



Tuotantotehokkuuden seuranta- järjestelmän kehittäminen ja implementointi

Veikka Rajala

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

RAJALA, VEIKKA:

Tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmän kehittäminen ja implementointi

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2024

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää ja implementoida tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmä toimeksiantajayrityksen kuivapaperin jalostuslinjalle. Tarkoituksena oli kehittää toimeksiantajayritykselle sisällöllisesti kuivapaperin jalostuslinjaa tukevan tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmän kuvaus ja tutkia, minkä tyyppiset tuotantotehokkuuden mittarit sopivat parhaiten osaksi seurantajärjestelmää. Implementoinnin kuvauksen tarkoituksena oli luoda seurantajärjestelmälle yksityiskohtainen rakenteen ja toimintaperiaatteen kuvaus, jonka pohjalta järjestelmä on mahdollista ohjelmoida. Tuotantotehokkuuden seuranta on monessa prosessiteollisuuden yrityksessä ajankohtainen teema, jonka avulla yritykset pyrkivät parantamaan tuotantotehokkuuttaan ja luomaan toiminnastaan kustannustehokkaampaa. Työn toimeksiantaja pyrkii tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmän tuomien etujen avulla kehittämään ja parantamaan liiketoimintaansa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää ja implementoida tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmä ja luoda kuvaus, jonka avulla seurantajärjestelmä voidaan ohjelmoida ja toimeksiantajayrityksen eri toimijat pystyvät seuraamaan kuivapaperin jalostuslinjan tuotantotehokkuutta. Tavoitteena oli luoda käyttäjäystävällinen ja informatiivinen seurantajärjestelmä, jonka avulla toimeksiantaja pystyy parantamaan jalostuslinjan tuotantotehokkuutta.

Opinnäytetyö oli toiminnallinen. Tutkimusaineistona hyödynnettiin erilaisista tietokannoista sekä toimeksiantajayritykseltä saatuja lähteitä. Toimeksiantajan kanssa pidettyjen palaverien ja kerättyjen lähteiden pohjalta pyrittiin luomaan yrityksen tarpeita vastaava seurantajärjestelmää kuvaava kehitys- ja implementaatiotyö.

Työn tulos, kehitetty ja implementoitu seurantajärjestelmäkuvaus, on erinomaisesti toimeksiantajan tarpeita vastaava kokonaisuus, joka luo mahdollisuuden ohjelmoida valmis tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmä. Ohjelmoituna seurantajärjestelmä mahdollistaa kuivapaperin jalostuslinjan tuotantotehokkuuden seurannan ja sen myötä tuotantotehokkuuden parantamisen. Järjestelmä on laajasti muokattavissa, ja sen kehittäminen sekä laajentaminen on tulevaisuudessa kannattavaa.

Asiasanat: tuotantotehokkuus, seurantajärjestelmä, jalostuslinja, kuivapaperi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Bioproduct Engineering

RAJALA, VEIKKA:

Development and Implementation of a Production Efficiency Monitoring System

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 5 pages
May 2024

The purpose of this thesis work was to develop and implement a production efficiency monitoring system for a pulp fiber airlaid nonwoven converting line of a client organization. The implementation of the developed production efficiency monitoring system was intended to describe the software structure and the operating principle of the system. As the need for production efficiency monitoring of machinery in processing industry is increasing, the client aims to improve its business and cost-effectiveness through production efficiency monitoring.

A functional research method was utilised in the thesis. The data were gathered from reliable sources such as university databases and the client company's files. To support the data analysis, discussions were carried out with the client company. The approach was used to create a development and implementation procedure to provide the client organization with a ready-made monitoring system description for programming.

The result of the thesis work was a complete description of the production efficiency monitoring system that provides comprehensive monitoring for the pulp fiber airlaid nonwoven converting line. The monitoring system can be utilized in production efficiency improvements and further upgraded and broadened for future needs.

Key words: production efficiency, monitoring system, converting line, airlaid nonwoven

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KUIVAPAPERIN JALOSTUSLINJA	8
	2.1 Kuivapaperi	8
	2.2 Jalostuslinja	10
3	TUOTANNON TEHOKKUUS	12
	3.1 Tuottavuus	12
	3.2 Käytettävyys, käyttöaste ja käyttösuhte	13
	3.3 Tehokkuus	14
4	TUOTANTOTEHOKKUUDEN MITTARIT	16
	4.1 OEE	16
	4.2 Rajatuotos	19
	4.3 Lean-tuotanto	20
5	TEHOKKUUDEN SEURANTAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN.....	22
	5.1 Tehokkuuden seurantajärjestelmä	22
	5.2 MES-järjestelmä.....	23
	5.3 Tehokkuuden seuranta	25
	5.4 Tehokkuuden syysseuranta	26
	5.4.1 Seisokkien syysseuranta	26
	5.4.2 Nopeuden syysseuranta.....	27
	5.4.3 Laadun syysseuranta	27
	5.5 Tehokkuuden raportointi	28
	5.6 Seurantajärjestelmä organisaatorakenteessa	32
6	SEURANTAJÄRJESTELMÄN IMPLEMENTOINTI	35
	6.1 Implementoinnin vaiheet	35
	6.2 Seurantajärjestelmän järjestelmärakenne	36
	6.2.1 Seisokkien järjestelmärakenne	36
	6.2.2 Tuotantotehokkuuden mittareiden järjestelmärakenne	37
	6.3 Seurantajärjestelmän toimintaperiaate ja moduulirakenteet.....	39
	6.3.1 Seisokit.....	39
	6.3.2 Tuotantotehokkuuden mittarit	43
7	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	47
	7.1 Pohdinta	47
	7.2 Seurantajärjestelmän vaikutukset	48
	7.3 Jatkotutkimusehdotukset.....	51
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	56

Liite 1. Tuotantotehokkuuden mittareissa käytettävän datan syötetiedot, koodit ja tarvittavat kaavat laskettaville suureille.....	56
Liite 2. Tiedon siirtymisen kaavio jalostuslinjalta seurantajärjestelmän raporttiin.....	57
Liite 3. Valittujen seisokkien virhekoodit, lisätyt syyt, selitteet, luokat ja osaprosessi.....	58
Liite 4. Kuivapaperilinjan logiikkaohjaimelta saatavat seisokkien virhekoodit (Hypap Oy, 2024)	59
Liite 5. Havainnekuva lopullisesta tuotantotehokkuuden raportista, jossa on kaikki implementoidut moduulit.	60

LYHENTEET JA TERMIT

OEE	tuotantotehokkuuden tunnusluku (eng. Overall Equipment Effectiveness)
MES-järjestelmä	tuotannonohjausjärjestelmä (eng. Manufacturing Execution System)
ERP-järjestelmä	toiminnanohjausjärjestelmä (eng. Enterprise Resource Planning)
PLC	logiikkaohjain (eng. Open Platform Communications)

1 JOHDANTO

Tehokkuus on tuotantoteollisuudessa paljon käsitelty ajankohtainen aihe, joka määrittää yrityksen tuloksen tuotannollisesti ja taloudellisesti. On selvää, että mitä tehokkaampaa tuotanto on, sitä enemmän valmistetaan myytäviä tuotteita ja yrityksen tulos kasvaa. Yleinen käsitys, että tuotannon tehokkuuden parantaminen tarkoittaa ainoastaan tuotannon nopeuden kasvattamista, ei pidä täysin paikkaansa. Tuotannon tehokkuus käsittää useita näkökulmia ja tuotannon tehokkuuden mittaaminen ja seuraaminen ovat vähintäänkin yhtä arvokkaita toimia yritykselle tuotannon tehokkuuden parantamisen rinnalla. Yrityksen tarpeita palvelevan seurantajärjestelmän kehittäminen ja implementointi on tärkeää pohjatyötä ennen seurantajärjestelmän lopullista käyttöönottoa sekä tuotannon tehokkuuden parantamista.

Tässä opinnäytetyössä kehitetään ja implementoidaan tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmä toimeksiantajayrityksen kuivapaperin jalostuslinjalle. Työn tarkoituksena on kehittää ja implementoida seurantajärjestelmä, jonka avulla yrityksen eri tahot pystyvät seuraamaan kyseisen tuotantolinjan tuotantotehokkuutta ja havainnollistamaan tuotantotehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Informatiivisesti tuotannon tehokkuudesta kertova seurantajärjestelmä hyödyntää tuotannonohjausjärjestelmän ja logiikkaohjaimen keräämää dataa sekä operaattoreiden kirjaamia tietoja. Tuotannon tehokkuuden seuranta ja sen myötä tuotantotehokkuuden parantaminen ovat toimeksiantajayritykselle taloudellisesti merkittäviä kehityskohteita. Tämän lisäksi yritys pyrkii kehittämään sen työntekijöiden osaamista ja seurantajärjestelmän avulla informoimaan työntekijöitä heidän tehokkuudestaan sekä tuotantotehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä.

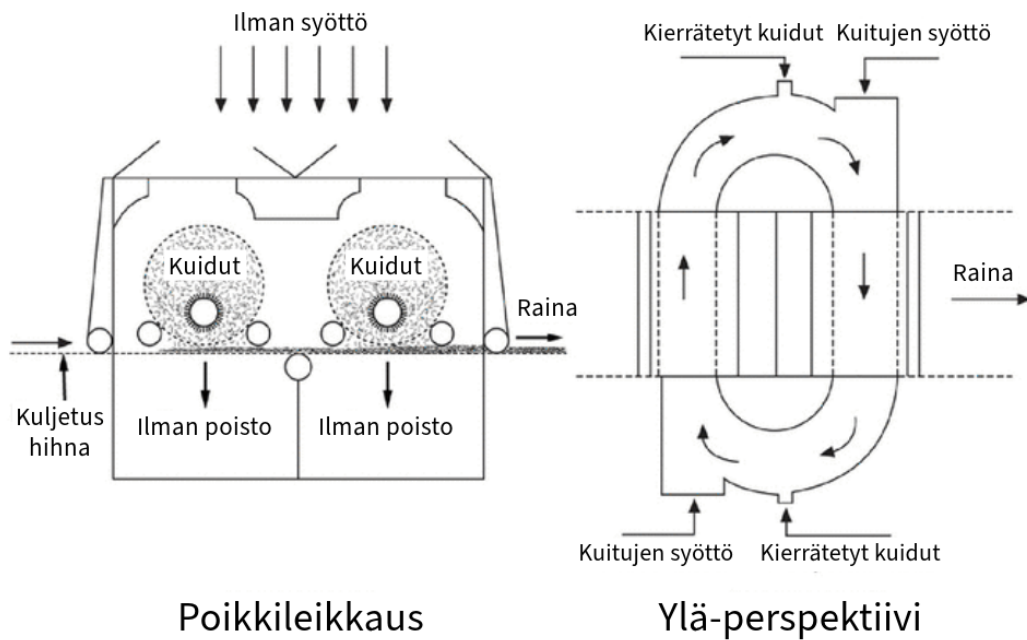
Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Hypap Oy. Yritys on Valkeakoskella toimiva perheyritys, joka on perustettu vuonna 1981. Hypap valmistaa biohajovasta kuivapaperista ja pehmopaperista mm. hygienia-, sairaala- ja kuluttajatuotteita. Valkeakosken jalostamolla on 16 jalostuslinjaa ja kaikki tuotteet jalostetaan suomalaisesta sellusta valmistetusta materiaalista. Tuotteissa käytettävä kuivapaperi valmistetaan airlaid- menetelmällä Hypapin tytäryhtiön SharpCellin toimesta. (Hypap Oy 2023)

2 KUIVAPAPERIN JALOSTUSLINJA

2.1 Kuivapaperi

Kuivapaperi on airlaid- menetelmällä puukuituisesta revintämassasellusta valmistettua kuitukangasmateriaalia. Kuivapaperi luokitellaan kuitukankaaksi sen kangasmaisen koostumuksen vuoksi. Rakenteeltaan kuivapaperi on huokoista, suuren bulkkiarvon omaavaa kuitukangasta, joka tuntuu kosketukselle pehmeältä. Pehmopaperiin verrattuna kuivapaperi on imukykyisempää ja kestävämpää. (Web Newswire 2019)

Airlaid- prosessi (kuvio 1) on kuivapaperin valmistusmenetelmä, jossa rainanmuodostuksessa lyhyet yksittäiset kuidut, yleensä puukuidut, hajaannutetaan ja syötetään ilmavirtaan (Paunonen, Hjelt, Kamppuri & Kiiskinen 2022). Kohdenettu ilmavirta kuljettaa kuidut rainanmuodostajan toimesta ilmaa läpäisevälle kuljetushihnalle, jossa kuidut muodostavat rainan ja ilma poistuu prosessista kuljetushihnan lävitse (Horrocks 2016, 169). Puukuitujen sidostaminen ja vahvistus toteutetaan airlaid- prosessissa kemiallisilla sidosaineilla erillisessä osaprosessissa rainanmuodostuksen jälkeen (Paunonen ym. 2022). Kuitujen sidostaminen voidaan toteuttaa myös lämpökäsittelyn avulla, jolloin puukuitujen sekaan lisätään lämmittäessä muovautuvia kuituja, jotka sitovat puukuidut yhteen (Russell 2022, 175).



KUVIO 1. Airlaid- prosessi: Dan-Web rainanmuodostin (Russell 2022, 165, muokattu).

Kemiallisessa sidostuksessa sidosaineet lisätään rainalle joko sumutus- tai vaahdotustekniikalla. Kummankin tekniikan tarkoituksena on kuljettaa nestemäinen sidosaine rainan päälle haluttuna konsentraationa. Kuivapaperin valmistuksessa käytetään enimmäkseen sumutustekniikkaa sidosaineen lisäämiseen. Vaahdotustekniikka on vähemmän käytetty kokeellisessa vaiheessa oleva sidostustekniikka. Sumuttamalla lisätty kemiallinen sidosaine ruiskutetaan yleensä kummallakin puolelle kuivapaperirainaa. Jokaisen sumutusvaiheen jälkeen kuivapaperi kulkee kuivatusyksikön läpi, jolloin veden haihtuessa sidosaine vahvistuu. (Paunonen ym. 2022)

Kuivapaperi soveltuu käytettäväksi erilaisina liinoina, imeyttäjinä, kerrosrakenteina hygieniatuotteissa sekä lääketieteellisinä sovellutuksina. Käyttökohteita ovat lisäksi pöytäliinat, servietit ja ruokapakkaukset. Käyttökohteisiin vaikuttavat kuivapaperissa käytetyt sidostusmenetelmät ja niissä käytetyt sidosaineet tai siduskuidut. Esimerkiksi hygieniatuotteissa käytettävät kuivapaperit pitää sidostaa lämpökäsittelyn avulla. (Russell 2022, 177)

2.2 Jalostuslinja

Toimeksiantajan kuivapaperin jalostuslinja koostuu useasta osaprosessista. Jalostuslinjalla jalostetaan kuivapaperirullista moneen käyttökohteeseen soveltuvia puhdistusliinoja. Tuoteryhmiä, joita toimeksiantajan linjalla jalostetaan, on muutama, joten linjaan tehtävien säätöjen avulla voidaan muuttaa valmistettavaa tuotetta. Tuotantolinjalla työskentelee yksi operaattori, joka valvoo jalostusprosessia. Jalostusprosessi on lähes täysin automatisoitu muutamaa työvaihetta lukuun ottamatta.

Jalostusprosessi alkaa linjalla kuivapaperirullan aukirullaimelta, jossa kuivapaperirullat syötetään linjalle. Rullat aukirullataan jarruhihnan avulla, joka pitää kuivapaperirullan nopeuden sopivana linjaston nopeuteen verrattuna. Rullan materiaalin loputtua, linjalla toimiva operaattori suorittaa rullan vaihdon, jossa uusi rulla siirtyy tyhjän rullan tilalle ja täysi kuivapaperirulla liitetään linjalle syötettävään kuivapaperirataan paperirataliitoksella. Prosessia jatketaan rullan vaihdon jälkeen normaalisti.

Rullalta kuivapaperirata kulkee kuljetintelojen avulla muutaman kalanterin lävitse kohti taittoyksikköjä. Kuljetintelojen ja kalanterien tarkoituksena on mahdollistaa kuivapaperiradan sujuva syöttö taittoyksikköön. Radan on oltava juuri oikealla kireydellä ja kohdistettuna oikein. Liian suuri tai pieni radan kireys voi aiheuttaa radan rypistymistä tai ratakatkon. Kalanterin telanippien puristuksen on oltava sopivalla tasolla, jotta radan syöttö tapahtuu sujuvasti ilman, että nippipaine vaikuttaa liikaa kuivapaperin ominaisuuksiin.

Kuivapaperirata taitetaan haluttuun taitokseen ensin radan suuntaisesti taittoyksikössä. Ensimmäisen taitoksen jälkeen rata taitetaan taittoauran avulla keskeltä puoliksi. Taitoksien laatuun vaikuttaa radan syötön tasaisuus ja radan nopeus.

Taitettu kuivapaperirata leikataan pituusleikkurin terällä oikean kokoisiksi liinoiksi ja radasta leikatut liinat pinotaan kahteen vierekkäiseen pinoon jaottelijalla. Kuivapaperi leikataan kiertävällä vannesahalla. Leikkausprosessissa käytettävä kone teroittaa terää automaattisesti sopivin väliajoin. Leikkaavan terän terävyys

ja tasainen profiili tuottavat parhaan leikkausjäljen. Pinoaja jakaa kuivapaperiliinapinot haluttuihin pakkauskokoihin, josta tasaisen kokoisen pinot siirtyvät kuljetushihnalle.

Kuljetushihna kuljettaa valmiit tuotepinot kohti linjan pakkausosaa. Kuljetushihnalla erotellaan mahdolliset huonolaatuiset tuotteet rejektinä erilliseen hylkylaatikkoon. Kuivapaperipinot pakataan muovikalvoon ensimmäisellä pakkauskoneella. Muovikalvo taitetaan ja lämpösaumataan tiiviiksi primääripakkaukseksi ensimmäisellä pakkauskoneella. Pakatut tuotteet sekundääri pakataan aaltopahvilaatikoihin toisella pakkauskoneella. Aaltopahvilaatikot taitellaan ja teipataan osittain laatikonmuodostajalla ennen tuotteiden pakkausta ja tuotteen pakkauksen jälkeen aaltopahvilaatikko taitetaan ja teipataan kiinni teippauskoneella. Valmiit sekundääripakkaukset siirtyvät lavalle kolmannella pakkauskoneella eli lavaajalla. Pinotut lavat tuetaan muovikelmulla, jonka jälkeen valmiit tuotelavat siirretään valmistuotevarastoon.

