, joiden perusteella voitaisi määrittää tarvittavat muutokset koneen luotettavuuden parantamiseksi. Tämä olisi kokonaisuuden kannalta todella merkittävää, sillä yhdessä sitomakoneiden ja RFID-laitteistojen kanssa ne muodostivat linjojen eniten häiriöitä aiheuttaneen ryhmän.

Sitomakoneet

Sitomakoneissa toistuvia häiriöitä aiheuttivat lankahäikeissä muodostuneet solmut, lankojen takertuminen ahtaisiin langanohjauskehiin, sekä mahdolliset ongelmat sidontayksikössä. Näistä ensimmäisenä tulisi saada poistettua tai ainakin vähennettyä solmuja sekä lankojen turhia takertumisia langanohjauskehiin. Nämä vääristävät häiriödataa esiintymällä tietojärjestelmässä samoina vikoina mahdollisten todellisten mekaanisten tai automaatio vikojen kanssa, mikä vaikeuttaa todellisen vian löytämistä sitomakonekokonaisuuksissa. Näitä ongelmia esiintyi tasaisesti niin piensitojilla, kotimaansitojilla sekä vientiyksikkösitojilla, joten kehitystyöllä olisi vaikutusta useampaan kohtaan tuotannossa.

Lankahäkkien kehittämistä ja muokkaamista niin, ettei lankoihin pääsisi muodostumaan solmuja, sekä langanohjauskehien avartamista tai muokkaamista toimivimmiksi tulisi pohtia mahdollisimman nopeasti. Nämä ongelmat ovat täysin turhia, käyttöhenkilöitä runsaasti työllistäviä sekä turhauttavia ja varmasti vähennettävissä hyvinkin yksinkertaisilla ratkaisuilla, ilman valtavia resursseja vaativia kehitysprojekteja. Ennen näiden ongelmien vähentämistä tai poistamista kokonaan, on turhaa alkaa käyttää resursseja sitomakoneiden tai sitomapäiden ennakkohuollon tarkempaan suunnitteluun tai seurantaan.

RFID- laitteisto

Häiriöiden kokonaismäärässä mitattuna RFID- laitteistoon kohdistui merkittävä määrä häiriöitä, joka ilmeni selvästi työn havainnointijaksollakin. Havainnoinnin perusteella voitiin todeta myös se, että linjan yksi laitteisto aiheutti eniten häiriöitä, jonka siis tilastotkin osoittivat. Laitteista ei ollut saatavilla häiriötaajuustietoa, jolloin luotettavuuksia tai tiheyksiä ei voitu laskea tai mallintaa. Tästä huolimatta voitiin jo pelkkien häiriömäärien perusteella todeta, että häiriöitä esiintyy turhan paljon ja niiden syytä tulisi alkaa selvittämään tarkemmin. Olisi selvitettävä juurisyyt suurille häiriömäärille ja onko niihin mahdollista vaikuttaa esimerkiksi tehokkaammalla käyttäjäkunnossapidolla tai muutoksilla laitteen toiminnassa.

7.2 Tuotannon tasoittaminen linjojen ja laitteiden välillä

Tasaisen, tehokkaan ja laadukkaan ennakkohuollon toteuttamiseksi ja sen mahdollistamiseksi, olisi tuotantoa saatava kulkemaan tasaisesti kaikilla linjoilla. Tähän päättäisi tuotantolaitteiden ohjelmamuutoksilla alkaen siirtokuljetin yksi ja kaksi toiminnasta. Jotta linjoja voitaisi tulevaisuudessa huoltaa tasaisemmin riippumatta tuotannon tilanteesta, olisi siirtokuljetin yksi saatava palvelemaan käänntökuljetinta ja paalauslinjaa kaksi. Tästä olisi hyötyä myös mahdollisissa linjojen häiriötilanteissa, joissa se toisi tuotantoon joustavuutta ja vähentäisi hylkyluukun turhaa aukeilua.

Tuotannon tasoittaminen tulisi tehdä myös myöhempänä tuotannossa, jossa yksiköiden siirtokuljetin yksi olisi saatava siirtämään tuotantoa paalauslinjalta kaksi. Nykyisellä mallilla kulkee käsiteltävistä paaliyksiköistä yli 60 % paalikippi ja vientiyksiköinti kaksi laitteiden kautta, mikä jostain syystä ilmeni negatiivisesti myös esiintyneiden häiriöiden tiheydessä. Tälläkin toimenpiteellä olisi tasaisia ennakkohuoltoja mahdollistava ja tuotannon joustavuutta häiriötilanteissa lisäävä vaikutus tulevaisuutta ajatellen. Siihen onko nämä edellä mainitut toimenpiteet toteutettavissa tai kuinka suuria kustannuksia ne aiheuttaisivat ei työssä oteta kantaa. Kuitenkin tulevaisuutta ajatellen olisivat ne varmasti selvittämisen arvoisia vaihtoehtoja, tuotannon sekä kunnossapidon kehittämisen kannalta.

Tuotannon pullonkauloja tulisi myös tutkia tarkemmin. Työn toteutuksen ohessa tehdyn havainnoinnin perusteella tilanne linjoilla vaikutti ajoittain siltä, että asian tarkempi tarkastelu olisi syytä toteuttaa. Yleisesti tuotannosta sai kuvan, että ladonnan jälkeen paalit joutuvat odottamaan yksiköintilaitteille pääsyä, joka johtaa toimenpiteissään nopeamman linjan alkupään pysähtymiseen. Tarkemmassa tarkastelussa tulisi selvittää miksi pullonkauloja pääsi syntymään ja onko tuotanto kapasiteetin kannalta tarpeellista ajaa tuotantoa nykyisellä mallilla. Kaikkien laitteiden työvaiheiden nopeudet tulisi olla juuri oikein mitoitettuja suhteessa toisiin laitteisiin, sekä kuivauskoneen sen hetkiseen nopeuteen tuotantoa häiritsemättä.

Paalaamon ongelma ei ollut se, ettei tuotantokapasiteetti ollut riittänyt. Ongelmana olivat toistuvat häiriöt, joista huolimatta ei yksin pelkästään paalaamosta johtuen tuotantoa pääsääntöisesti jäänyt syntymättä. Joten tehtaan elinkaaren mittaiseen ajanjaksoon suhteutettuna, olisi mietittävä olisivatko nämä tuotannon joustavuutta lisäävät toimenpiteet yksi mahdollinen keino muiden joukossa, häiriöttömän ja tasaisen tuotannon varmistamiseksi. Tuotantolinjojen joustavuudella mahdollistettaisiin laadukas ennakoiva kunnossapito, jota voitaisi toteuttaa suunnitellusti, tehokkaasti ja tuotantoa häiritsemättä pieni alue kerrallaan.

7.3 Sitomakonehuollon kehittäminen

Aiemmin luvussa 7.1.1 todettiin sitomakoneiden kohdalla, ettei sitomakoneiden ennakoivan kunnossapidon kehittämiseen kannattaisi käyttää resursseja, ennen toistuvien todellisten vikojen etsintää vaikeuttavien häiriöiden vähentämistä tai poistamista kokonaan. Mutta mikäli toistuvia häiriöitä saadaan vähennettyä, olisi sitomakoneiden huoltotoiminta suunniteltava tarkemmin. Nykyinen malli ei pysty seuraamaan tarkemmin yksittäistä sitomakonetta, ja sen mahdollisia vikamuotoja, huoltokertoja tai vaihdettuja kulutusosia. Ruutuvihkomalli vikailmoituksissa ja huoltojen kirjaamisessa, ei ole paalaamon käyttövarmuusvaatimuksia tukevalla tasolla.

Vikatieto ja huoltoseuranta tulisi saada tarkemmaksi ja siirrettyä kokonaan kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään. Tietoa järjestelmään pitäisi tallentua konekohtaisesti aina, kun sitomakone poistetaan tuotannosta tai aina, kun huoltotoimenpiteitä on suoritettu. Järjestelmään tulisi pystyä kirjaamaan tarkasti vaihdetut kulutusosat ja suoritettut toimenpiteet. Tärkeää olisi kirjata myös tieto siitä, ettei koneen linjalta poistamiseen johtanutta syytä ilmennyt huollossa tehdyissä koeajoissa. Näiden tietojen avulla päästäisi jatkossa suunnittelemaan mahdollisia jaksotettuja kunnossapitotoimenpiteitä tunnistettujen vikamuotojen sekä kulutusosien eliniän perusteella.

Sitomakoneiden huollon kehittämiseen olisi erittäin hyvänä työkaluna tehtaalla jo käytössä olevan mobiili sap-toiminnanohjausjärjestelmän hyödyntäminen kenttätyöskentelyssä. Pienillä muutoksilla järjestelmään saisi sitomakoneiden seuraamiseksi valmiit valintaruudut tarkempaan ja laadukkaaseen raportointiin. Linjalta pois otettaessa käyttöhenkilö tunnistaisi sitomakoneen sovelluksen koodinlukijalla, jonka jälkeen valittaisi valmiit vikamuodot tai syyt tuotannosta poistamiselle ja tallennettaisi tieto järjestelmään. Näin huoltoa suorittava kunnossapidon henkilö pääsisi heti käsiksi koneessa ilmenneisiin ongelmiin, ja suoritettujen huolto tai korjaustoimenpiteiden jälkeen saman ilmoituksen voisi kuitata tehdyksi ja päättää työtilaus. Näin toimimalla voitaisi seurata tarkasti yksittäistä konetta, sille tehtyjä toimenpiteitä ja syntyneitä kustannuksia. On kuitenkin mainittava, ettei yksin hyväkään järjestelmä tai käytettävä toimintamalli toimi, jos niitä ei käytetä tai niitä käytetään väärin. Mutta jo olemassa olevia järjestelmiä kannattaisi pyrkiä hyödyntämään, varsinkin tässä tapauksessa, jossa toiminnan seuraaminen oli toteutettu ruutuvihkoon tehtävillä laadultaan vaihtelevilla kirjauksilla.

7.4 Kriittisimpien ketjukuljettimien ketjut

Kunnossapidon työ- ja vikailmoitusten sekä kunnossapidon ammattilaisten kommenttien perusteella tulisi kriittisimmille ketjukuljettimille hyödyntää laadukkaampia kuljetinketjuja. Ketjujen vaihtoa laadukkaampiin olikin aloitettu jo ennen työn valmistumista ja niiden toimivuutta tuotannossa oli alettu seuraamaan. Mikäli ketjuista saa-

dut käyttökokemukset ovat hyviä, tulisi ne vaihtaa kaikille paaleja käsitteleville kuljettimille, pois lukien arkkipuskurien kuljettimet ja käärearkkien käsittelyyn tarkoitettut kuljettimet johtuen niiden huomattavasti pienemmästä kuormituksesta. Laadukkaimmilla ketjuilla päästäisiin pidempiin käyttöikiin, sekä pidempiin huoltoväleihin. Tämä taas vapauttaisi kunnossapidon resursseja tärkeämpiin toimenpiteisiin ja säästöä syntyisi tätä kautta, vaikka ketjujen investointikustannus olisi huonolaatuisempia ketjuja suurempi.