3 TUOTANNON TEHOKKUUS

3.1 Tuottavuus

Tuottavuudella tarkoitetaan jonkin tietyn organisaatiojärjestelmän tuottaman tuotoksen (tavarat ja/tai palvelut) sekä tämän kyseisen järjestelmän tuotoksen tuottamiseksi käyttämien panosten eli resurssien välistä yhteyttä, jota kuvataan yleensä suhteena tai indeksinä (Hannula 2000, 59). Tuottavuutta pystytään täten havainnollistamaan mittaamalla ja vertaamalla tuloksia. Tulosten pohjalta pystytään parantamaan tuottavuutta.

Gröönroos ja Ojasalo (2004, 414–415) toteavat toiminnan tuottavuuden perustuvan siihen, kuinka tehokkaasti valmistus- tai palveluprosessiin panostetut resurssit muuttuvat arvoksi asiakkaille ja taloudellisiksi tuloksiksi tuottavalle organisaatiolle. Tämä näkemys pohjautuu tehokkuuteen, tuotettuun arvoon, sekä taloudellisiin tuloksiin, jotka mahdollistavat tuottavuuden laajemman ymmärryksen. Tuotannon tuottavuudessa oletetaan panoksesta saatavan tuotteen laadun säilyvän muuttumattomana, jolloin kyseessä on yksinkertaistettu vakiolaatuoletus (Gröönroos & Ojasalo 2004, 415).

Tuottavuutta voidaan kuvata ja mitata monella eri tavalla ja se on terminä moniulotteinen (Tangen 2005, 35). Siksi onkin tärkeää käyttää tuottavuudesta määritelmää, joka soveltuu käsiteltävään asiayhteyteen parhaiten. Teknologinen käsite kuvaa tuotoksen suhdetta sen tuotannossa käytettyihin panoksiin (Ghobadian & Husband 1990, 1443). Tämä teknologinen käsite tuottavuudesta voidaan kuvata kaavalla,

$$Tuottavuus = \frac{Tuotosten\ määrä}{Työpanoksen\ määrä} \quad (1)$$

joka määrittää tuottavuuden jakamalla tuotosten määrän työpanoksen määrällä (Taloussanommat 2015, Sillanpää 2015, 16).

3.2 Käytettävyys, käyttöaste ja käyttösuhde

Tuotannon tehokkuuden ymmärtämiseksi on olennaista määritellä tuotantoaikaan liittyvät käsitteet. Tuotantolinjan käytettävyys, käyttöaste ja käyttösuhde kertovat olennaista tietoa ajankäytön tilanteesta tuotannossa. Käytettävyys, käyttöaste ja käyttösuhde ovat toisistaan eroavia käsitteitä, mutta usein ne yhdistetään virheellisesti samaksi asiaksi (Webrosensor 2015, Sillanpää 2015, 16).

Käytettävyydellä tarkoitetaan tuotantolinjan todellisen tuotantotoiminnan käyttöajan osuutta suunnitellusta tuotantoajasta (Webrosensor 2015, Sillanpää 2015, 16). Websensorin (2015) mukaan käytettävyyttä voidaan käsitellä laskennallisessa muodossa kaavalla,

$$\text{Käytettävyys} = \frac{\text{Suunniteltu tuotantoaika} - \text{Odottamattomat seisokit}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika}} \quad (2)$$

jossa todellinen tuotantotoiminnan käyttöaika saadaan vähentämällä odottamattomat seisokit suunnitellusta tuotantoajasta ja jakamalla se suunnitellulla tuotantoajalla (Sillanpää 2015, 17). Prosentuaalisena lukuna käytettävyyttä on mahdollista käyttää tuotannon tehokkuuden määrittämisen yhteydessä.

Käyttöaste tarkoittaa tuotantolinjalla tehtävän työn ajan suhteellista osuutta jollain tietyllä aikavälillä (Webrosensor 2015, Sillanpää 2015, 16). Käyttöaste kertoo, kuinka suurella prosentuaalisella kapasiteetilla tuotantolinja toimii (Everitt 2021). Esimerkiksi, jos tuotantolinja toimii 80 % käyttöasteella, on sen teoreettisesta maksimikapasiteetista käytössä vain neljä viidesosaa (Capacity utilization rate definition 2023).

Tuotannon kapasiteettina voidaan käyttää aikaa, jolloin käyttöasteelle saadaan kaava,

$$\text{Käyttöaste} = \frac{\text{Tuottavan työn aika}}{\text{Kokonaisaika}} \quad (3)$$

jossa tuottavan työn aika on toimintakapasiteetti ja kokonaisaika on teoreettinen maksimikapasiteetti (Webrosensor 2015, Sillanpää 2015, 17).

Käyttöaste ja käyttösuhde todetaan usein samaksi käsitteeksi, mutta todellisuudessa käyttösuhde eroaa käyttöasteesta siten, että se kertoo tehtävän työn ajan suhteellista osuutta työn suunnitellusta ajankäytöstä. Käyttösuhdetta voidaan kuvata kaavalla,

$$\text{Käyttösuhde} = \frac{\text{Tuottavan työn aika}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika}} \quad (4)$$

jossa tuottavan työn aika jaetaan suunnitellulla tuotantoajalla. (Webrosensor 2015, Sillanpää 2015, 17)

3.3 Tehokkuus

Tehokkuuden käsitteestä on monia versioita ja oikeaa määritelmää on vaikea valikoida. Rosenin (1993, 93) mukaan tehokkuuden voi määritellä olevan yhteydessä panoksen ja tuotoksen suhteen tutkimukseen, kun tuotoksen laatu mitätöidään. Toisaalta tehokkuus voidaan määrittää todellisen ja odotetun tuotannon suhteena (Hannula 1999, 29). Rautiainen (2004, 34) toteaa tehokkuuden tarkoittavan tarjottujen hyötyjen ja materiaalien suhdetta. Määritelmien pienistä eroista huolimatta on selvää, että yleisesti ottaen tehokkuus määritellään tarkasti minimiresurssitasoksi, joka teoriassa tarvitaan tietyssä järjestelmässä halutun toiminnon suorittamiseen verrattuna siihen, kuinka paljon resursseja todellisuudessa käytetään (Tangen 2005, 41). Tehokkuus on käsitteenä suuresti yhteydessä käyttöasteen ja käyttösuhteen määritelmään (Jääskeläinen 2010, 6).

Tehokkuutta voidaan mitata tuotannossa prosentuaalisena kokonaisuutena, jolloin tehokkuudessa otetaan huomioon tuotantonopeuksista johtuvat nopeushäviöt, tauot sekä suunnitellut ja suunnittelemattomat seisokit. Tehokkuuden laske-
miseksi voidaan käyttää kaavaa,

$$\text{Tehokkuus} = \frac{\text{Tuotantomäärä}}{\text{Optimaalinen tuotantokyky} \times \text{Tehollinen tuotantoaika}} \quad (5)$$

jossa tuotantomäärä on esimerkiksi työvuoron aikana tuotetun tuotteen määrä, optimaalinen tuotantokyky tuotannon toivottu tuotantonopeus ja tehollinen tuotantoaika työhön käytetyn ajan määrä, kun suunnitellusta työajasta vähennetään seisokit. (Vorne Industries 2010, Kauppinen 2012, 11)

Tehokuuden kaavaa ei kuitenkaan yleensä käytetä sellaisenaan tuotannon tehokkuuden mittaamiseen, sillä se ei ota huomioon kaikkea tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä kuten laatua. Tehokkuuden mittaamista varten määritetään olemassa olevia käytännöllisempiä mittareita, joilla yritykset mittaavat tuotantotehokkuuttaan.

4 TUOTANTOTEHOKKUUDEN MITTARIT

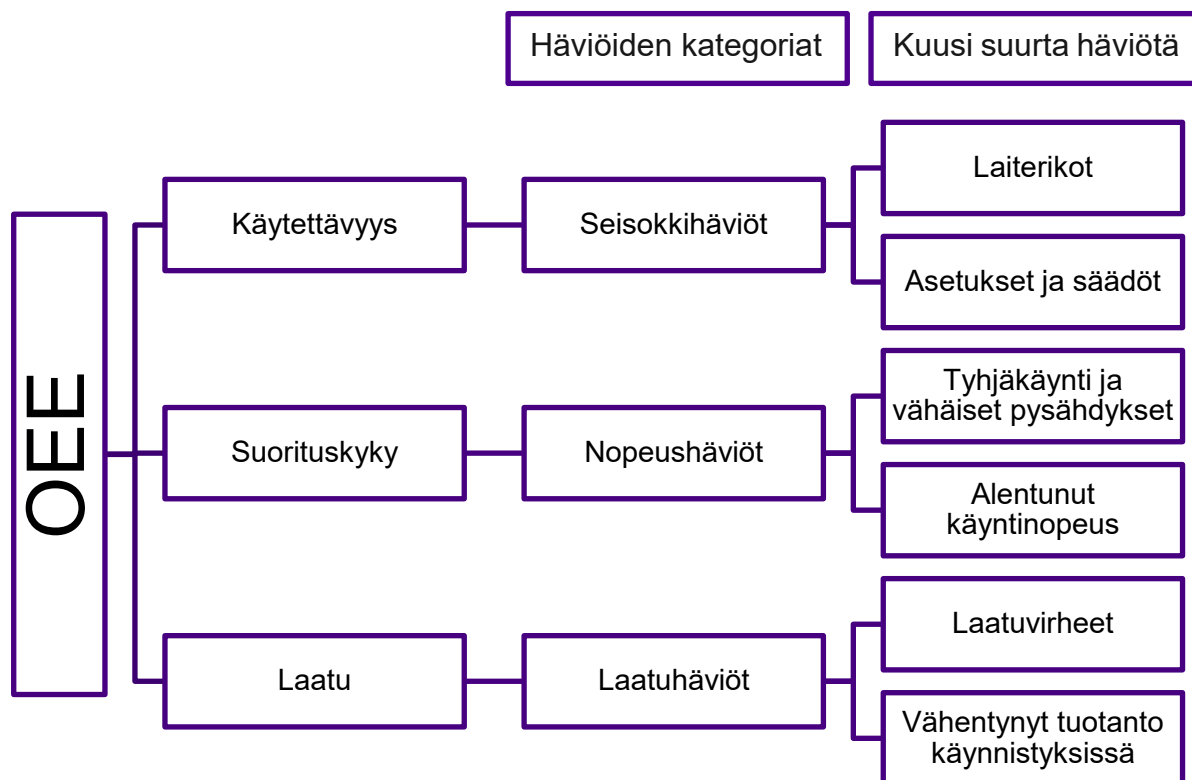
4.1 OEE

OEE (Overall Equipment Effectiveness) on Japanissa 1970-luvulla kehitetty ja nykypäivänä laajasti käytetty tuotannon tehokkuutta mittaava tunnusluku (Plantrun n.d.). Kuusen (2023) mukaan OEE on kokonaisvaltainen mittari, joka määrittää laitteiston tehokkuuden ottamalla huomioon käytettävyyden, suorituskyvyn ja laadun. Iannone ja Nenni (2013, 32) toteavat OEE:n mittaavan yksinkertaisesti laitteen suorituskykyä tehtaassa. Muchirin ja Pintelonin (2008, 3518–3519) tarkentavat OEE:n olevat kolmiosainen analyysityökalu, jonka avulla pystytään tunnistamaan laitteen toiminnan häviöitä ja täten parantamaan laitteen hyödyllistä suorituskykyä sekä luotettavuutta.

Häviöt ovat tapahtumia, jotka eivät tuota arvoa, mutta kuluttavat resursseja (Iannone & Nenni 2013, 34). Häviöt jaetaan niiden esiintymistaajuuden mukaan jatkuviin ja satunnaisiin häviöihin (Muchiri & Pintelon 2006, 3519). Jatkuvat häviöt ovat pienivaikutteisia ja vaikeasti havaittavia kun taas satunnaiset häviöt tapahtuvat nopeasti ja yllättäen aiheuttaen suuria muutoksia tuotannossa (Iannone & Nenni 2013, 34). Häviöt voidaan jakaa myös niitä aiheuttaviin kolmeen osatekijään: laitteen toimintavikojen aiheuttamat häviöt, laitteen prosessointiin liittyvät häviöt ja ulkoisten syiden aiheuttamat häviöt (Iannone & Nenni 2013, 34). OEE mittaa ainoastaan laitteeseen ja prosessiin liittyviä häviöitä, joten ulkoisten syiden aiheuttamat häviöt, kuten esimerkiksi raaka-aineiden ja henkilöstön puute, jätetään huomioimatta OEE:n mittaamisessa (Iannone & Nenni 2013, 34).

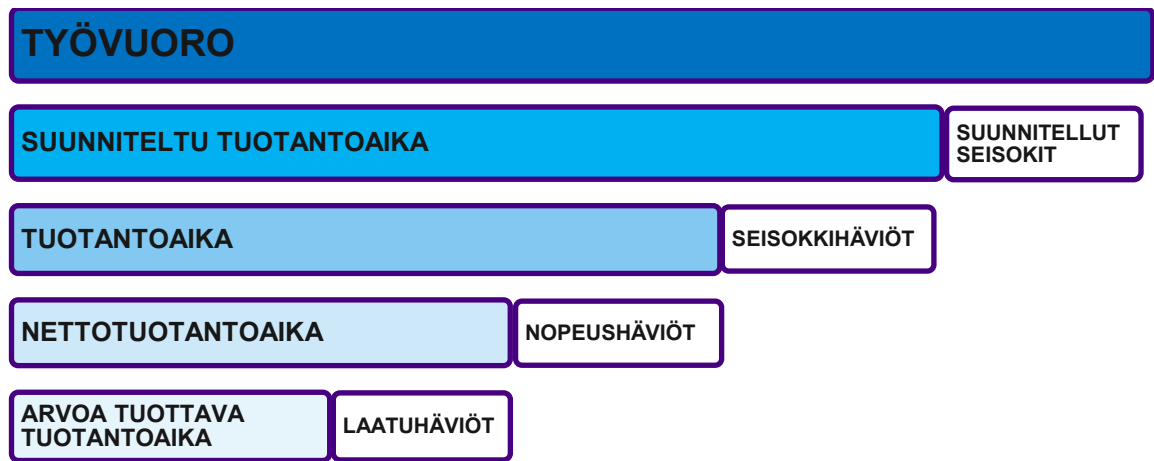
Ulkoisten syiden aiheuttamien häviöiden mitätöinnin jälkeen laitteen toiminnan häviöt voidaan vielä jakaa kolmeen häviökategoriaan, jotka sijoittuvat käytettävyyden, suorituskyvyn ja laadun alueille (Iannone & Nenni 2013, 34). Käytettävyyteen vaikuttavat seisokkihäviöt, suorituskyvyn nopeushäviöt ja laatuun laatuhäviöt (Muchiri & Pintelon 2006, 3519–3520). Jokainen näistä kolmesta häviökategoriasta jakautuu kahteen merkittävään häviöön, jotka muodostavat OEE:n kehittäjän Seiichi Nakajiman ehdottamat kuusi suurta häviötä (Six Big Losses)

(Iannone & Nenni 2013, 34). Kuvio 2 havainnollistaa OEE:ta ja siihen liittyvien häviöiden kategoriointia.



KUVIO 2. OEE:n havainnollistaminen ja häviöiden kategoriointi.

OEE:n kokonaisuuden hahmottamiseksi voidaan esittää häviöiden ja ajankäytön suhteen palkkikuvio (kuvio 3), jonka pohjalta voidaan muodostaa tarvittavat kaavat OEE:n laskemista varten. Palkkikuviosta nähdään häviökategorioiden vaikutukset ajankäyttöön ja niiden yhteisvaikutus arvoa tuottavan tuotantoajan määrään.



KUVIO 3. Häviöiden ja ajankäytön suhteen luotu havainnollistus OEE:n laskemista varten (Iannone & Nenni 2013, 35, muokattu).

Laskennallisesti OEE:lle voidaan pohjustaa kolme kaavaa kuvion 3. pohjalta. OEE:n laskemiseksi on ensin selvitettävä sen muodostavien osatekijöiden arvot. Käytettävyyden laskemiseksi käytetään aiemmin esitettyä kaavaa 2 tai kaavaa 6, jotka ottavat huomioon suunnitellun tuotantoajan ja tuotantoajan.

$$\text{Käytettävyys} = \frac{\text{Tuotantoaika}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika}} \quad (6)$$

Toinen osatekijä suorituskyky lasketaan seuraavan kaavan avulla,

$$\text{Suorituskyky} = \frac{\text{Nettotuotantoaika}}{\text{Tuotantoaika}} \quad (7)$$

jossa nettotuotantoaika jaetaan tuotantoajalla. Kolmas ja viimeinen osatekijä laatu lasketaan kaavalla,

$$\text{Laatu} = \frac{\text{Arvoa tuottava tuotantoaika}}{\text{Nettotuotantoaika}} \quad (8)$$

jossa arvoa tuottava tuotantoaika jaetaan nettotuotantoajalla. Kyseisten kaavojen tuloksena saadaan kaikille kolmelle osatekijälle prosentuaaliset lukuarvot lopullisen OEE:n laskemiseksi kaavalla,

$$OEE = \text{Käytettävyys} \times \text{Suorituskyky} \times \text{Laatu} \quad (9)$$

jossa kolme laskettua osatekijää kerrotaan keskenään. (Iannone & Nenni 2013, 35–36)

Näin muodostuu OEE-arvo, joka kertoo laitteen tuottavuuden tehokkuutta ottamalla huomioon sen käytettävyyden, suorituskyvyn ja laadun. OEE tarkastelee myös häviöihin vaikuttavia syitä, joiden pohjalta on mahdollista perehtyä syvemmän analyysin kautta häviöihin vaikuttaviin juurisyihin. Tämän myötä, mahdolliset kehitystoimet ja huoltotoimenpiteet voidaan kohdistaa oikein ja laittaa käytäntöön laitteella sen tuotannon tehokkuuden parantamiseksi.

4.2 Rajatuotos

Rajatuotos eli MP (Marginal Product) kertoo saatavan lisätuotoksen, kun panoksen määrää lisätään (Oxford Reference n.d.). Rajatuotos voidaan selvittää monesta eri näkökulmasta (MasterClass 2022). Pääoman, työvoiman, maa-alueen ja raaka-aineen rajatuotokset ovat yleisimpiä rajatuotoksen käyttökohteita (MasterClass 2022). Lisättävä panos rajatuotosta laskettaessa on määrältään yksittäinen, jolloin esimerkiksi työvoiman rajatuotosta tutkittaessa selvitetään yhden työntekijän lisäämisen vaikutusta saatavaan tuotokseen (StudySmarter n.d.).

Rajatuotosta laskettaessa valitaan ensin haluttava tarkastelukohde, jonka lisäämisen merkitystä tuotokseen halutaan tarkastella. Laskemista varten selvitetään tuotoksen ja panoksen muutos, jonka jälkeen lasketaan rajatuotos kaavalla,

$$\text{Rajatuotos} = \frac{\text{Tuotoksen määrän muutos}}{\text{Panoksen määrän muutos}} \quad (10)$$

jossa tuotoksen määrän muutos jaetaan panoksen määrän muutoksella. Tuotoksen määrän muutos voi olla esimerkiksi tuotantolinjalla valmistettavan kappalemäärän lisääntyminen, kun tuotantolinjalle lisätään toinen työntekijä, jolloin panoksen määrän muutos on työntekijöiden määrän muutos. Näin saadaan laskettua rajatuotos, joka kertoo panoksen lisäyksen merkityksen tuotokseen. (StudySmarter n.d.)

Lyhyellä aikavälillä voidaan tuotoksen määrän olettaa lisääntyvän panoksen lisäämisen myötä, jolloin rajatuotos kasvaa. Tämä oletus pätee silloin kun muut tuotantotekijät ovat muuttumattomassa tilassa. Laajemmalla tarkasteluvälillä ja tuotannon ylöspäin skaalautuessa huomataan panoksen lisäämisen tuottavan progressiivisesti pienemmän tuotannonlisäyksen. Tämä, niin sanottu pienenevien palautusten laki, on otettava huomioon rajatuotosta tarkastellessa. Pahimmassa tapauksessa panoksen lisääminen on vaikutukseltaan yritykselle negatiivista. (MasterClass 2022)

4.3 Lean-tuotanto

Tuotannon tehokkuutta mitattaessa on hyödyllistä ottaa mittaamisen tueksi Lean-tuotannon ajatusmalli, joka on osa erittäin laajaa Toyotan kehittämää Lean-ajattelutapaa. Tuotantoon keskittyvä Lean-ajattelutapa voidaan todeta tuotannon tehokkuuden ymmärtämisen mittariksi ja työkaluksi, jonka avulla tuotannon tehokkuutta on mahdollista kehittää. Lean-tuotanto tavoittelee aktiivisesti hukkan eliminointia kaikissa tuotantoprosessiin liittyvissä toiminnoissa (Väyrynen 2022). Ajattelumallin tavoitteena on valmistaa tuotteita oikea-aikaisesti käyttäen mahdollisimman vähän resursseja; tehokkaammin, nopeammin ja edullisemmin kuin kilpailijat (Väyrynen 2022). Resurssien käyttö, joka ei tuota arvoa asiakkaalle, luokitellaan resurssien tuhlaukseksi ja se on Lean-tuotannon ajattelumallin mukaan poistettava (Elbert 2013).

Lean-tuotannossa arvoa tuottamattomat toimet luetellaan yhdeksään osaan (taulukko 1). Nämä yhdeksän toimea kokoavat merkittävän osan kaikesta liiketoiminnasta löytyvästä arvoa lisäämättömästä toimesta. Toimet ovat osaltaan erittäin yksinkertaisia, mutta ne ovat tärkeitä huomioida tuotantotehokkuutta tarkastellessa ja juurisyytä etsiessä. Jokainen toimi voidaan korjata tuotantoon keskittyvän Lean-ajattelun avulla. (Elbert 2013)

TAULUKKO 1. Arvoa tuottamattomat toimet Lean-tuotanto ajattelumallissa.

1.	Ylituotanto: Tuotetta valmistetaan enemmän kuin tilauksia on tullut.
2.	Liikavarastointi: Tuotteita ja raaka-aineita varastoidaan pitkään, jolloin prosessin läpimenoaika kasvaa ja tuottaa turhia lisäkustannuksia.
3.	Työn teon odottaminen: Operaattori joutuu odottamaan työn aloittamista raaka-aineen tai jonkin muun prosessiin liittyvän puutteen takia.
4.	Turha materiaalin kuljetus: Edestakaiset kuljetukset varaston ja tuotannon välillä prosessin eri vaiheissa.
5.	Yliprosessointi tai vääränlainen prosessointi: Liian laadukkaan tuotteen valmistus tilattuun tuotteeseen nähden tai turhan ominaisuuden lisääminen tilattuun tuotteeseen.
6.	Työntekijän turha liike: Kaikki ylimääräinen ja arvoa tuottamaton liike, jonka operaattori suorittaa työskennellessään.
7.	Viallinen tuotanto: Huonolaatuisen tuotteen valmistus, joka ei kelpaa myytäväksi.
8.	Käyttämätön luovuus: Työntekijöiden ideoiden ja parannusehdotuksien mitätöinti.
9.	Ympäristötoimet: Välinpitämättömyys esimerkiksi kierrätysasioissa työpäikällä.

Arvoa tuottamattomat toimet on hyvä tiedostaa tuotannon tehokkuutta tarkastellessa. Näitä toimia tunnistamalla pystytään tarkemmin pääsemään ongelmien ja tuotantotehokkuutta heikentävien syiden ytimeen. Tätä tutkimista helpottamaan on Lean-tuotannon ajattelumalliin kehitetty työkalu, jolla saadaan ongelmasyyt selville. Työkalu on nimeltään ”The Five Whys” minkä toiminta perustuu viiteen miksi-kysymykseen (Elbert 2013). Kysymykset liittyvät havaittuun ongelmakohtaan ja kaikki viisi kysymystä pohjautuvat aina edellisen kysymyksen vastaukseen (Elbert 2013). Viidennen kysymyksen jälkeen ongelman juurisyyt ovat selvillä ja ongelma voidaan korjata (Elbert 2013).

5 TEHOKKUUDEN SEURANTAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

5.1 Tehokkuuden seurantajärjestelmä

Tehokkuuden seurantajärjestelmä on yrityksessä käytettävä tuotannonseuranta-ohjelmisto, joka mahdollistaa reaaliaikaisen tuotannon analysoinnin tuotannon operaattoreille sekä yrityksen toimihenkilöille (Bosson 2023). Tehokkuuden seurantajärjestelmän tuottama tehokkuusinformaatio, jota se tuottaa tuotannonohjausjärjestelmää eli MES-järjestelmää, logiikkaohjainta ja operaattoria apuna käyttäen, on aina saatavilla. Nämä aina saatavilla olevat tuotantotiedot tehokkuudesta sisältävät dataa muun muassa tuotettavasta tuotteesta, tuotannon nopeudesta, seisokeista, energian kulutuksesta sekä tuotannon määrästä (Bosson 2023).

Tehokkuuden seurantajärjestelmän avulla yritys pystyy seuraamaan tuotannon tavoitteiden toteutumista verrattuna suunniteltuihin tavoitteisiin, sekä havainnoimaan ja korjaamaan tekijöitä, jotka vaikuttavat tuotannon seisokkeihin. Tehokkuuden seurantajärjestelmän tuottamaa tietoa käytetään pääsijaisesti tehokkuuden ja tuottavuuden parantamiseen sekä tuotantokapasiteettia heikentävien syiden korjaamiseen. Tehokkuutta parantavilla toimilla parannetaan samalla yrityksen energiatehokkuutta ja tuotannon seurantaa sekä Lean-tuotannon ajatusmallia, arvoa tuottamattomien toimien vähentyessä. (Bosson 2023)

Bossonin (2023) mukaan hyvän tehokkuuden seurantajärjestelmän on oltava saatavilla koko ajan, jotta yrityksessä voidaan ymmärtää mitä tuotannossa tapahtuu. Hän toteaa, että seurantajärjestelmän pitää esittää tuotantotiedot selkeästi, sillä kaikki yrityksen tahot käyttävät järjestelmän tuottamaa tietoa hyväkseen työssä. Seurantajärjestelmän pitää olla myös tietoturvallinen sekä mahdollistaa käyttö erilaisilla mobiililaitteilla. (Bosson 2023)

5.2 MES-järjestelmä

Tuotantotehokkuuden mittaamiseksi, esittämiseksi ja parantamiseksi on käytettävä tuotantolinjan tuottamaa dataa. Tuotantolinjalla käytetään tuotannon seuraamiseen MES-järjestelmää (Manufacturing Execution System), joka tuottaa tarvittavaa dataa seurantajärjestelmää varten. MES-järjestelmä on yrityksen prosesseihin yhdistetty tuotannonohjausjärjestelmä, joka mahdollistaa prosessien tuotannosuunnittelun (Chelaru & Schulz 2012, 173). MES-järjestelmän avulla saadaan suora yhteys tuotannon automaatioon ja tuotantoa voidaan seurata sekä valvoa oikea-aikaisesti (Chelaru & Schulz 2012, 173). Meyerin (2009) mukaan MES-järjestelmä on integroitu järjestelmä, joka tekee mahdolliseksi yksittäisten toimintojen modulaarisen käytön ja tuo nämä toiminnot yrityksen muiden ohjelmistojärjestelmien käyttöön.

Käytännön tasolla MES-järjestelmän avulla yrityksen eri tahot pystyvät seuraamaan ja optimoimaan tuotantoa tuotteen tilausvarmistuksesta valmiiseen tuotteeseen asti (Chelaru & Schulz 2012, 174). Reaaliaikainen tuotannon seuraaminen mahdollistaa nopean ja tehokkaan reagoinnin muutoksiin tuotannossa, jolloin tuotannon kannattavuus paranee. MES-järjestelmiä on monenlaisia ja niistä on luotu useita konsepteja, joita käytetään erilaisissa tuotantolaitoksissa (Meyer 2009). Jokainen tuotantolaitos tarvitsee itselleen sopivan tuotannonohjausjärjestelmän, joten erilaisilla konsepteilla pyritään räätälöimään MES-järjestelmä sopiviin tuotannon kohteisiin (Meyer 2009).

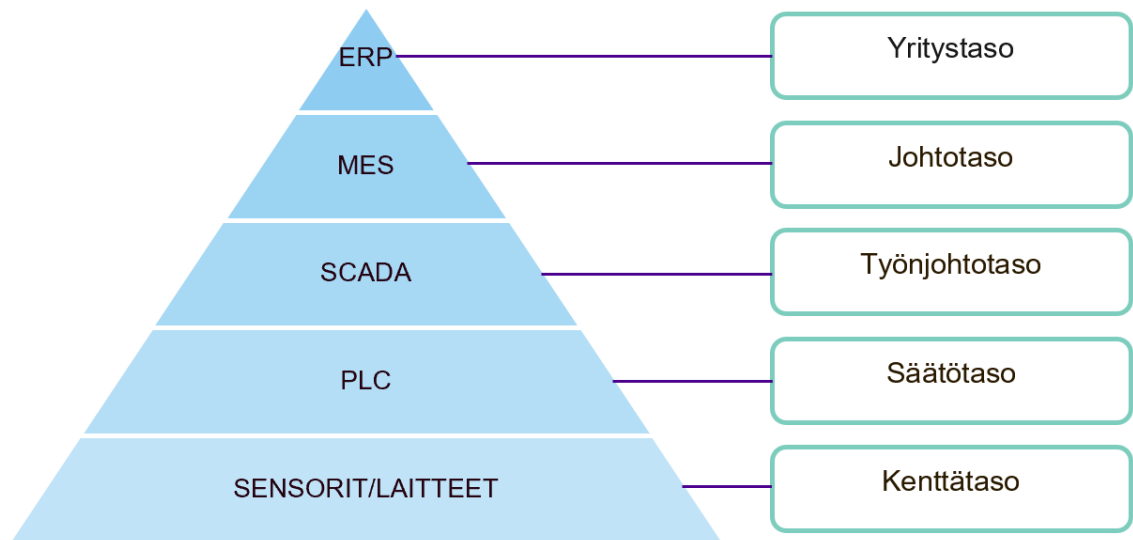
Vaikka MES-järjestelmiä on monenlaisia, niitä yhdistää tarvittava perusrakenne, jonka järjestelmä pitää sisällään. Meyerin (2009) mukaan MES-järjestelmä sisältää seuraavat näkökulmat:

- Tuotetiedot valmistettavasta tuotteesta. Kertoo mitä, miten ja millä resursseilla tuotetta valmistetaan.
- Tuotantoympäristön ja resurssien kuvaus:
 - Laitteet, työkoneet ja työskentelypaikat.
 - Henkilöstöresurssit
 - Toimintaresurssit, kuten työvälineet ja kuljetusvälineet.
 - Materiaalit ja alustavat tuotteet.

- Asiakirjat tuotekuvauksista sekä tuotannon valvonnasta.
- Järjestelmä- ja lisätiedot, kuten määräyksiköt.
- Prosessin toteutusta koskevat tiedot:
 - Tilaustiedot
 - Tuotantotiedot
 - Laite- ja konetiedot
 - Suorituskykytiedot

Kyseiset näkökulmat huomioon ottava tuotannonohjausjärjestelmä ei välttämättä pysty ottamaan kaikkea tarvittavia näkökulmia huomioon. Mahdolliset lisäykset sisällytetään MES-järjestelmään ja nämä lisäominaisuudet tallennetaan järjestelmään muiden pakollisten ominaisuuksien lisäksi. Sisällyttämällä lisäominaisuuksia järjestelmään, MES-järjestelmä saa enemmän joustavuutta ja päivitysmahdollisuuksia. (Meyer 2009)

MES-järjestelmä on osa yrityksen ohjelmistojärjestelmärakennetta (kuvio 4), joka koostuu erilaisista tuotannonohjaus- ja automaatiojärjestelmistä. Rakenteen tasot jaotellaan korkeimmalta yritystasolta johtotason kautta kenttätasolle asti. MES-järjestelmä on johtotason järjestelmä ja sitä korkeammalla tasolla on yritystason ERP-järjestelmä (Enterprise Resource Planning). Seuraavat tasot ovat käytönohjausjärjestelmä SCADA, ohjelmoitavat logiikkaohjaimet PLC:t sekä sensorit ja laitteet. ERP-järjestelmä on koko yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä, joka kokoaa yhdelle alustalle tietoa yrityksen laskutuksesta, kirjanpidosta, logistiikasta, investoinneista, henkilöstöresursseista ja asiakassuhteista. Yritysjohdolle erittäin tärkeä ERP-järjestelmä kertoo yrityksen toiminnasta pidemmällä aikavälillä esimerkiksi vuosineljänneksillä eikä täten kerro reaaliaikaisesta tuotannosta kuten MES-järjestelmä. MES- ja ERP-järjestelmien yhdistäminen on kannattavaa yrityksille, sillä yhdistämisen ansiosta on mahdollista muodostaa tietokosysteemi, joka yhdistää teollisen tuotannon muun yritystoiminnan kanssa. Tällöin yrityksen toiminnan läpinäkyvyys, viestintä ja yhteistyö paranee, minkä ansiosta yritystoiminta on riskittömämpää ja tuottavampaa. (Mapex n.d.)



KUVIO 4. Yrityksen teollisuusautomaatorakennestandardi ISA-95 (Mapex n.d., muokattu).

MES-järjestelmän ja PLC:n kautta saatavan tiedon avulla voidaan tuotantolinjan tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmän kehitystyö ja implementointi aloittaa. Tuotannonohjausjärjestelmän ja logiikkaohjaimen tuottamasta datasta valitaan tehokkuuden seurantajärjestelmän kannalta keskeisimmät tiedot, joita hyödynnetään seurantajärjestelmässä.

5.3 Tehokkuuden seuranta

Tässä opinnäytetyössä toimeksiantajayritykseen kehitettävä tuotannon tehokkuutta mittaava seurantajärjestelmä sisältää tarpeellista informaatiota, jotta tehokkuutta voidaan parantaa. Seurantajärjestelmä hyödyntää MES-järjestelmän, PLC:n tuottamaa dataa, jonka pohjalta se laskee tarvittavat arvot. Näistä arvoista seurantajärjestelmä luo raportteja muokattavilta seurantaväleiltä, joissa halutut tiedot ilmaistaan kuvaajina, lukuina ja tekstinä. Laskettavat lukuarvot on helpointa kuvata kuvaajina, sillä seurantajärjestelmän tuottamien raporttien on oltava selkeitä.

Toimeksiantajayrityksen tehokkuuden seurannassa lukuarvojen merkitys on ensisijaisesti tärkein ja seuratuin osuus tuotannon tehokkuuden seurantaan. Luvut kertovat selkeästi tuotantolinjan tilanteen ja tavoitteet. OEE:n ja sen osatekijöiden

laskeminen ja havainnollistaminen on tehokkuuden seurantajärjestelmän ensisijainen toiminto. OEE-arvo kertoo suoraan jalostuslinjan tehokkuusprosentin, joten se määrittelee, että kyseessä on nimenomaan tehokkuuden seurantajärjestelmä. OEE:n osatekijöiden laskeminen ja havainnointi on OEE-arvon laskemisen lisäksi tarpeellista, sillä osatekijät kertovat prosessista tarkemmin. Käytettävyyden, suorituskyvyn ja laadun arvot saadaan laskettua datan perusteella.