Laadukkaampien ketjujen lisäksi kannattaisi ainakin kaikkein kriittisimpiin, eli paalipöydän, kääntö- ja siirtokuljettimien osalta tutkia onko kohteisiin saatavilla niihin soveltuvia ja luotettavia automaattisia ketjunkiristimiä. Näitä mahdollisesti hyödyntämällä toimintaa varmistettaisiin vieläkin tehokkaammin ketjujen pysyessä pidempään oikealla kireydellä, vähentäen ketjujen ja rattaiden kulumista. Vaihtoehtoa tulisi pohdita siksi, koska näiden laitteiden käytönaikainen huoltaminen, tarkastelu ja korjaaminen on mahdotonta ilman hylkyluokun aukaisua eli tuotannon kierrättämistä.

7.5 Yleiset kehityskohteet

Tuotanto- ja häiriödatan visuaalinen esittämien

Yksi mahdollinen käyttövarmuuden kehitys- ja ylläpitokeino olisi kerättyjen tuotanto- ja häiriötietojen ajantasainen esittäminen kuivaamon valvomon infonäytöllä. Ajantasainen seuranta mahdollistaisi toiminnan kehittämisen ja ongelmiin nopeamman reagoinnin osoittamalla ne kohteet, joissa ongelmia ilmenee tai alkaa ilmetä eniten. Nykytilassa päivän tapahtumia ja suurimpia ongelmatilanteita kirjataan vuoropäiväkirjaan. Vikatilanteista tehdään käytettävyyshavaintoja ja kunnossapitopyyntöjä toiminnanohjausjärjestelmään. Tämän toiminnan lisäksi ja tehostamiseksi olisi kerättyjen tuotanto- ja häiriötietojen esittämien visuaalisesti tehokas keino käyttövarmuuden kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi. Sillä lisättäisiin keskustelua ongelmien aiheuttajista ja niiden kehittämisestä käyttö- ja kunnossapito henkilöiden keskuudessa, ongelmien pysyessä konkreettisesti koko ajan näkyvillä. Toteutukseltaan tämä ei olisi varmasti kovinkaan vaikea toteuttaa, sillä tietoja tuotannosta ja häiriöistä kerättiin jo riittävän

kattavasti. Toteutuksessa kerätyt tiedot tulisi vain muokata mahdollisimman informatiiviseen ja selkeään muotoon, jotta ne palvelisivat käyttövarmuuden kehittämistä ja ylläpitämistä mahdollisimman tehokkaasti.

Ennakkohuoltojen tarkastelu ja kehittäminen kertyneiden kokemusten sekä vikatietojen perusteella

Paalamo ja sen laitteet muodostavat suuren kokonaisuuden, jossa suoritettavia ennakkohuoltoja on paljon ja niiden laadukkaaseen suorittamiseen kuluu runsaasti aikaa. Huoltotoimenpiteissä on varmasti paljon oikeita ja oikein mitoitettuja toimenpiteitä, joita kuitenkin tulisi pitää ajan tasalla kertyneiden kokemusten ja vikatietojen perusteella. Näin toimimalla voitaisiin vähentää turhaksi todettuja toimenpiteitä ja kohdistaa niistä vapautuneet resurssit enemmän huoltoon tarvitseviin kohteisiin. Kehittämistä tulisi tehdä pieninä palasina, kokemusten ja osaamisen lisääntyessä, jolloin osa-alue kerrallaan pienistä toimenpiteistä syntyisi merkittäviä vaikutuksia kunnossapidon- ja tuotannon tehokkuuteen.

8 Johtopäätökset ja pohdinta

Työn tavoitteena oli tutkia Äänekosken biotuotetehtaan kuivauskoneen kaksi paalamon käyttövarmuutta ja löytää sen avulla kriittisimmät laitteet, joiden toimintaa kehittämällä käyttövarmuutta saataisi paranemaan. Tutkimuksen avulla pyrittiin tulevaisuudessa tilanteeseen, jossa suunniteltua ennakoivaa kunnossapitoa pystyttäisiin suorittamaan mahdollisimman tehokkaasti, oikeisiin kohteisiin oikea-aikaisesti. Ennen tähän pääsyä oli kuitenkin tutkittava kohteen nykytilaa ja tunnistettava kohteet, joiden huono toimintavarmuus vaikeutti tuotantoa, ennakoivan kunnossapidon tehokasta ja laadukasta suorittamista sekä sen kehittämistä. Työn tuloksina saatiin käytettävissä olleen tuotanto- ja häiriödatan avulla tehty kvantitatiivinen aineisto, jonka avulla voitiin tehdä tarkempaa tarkastelua laitekohtaisesti tuotanto- ja häiriömääristä. Määrällisen ja laadullisen tutkimuksen yhdistelmällä, sekä tarkastelun tueksi

paalaamosta tehdyn luotettavuuslohkokaavion avulla, tehtiin toimenpide-ehdotuksia, joilla käyttövarmuutta voitasi kehittää ja ylläpitää.

Määrällisen aineiston aikaansaamiseksi jouduttiin työssä tekemään melko paljon laskentaa, jonka luotettavuudesta ei voitu antaa täyttä varmuutta. Kuitenkin vertailtaessa laskelmien avulla saatuja, määrällisen aineiston osoittamia tuotannon ongelmakohtia havainnointijaksolla esiin nousseisiin ongelmiin ja häiriöihin, voitiin laskelmien luotettavuutta tarkastella kokonaisuutena. Työn aikana suoritettun kvalitatiivisen tutkimuksen, eli toiminnan havainnoinnin ja avoimien haastattelujen perusteella todettiin määrällisen aineiston osoittamat tuotannon ongelmakohdat todellisiksi ja nopeaa kehitystä kaipaaviksi. Edellä mainitun vertailun perusteella voitiinkin määrällistä aineistoa ja niihin tehtyjä laskelmia pitää melko luotettavina.

Työn tavoitteet ja tutkimuksen tarkempi kohdistaminen aiheuttivat aluksi hieman ongelmia, johtuen kohteen laajuudesta ja sen toiminnan syvemmän ymmärryksen puutteesta sekä toimeksiannon antamista laajoista mahdollisuuksista työn toteutuksessa. Alun vaikeuksien jälkeen alkoivat kuitenkin todelliset ongelmat hahmottua, joihin olisi voinut käyttää vieläkin enemmän aikaa laadullisen tutkimuksen osalta. Laadullista tutkimusta olisi myös voinut suorittaa useampien vuorojen kanssa, jolloin olisi saanut mielipiteitä ja kommentteja useammilta käyttäjiltä, mikä olisi lisännyt tutkimuksen luotettavuutta. Pidemmällä tarkastelujaksolla olisi saatu myös syvempää ymmärrystä esiintyneisiin vikamuotoihin ja niiden aiheuttajiin. Tätä kuitenkin rajoittivat tehtaalla kevään aikana asetetut koronarajoitukset, joilla minimoitiin tuotannon aikaiset ihmiskontaktit, joiden takia osa tiedoista ja kommentteista jäi työn osalta saamatta. Lisä haasteensa toi kevään aikana olleet työtaistelut, jotka viivästyttivät työn aloitusta ja valmistumista noin kahdella kuukaudella.

Työn tuloksia voidaan hyödyntää aloittamalla paalaamon käyttövarmuuden mahdolliset kehitystoimenpiteet tehdyn tutkimuksen mukaan valituista kohteista ja toimenpiteistä. Näihin voidaan hyödyntää kerättyä ja työn tarpeisiin muokattua määrällistä aineistoa, kohteiden mahdollisten kehitystoimenpiteiden vaikutuksien analysoinnissa, luvussa 4.3.3 esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Paalaamon käyttövarmuu-

den kannalta epäluotettavimpien laitteiden kehityksen jälkeen, voidaan jatkossa samoja periaatteita alkaa hyödyntämään muissakin laitteissa. Mutta kehitystoiminta on kuitenkin aloitettava prioriteetiltaan tärkeimmistä, kokonaisuuden kannalta merkittävimmistä kohteista, joilla on suurin vaikutus kokonaisuuteen. Näin toimimalla pyritäisiin parantamaan sekä ylläpitämään paalaamon käyttövarmuutta ja tuotannon kokonaistehokkuutta, joka omalta-osaltaan pyrkii vastaamaan tulevaisuudessa lisääntyvään sellun kysyntään ja mahdolliseen kiristyvään hintakilpailuun.

Mikäli työn tuloksien perusteella päätetään aloittaa kehitystoimenpiteitä ja niistä ehdittäisi saamaan positiivisia tuloksia, kannattaisi niitä pyrkiä hyödyntämään Metsä Fibren suunnittelemassa uudessa Kemin biotuotetehdashankkeessa. Varsinkin tilanteessa, jossa uuden tehdasinvestoinnin paalaamon laitetoimittaja, sekä laitteet pysyisivät samana Äänekosken paalaamon kanssa. Jo kertyneitä käyttökokemuksia ja tehtyjä kehitystoimenpiteitä tulisi ehdottomasti pyrkiä hyödyntämään, mahdollisuuksien mukaan jo investointivaiheessa. Sillä jo todettujen ongelmakohtien kopiointi ei olisi kovinkaan järkevää, mikäli on tarjolla laitteiden käyttäjiltä saatuja käyttökokemuksia, ja kehitysehdotuksia laitteiden toimintaan liittyen.

Kokonaisuutena oli opinnäytetyö hyvinkin onnistunut ja tarpeellinen kokonaisuus, jonka avulla voidaan aloittaa useita käyttövarmuutta parantavia toimenpiteitä tai kehitysprojekteja. Työn aikana yhdessä käyttö- ja kunnossapidon henkilöstön kanssa todettuja tuotannon ongelmakohtia ei kuitenkaan poisteta pelkillä selvityksillä tai toimenpide-ehdotuksilla. Tuotannon- ja kunnossapidon kokonaisvaltainen kehittäminen vaatii pitkäjänteistä ja systemaattista työtä ja konkreettisia toimenpiteitä kilpailukyvyn säilyttämiseksi.

Lähteet

Caverion. 2019. Bms yritysesittelymateriaali. Sisäinen. Viitattu 6.5.2020

Heinonen, K., Jantunen, E., Kautto, J., Kokko, V., Komonen, K., Lakka, S., Leinonen, P., Lumme, V., Miettinen, J., Mäkeläinen, R., Riutta, E. & Sulo, P. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.

Innovaatioiden sampo. 2019. Metsäteollisuus verkkosivusto. Viitattu 6.5.2020
<https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/tuotteet/innovaatioiden-sampo/>

Järviö, J., Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito, Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. p., uud. p. Kunnossapitoyhdistys Promaint. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 10. Helsinki: KP-Media.

Kananen J., Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. 2012. Toim. R. Heikkinen. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 134.

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas: Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kapur, K. C., Pecht, M. 2014. Reliability engineering. Hoboken, New Jersey: Wiley)

Kohti erinomaisuutta. 2019. Metsä Fibre verkkosivusto. Viitattu 6.5.2020
<https://www.metsafibre.com/fi/Arkisto/echo/Pages/Kohti-erinomaisuutta-Ismo-Nousiainen.aspx>

Laine, H., S. 2010. Tehokas kunnossapito. Helsinki: KP-media Oy.

McCool, J. 2012. Using the Weibull Distribution. John Wiley & Sons.

PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. painos. Helsinki: PSK Standardointiyhdistys.

Sellun valmistusprosessi. 2019. Valmet verkkosivusto. Viitattu 6.5.2020
(<https://www.valmet.com/fi/sijoittajat/valmet-sijoituskohteena/liiketoimintalinjat/sellu-ja-energia/sellun-valmistusprosessi/>)

Selluteollisuuden tulevaisuus. 2019. Metsä Fibre verkkosivusto. Viitattu 6.5.2020 <https://www.metsafibre.com/fi/media/Erinomaisuus-ja-Innovaatiot/Pages/Selluteollisuuden-tulevaisuus-nama-4-asiaa-muuttavat-markkinoita.aspx>

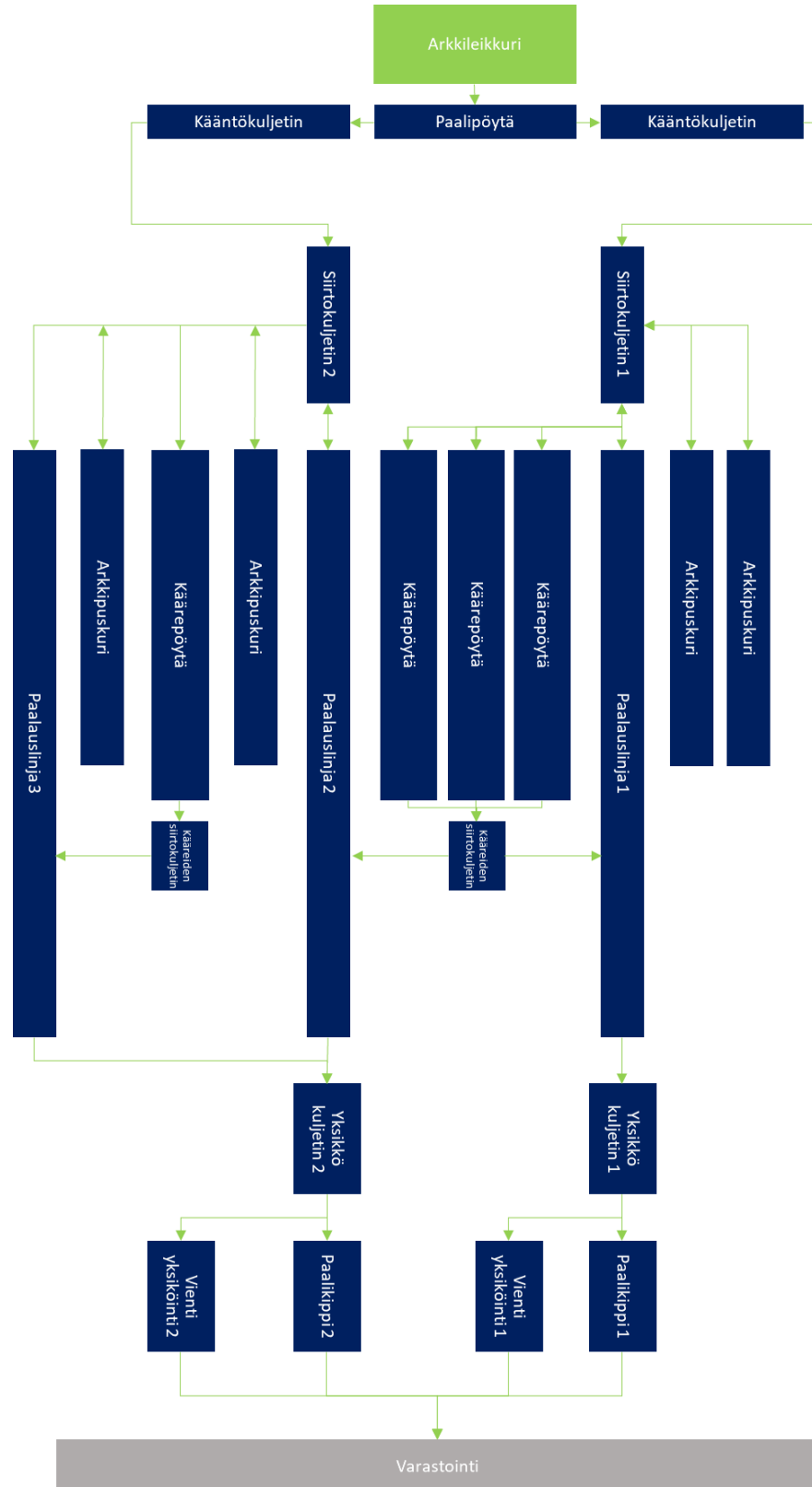
Smith, A. & Hinchcliffe, G.R. 2004. RCM: gateway to world class maintenance. Amsterdam: Butterworth-Heinemann.

Vaurautemme lähde. 2019. Metsäteollisuus verkkosivusto. Viitattu 6.5.2020 <https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/tuotteet/vaurautemme-lahde/>

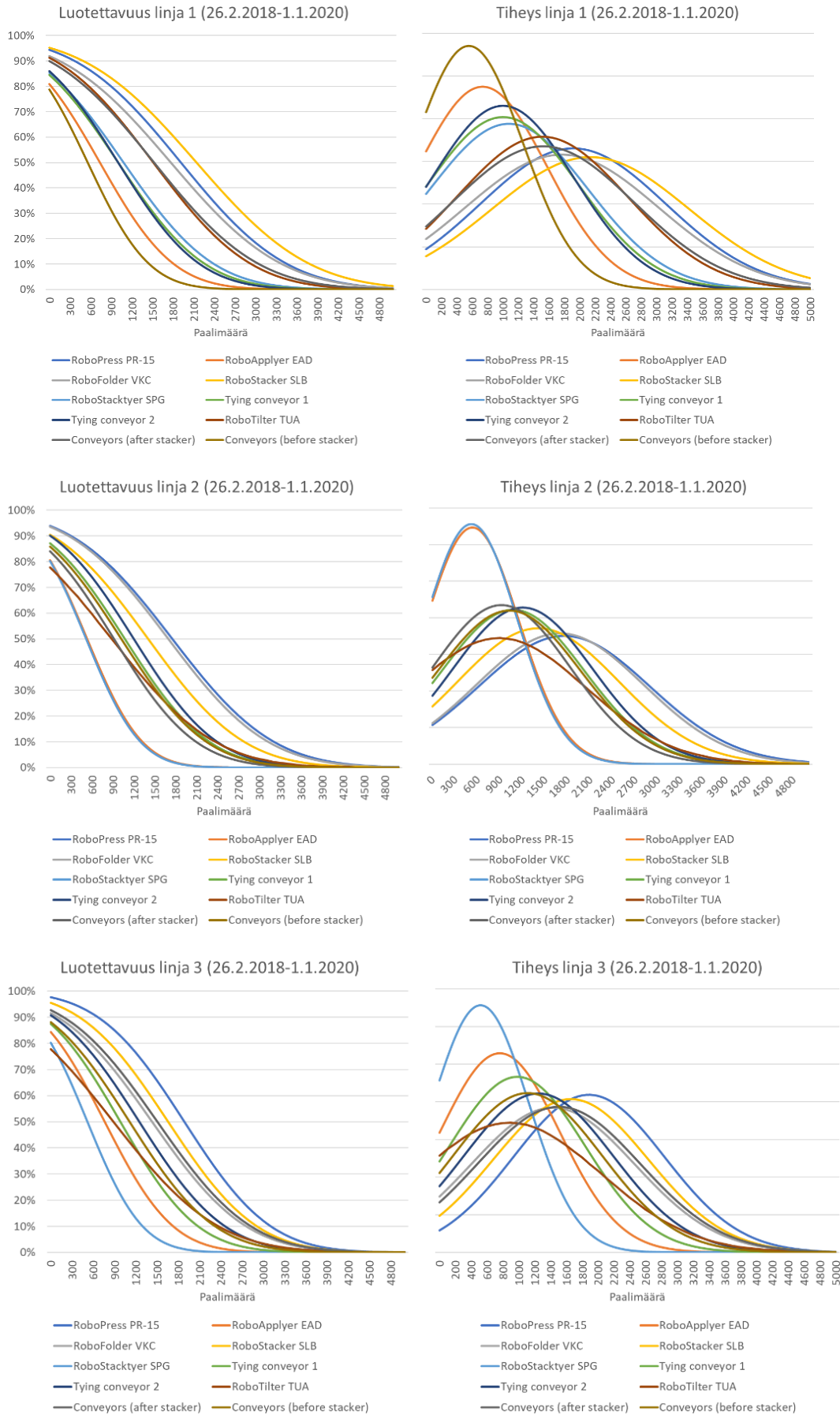
Biotuotetehdas. N.d. Metsä Fibre verkkosivusto. Viitattu 6.5.2020 <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Tuotantolaitokset/Biotuotetehdas/Pages/default.aspx>