5.4 Tehokkuuden syysuranta

5.4.1 Seisokkien syysuranta

Jalostuslinjalla tapahtuvia seisokkeja on monenlaisia. Seisokit kertovat jalostuslinjan käytettävyydestä. Seisokit voidaan jakaa suunniteltuihin ja suunnittelemattomiin seisokkeihin. Suunnitellut seisokit ovat työnjohdon, kunnossapidon ja tuotannosuunnittelun määrittelemiä tuotannon pysäytyksiä, jotka operaattori tietää työvuoronsa aikana. Tällaisia seisokkeja ovat esimerkiksi tauot, suunnitellut huollot ja tuotantoprosessiin liittyvät pakolliset toimet kuten rullanvaihdot. Suunnittelemattomilla seisokeilla tarkoitetaan yllättäviä, ei tiedossa olevia tuotannon pysähdyksiä, jotka johtuvat usein vioista tuotannossa. Mitä vähemmän jalostuslinjalla on suunnittelemattomia seisokkeja, sitä parempi on jalostuslinjan käytettävyyssprosentti.

Suunnittelemattomat seisokit voidaan toimeksiantajayrityksen jalostuslinjalla jakaa viiteen luokkaan: mekaanisiin, sähköisiin, automaation, raaka-aineen ja prosessin seisokkeihin. Mekaaniset seisokit johtuvat mekaanisista vioista kuten laiterikoista ja telojen rikkoutumisesta. Sähköisiä seisokkeja ovat esimerkiksi sensoreiden, mittalaitteiden tai muiden sähköisten osien rikkoutuminen. Automaatio seisokit johtuvat jalostuslinjalla tapahtuvista automaatioon pohjautuvista vioista. Raaka-aineen seisokit ovat raakamateriaalin laatuviosta johtuvia seisokkeja, joihin syynä on muun muassa kuivapaperirullien epätasainen rakenne tai heikko vetolujuus. Prosessin seisokkeja ovat prosessin aiheuttamat seisokit kuten ratakatkot ja ruuhkatilanteet. Seurantajärjestelmä jaottelee odottamattomat seisokit viiteen osaan ja luokat jaetaan vielä tarkemmin yksittäisiin syihin, jolloin seurantajärjestelmästä pystytään selvittämään kuinka kauan tietyn vian aiheuttamat seisokit vievät aikaa. Seisokkien luokittelu parantaa syiden laajempaa tarkastelua

yrittäjien organisaatiorakenteessa. Seisokkien kirjaaminen järjestelmään tapahtuu jalostuslinjalla toimivan operaattorin toimesta, joka merkitsee tarvittaessa seisokin syyn ja seurantajärjestelmä luokittelee kyseisen syyn. Seurantajärjestelmän seisokkien kirjaamisen pitää olla mahdollisimman yksinkertaista ja nopeaa operaattorille, jotta operaattori pystyy keskittymään prosessin valvontaan ja tuotannon tehtäviin.

5.4.2 Nopeuden syysseuranta

Seurantajärjestelmä kertoo jalostuslinjan suorituskyvystä, jolla tarkoitetaan tuotantonopeutta. Jalostuslinjalla on suunniteltu maksimituotantonopeus, mutta linjasto harvoin toimii täydellä nopeudella. Tuotannon nopeus ja sen muutokset ilmaistaan seurantajärjestelmässä. Nopeus ilmoitetaan järjestelmässä tuotannon määrällä esimerkiksi m/min tai kpl/h yksikkönä. Suorituskyky esitetään järjestelmässä suorituskyvyn prosenttina, joka saadaan laskemalla, kuinka monta prosenttiyksikköä tuotannon nykyinen nopeus on maksimituotantonopeudesta.

Jalostuslinjan seurantajärjestelmä kertoo tuotantonopeuden lisäksi, minkälaiset syyt vaikuttavat tuotannon nopeuteen. Nopeuden vaihteluun vaikuttaa muun muassa tuote, jota linjastolla valmistetaan, raaka-aineen laatu sekä operaattorin kokemus. Tämän tyyppisten syiden kirjaaminen järjestelmään on erityisen tärkeää, mikäli tuotantonopeutta halutaan kasvattaa ja suorituskykyä parantaa.

5.4.3 Laadun syysseuranta

Laatu on tärkeä osa tuotannon tehokkuuden kokonaisuutta ja laadun mittaaminen on tuotannossa tärkeää, mikäli valmistettavien tuotteiden halutaan olevan laadultaan myyntikelpoisia. Huonolaatuiset tuotteet eivät kelpaa toimeksiantajayrityksen asiakkaille ja ne joudutaan kierrättämään tai myymään alihintaan. Pyrkiminen mahdollisimman hyvään laatuun on osa Lean-ajattelumallia, jossa arvoa tuottamattomat tekijät pyritään minimoimaan.

Toimeksiantajayritykselle tulevaan tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmään sisällytetään laadun mittari, joka kertoo prosenttina kuinka suuri tuotannosta on hyvälaatuisia ja myyntikelpoista tuotetta. Seurantajärjestelmä laskee

tuotannon laadun yksinkertaisesti hyvälaatuisten tuotteiden prosenttiosuutena koko tuotantomäärästä. Seurantajärjestelmään on mahdollisuus kirjata, mistä syystä huonolaatuista tuotetta on syntynyt. Huonolaatuinen tuotanto pystytään jaottelemaan laatutekijöihin, jolloin pitkällä ajanjaksolla saadaan selville, mitkä laatutekijät tuottavat eniten hävikkiä jalostuslinjalla. Tuotannossa huonolaatuista tuotetta syntyy muun muassa rullanvaihdosta, huonolaatuisesta raaka-aineesta ja liian nopeasta tuotantonopeudesta.

5.5 Tehokkuuden raportointi

Toimeksiantajayrityksen seurantajärjestelmä tuottaa saatavista tuotantotiedoista havainnollistavia kuvaajia, joista näkee selkeästi haluttavat tehokkuuden seurannan osat. Kuvaajat muodostavat kokonaisuudessaan tehokkuusraportin, jota analysoimalla voidaan tuotannon tehokkuutta parantavia tekijöitä suunnitella ja toteuttaa. Tehokkuusraportit ovat täysin muokattavia sisällöltään ja tarkasteluväliiltään. Raportit ovat sähköisessä muodossa ja niitä voidaan soveltaa erilaisiksi riippuen seurantajärjestelmän käyttökohteista. Mahdollisia raportointivariaatioita ovat muun muassa OEE-raportti, tuotannon pohjapiirros raportti, päivittäisen tuotannon raportti ja interaktiivinen seisokkien syysseuranta raportti (Bosson 2023). Toimeksiantajayrityksessä käyttöön otettavassa tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmän ensimmäisessä versiossa hyödynnetään ainoastaan OEE-raportointia.

Raportoinnin vaihtoehtoja selkeästi käytetyin formaatti on OEE-raportti (kuvio 5), joka havainnollistaa tehokkuusprosentin reaaliajassa. OEE on jaoteltu sen kolmeen osatekijään ja esitettäviä kuvaajia voidaan muokata halutun raportin luomiseksi. Käytettävyyttä, suorituskykyä ja laatua voidaan kuvata erillisillä pylväsdiagrammeilla. Numeeristen arvojen lisäksi OEE-raportti sisältää seisokkiajan ja sen erittelyn luokittain. Seisokkien tarkastelussa on esillä seisokkien syy sekä tieto seisokkien ajallisesta kestosta.



KUVIO 5. Esimerkki OEE raportista, jossa tehokkuuden seurannan havainnollistaminen on jaettu viikko- ja kuukausiseurantaan (Evocon n.d.).

Tuotannon pohjapiirrosraportti havainnollistaa yksinkertaistetusti pohjapiirustuksen itse tuotantolinjasta, jossa jokainen prosessin osa on jaoteltu erikseen. Pohjapiirrosraportista pystytään seuraamaan raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden tarkkaa sijaintia ja vaihetta tuotannossa. Raportissa on lisäksi informaatiota OEE:stä, mutta se keskittyy tuotannon eri vaiheiden ja koneiden tehokkuuden tarkkaan seuraamiseen. (Bosson 2023)

Päivittäisen tuotannon ja interaktiivinen seisokkien syuseuranta raportti ovat raportointi vaihtoehtoja, jotka syventävät OEE-raportissa nähtäviä tietoja. Päivittäisen tuotannon raportissa voidaan tarkastella yhden päivän tuntikohtaista tehokkuutta esimerkiksi OEE:n avulla. Interaktiivisen seisokkien syuseuranta raportin avulla voidaan tutkia tarkemmin seisokkien juurisyitä ja tehdä syvempää analyysiä. Kummatkin raportointimallit on mahdollista sisällyttää OEE-raporttiin, jotta saadaan yksityiskohtaisempaa tietoa tehokkuuden seurannasta. (Bosson 2023)

Jalostuslinjalle kehitettävän tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmän ensisijainen raportointiformaatti on OEE-raportti, sillä se on ensisijainen raportointimuoto tuotantolinjoille, joissa ei ole vielä tehokkuuden seurantajärjestelmää implementoituina. OEE-raportointi luo lisäksi erinomaisen pohjan mahdollisille

muokkauksille ja lisätoimintojen asentamiselle. Jalostuslinjalta saatavissa OEE-raporteissa on sisällytettyinä seuraavat osat:

- OEE-arvo
- käytettävyyso prosentti
- suorituskkyprosentti
- laatu prosentti
- linja käynnissä (kyllä/ei)
- tuotannon nopeus (m/min)
- tuotannon tavoiteltu nopeus (m/min)
- suunnitellut seisokit
- suunnittelemattomat seisokit
- mekaaniset seisokit
- sähköiset seisokit
- automaation seisokit
- jalostuslinjan jako osaprosesseihin
- tarkasteluvälin muokkausmahdollisuus
- työvuoron pituus
- suunniteltu tuotantoaika
- tuotantoaika
- nettotuotantoaika
- arvoa tuottava tuotantoaika.

Lisäksi raportista saadaan selville valmistettava tuote, päivämäärä, kellonaika, työvuoro, jalostuslinjan nimi ja tarvittaessa linjalla työskentelevä operaattori. Kyseisen seurantajärjestelmän osat ovat modulaarisia informaation osia, joita voidaan yhdistellä, lisätä ja poistaa raporteista halutulla tavalla.

Osa OEE-raporteissa esitettävästä informaatiosta on toisiinsa sidonnaista, jolloin ne esitetään esimerkiksi yhdessä kuvaajassa selkeyden vuoksi. Toisiinsa sidonnaiset osat ovat omia moduuleitaan. Kaikki seurantajärjestelmän sisällyttämät moduulit ja niiden sisältämät osat on listattu taulukkoon 2. Moduuleiden sisältö on mahdollista muokata, moduuleita on mahdollista yhdistää suuremmiksi moduuleiksi ja moduuleiden osista voidaan luoda yksittäisiä moduuleita. Tämä lisää

seurantajärjestelmän tuottaman informaation esittämismahdollisuuksia ja mahdollistaa seurantajärjestelmän päivittämisen. Esimerkiksi OEE:n osatekijät moduulin sisällöstä voidaan valita käytettävyyks havainnollistettavaksi ajan suhteen erillisenä pylväskaaviona.

TAULUKKO 2. Seurantajärjestelmän raporttien moduulit ja niiden sisältö sekä yksikkö.

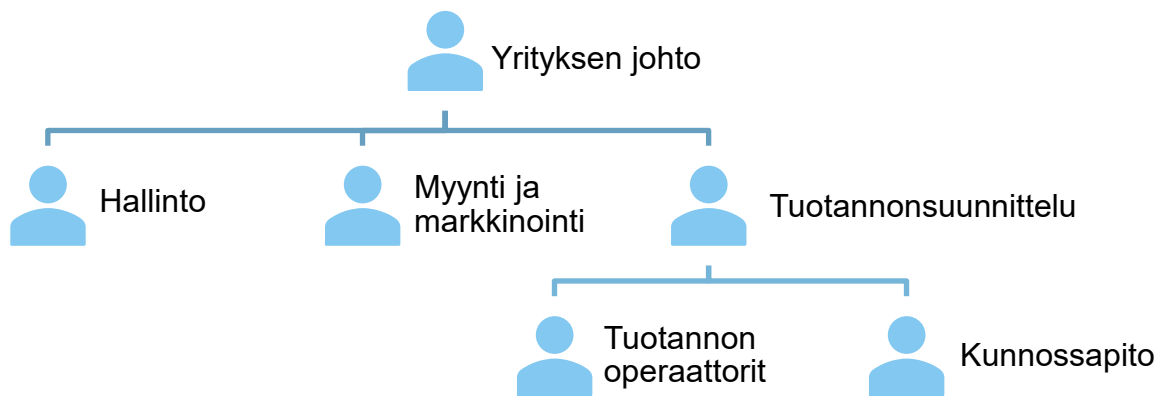
Seurantajärjestelmän raportoinnin moduulit		
Moduuli	Sisältö	Yksikkö
OEE-arvo ja sen osatekijät	OEE-arvo, käytettävyyks, suorituskyky ja laatu	prosentti (%)
OEE:n aikajaottelu	Työvuoron pituus tai muokattava tarkasteluväli, suunniteltu tuotantoaika, tuotantoaika, nettotuotantoaika ja arvoa tuottava tuotantoaika.	h ja min
Tuotannon nopeus	Tuotannon nopeus, tuotannon maksiminopeus ja tuotannon tavoiteltu nopeus tuoteperhekohtaisilla tavoite-nopeuksilla.	m/min
Seisokit	Suunnitellut seisokit, suunnittelemattomat seisokit, mekaaniset seisokit, sähköiset seisokit, automaation seisokit, raaka-aineen seisokit ja prosessin seisokit.	h, min ja syyt
Jaottelu osaprosesseihin	Aukirullaus, kalanteri, taittoyksikkö, pituusleikkuri, pakkauskone 1., pakkauskone 2. ja pakkauskone 3.	h ja min
Linja käynnissä	Linjan käyntitieto	Kyllä tai Ei
Operaattori	Operaattori	Tunnus ja/tai nimi
Kellonaika	Kellonaika	h ja min
Työvuoro	Työvuoro	Tunnus
Jalostuslinjan yleiset tiedot	Jalostuslinjan nimi, päivämäärä ja valmistettava tuote.	Tunnus ja pvm.

Seurantajärjestelmän raporttien avulla jalostuslinjasta saadaan paljon informatiivista tietoa, jonka avulla yrityksen organisaation eri toimijat pystyvät seuraamaan heidän työnkuvansa kannalta merkittäviä tekijöitä. Raporttien informaation pohjalta he pystyvät parantamaan yrityksen tuotannon tehokkuutta ja kestäväää kehitystä.

5.6 Seurantajärjestelmä organisaatorakenteessa

Erilaisten organisaatorakenteiden kirjo on nykypäivänä laajaa yrityksissä. Organisaatorakenteeseen vaikuttaa muun muassa yrityksen toimiala, henkilöstön määrä ja strategia. Organisaatorakenteet sijoittuvat vahvasti hierarkiaan pohjautuvien mallien ja hierarkiasta luopuneiden, matalan organisaation, mallien välille. Mitä enemmän organisaatiossa on hierarkkista rakennetta, sitä enemmän organisaatossa on erilaisia tittleitä ja organisaatiokerroksia. Organisaatiokerrokset asettavat yrityksessä työskentelevät henkilöt usein eriarvoiseen asemaan ja nykyään yritykset pyrkivät poistamaan organisaatiokerroksia. Toimilla parannetaan yrityksen sisäistä viestintää, yhteistyötä ja tasa-arvoisuutta.

On selvää, että yrityksen hierarkiasta ja organisaatiokerroksista on myös hyötyä, mikäli sen sisäinen viestintä ja yhteistyö on kaikkien etuja palvelevaa. Tämä pätee myös yrityksessä käytettäviin järjestelmiin. Mikäli järjestelmä kehitetään koko organisaation käyttöön, palvelee se kaikkia yrityksen työntekijöitä parhaalla mahdollisella tavalla. Tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmä soveltuu täten kaikkiin yrityksen organisaatorakenteen osiin. Kuivapaperia jalostavan Hypap Oy:n yksinkertaistettua organisaatorakennetta on kuvattu kuviossa 6.



KUVIO 6. Toimeksiantajayrityksen yksinkertaistettu organisaatorakenne.

Toimeksiantajayrityksen organisaation eri toimijat hyödyntävät seurantajärjestelmän tuottamaa informaatiota eri tarpeisiin. Työntekijöiden työnkuvat luovat erilaisia näkökulmia ja tarpeita tehokkuuden seurantajärjestelmän osalta. Seurantajärjestelmän tuottamat raportit ovat yksittäisten henkilöiden toimesta tapahtuvan tarkastelun lisäksi käytössä toimeksiantajayrityksen erilaisissa kokouksissa ja keskusteluissa. Tehokkuuden seurantajärjestelmää voidaan hyödyntää esimerkiksi yrityksen viikko-, kuukausi- ja vuosikokouksissa sekä kehityskeskusteluissa. Muokattavista moduuleista koostuvat raportit mahdollistavat tiettyyn tilanteeseen tarvittavan raportin kokoamisen. Seurantajärjestelmään luodaan sisällöllisesti valmiita raporttipohjia (taulukko 3) yrityksen seuraaville toimijoille: yrityksen johto, tuotannosuunnittelu, kunnossapito ja tuotannon operaattorit. Kaikille toimijoille on erittäin olennaista informoida tuotannon tavoiteltu tuotantotaso sekä selkeät tasot riittävälle ja riittämättömälle tuotantotasolle. Merkittävin ero eri toimijoiden raporteissa on aikaväli, jolla tuotannon tehokkuutta tarkastellaan. Tuotannon operaattori haluaa saada tietoa omasta toiminnastaan päivä- ja viikkotasolla, kun taas yrityksen ylin johto saa relevantimpaa tietoa jalostuslinjan tehokkuudesta kuukausi- ja vuositasolla.

TAULUKKO 3. Rääätälöityjen raporttipohjien sisältö neljälle toimeksiantajayrityksen toimijaryhmälle.

Moduuli	Yrityksen johto	Tuotannon suunnittelu	Kunnossapito	Tuotannon operaattorit
OEE-arvo ja osatekijät	X	X	X	X
OEE:n ajankäyttö	X	X		
Tuotannon nopeus ja tuotannon tavoiteltu nopeus		X	X	X
Seisokit	X	X	X	X
Seisokkien jaottelu osaprosesseihin		X	X	
Linja käynnissä				X
Operaattori		X		X
Kellonaika			X	X
Työvuoro				X
Jalostuslinjan yleiset tiedot	X	X	X	X
Tarkastettava aikaväli	Vuosineljännes- ja vuositaso	Kuukausi- ja vuosineljännes- taso	Viikko- ja kuukausi- taso	Päivä- ja viikotaso

Seurantajärjestelmän sisältämä informaatio pohjautuu samaan dataan riippumatta siitä, mille organisaatiotasolle sitä esitetään. Yhtenevän datan käyttö on pakollista, mikäli yrityksessä halutaan parantaa sisäistä viestintää, yhteistyötä ja tasa-arvoisuutta. Tuotannosta saatu data tehokkuudesta ja seisokeista on pitkälti tuotannon operaattoreiden tuottamaa ja tehokkuutta voidaan parantaa näkyvästi johdon hyödyntäessä tätä samaa dataa. Erityisesti luottamus yrityksen kenttätyöntekijöiden ja johdon välillä paranee ja tehokkuuden parantaminen konkreettisesti helpottuu.

6 SEURANTAJÄRJESTELMÄN IMPLEMENTOINTI

6.1 Implementoinnin vaiheet

Implementaatio on tärkeä vaihe toimeksiantajayrityksen seurantajärjestelmän käyttöönottamiseksi. Implementoinnin vaiheet määrittävät missä järjestyksessä implementaatio suoritetaan. Implementaatio pystytään suorittamaan ainoastaan osaltaan, sillä toimeksiantajayritys valmistelee yhä sen tietoliikenneprotokollaa sekä MES-järjestelmää. Implementoinnin osa, joka tullaan suorittamaan opinnäytetyössä, on toimeksiantajayrityksen tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmän ensimmäisen version tarkan rakenteen ja toimintaperiaatteen kuvaaminen. Tämän pohjalta seurantajärjestelmä on jatkossa mahdollista ohjelmoida sekä liittää osaksi toimeksiantajayrityksen toimintaa.

Seurantajärjestelmän rakenteen ja toimintaperiaatteen selvittämisen jälkeen yrityksen ostama alihankkija pystyy ohjelmoimaan seurantajärjestelmän ensimmäisen version ja liittämään sen osaksi yrityksen järjestelmärakennetta. Seurantajärjestelmällä on yhteys jalostuslinjan logiikkaohjaimeen (PLC), MES-järjestelmään ja yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään (ERP). Seurantajärjestelmä on yhteydessä muihin yrityksen järjestelmiin ja toimii OPC UA tietoliikenneprotokollan mukaisesti. OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) on tietoliikenneprotokolla, jonka avulla tietoliikenteestä saadaan turvallista ja luotettavaa sekä alustasta riippumatonta (Atlas Copco, n.d.). Protokollan mukaan toimivat järjestelmän ovat myös laajennettavissa, joka on hyödyksi erityisesti seurantajärjestelmien implementoinneissa, sillä järjestelmää todennäköisesti päivitetään tulevaisuudessa.

Ohjelmoinnin jälkeen seurantajärjestelmää testataan sen toimintaympäristössä. Jalostuslinjalta saatavan datan perustella järjestelmän raportteihin tuottamat tehokkuuden luvut ja seisokkien tiedot tarkistetaan. Lisäksi jalostuslinjan perustietojen paikkansapitävyys pitää tarkistaa. Mikäli seurantajärjestelmässä havaitaan epäkohtia tai puutteita, ne pyritään korjaamaan mahdollisimman tarkasti ja tehokkaasti. Mikäli seurantajärjestelmä toimii ensimmäisen version vaatimalla tavalla,

on implementaatio suoritettu ja seurantajärjestelmää voidaan alkaa hyödyntämään toimeksiantajayrityksessä.

6.2 Seurantajärjestelmän järjestelmärakenne

6.2.1 Seisokkien järjestelmärakenne

Seurantajärjestelmään rekisteröityvät tiedot kerätään toimeksiantajayrityksen tuotannonohjausjärjestelmästä (MES-järjestelmä), jalostuslinjan logiikkaohjaimelta (PLC) tai manuaalisesti jalostuslinjan operaattorin kirjaamana. Manuaalisesti kirjattavien tietojen rakenteellisuus on oltava yksinkertainen ja nopea tapa kirjata tietoja seurantajärjestelmään.

Seisokit ovat ainoita manuaalisesti kirjattavia ja valittavia tietoja, joita tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmään syötetään. Kaikki seisokkeja aiheuttavat syyt eivät siirry suoraan jalostuslinjan logiikkaohjaimen kautta seurantajärjestelmään, sillä niistä ei saada vikakoodia. Tällöin operaattorin tehtävä on valita seisokin sattuessa alasvetovalikosta seisokin syytä parhaiten kuvaava seisokin syy. Mikäli operaattori ei löydä valikosta seisokin syytä kuvaavaa valintaa, hän voi valita vaihtoehdoksi ”muu”, jolloin järjestelmä vaatii vapaamuotoisen selityksen seisokille. Kaikissa seisokeissa, riippumatta sen syötteestä, on mahdollisuus kirjoittaa vapaamuotoista tekstiä seisokin syyn lisäksi tarkentamaan syytä. Kaikki seisokit kuitataan hyväksytyksi, seisokki rekisteröityy seurantajärjestelmään ja jalostuslinja voidaan käynnistää.

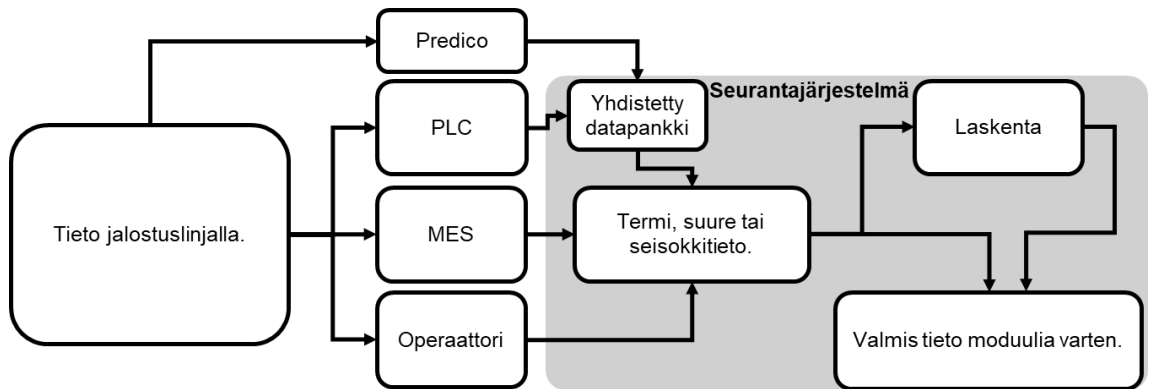
Seisokin alkuajaksi seurantajärjestelmään kirjautuu automaattisesti logiikkaohjaimelta se aika, jolloin kone pysähtyy ja järjestelmä ehdottaa tai vaatii seisokin syytä työpisteellä. Seisokin loppuajaksi seurantajärjestelmään kirjautuu automaattisesti logiikkaohjaimelta se aika, jolloin kone käynnistyy ja seisokki on hyväksytty operaattorin toimesta. Seurantajärjestelmä laskee seisokin ajaksi aikavälin, joka on seisokin aloitusajan ja lopetusajan välissä ja yhdistää ajan järjestelmään rekisteröityyn seisokkiin. On erityisen tärkeää, että seisokkien ajoiksi määräytyy se aika, jolloin jalostuslinja on pysähdyksissä, eikä se aika, joka on logiikkaohjaimen tunnistaman seisokin alun ja operaattorin kuittaaman seisokin

välillä, sillä jalostuslinja saattaa olla pysähdyksissä vielä kuittaamisenkin jälkeen ennen sen käynnistämistä.

6.2.2 Tuotantotehokkuuden mittareiden järjestelmärakenne

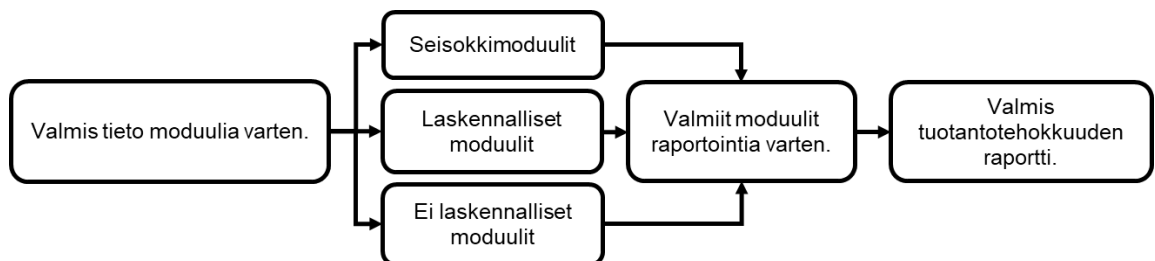
Tuotannonohjausjärjestelmän ja logiikkaohjaimen tuottaman datan perusteella seurantajärjestelmä laskee tarvittavat tuotantotehokkuuden mittarien arvot. Laskennallinen rakenne on olennainen osa tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmää, jotta informaatio on luotettavaa. Tuotantotehokkuuden mittareiden rakenteellisuus koostuu kahdesta vaiheesta, jotka seurantajärjestelmän toteuttaa. Ensimmäinen vaihe on datan syöttö seurantajärjestelmään, johon sisältyy datan kerääminen ja tarvittavien tuotantotehokkuuden mittareiden laskeminen oikeilla kaavoilla. Toinen vaihe on kerätyn ja lasketun datan muuttaminen informatiivisiksi moduuleiksi seurantajärjestelmän raportteihin.

Ensimmäisen vaiheen tiedot on listattu taulukkoon (liite 1), josta saadaan tarpeelliset tiedot tuotantotehokkuuden mittareiden ensimmäisen vaiheen rakenteellisyydestä. Tuotantotehokkuuden mittareita varten saatavaa tietoa tullaan saamaan PLC:n ja MES-järjestelmän kautta. Taulukkoon on lisätty tiedonlähteeksi Predico-järjestelmä, joka on toimeksiantajayrityksessä käytettävä logistiikkajärjestelmä, josta saadaan vielä osa tiedoista. Predicosta saatava data tullaan siirtämään yhteen PLC:ltä saatavaan dataan, jolloin tiedonlähteet saadaan keskitettyä yhteiseksi informaatiokokonaisuudeksi. Osa tuotantotehokkuuden mittareissa käytettävistä tiedoista siirtyy suoraan tietolähteeltä seurantajärjestelmään ja osa mittareissa käytettävistä tiedoista seurantajärjestelmä laskee tietolähteiden tiedoista. Laskennalliset toimenpiteet ovat yksinkertaisia keskiarvo-, erotus-, jako- ja kertolaskuja. Jokaisella moduuleissa käytettävällä termillä tai suureella on oma koodinsa ja tieto miltä syötteeltä tieto saadaan. Mikäli suure vaatii laskennallisen toimenpiteen, on laskuun käytettävät suureet ja laskentatapa merkitty. Ensimmäisen vaiheen datan siirtymistä seurantajärjestelmään voidaan kuvata kaavion avulla (kuvio 7), jossa tieto saadaan jonkin neljän tiedonlähteen kautta ja muokataan haluttuun muotoon moduulin luontia varten.



KUVIO 7. Tuotantotehokkuuden mittareiden tietojen syöttäminen seurantajärjestelmään ja tiedon käsittely seurantajärjestelmässä.

Toisessa vaiheessa seurantajärjestelmä muuttaa sille syötetyt tiedot informaatiota sisältäviksi moduulirakenteiksi. Moduuleissa tullaan käyttämään aikaa tarkasteluvälinä ja mahdollisuus muuttaa tarkasteluväliä vähintään toimeksiantajayrityksen neljän eri toimijaraportin vaatimalla tavalla on sisällytettävä moduuleiden tietoihin. Seurantajärjestelmän moduulien luomista on kuvattu kaaviomallissa (kuvio 8), jossa seurantajärjestelmän keräämä ja laskema tieto muutetaan halutuksi moduuliksi tarvittavilla ominaisuuksilla, jonka jälkeen valmis moduuli on käyttövalmis raporttiin.



KUVIO 8. Seurantajärjestelmän moduulin ja raportin luomisen vaiheet.

Toimeksiantajayritykselle valmistettava tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmän järjestelmärakenne on kuvattu kokonaisuudessaan laajemmassa kaaviossa (liite 2), josta nähdään tiedon siirtymisen rakenne kokonaisuudessaan jalostuslinjalla olevasta datasta valmiiseen informatiiviseen tuotantotehokkuuden raporttiin.

6.3 Seurantajärjestelmän toimintaperiaate ja moduulirakenteet

6.3.1 Seisokit

Seurantajärjestelmä on tietokoneella ja mahdollisesti mobiililaitteella oleva ohjelma. Seurantajärjestelmää voidaan aloittaa ohjelmoimaan tyhjältä pohjalta tai esimerkiksi Microsoft Power BI- ohjelmaa apuna käyttäen. Microsoftin tarjoama Power BI- ohjelma tarjoaa hyvät ominaisuudet datan esittämiselle seurantajärjestelmän ensimmäisessä versiossa. Seurantajärjestelmän toimintaperiaate on mahdollisimman käyttäjäystävällinen ja yksinkertainen. Seurantajärjestelmä on kehitetty enimmäkseen tehokkuuden seuranta varten, joten datan esittäminen informatiivisessa muodossa on tärkeintä.

Tiedot siirtyvän seurantajärjestelmään suurimmaksi osaksi automaattisesti, mutta tuotannossa jalostuslinjalla työskentelevän operaattorin tehtävä on tehdä merkintöjä seurantajärjestelmään. Seisokkien merkintä, kommentointi ja kuittaus ovat operaattorin tehtäviä, jotka vaikuttavat seurantajärjestelmän tietoihin. Seisokin kuittaus näytössä (kuvio 9) on kolme toimintoa: alasvetovalikko seisokin syyn valintaan, mikäli logiikkaohjaimelta tietoa ei tule, kommentointikenttä seisokkien syiden kommentointia varten sekä ”muu” valinnan kommentointia varten ja seisokin kuittaus painike.

SEISOKKI	SELITE	KOMMENTIT
	Ratakatko taitossa	
	Lämpösulake pölyimurin moottori	
	Lämpösulake terän moottori	
	Lämpösulake terän teroitus moottori oikea	
	Lämpösulake terän teroitus moottori vasen	
	Lämpösulake öljymoottori	
	Lämpösulake kuljetin moottori	
	Syöttörullan halkaisijasensorin yhteys	
	Aukirullauksen potentiometrin yhteys	
	Reikiä kuivapaperissa	
	Kuivapaperiradan leveys	
	Kuivapaperin ryppyisyys	
	Ratakatko taitossa	

KUITTAA SEISOKKI

KUVIO 9. Havainnekuva seisokin kuittaamisen näkymästä seisokin sattuessa.

Seisokit kirjautuvat seurantajärjestelmään jalostuslinja logiikkaohjaimelta (PLC) tai operaattorin kirjaamana. Logiikkaohjaimeen on ohjelmoituna virhekoodeja ja tapahtumatunnisteita, joita logiikkaohjain kirjaa jalostuslinjalta. Virhekoodit ovat jaettu osaprosesseihin ja ne kertovan erilaisista jalostuslinjalla tapahtuvista seisokeista. Osa logiikkaohjaimeen ohjelmoiduista vikakoodeista on selvennetty liitteessä 3, jotta seisokin kuittaamisessa alavetovalikossa näkyy logiikkaohjaimelta tulevien virhekoodien sijaan virhekoodien selitteet. Logiikkaohjaimelta tulevien virhekoodien lisäksi, seisokin valinnan alavetovalikossa on lisättyjä seisokkien syitä, jotka eivät löydy logiikkaohjaimen virhekooditaulukosta. Lisätyt seisokkien syyt löytyvät liitteestä 3.

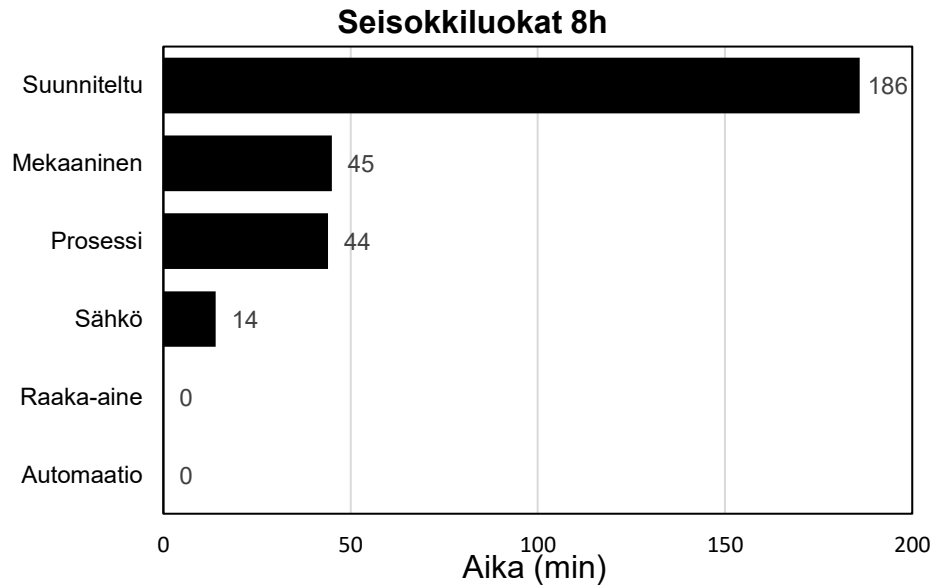
Jalostuslinjan logiikkaohjaimeen on ohjelmoitu useita virhekoodeja (liite 4), joiden selitteet selvitetään, luokitellaan ja yhdistetään osaprosessiin. Jalostuslinjan prosessissa on osaprosessit aukirullain, kalanteri, taittoyksikkö, pituusleikkuri, pakkauskone 1., pakkauskone 2. ja pakkauskone 3 eli lavaaja. Lisäksi osaprosessi voi olla yleinen, mikäli seisokki ei perustu mihinkään tiettyyn osaprosessiin.