Liitteet

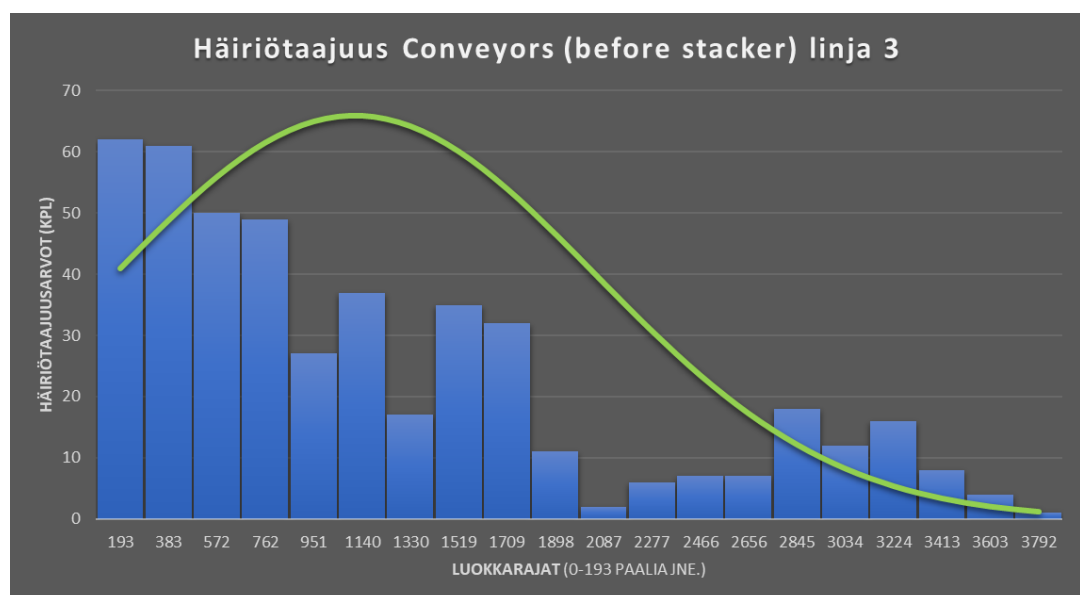
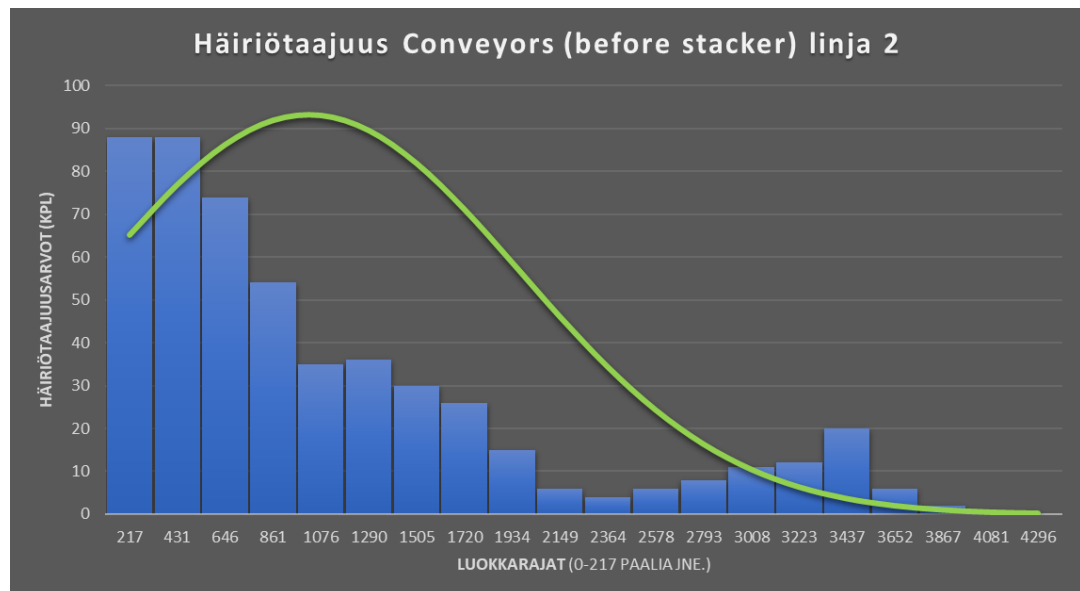
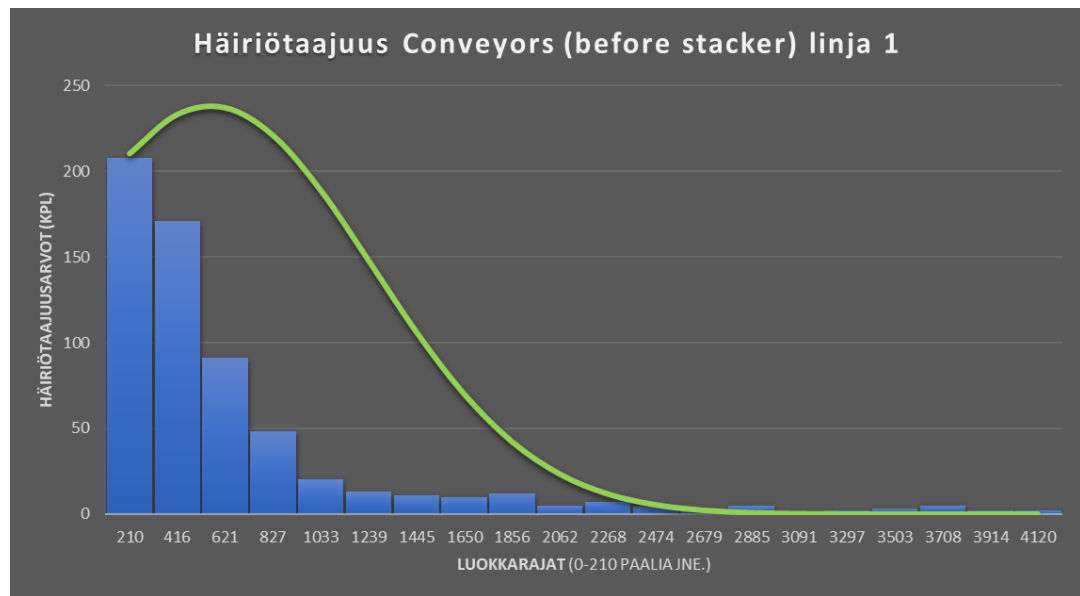
Liite 1. Paalaamon luotettavuuslohkokaavio



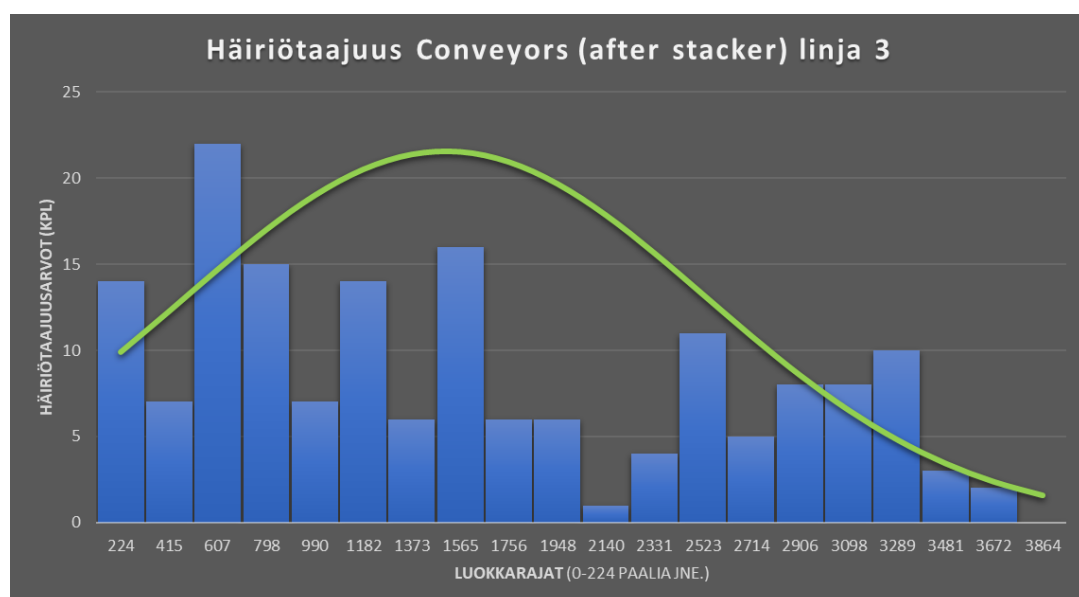
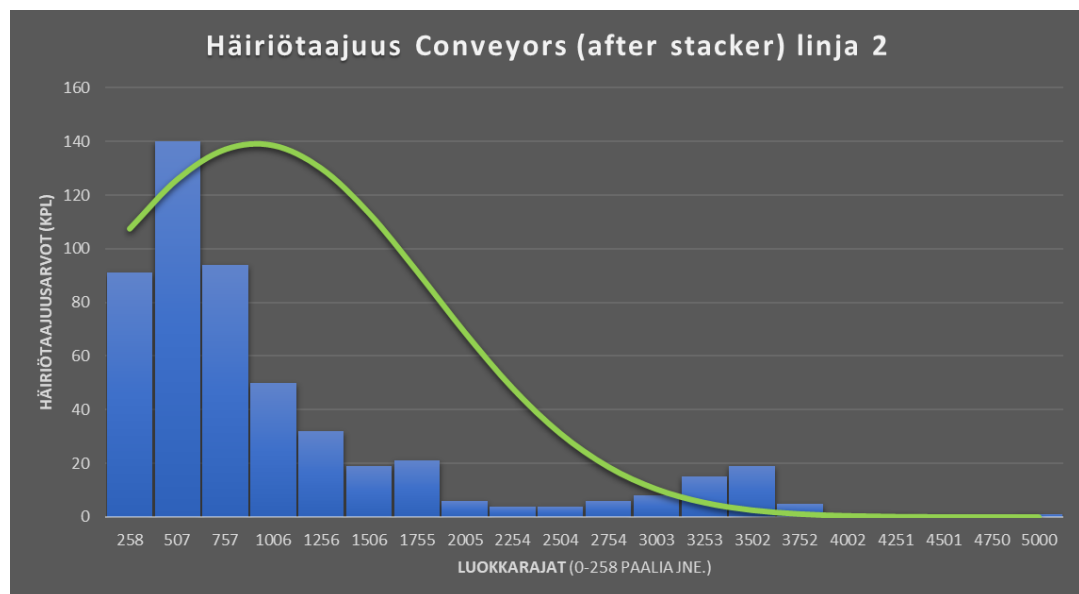
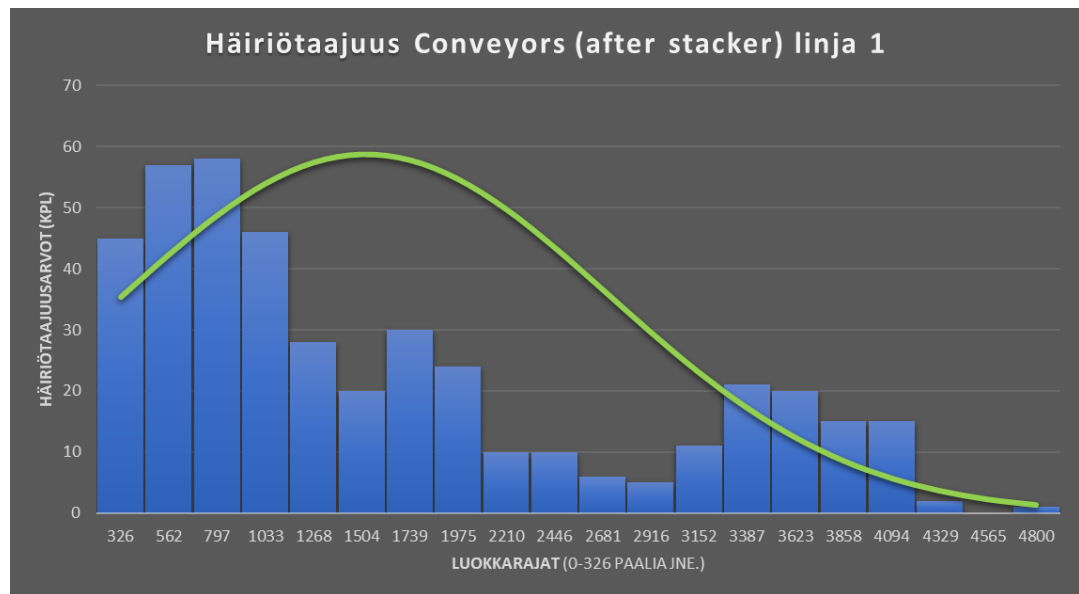
Liite 2. Luotettavuus- ja tiheyskuvaajat



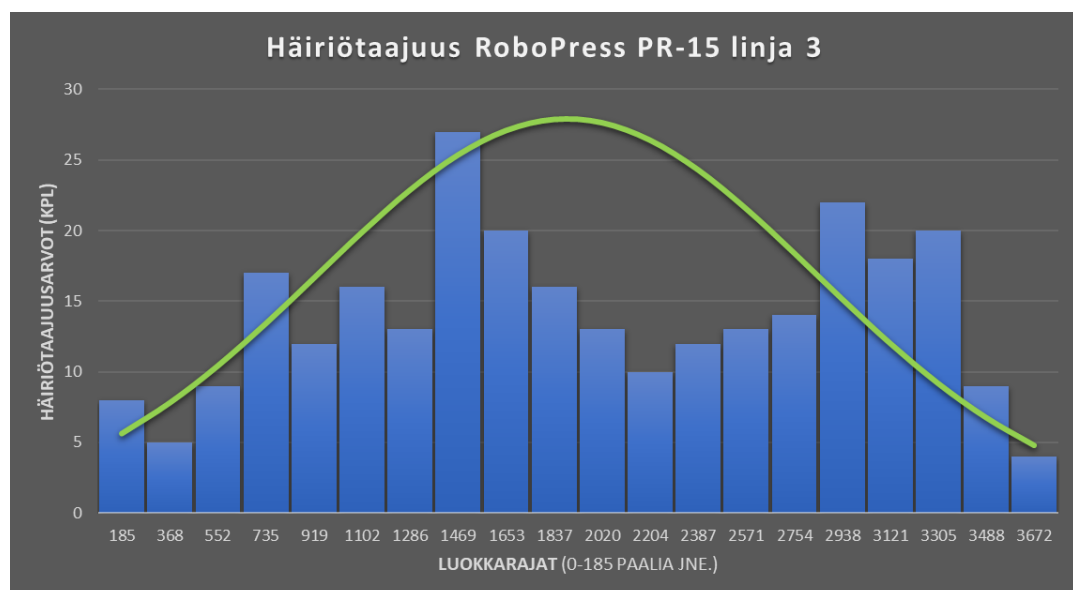
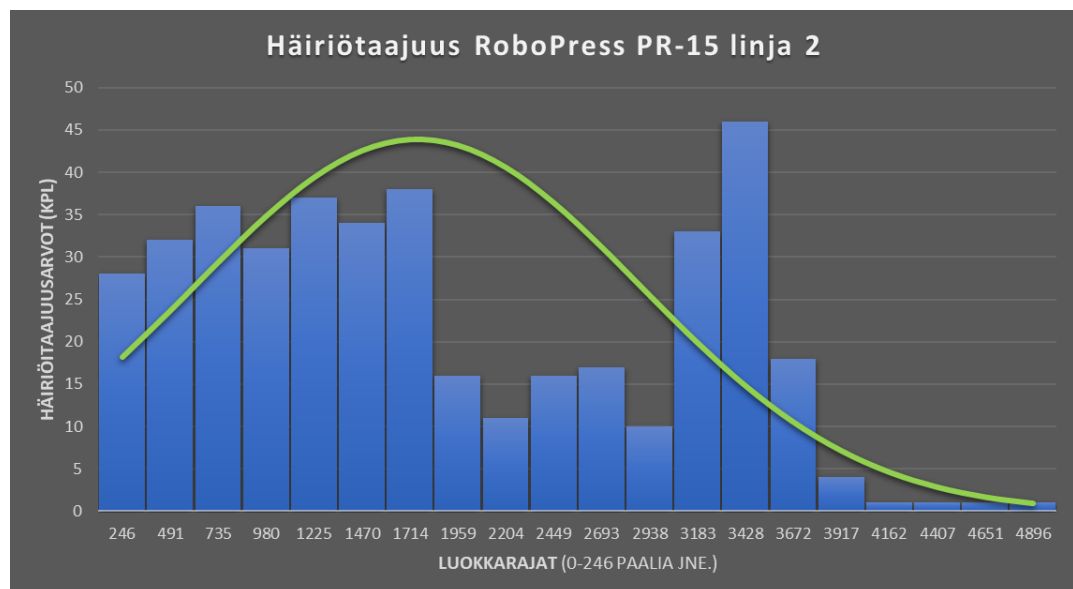
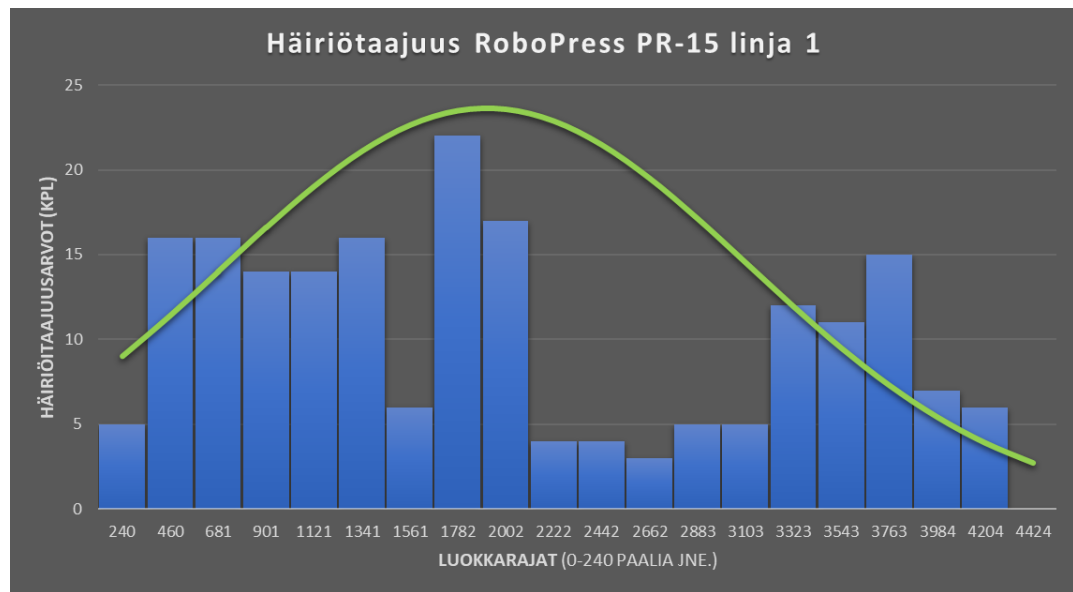
Liite 3. Häiriötaajuuksien histogrammi ja norm.jak kuljettimet ennen latojaa



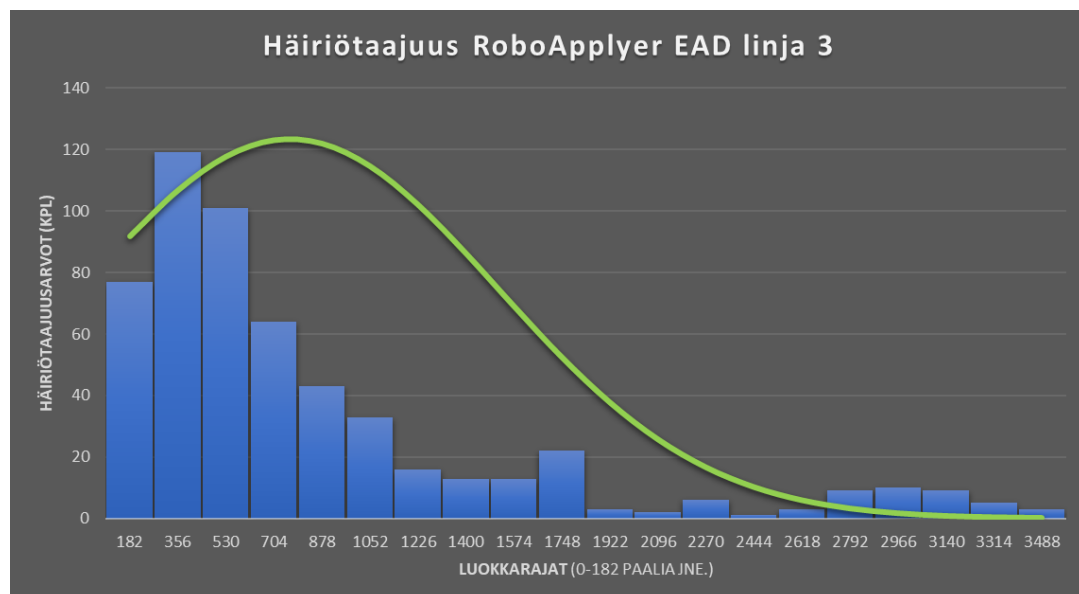
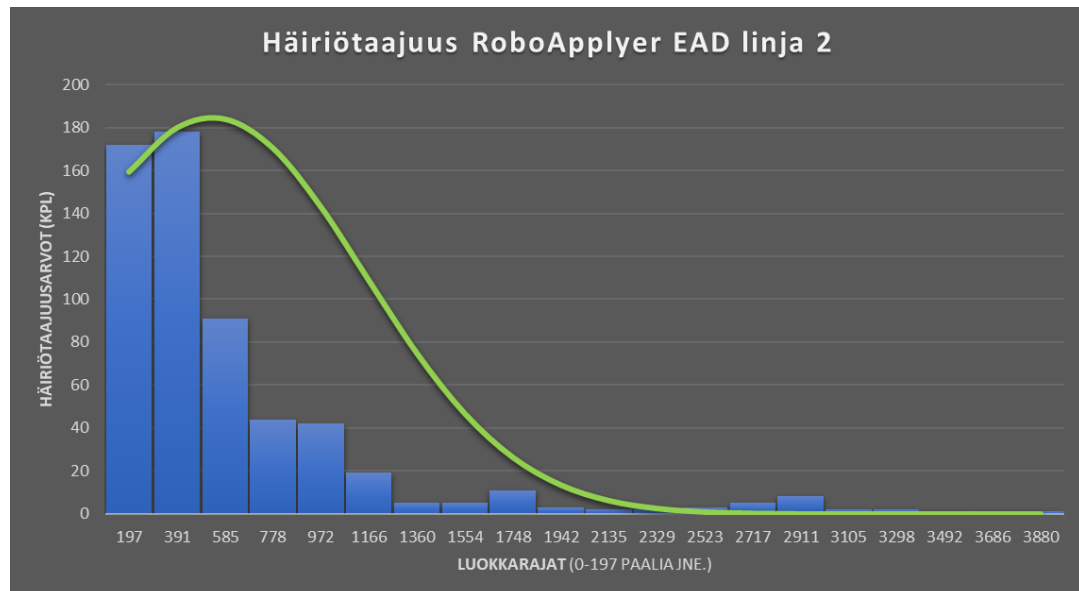
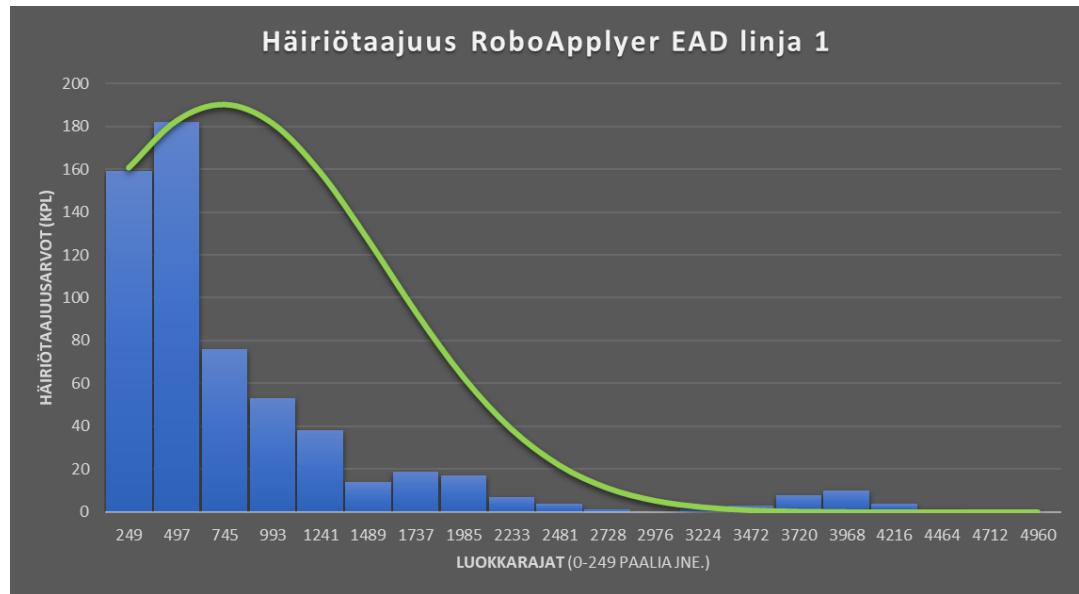
Liite 4. Häiriötaajuuksien histogrammi ja norm.jak kuljettimet latojan jälkeen