Kuivapaperin jalostuslinjalla on toimeksiantajayrityksessä myös suunniteltuja seisokkeja, jotka listataan ja lisätään tehokkuuden seurantajärjestelmän toimintaperiaatteeseen. Suunniteltujen seisokkien selitteet on listattu taulukkoon 4. Suunnitelluista seisokeista huolto, pesu, lajinvaihto ja henkilöstöpula löytyvät seisokin kuittaamisen yhteydessä olevasta alavetovalikosta, jolloin ne voidaan kuitata tarvittaessa suunnittelemattomina seisokkeina.

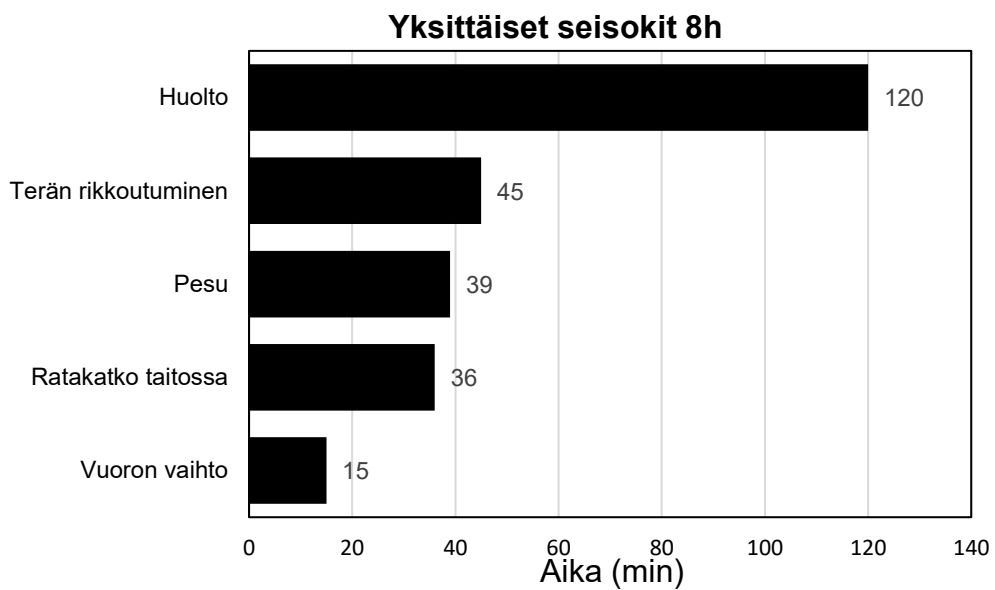
TAULUKKO 4. Jalostuslinjan suunniteltujen seisokkien selite, luokka ja osaprosessi.

Selite	Luokka	Osaprosessi
Vuoron vaihto	Suunniteltu	Yleinen
Huolto	Suunniteltu / Suunnittelematon	Yleinen
Pesu	Suunniteltu / Suunnittelematon	Yleinen
Lajinvaihto	Suunniteltu / Suunnittelematon	Yleinen
Seisokki	Suunniteltu	Yleinen
Henkilöstöpula	Suunniteltu / Suunnittelematon	Yleinen

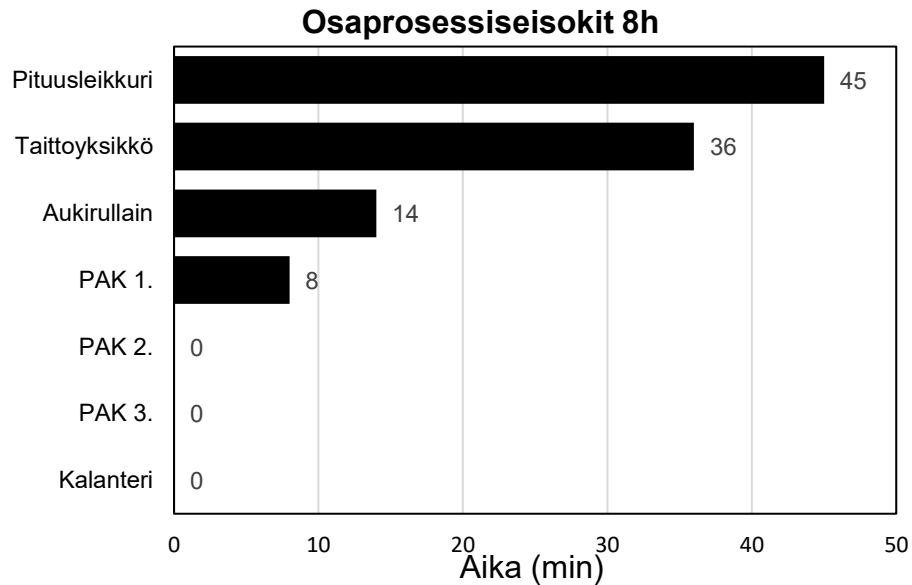
Seurantajärjestelmään kirjautuneet seisokit näkyvät moduuleina järjestelmässä ja niiden tarkasteluajaväliä pystyy muuttamaan. Seisokkeja pystyy tarkastelemaan moduulista tunnin, vuoron, vuorokauden, viikon, kuukauden, vuosineljänneksen ja vuoden aikaväleillä. Yhteensä seisokeista saatavaa informaatiota esitetään kolmena erilaisena moduulina. Kaikki kolme moduulia kuvaavat seisokkien ajallista osuutta jalostuslinjalla. Ensimmäinen moduuli sisältää palkkikaavion, jossa on kirjautuneiden seisokkien luokkajaottelu ajan suhteen (kuvio 10). Toinen moduuli sisältää palkkikaavion, jossa viisi eniten aikaa kuluttaneet yksittäiset seisokkien selitteet ovat kuvattuina ajan suhteen (kuvio 11). Kolmas moduuli sisältää palkkikaavion, jossa kaikki jalostuslinjan yksikköprosesseihin kirjautuneet seisokit on esitetty ajan suhteen (kuvio 12) ja osaprosesseihin luokittelemattomat seisokkien syyt eli yleiset osaprosessit jätetään huomioimatta.



KUVIO 10. Havainnollistava palkkikaavio seisokkien luokkien ajankäytöstä yhden vuoron aikana.



KUVIO 11. Havainnollistava palkkikaavio yksittäisten seisokkien ajankäytöstä yhden vuoron aikana.



KUVIO 12. Havainnollistava palkkikaavio osaprosessien seisokkien ajankäytöstä yhden vuoron aikana.

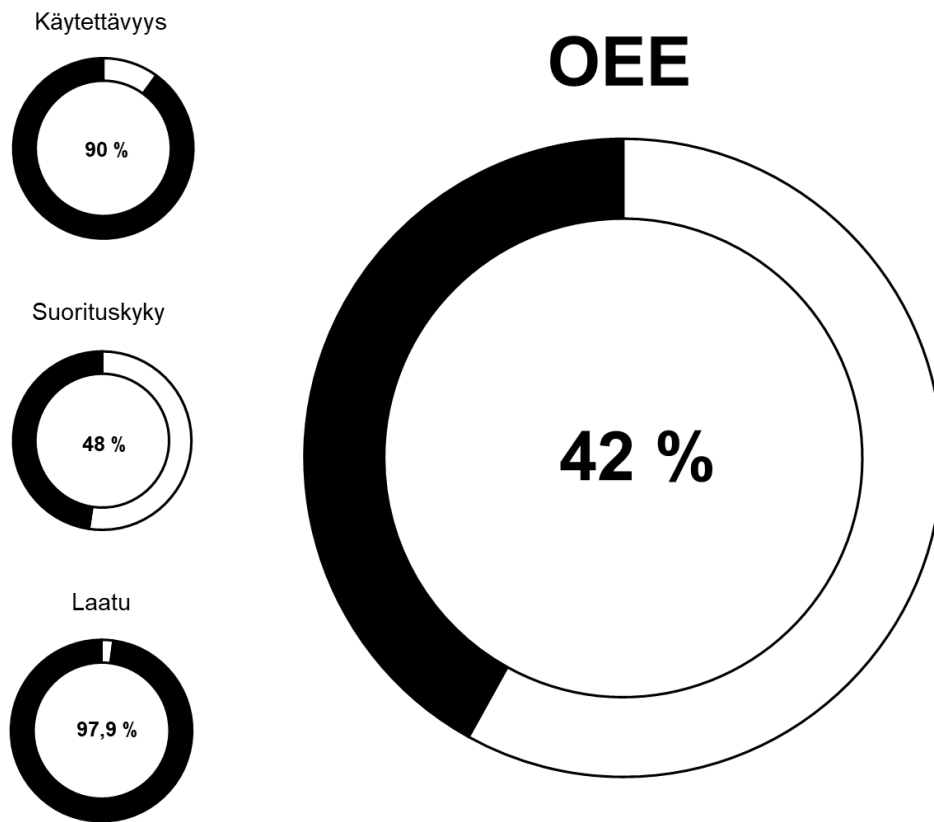
Seisokkien kirjaaminen ja seurantajärjestelmään kirjattujen seisokkitietojen avulla luodut informaatiomoduulit pyrkivät olemaan mahdollisimman käyttäjäystävällisiä ja selkeitä. Seisokin kirjaaminen ja selitteet kirjataan selkeiksi ja seisokkien informaatiomoduuleista näkyy selkeästi halutut tiedot halutulta tarkasteluväliltä.

6.3.2 Tuotantotehokkuuden mittarit

Toimeksiantajayrityksen jalostuslinjan tehokkuuden seurantajärjestelmään rekisteröityvät tiedot tuotantotehokkuudesta esitetään seisokkien tapaan moduuleina. Tuotantotehokkuuden informatiiviseen esittämiseen tarvittavat tiedot siirtyvät loogikkaohjaimelta ja MES-järjestelmästä automaattisesti, joten jalostuslinjalla työskentelevän operaattorin ei tarvitse huolehtia tuotantotehokkuuden mittareihin vaadittavien tietojen syöttämisestä. Moduuleita, joiden avulla kuvataan tuotantotehokkuutta, on yhteensä kahdeksan kappaletta. Näitä moduuleja pystytään hyödyntämään, kun luodaan raportteja toimeksiantajayrityksen neljälle toimijaryhmälle.

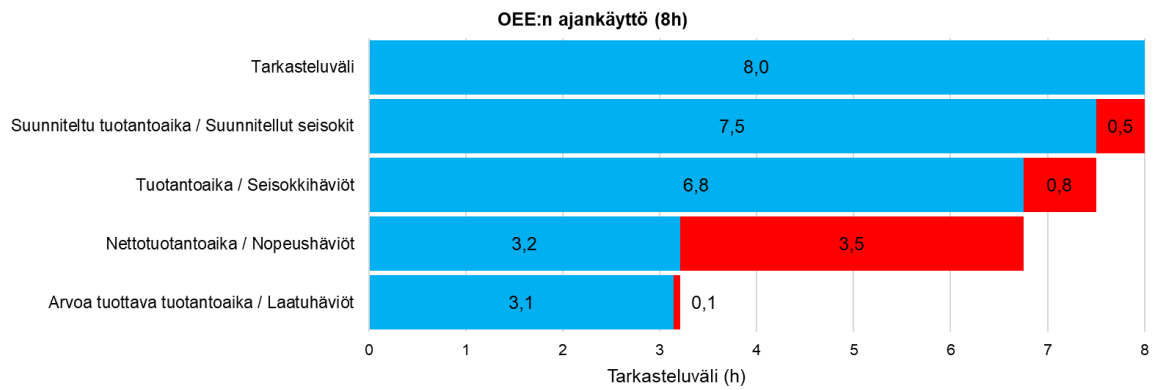
Ensimmäinen moduuli on OEE-arvon ja sen osatekijöiden arvojen, eli käytettävyyden, suorituskyvyn ja laadun arvot jalostuslinjalla (kuvio 13). Moduulissa

OEE:n osatekijät kuvataan pieninä prosenttiympyröinä ja OEE-arvo isona prosenttiympyränä.



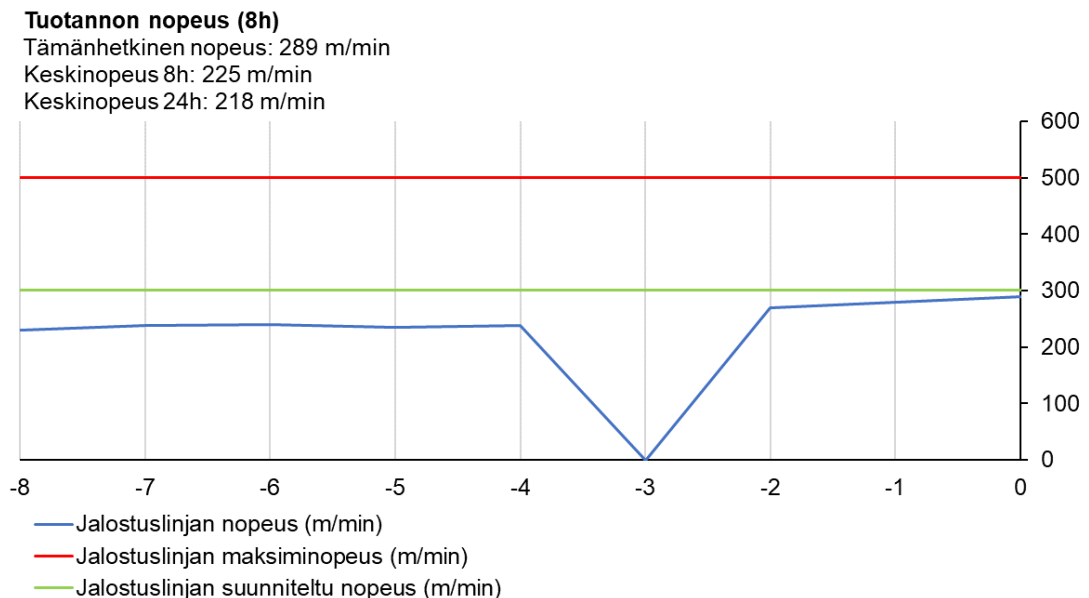
KUVIO 13. Havainnekuva OEE:n ja sen osatekijöiden arvojen moduulista.

Toinen moduuleista on OEE:n ajankäytöstä kertova palkkikaavio (kuvio 14), josta nähdään suunniteltujen seisokkien ja häviökategorioiden osuudet ajankäytöstä valitulla tarkasteluvälillä. Palkkikaaviosta nähdään selkeästi suurimmat häviökategoriat.



KUVIO 14. Havainnekuva OEE:n ajankäytön palkkikaaviosta.

Kolmas toimeksiantajan tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmään luotava moduuli on tuotannon nopeuden moduuli (kuvio 15), josta nähdään halutun tarkasteluvälin tuotannon nopeus. Nopeus on havainnollistavassa kuvaajassa kirjattu tunnin välein, mutta luotavaan moduuliin tuotannon nopeus on kirjattava minuutin välein. Kuvaajasta nähdään nopeuden lisäksi jalostuslinjan maksiminopeus sekä jalostuslinjan suunniteltu nopeus valmistettavalle tuotteelle. Tuotannon nopeuden moduulista löytyy viimeisen 8 ja 24 tunnin nopeuksien keskiarvot sekä jalostuslinjan reaaliaikainen nopeus.



KUVIO 15. Havainnekuva tuotannon nopeuden moduulista.

Loput viisi moduulia ovat pienempiä ei laskennallisia moduuleita, jotka sisältyvät seurantajärjestelmään. Linja käynnissä, operaattori, kellonaika, työvuoro ja jalostuslinjan yleiset tiedot ovat moduuleita, jotka antavat tärkeää tietoa raportteihin. Esimerkkikuva (liite 5) havainnollistaa miltä seurantajärjestelmän luoma raportti näyttää, kun siihen on lisätty kaikki seisokkien ja tuotantotehokkuuden mittareiden moduulit sekä muut moduulit. Moduuleista koostuvissa raporteissa ei aina ole välttämättä kaikkia moduuleita, sillä toimeksiantajayrityksen neljällä eri toimijalla on erilaiset raporttien rakenteet.

7 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Pohdinta

Lopputuloksena opinnäytetyössä luodaan selkeä kehitelmäkuvaus siitä, mitä tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmän tulee ottaa huomioon toimeksiantajayrityksessä, millaisia ominaisuuksia se pitää sisällään ja miten seurantajärjestelmää hyödynnetään toimeksiantajan organisaatorakenteessa. Kehitystyössä tuodaan esille toimeksiantajalle tällä hetkellä paras raportointimalli seurantajärjestelmään, joka on OEE-raportti. Lisäksi tuodaan esille seurantajärjestelmässä vaadittavat moduulirakenteet, jotka tukevat kuivapaperin jalostuslinjan tuotantotehokkuuden seuranta sekä havainnollistetaan mitä moduuleita kunkin toimijaryhmän tehokkuusraportit pitävät sisällään. Tuloksena saadaan implementoinnin kuvausta tukeva kokonaisuus, jonka avulla voidaan syventyä tarkemmin seurantajärjestelmän ohjelmistorakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen.

Implementoinnin kuvauksessa tuodaan esille vaiheet, jotka vaaditaan lopullisen seurantajärjestelmän ohjelmointia varten ja lopulta seurantajärjestelmän ensimmäisen version käyttöönottamiseksi toimeksiantajayrityksessä. Ohjelmointia varten luodaan seurantajärjestelmän ohjelmistorakenne, josta nähdään jalostuslinjan tietojenkäsittelyn vaiheet jalostuslinjatiedoista valmiiksi tehokkuusraporteiksi. Toimeksiantajalta saatuja seisokkien vikakoodeja hyödynnetään järjestelmä-rakenteessa ja laskennallisia toimenpiteitä vaativien arvojen laskentakaavat esitetään. Ohjelmointia helpottamaan luodaan seurantajärjestelmän toimintaperiaate sekä moduulirakenne kuvaus, jotka kuvaavat seurantajärjestelmän käytettävyyttä ja visuaalista ulkonäköä. Moduulirakenteet ovat selkeitä ja helposti luettavia ja niistä muodostettavat raportit luovat informatiivisen kokonaisuuden seurantajärjestelmän käyttäjälle. Tuloksena on implementoinnin alun osuus, jonka pohjalta seurantajärjestelmä voidaan ohjelmoida.