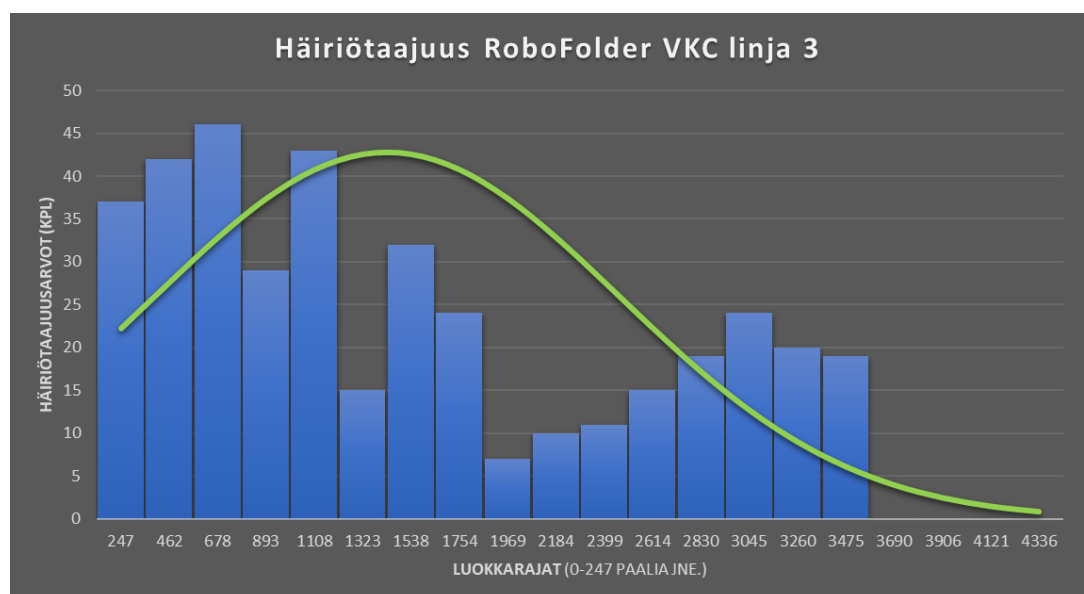
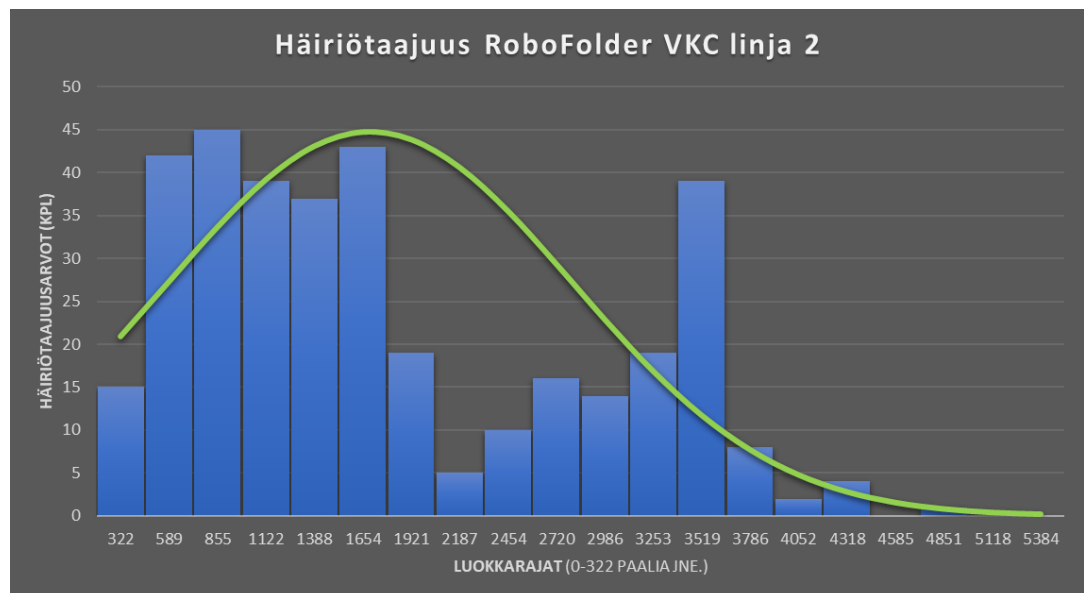
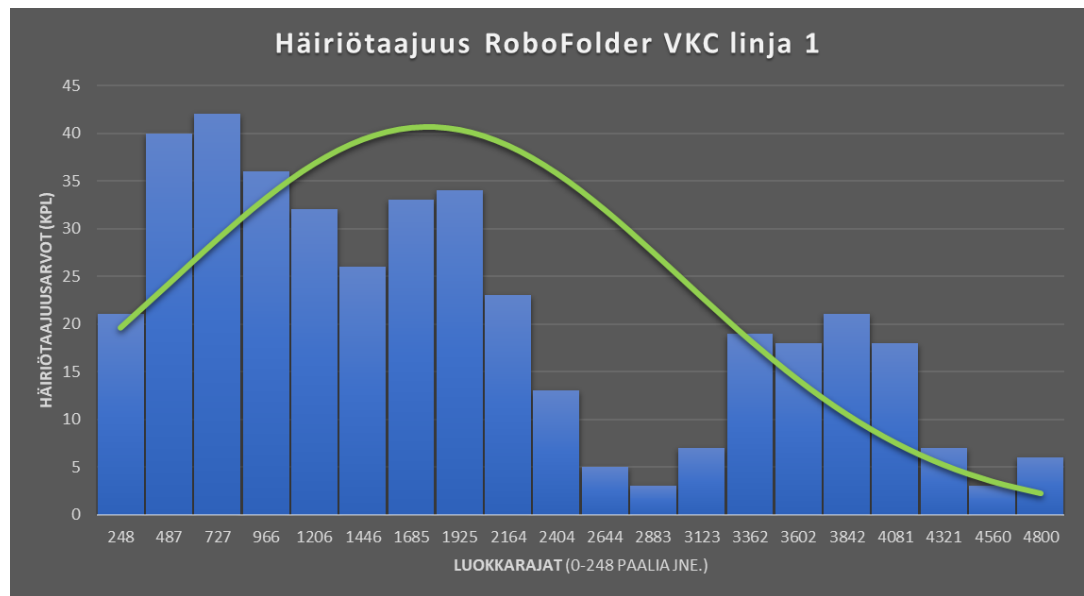
Liite 5. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma paalipuristimet



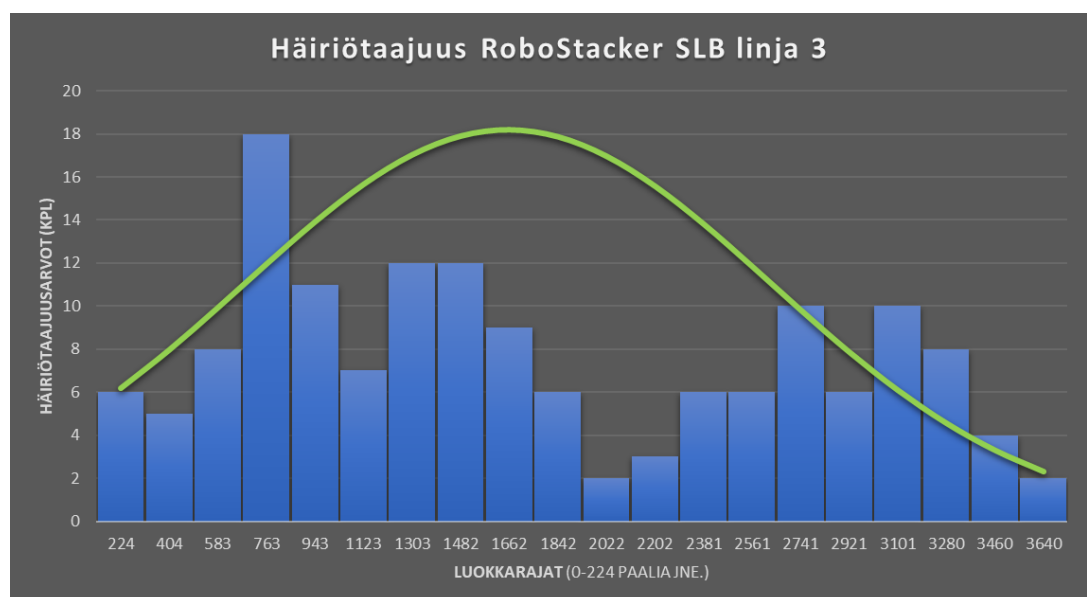
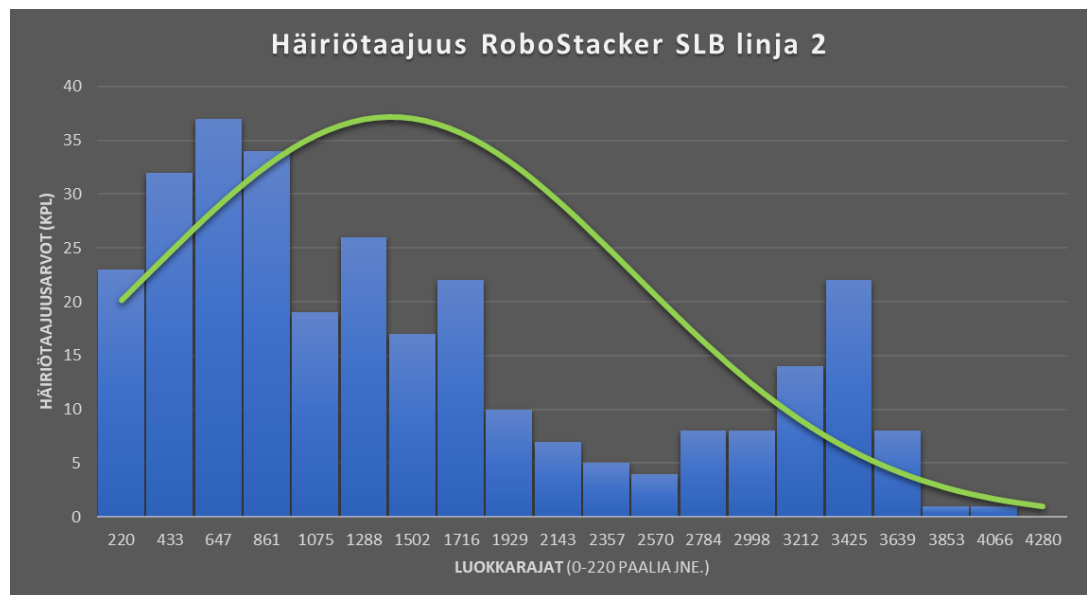
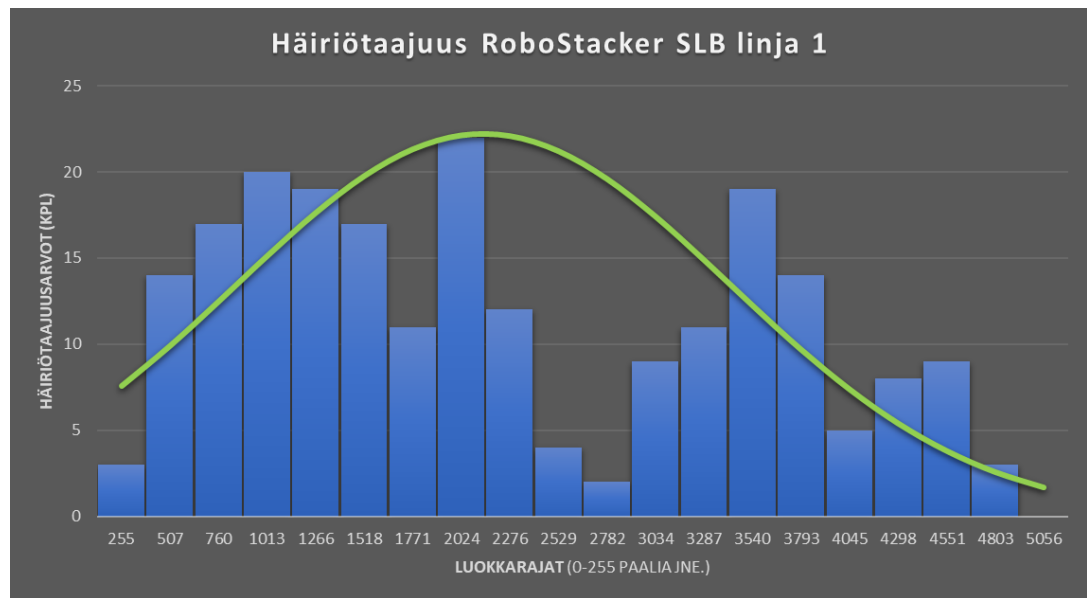
Liite 6. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma käärekoneet



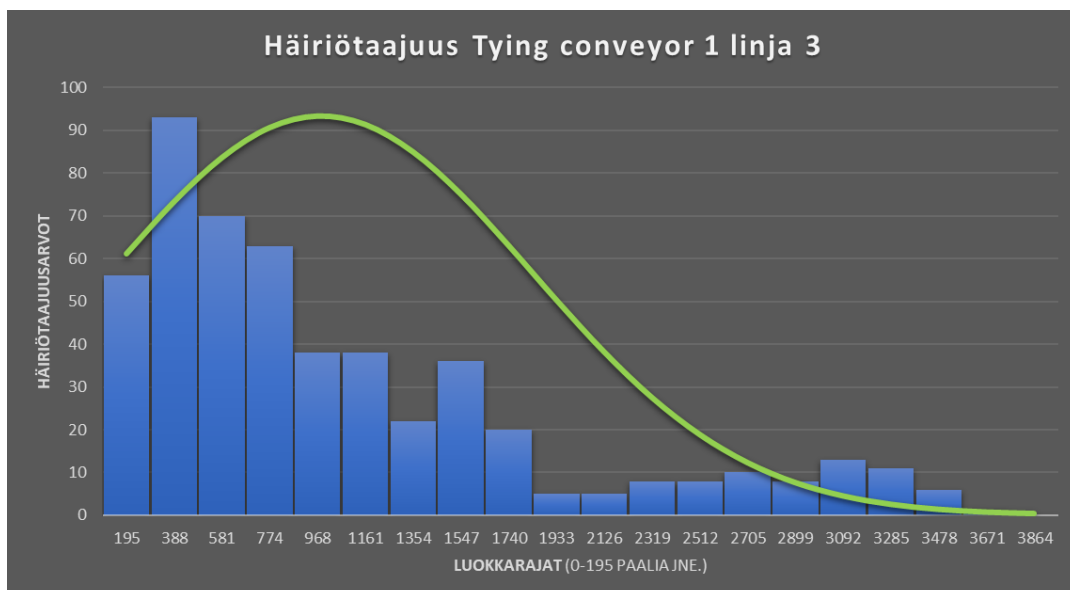
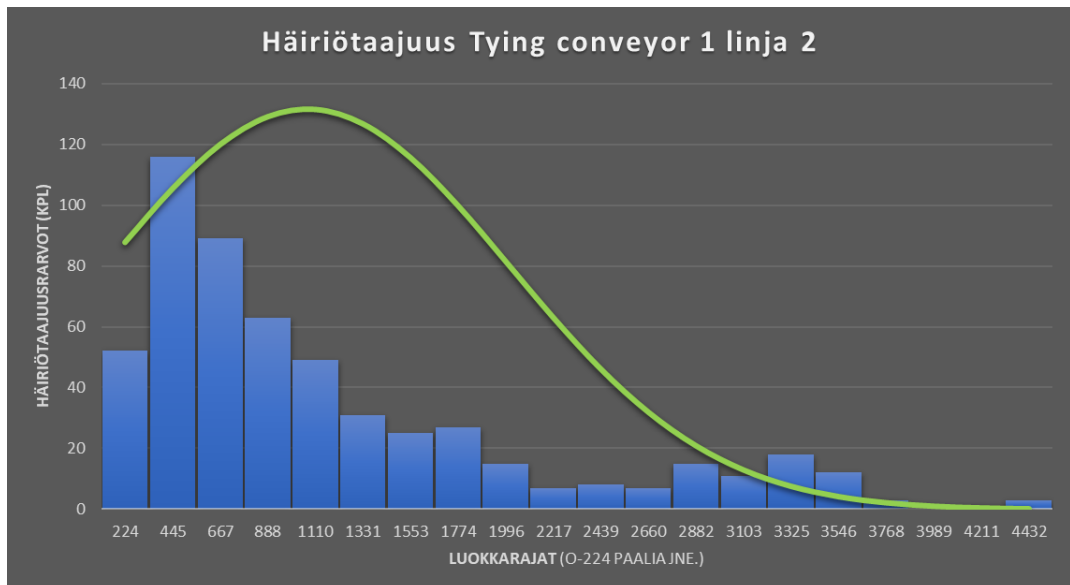
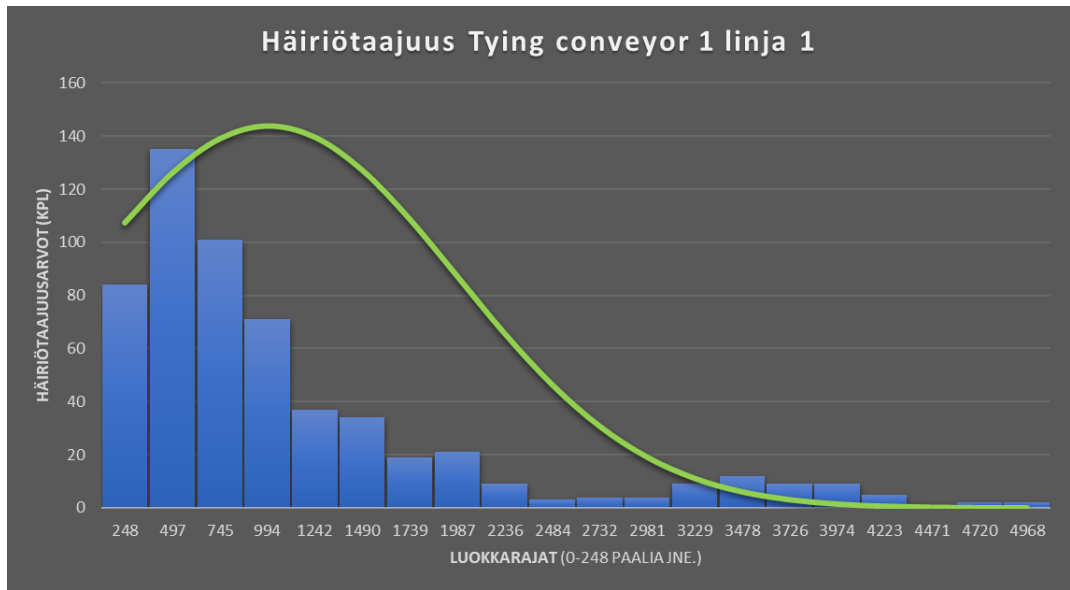
Liite 7. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma viikkaajat