7.2 Seurantajärjestelmän vaikutukset

Jalostuslinjaan yhdistetty tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmä luo toimeksiantajayritykselle paljon mahdollisuuksia seurata ja parantaa jalostuslinjan tuotantotehokkuutta erilaisten tuotannon kehitystoimien kautta. Seurantajärjestelmä mahdollistaa toimeksiantajayritykselle tuotantotehokkuuden parantamisen myötä liiketoiminnan laajemman kehittämisen ja päivittämisen. Seurantajärjestelmän käytön ja tuotantotehokkuuden seurannan myötä positiiviset vaikutukset kohdistuvat toimeksiantajayrityksen talouteen, työntekijöihin, kunnossapitoon, investointeihin sekä organisaation toimijoiden välisiin suhteisiin.

Ensisijaisesti tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmä parantaa kuivapaperin jalostuslinjan seuranta tuotantotehokkuuden näkökulmasta. Tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmä on kaikkien toimeksiantajayrityksen toimijoiden saavutettavissa ja seurattavissa. Tämä mahdollistaa erilaisten toimenpiteiden suorittamisen jalostuslinjan tuotantotehokkuuden parantamiseksi. Esimerkiksi operaattori, kunnossapito ja tuotannosuunnittelu pystyvät kehittämään jalostuslinjaa ja sen tuotantotehokkuutta seurantajärjestelmän raporttien pohjalta. Toimijat voivat toteuttaa tehokkuutta parantavia toimenpiteitä yksilöllisenä toimijana tai yhteistyössä muiden toimeksiantajayrityksen toimijoiden kanssa. Seurantajärjestelmästä havaitaan myös sellaisten toimien vaikutus, jotka heikentävän tuotantotehokkuutta. Tällöin osataan jatkossa välttää tuotantotehokkuuteen negatiivisesti vaikuttavia toimia. Ideaalilanteessa jalostuslinjalla tunnistetaan suurimmat tuotantotehokkuutta heikentävät tekijät seurantajärjestelmän avulla ja tekijöiden pohjalta tehdään päätöksiä tehokkuutta heikentävien syiden korjauttamiseksi. Lopputuloksena jalostuslinjan tuotantotehokkuus paranee.

Tuotantotehokkuuden parantamisella on paljon vaikutuksia toimeksiantajayritykselle. Tehokkaampi tuotanto näkyy positiivisena vaikutuksena yrityksen taloudessa. Mikäli tuotantotehokkuutta on parannettu esimerkiksi Lean-tuotanto ajatusmallin mukaisesti arvoa tuottamattomien toimien poistamisella tai vähentämisellä, paranee samalla jalostuslinjan kustannustehokkuus. Arvoa tuottamattoman toimen vähentäminen jalostuslinjalla voi olla esimerkiksi viallisen tuotannon minimointi. Huonolaatuiset tuotteet joudutaan myymään halvemmalla asiakkaalle tai

asiakas ei hyväksy niitä. Täten laadun parantaminen on usein kustannustehokkaampaa, vaikka se hidastaisi jalostusprosessia. Taloudellisen hyödyn parantaminen tuotantotehokkuutta lisäämällä voidaan toteuttaa myös halutun tarkastelu-kohteen panoksen lisäämisellä ja täten rajatuotosta kasvattamalla. Rajatuotoksen ja panoksen kasvaessa myös tuotoksen määrä kasvaa tiettyyn pisteeseen saakka. Tuotantotehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi valmistettavan tuotteen valmistusnopeutta nostamalla, jolloin tuotoksen määrä kasvaa. Tällöin yrityksellä on enemmän myytävää tuotetta kuin ennen samalla aikavälillä. Panoksen lisääminen pitää miettiä tarkkaan, sillä tuotantonopeuden lisääminen voi vaikuttaa laatuun ja jalostuslinjan ajettavuuteen. Panoksen lisäämisen myötä kasvaneella myytävien tuotteiden määrällä pitää olla asiakas, jotta taloudellinen hyöty paranee. Kun tuotantotehokkuutta halutaan parantaa panoksen lisäämisellä, on tarkastelukohteen valinta mietittävä tarkasti. Tuotantonopeutta voidaan lisätä rajallisesti, joten on pohdittava muita panostettavia tarkastelukohteita. Mahdollisia ensisijaisia tarkastelukohteita jalostuslinjalla tuotantonopeuden lisäksi ovat muun muassa viikoittaisten työtuntien lisääminen, linjan osaprosessien päivittäminen ja uusien tuoteperheiden lisääminen ajo-ohjelmiin. Ennen panoksen lisäämistä haluttuun tarkastelukohteeseen, määritetään, onko panoksen taloudellinen tuotto suurempi kuin panoksen taloudelliset menot.

Toimeksiantajalle kehitetystä ja implementoidusta tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmästä on paljon hyötyä yrityksen työntekijöille. Yrityksen johto, myynti ja markkinointi sekä tuotannosuunnittelu pystyvät seuraamaan tuotannon tehokkuuden raporttien avulla heidän valintojensa merkitystä tuotantotehokkuuteen. Esimerkiksi johdon tekemien uusien investointien merkitys jalostuslinjan tuotantotehokkuuteen saattaa näkyä vuoden tarkasteluvälillä joko positiivisena tai negatiivisena seurauksena. Tuotannosuunnittelun tekemät muutokset ajo-ohjelmiin voivat myös näkyä tuotantotehokkuuden parantumisenä tai heikkenemisenä jalostuslinjalla. Yksi toimeksiantajayrityksen toimijoista, joka hyötyy suuresti tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmästä, on kunnossapito. Kunnossapito pystyy seuraamaan seisokkien jaottelua ja pystyy täten tunnistamaan kunnossapidon tarpeita jalostuslinjalla. Esimerkiksi, mikäli viikon tarkasteluvälillä taittoyksikön osaprosessista johtuneet seisokit ovat yleistyneet, on kunnossapidon järkevää suorittaa huolto taittoyksikölle ja sopia tuotannosuunnittelun kanssa suunniteltu seisokki huoltoa varten.

Jalostuslinjalla työskentelevät operaattorit vastaavat osaltaan tuotannon tehokkuudesta ja heidän päivittäiset työskentelytapansa vaikuttavat suuresti tuotannon tehokkuuteen. Työpisteellä työskentelevälle operaattorille tehokkuuden seurantajärjestelmä mahdollistaa oman työskentelyn tuotantotehokkuuden seuraamisen. Operaattori pystyy esimerkiksi työvuoronsa päätteeksi tarkistamaan työpisteen näyttöpäätteeltä jalostuslinjan OEE-arvon ja seisokkitiedot ja pyrkiä havainnoimaan tekijöitä, joita parantamalla hän pystyisi tulevaisuudessa lisäämään oman vuoronsa tuotantotehokkuutta. Tuotantotehokkuuden parantamiselle pitää olla toimeksiantajayrityksessä oikeanlainen motivaattori esimerkiksi palkkaan liittävä lisä määriteltyjen tuotantotehokkuuden arvojen saavuttamisesta tietyllä aikavälillä. Rahallisissa motivaattoreissa otetaan huomioon ainoastaan ne tuotantotehokkuutta parantavat tekijät, joihin operaattori toiminnallaan pystyy vaikuttamaan. Tehokkuuden parantamisen motivoimiseksi voidaan tuotannon operaattoreille järjestää koulutus tuotannon tehokkuuden merkityksestä toimeksiantajayrityksessä sekä kouluttaa heidät käyttämään seurantajärjestelmää oikein. Tuotannon tehokkuuteen liittyvä koulutus on kaikille yrityksen toimijoille erinomainen tapa oppia hyödyntämään tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmää. Tämän lisäksi mahdollinen koulutus voi auttaa yrityksen toimijoita luomaan tiiviimpiä suhteita eri toimijoiden välillä, sillä kaikkien panos näkyy toimeksiantajayrityksen tuotantotehokkuudessa ja kaikille esitettävät raportit pohjautuvat yrityksen sisällä samaan dataan.

Toimeksiantajayrityksen ottaessa tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmä käyttöön, kasvattaa se automaattisesti yrityksen järjestelmärakennetta. Seurantajärjestelmän vaatimuksena on toimiva MES-järjestelmä, joka yrityksen järjestelmärakenteeseen lisäämisen jälkeen kehittää toimeksiantajan tuotannonohjausta. Yrityksen järjestelmäverkoston laajentuessa mahdollistuu paljon uusia toimintoja ja yhteyksiä järjestelmien välillä. Laajoilla yhteyksillä toimivat järjestelmät luovat hyödyllisen ja kattavan järjestelmäkokonaisuuden toimeksiantajayritykselle.

Kehitetty ja implementoitu tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmä on valmis ohjelmoitavaksi ja liitettäväksi osaksi kuivapaperin jalostuslinjaa toimeksianta-

jayrityksessä. Seurantajärjestelmä on kattava, tehokas ja nykyaikainen järjestelmä seurata jalostuslinjan tuotantotehokkuutta. Seurannan pohjalta toteutettava kehitystyö ja tehokkuuden parantaminen hyödyntävät toimeksiantajaa pitkälle tulevaisuuteen. Seurantajärjestelmä tukee päivitysmahdollisuuksia ja luo käyttäjäystävällisen ympäristön kaikille yrityksen toimijoille ottamalla huomioon heille tarpeelliset järjestelmätyökalut.

7.3 Jatkotutkimusehdotukset

Kehitetyn ja alkuun implementoidun tuotantotehokkuuden seurantajärjestelmän loppuun implementointi on jatkotutkimuksena tärkein. Implementoinnin viimeiste-lyssä seurantajärjestelmän ensimmäinen versio ohjelmoidaan ja liitetään logiikkaohjaimen sekä tuotannonohjausjärjestelmään. Logiikkaohjaimen seisokkien kaikkien virhekoodien merkitys, kategoriat ja osaprosessit on selvitettävä yhdessä toimeksiantajan kanssa. Tällöin logiikkaohjaimelta tuleva seisokkitieto saadaan kirjattua lajiteltuna ja käyttäjäystävällisessä muodossa seurantajärjestelmään.

Implementoinnin loppuun saattamiseksi seurantajärjestelmän ensimmäisen version toimivuutta tutkitaan kuivapaperin jalostuslinjalla. Tutkimuksessa tutkitaan jalostuslinjan tietojen kirjautumista, seisokkien ajan määräytymistä, tuotantotehokkuuden mittareissa käytettävien termien, suureiden ja laskettavien suureiden toimivuutta sekä valmiiden moduulien ja raporttien rakennetta. Valmiiden raporttien käytettävyyttä ja käyttäjäystävällisyyttä tutkitaan jalostuslinjalla operaattorin käytössä, osana kunnossapidon työnkuvaa ja toimeksiantajan toimihenkilöiden käytössä esimerkiksi osana palavereja. Toimivuuden tutkimisen jälkeen seurantajärjestelmä otetaan osaksi toimeksiantajayrityksen kuivapaperin jalostuslinjan päivittäistä seurantaa.

Seurantajärjestelmän ensimmäisen version täysipäiväisen käyttöön ottamisen jälkeen järjestelmään toteutetaan päivityksiä sen ajan tasalla pysymisen säilyttämiseksi. Tuotannossa ja toimeksiantajayrityksessä muutoksen ovat mahdollisia, jolloin seurantajärjestelmän vaatimuksena on vastata muutoksiin. Yksi mahdollisista päivityksistä seurantajärjestelmään on kunnossapidon avuksi luodut tren-

dinäkymät seisokkien syiden yleisyydestä. Trendien myötä seurantajärjestelmään pystytään kehittämään toiminnon, joka ehdottaa huoltoa tai muuta kunnossapitotoimenpidettä seisokitrendejä apuna käyttäen. Seurantajärjestelmään tehdään päivityksiä myös silloin, kun sen mahdollisesti liitetään osaksi muita toimeksiantajayrityksen jalostuslinjoja. Jokainen jalostuslinja on erilainen ja vaatii tuotannon tehokkuuden seurantajärjestelmältä adaptiivisuutta eri linjojen tietoihin.

Kehitetyn ja alkuun implementoidun seurantajärjestelmän jatkotutkimusten toteuttaminen on toimeksiantajalle kannattavaa ottaen huomioon seurantajärjestelmän edut ja mahdollisuudet. Tehokkuuden seuranta on nykypäivänä osana monessa prosessiteollisuuden yrityksessä ja seurannan on todettu olevan eduksi yrityksille. Toimeksiantajalla on seurantajärjestelmän myötä realistiset mahdollisuudet kehittää liiketoimintaansa useasta eri näkökulmasta.

LÄHTEET

Atlas Copco. n.d. OPC UA – mikä se on ja miksi tarvitset sitä. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2024. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/wiki/compressed-air-articles/opc-ua-and-its-benefits>

Bosson, M. 2023. Everything you should know about Production Tracking Software. Factbird. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://www.factbird.com/blog/production-tracking-software-guide>

Capacity utilization rate definition. 2023. Accounting Tools. Verkkosivu. Viitattu 23.1.2024. <https://www.accountingtools.com/articles/capacity-utilization-rate>

Chelaru, A & Schulz, T. 2012. Model Driven Key Performance Indicators Concepts for Manufacturing Execution Systems. Applied Mechanics and Materials, 2012, 245, 173-178. Zurich: Trans Tech Publications Ltd. Viitattu 20.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.proquest.com/docview/1442702427?accountid=14242&parentSessionId=SkHSqATfgZtLro5bKmwurj8Z22piUIYN-PxXt%2FwMzKRU%3D&pg-origsite=primo&sourcetype=Scholarly%20Journals>

Elbert, M. 2013. Lean Production for the Small Company. Productivity Press. Viitattu 13.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://learning.oreilly.com/library/view/lean-production-for/9781439877807/?sso-link=yes&sso-link-from=tampere-university>

Evecon. n.d. Empower teams with an OEE dashboard. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://evocon.com/feature/oe-dash-board/>

Everitt, J. 2021. Why Capacity Utilization Rates are Key to Understanding Profitability. Wrike. Verkkosivu. Viitattu 23.1.2024. <https://www.wrike.com/blog/why-capacity-utilization-rates-key-profitability/>

Ghobadian, A & Husband, T. 1990. Measuring total productivity using production functions. International Journal of Production Research, 1990, 28 (8), 1435-1446. Taylor & Francis Group. Viitattu 19.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://web-p-ebscohost-com.libproxy.tuni.fi/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=8dc1e0bc-4ad4-432c-853b-79eb52adff2a%40redis>

Grönroos, C. & Ojasalo K. 2004. Service productivity: Towards a conceptualization of the transformation of inputs into economic results in services. Journal of Business Research, 2004, 57 (4), 414-423. Elsevier. Viitattu 18.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0148296302002758?via%3Dihub>

Hannula, M.1999. Expedient total productivity measurement. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Väitöskirja. Espoo: Finnish Academy of Technology. Viitattu 19.1.

Hannula, M. 2000. Total productivity measurement based on partial productivity ratios. *International Journal of Production Economics*, 2002, 78 (1), 57-67. Elsevier. Viitattu 18.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0925527300001869?via%3Dihub>

Horrocks, A. Richard. 2016. *Handbook of technical textiles Volume 1. Technical textile processes*. 2. uud. painos. Amsterdam, Alankomaat: Woodhead Publishing in association with The Textile Institute. Viitattu 5.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app-knovel-com.libproxy.tuni.fi/kn/resources/kpHTTVTTPA/toc>

Hypap Oy. 2023. Hypap General Presentation. PowerPoint-tiedosto. Viitattu 31.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden.

Hypap Oy. 2024. ICM2 Machine Tag. Excel-tiedosto. Viitattu 17.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden

Jääskeläinen, A. 2010. *Productivity Measurement and Management in Large Public Service Organizations*. Doctor of Science in Technology. Tampereen teknillinen yliopisto. Väitöskirja. Viitattu 26.1.2024. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/114343>

Kauppinen, S. 2012. *Tuotantokoneiden käyttötehokkuus*. Kone- ja tuotantotekniikka. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 29.1.2024.