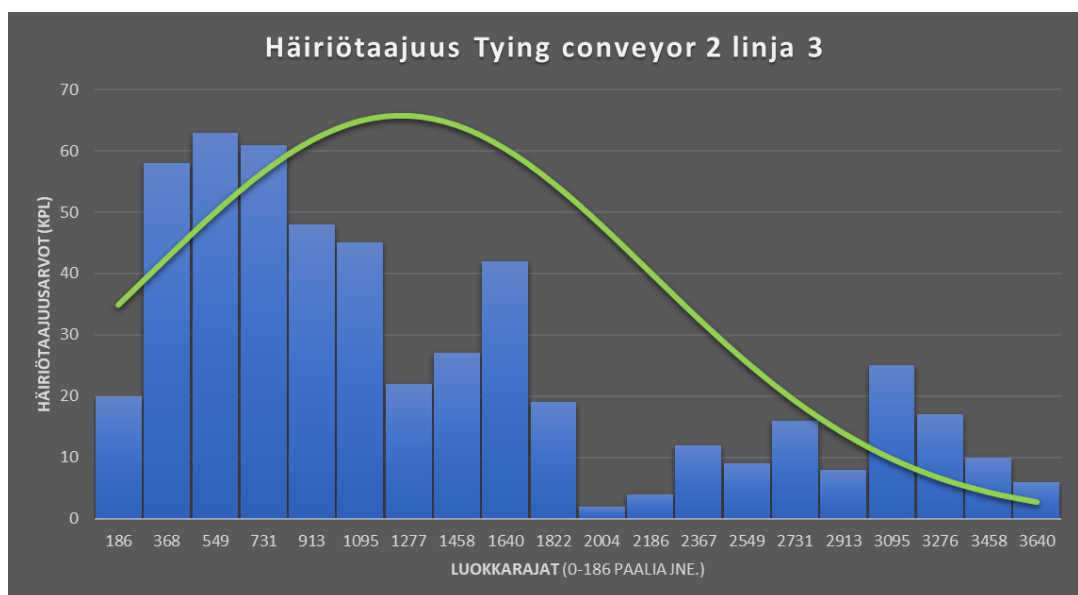
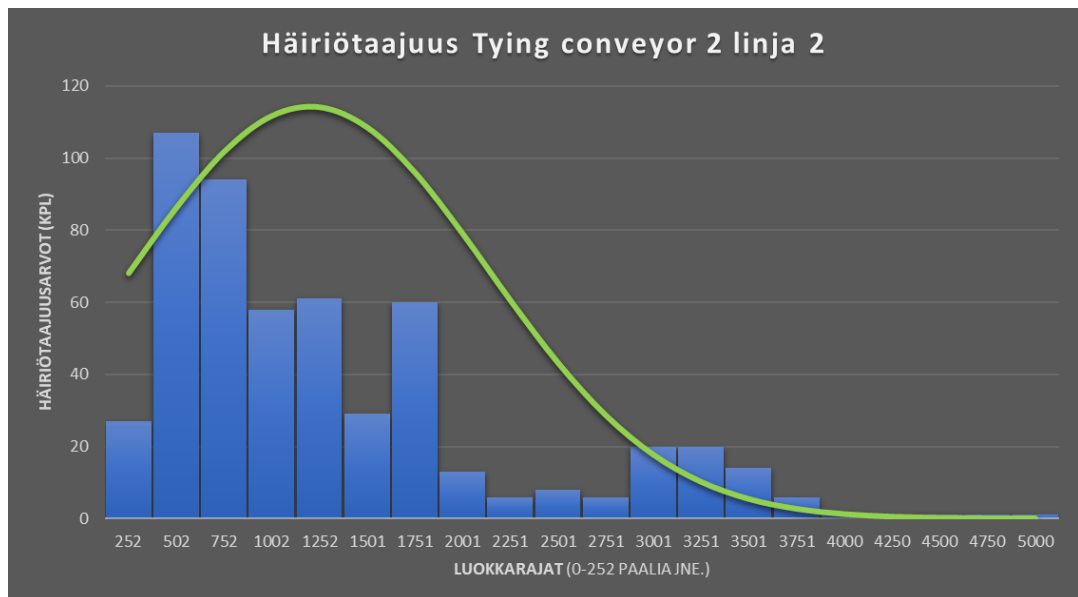
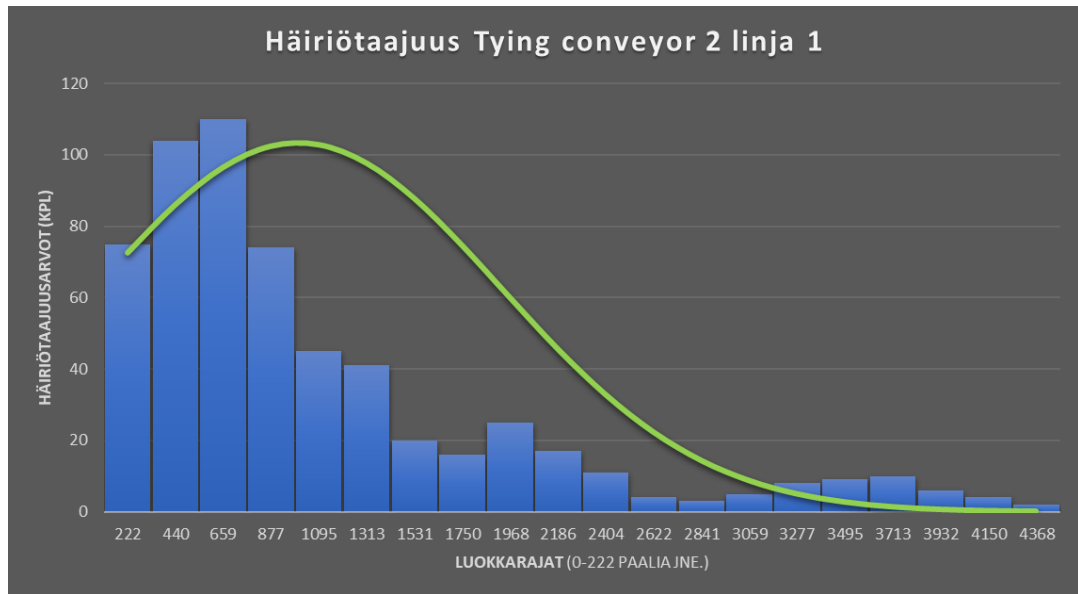
Liite 8. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma latojat



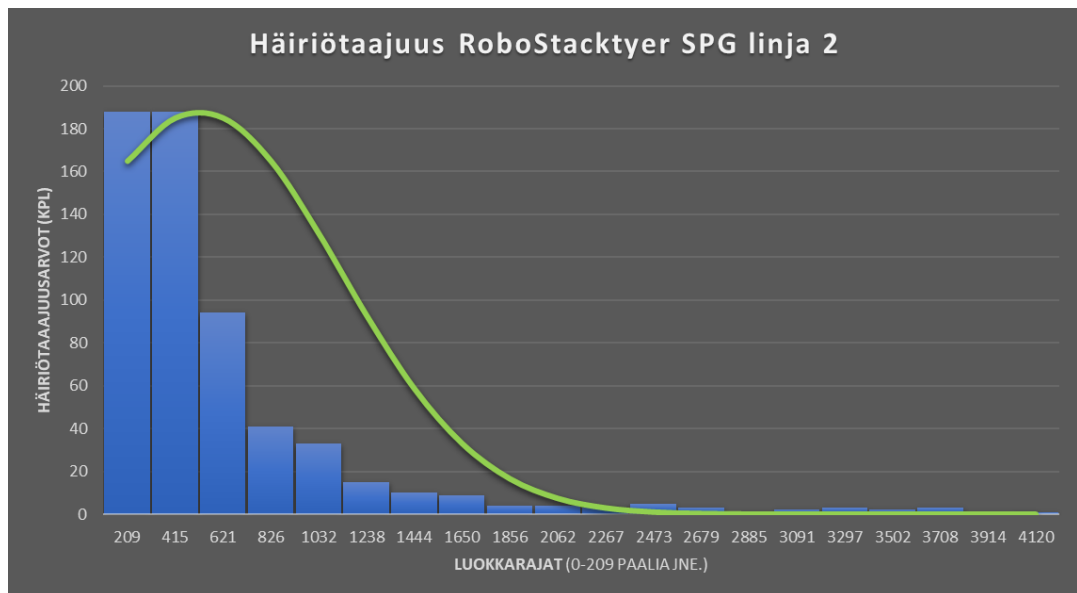
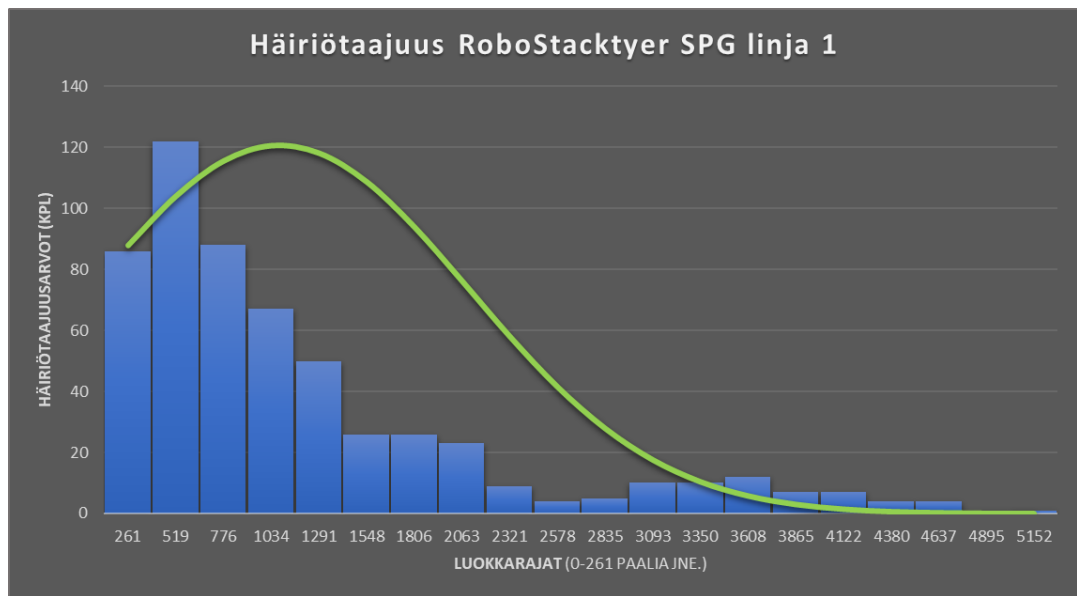
Liite 9. Häiriötaajuuksien histogrammi ja norm.jak sitomakoneet ennen viikkaajaa



Liite 10. Häiriötaajuuksien histogrammi ja norm.jak sitomakoneet viikkaajan jälkeen



Liite 11. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma vientiyskointilaitteet



Liite 12. Häiriötaajuuksien histogrammi ja normaalijakauma paalikipit