Kuuse, M. 2023. *How to Measure and Increase Production Efficiency*. MRPeasy. Verkkosivu. Viitattu 7.2.2024. <https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/production-efficiency/>

Mapex. n.d. *MES and ERP: two complementary solutions for the success of your industrial company*. Verkkosivu. Viitattu 27.2.2024. <https://mapex.io/en/news/mes-and-erp-integration/>

MasterClass. 2022. *Economics 101: What Is Marginal Product? Learn How To Calculate Marginal Product and Its Impact on Business*. Verkkosivu. Viitattu 13.2.2024. <https://www.masterclass.com/articles/economics-101-what-is-marginal-product>

Meyer, H. 2009. *Manufacturing execution system optimal design, planning and deployment*. New York: McGraw-Hill. Viitattu 20.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-accessengineeringlibrary-com.libproxy.tuni.fi/content/book/9780071623834/chapter/chapter4#/p2001776c9970053002>

Oxford Reference. n.d. *marginal product*. Verkkosivu. Viitattu 13.2.2024. <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803100133835>

Paunonen, S; Hjelt, T; Kamppuri, T & Kiiskinen, H. 2022. *Spray and foam application of chemical binders to pulp fiber airlaids*. *Journal of engineered fibers and fabrics*, 2022, 17. Viitattu 3.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://journals-sagepub-com.libproxy.tuni.fi/doi/full/10.1177/15589250221111507#bibr1-15589250221111507>

Plantrun. n.d. OEE - Overall Equipment Effectiveness. Verkkosivu. Viitattu 7.2.2024. <https://plantrun.co.uk/oe-overall-equipment-effectiveness.html>

Rautiainen, A. 2004. Kuntien suorituksen mittaus ja tuloksellisuuskäsitteistö: arviointi ja kehittäminen. Laskentatoimi. Taloustieteiden tiedekunta. Jyväskylän yliopisto. Lisensiaatintyö. Viitattu 19.1.2024

Rosen, E.D. 1993. Improving Public Sector Productivity: Concepts and Practice. Thousand Oaks: SAGE Publications. Viitattu 26.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=1598366>

Russell, S.J. 2022. Handbook of Nonwovens. 2. painos. Cambridge: Woodhead Publishing. Viitattu 6.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://app-knovel-com.libproxy.tuni.fi/kn/resources/kpHNE00017/toc>

Sillanpää, H. 2015. Tuotannon tehokkuuden mittarien visualisointi. Tuotantotalous. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 23.1.2024. <https://www.theseus.fi/handle/10024/103071>

StudySmarter. n.d. Microeconomics. Labour Market. Marginal Product of Labor. Verkkosivu. Viitattu 13.2.2024. <https://www.studysmarter.co.uk/explanations/microeconomics/>

Tangen, S. 2005. Demystifying productivity and performance. International Journal of Productivity and Performance Management, 2005, 54 (1), 34-46. Bradford. Viitattu 19.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.proquest.com/docview/218420762?accountid=14242&parentSessionId=DIN-QuhB2AMgflgbp7kDbmSpor61Mv2Nv3ytJuliDS7M%3D&pq-origsite=primo&sourcetype=Scholarly%20Journals>

Väyrynen, P. 2022. Lean peruskäsitteet. Kehittämistoimisto Erinomainen. Verkkosivu. Viitattu 13.2.2024. <https://www.erinomainen.fi/lean>

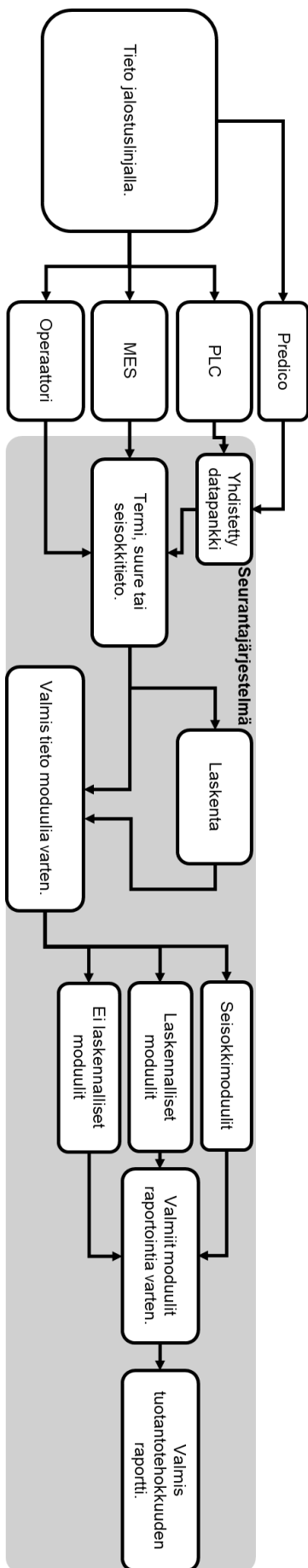
Web Newswire. 2019. Airlaid Paper Market Report 2019–2024. Verkkosivu. Viitattu 2.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.proquest.com/docview/2237993956/fulltext/AC0C34D737B74445PQ/1?accountid=14242&sourcetype=Wire%20Feeds>

LIITTEET

Liite 1. Tuotantotehokkuuden mittareissa käytettävän datan syötetiedot, koodit ja tarvittavat kaavat laskettaville suureille.

Tiedonlähteet	Lyhenne	Koodi	Termi ja suure	Syöte	Laskettavat suureet	Valmis koodi	Laskenta	Kaava
PLC	PLC	1001	Linja	MES, PLC		1001		
Operatori	OP	1002	PVM	PLC		1002	-	
Predico	PRO	1003	Kellonaika	PLC		1003	-	
MES-järjestelmä	MES	1004	Työvuoro	MES		1004	-	
Laskettava	CALC	1005	Työvuoron pituus/Tarkasteluväli	MES		1005	-	
Vakio	CONST	1006	Operatori	MES		1006	-	
		1007	Valmistettava tuote	MES		1007	-	
		1008	Linja käynnissä (KYLLÄ/EI)	PLC		1008	-	
		1009	Tuotannon nopeus (m/min)	PLC		1009	-	
		1010	Tuotannon nopeus (8h ka. m/min)	CALC	1009	1010	Keskiarvo (8h)	
		1011	Tuotannon nopeus (24h ka. m/min)	CALC	1009	1011	Keskiarvo (24h)	
		1012	Tuotannon maksiminopeus (m/min)	MES		1012	-	
		1013	Tuotannon suunniteltu nopeus (m/min)	MES		1013	-	
		1014	Tuotannon nopeus (kpl/h) (PL)	PLC		1014	-	
		1015	Tuotannon nopeus (kpl/h) (PAK 1.)	PLC		1015	-	
		1016	Tuotannon nopeus (kpl/h) (PAK 2.)	PRO		1016	-	
		1017	Tuotannon nopeus (lv/v) + (lv/d) (PAK 3.)	PRO		1017	-	
		1018	Tuotannon nopeus (kpl/h) (Suunniteltu)	MES		1018	-	
		1019	Hylky määrä (kpl/h)	CALC	1014, 1015	1019	Erotus	$1019 = 1015 - 1014$
		1020	Hylky määrä (8h ka. kpl/h)	CALC	1019	1020	Keskiarvo (8h)	
		1021	Hylky määrä (24h ka. kpl/h)	CALC	1019	1021	Keskiarvo (24h)	
		1022	Suunniteltu tuotantoaika (h+m:n)	CALC	1005, 1023	1022	Erotus	$1022 = 1005 - 1023$
		1023	Suunnitellut seisakit (lukuarvo)	MES		1023	-	
		1024	Tuotantoaika (h ja min)	CALC	1022, 1025	1024	Erotus	$1024 = 1022 - 1025$
		1025	Seisakkihäviöt (h ja min)	PLC+OP+CAL	1003, 1008	1025	Erotus	$1025 = 1003 - 1008$
		1026	Nettotuotantoaika (h ja min)	CALC	1024, 1031	1026	Kertolasku	$1026 = 1024 \cdot 1031$
		1027	Nopeushäviöt (h ja min)	CALC	1024, 1026	1027	Erotus	$1027 = 1024 - 1026$
		1028	Arvoa tuotettava tuotantoaika (h ja min)	CALC	1026, 1032	1028	Kertolasku	$1028 = 1026 - 1032$
		1029	Laatuhäviöt (h ja min)	CALC	1026, 1028	1029	Erotus	$1029 = 1026 - 1028$
		1030	Käytettävyys	CALC	1022, 1024	1030	Kaava 6	
		1031	Suorituskyky	CALC	1014, 1012	1031	Jakolasku	$1031 = \frac{1014}{1012}$
		1032	Laatu	CALC	1015, 1019	1032	Erotus ja jakolasku	$1032 = \frac{1015 - 1019}{1015}$
		1033	OEE-arvo	CALC	1030, 1031, 1032	1033	Kaava 9	

Liite 2. Tiedon siirtymisen kaavio jalostuslinjalta seurantajärjestelmän raporttiin.



Liite 3. Valittujen seisokkien virhekoodit, lisätyt syyt, selitteet, luokat ja osaprosessi.

Logiikkaohjaimen virhekoodi	Selite	Luokka	Osaprosessi
Machine_Info.Error.Code:F38_BLADE_TENSION_NOT_OK	Terän huono jännitys	Mekaaninen	Pituusleikkuri
Machine_Info.Error.Code:F07_Door_RIGHT_FOLDING_LEFT	Taittoyksikön ovi auki	Mekaaninen	Taittoyksikkö
Machine_Info.Error.Code:F13_GENERAL_PWR_SUP_THERMIC	Lämpösuulake päävirta	Sähkö	Yleinen
Machine_Info.Error.Code:F14_CONTROL_POWER_SUP_THERMIC	Lämpösuulake ohjaussähkö	Sähkö	Yleinen
Machine_Info.Error.Code:F15_SHRPN_DUST_VAC_MOT_THERMIC	Lämpösuulake pölymurin moottori	Sähkö	Pituusleikkuri
Machine_Info.Error.Code:F16_BLADE_MOTOR_THERMIC	Lämpösuulake terän moottori	Sähkö	Pituusleikkuri
Machine_Info.Error.Code:F17_SHRPN_MOTOR_RIGHT_THERMIC	Lämpösuulake terän teroitus moottori oikea	Sähkö	Pituusleikkuri
Machine_Info.Error.Code:F18_SHRPN_MOTOR_LEFT_THERMIC	Lämpösuulake terän teroitus moottori vasen	Sähkö	Pituusleikkuri
Machine_Info.Error.Code:F19_OIL_MOTOR_THERMIC	Lämpösuulake öljymoottori	Sähkö	Yleinen
Machine_Info.Error.Code:F21_CONV_MOTOR_THERMIC	Lämpösuulake kuljetin moottori	Sähkö	Yleinen
Machine_Info.Error.Code:F51_REEL_DIAMETER_SENSOR_CONNECTION	Syöttöruullan halkaisijasenssorin yhteys	Sähkö	Aukirullain
Machine_Info.Error.Code:F52_UNWIND_POTANTMETER_CONNECTION	Aukirullauksen potentiometrin yhteys	Sähkö	Aukirullain
Machine_Info.Error.Code:F35_FOLDING_PAPER_BREAK	Ratakatko taitossa	Prosessi	Taittoyksikkö
Machine_Info.Error.Code:F36_CALENDER_PAPER_BREAK	Ratakatko kalanterissa	Prosessi	Kalanteri
Machine_Info.Error.Code:F37_UNWIND_PAPER_BREAK	Ratakatko aukirullauksessa	Prosessi	Aukirullain
Lisätyt seisokkien syyt	Selite	Luokka	Osaprosessi
Telan rikkoutuminen	Telan rikkoutuminen	Mekaaninen	Yleinen
Kuljettimen rikkoutuminen	Kuljettimen rikkoutuminen	Mekaaninen	Yleinen
Terän rikkoutuminen	Terän rikkoutuminen	Mekaaninen	Pituusleikkuri
Pakkauskoneen 1. rikkoutuminen	Pakkauskoneen 1. rikkoutuminen	Mekaaninen	Pakkauskone 1.
Pakkauskoneen 2. rikkoutuminen	Pakkauskoneen 2. rikkoutuminen	Mekaaninen	Pakkauskone 2.
Pakkauskoneen 3. rikkoutuminen (lavaaja)	Pakkauskoneen 3. rikkoutuminen (lavaaja)	Mekaaninen	Pakkauskone 3.
Reikiä kuivapaperissa	Reikiä kuivapaperissa	Raaka-aine	Yleinen
Kuivapaperiradan leveys	Kuivapaperiradan leveys	Raaka-aine	Yleinen
Kuivapaperin rypytys	Kuivapaperin rypytys	Raaka-aine	Yleinen
Lajinvalhto	Lajinvalhto	Prosessi	Yleinen
Henkilöstöväjus	Henkilöstöväjus	Prosessi	Yleinen
Pakkausmuovirullan vaihto	Pakkausmuovirullan vaihto	Prosessi	Pakkauskone 1.

Liite 4. Kuivapaperilinjan logiikkaohjaimelta saatavat seisokkien virhekoodit (Hypap Oy, 2024).

Machine_Info									
Machine_Info.Error	Code					Machine_Info.Error	Code.F49		
Machine_Info.Error	Code.F00	Emergency	CALENDER	JOG		Machine_Info.Error	Code.F50		
Machine_Info.Error	Code.F01	Emergency	FOLDING	JOG		Machine_Info.Error	Code.F51	REEL DIAMETER SENSOR CONNECTION	
Machine_Info.Error	Code.F02	Emergency	FOLDING	OP		Machine_Info.Error	Code.F52	UNWIND POTANTIOMETER CONNECTION	
Machine_Info.Error	Code.F03	Emergency	TR	BACK DOOR		Machine_Info.Error	Code.F53	SAFETY OUT BLADE Feedback	
Machine_Info.Error	Code.F04	Emergency	TR	OP		Machine_Info.Error	Code.F54	SAFETY OUT CONV UP DOWN	
Machine_Info.Error	Code.F05	Emergency	TR1	BACK DOOR		Machine_Info.Error	Code.F55	SAFETY OUT FOLDING	
Machine_Info.Error	Code.F06	Emergency	TR1	FRONT DOOR		Machine_Info.Error	Code.F56	SAFETY OUT OIL PUMP	
Machine_Info.Error	Code.F07	Door	RIGHT	FOLDING LEFT		Machine_Info.Error	Code.F57	SAFETY OUT SHARPEN 1	
Machine_Info.Error	Code.F08	Door	TR1	BACK DOOR		Machine_Info.Error	Code.F58	SAFETY OUT SHARPEN 2	
Machine_Info.Error	Code.F09	Door	TR1	FRONT DOOR		Machine_Info.Error	Code.F59	SAFETY OUT TR 1	
Machine_Info.Error	Code.F10	Door	TR2	FRONT DOOR		Machine_Info.Error	Code.F60	SAFETY OUT TR 2	
Machine_Info.Error	Code.F11	Door	TR2	LEFT DOOR		Machine_Info.Error	Code.F61	SAFETY OUT UNWIND	
Machine_Info.Error	Code.F12	Door	TR2	RIGHT DOOR		Machine_Info.Error	Code.F62	SAFETY OUT VACUUM	
Machine_Info.Error	Code.F13	GENERAL	PWR SUP	THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F63		
Machine_Info.Error	Code.F14	CONTROL	POWER SUP	THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F64		
Machine_Info.Error	Code.F15	SHRPN	DUST VAC	MOT THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F65		
Machine_Info.Error	Code.F16	BLADE	MOTOR	THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F66		
Machine_Info.Error	Code.F17	SHRPN	MOTOR	RIGHT THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F67		
Machine_Info.Error	Code.F18	SHRPN	MOTOR	LEFT THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F68		
Machine_Info.Error	Code.F19	OIL	MOTOR	THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F69		
Machine_Info.Error	Code.F20	CONV	RIGHT UP DOWN	THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F70		
Machine_Info.Error	Code.F21	CONV	MOTOR	THERMIC		Machine_Info.Error	Code.F71		
Machine_Info.Error	Code.F22	CB	9F1			Machine_Info.Error	Code.F72		
Machine_Info.Error	Code.F23	CB	13F1			Machine_Info.Error	Code.F73		
Machine_Info.Error	Code.F24	CB	13F3			Machine_Info.Error	Code.F74		
Machine_Info.Error	Code.F25	CB	13F4			Machine_Info.Error	Code.F75	Axis Srv Counter Not Homed	
Machine_Info.Error	Code.F26	CB	14F1			Machine_Info.Error	Code.F76	Axis Srv Folding Not Homed	
Machine_Info.Error	Code.F27	CB	14F5			Machine_Info.Error	Code.F77	Axis Srv TransferLeft Not Homed	
Machine_Info.Error	Code.F28	CB	14F4	14F10		Machine_Info.Error	Code.F78	Axis Srv TransferRight Not Homed	
Machine_Info.Error	Code.F29	CB	14F6	F7 F8 F9		Machine_Info.Error	Code.F79	MOTION TIMEOUT	
Machine_Info.Error	Code.F30	CB	15F2	15F3		Machine_Info.Error	Code.F80	Axis Srv Calender STO Error	
Machine_Info.Error	Code.F31	CB	15F4	15F5 15F7		Machine_Info.Error	Code.F81	Axis Srv Counter STO Error	
Machine_Info.Error	Code.F32	CB	15F8	15F9 15F10		Machine_Info.Error	Code.F82	Axis Srv Folding STO Error	
Machine_Info.Error	Code.F33	CB	15F11			Machine_Info.Error	Code.F83	Axis Srv TransferLeft STO Error	
Machine_Info.Error	Code.F34	CB	2F1			Machine_Info.Error	Code.F84	Axis Srv TransferRight STO Error	
Machine_Info.Error	Code.F35	FOLDING	PAPER	BREAK		Machine_Info.Error	Code.F85	Axis Srv Unwind STO Error	
Machine_Info.Error	Code.F36	CALENDER	PAPER	BREAK		Machine_Info.Error	Code.F86	Drive Conveyor STO Error	
Machine_Info.Error	Code.F37	UNWIND	PAPER	BREAK		Machine_Info.Error	Code.F87	Axis Vmaster Error	
Machine_Info.Error	Code.F38	BLADE	TENSION	NOT OK		Machine_Info.Error	Code.F88	Axis Vcounter Error	
Machine_Info.Error	Code.F39	JOG	SELECTION			Machine_Info.Error	Code.F89	Axis Srv Calender Error	
Machine_Info.Error	Code.F40	JOG	SELECTED			Machine_Info.Error	Code.F90	Axis Srv Counter Error	
Machine_Info.Error	Code.F41	External	EMG	Stop		Machine_Info.Error	Code.F91	Axis Srv Folding Error	
Machine_Info.Error	Code.F42	External	DOOR	Stop		Machine_Info.Error	Code.F92	Axis Srv TransferLeft Error	
Machine_Info.Error	Code.F43					Machine_Info.Error	Code.F93	Axis Srv TransferRight Error	
Machine_Info.Error	Code.F44					Machine_Info.Error	Code.F94	Axis Srv Unwind Error	
Machine_Info.Error	Code.F45		TOWER	NOT LOCKED		Machine_Info.Error	Code.F95	Drive Conveyor Error	
Machine_Info.Error	Code.F46					Machine_Info	Events		
Machine_Info.Error	Code.F47					Machine_Info.Events	Machine	Alarm Stopped	
Machine_Info.Error	Code.F48					Machine_Info.Events	Machine	Fast Stopped	
						Machine_Info.Events	Machine	Normal Stopped	
						Machine_Info.Events	Machine	Safety Stopped	

Liite 5. Havainnekuva lopullisesta tuotantotehokkuuden raportista, jossa on kaikki implementoidut moduulit.

