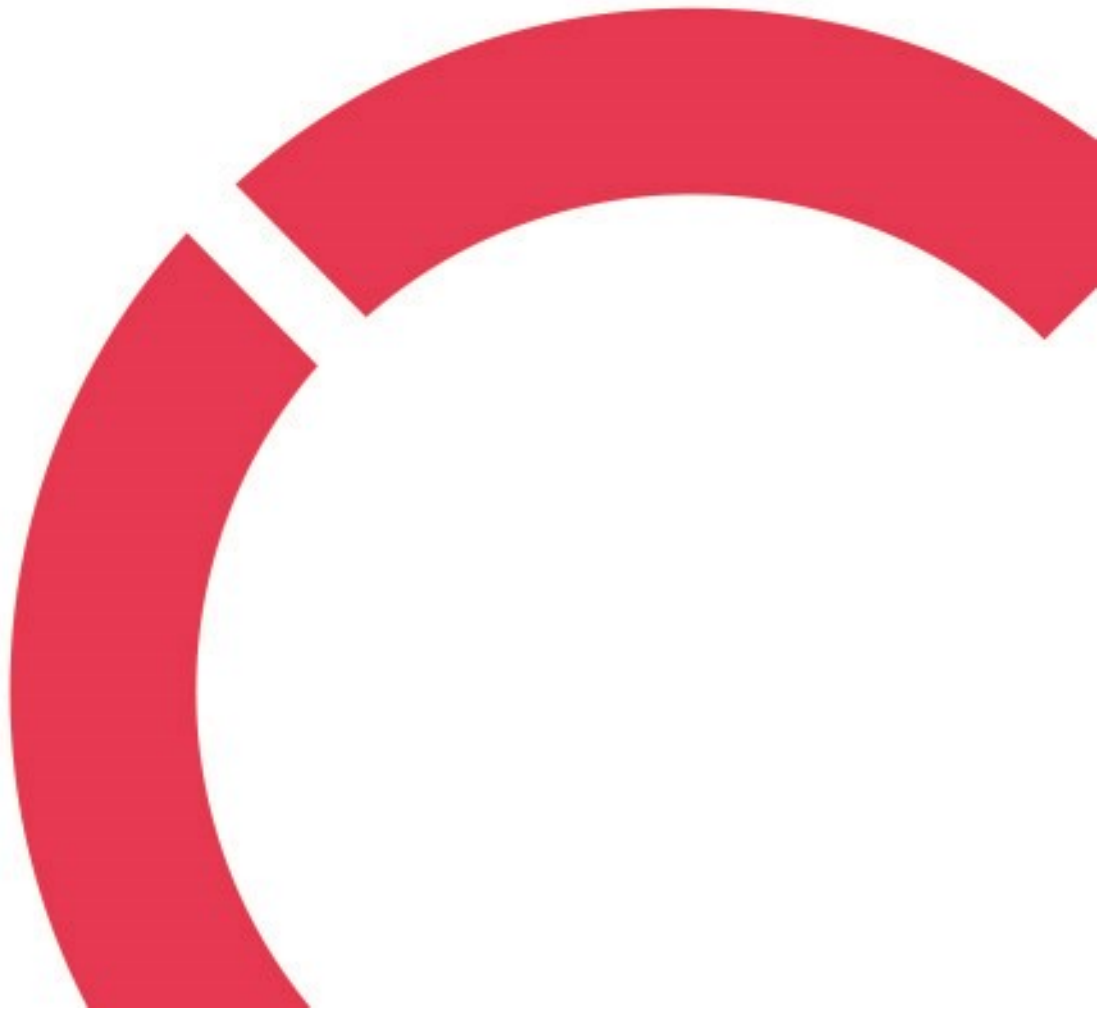


**Vesa Halonen**

**OEE-JÄRJESTELMÄ OSANA ÄLYKÄSTÄ VALMISTUSTA**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Tuotantotalouden koulutus  
Kesäkuu 2022**



<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> kesäkuu 2022	<b>Tekijä/tekijät</b> Vesa Halonen
<b>Koulutus</b> Tuotantotalous	<input checked="" type="checkbox"/> AMK  <input type="checkbox"/> YAMK	
<b>Työn nimi</b> OEE-JÄRJESTELMÄ OSANA ÄLYKÄSTÄ VALMISTUSTA		
<b>Työn ohjaaja</b> Sakari Kinnunen	<b>Sivumäärä</b> 38 + 1	
<b>Työelämäohjaaja</b> Hanna Toivonen		
<p>Opinnäytetyön tilaajana oli suomalainen leipomoalan yritys. Tarkoituksena oli selvittää OEE-järjestelmän soveltuvuutta leipomoteollisuuteen ja erityisesti teollisen leivonnan tuotantolinjoille. Tilaajan tuotantolinjoilla toteutettu OEE-pilotti ja taustatiedot toimivat työn aineistona. Lisäksi työssä arvioitiin OEE-järjestelmän tuottaman tiedon hyödyntämistä digitalisaation ja teollisuus 4.0 -konseptin näkökulmasta. Opinnäytetyön aihepiiriä taustoitettiin yleisellä katsauksella leipomotoimialaan. Lisäksi työssä avataan digitalisaation ja teollisuus 4.0:n käsitteitä. OEE-laskentaa työssä käsiteltiin teorian ja pilotti-projektin kautta. Leipomoteollisuuden tuotantoprosessista avattiin linjaleivonnan päävaiheet. Opinnäytetyössä nähtiin, että OEE-laskenta soveltuu leipomoteollisuuden prosessien tehokkuuden seurantaan. Lisäksi OEE-järjestelmää voidaan hyödyntää digitalisaation ja teollisuus 4.0:n kyvykkyyksien käyttöönotossa.</p> <p>Toimeksiantona toteutettu OEE-pilotti on tilaajan pyynnöstä rajattu pois julkisesta opinnäytetyöstä. Pilotti-aineisto ja taustatiedot sisältävät yritykselle sensitiivistä tietoa, minkä vuoksi pilottia koskeva osuus on rajattu pois. Pilotin tuloksia käsiteltiin yleisellä tasolla pilottia koskevassa luvussa sekä tulokset ja johtopäätökset luvussa.</p>		
<b>Asiasanat</b> Digitalisaatio, kehittäminen, MES, OEE, teollisuus 4.0, älykäs valmistus		

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> June 2022	<b>Author</b> Vesa Halonen
<b>Degree programme</b> Industrial Management		
<b>Name of thesis</b> OEE SYSTEM AS A PART OF A SMART FACTORIES		
<b>Centria supervisor</b> Sakari Kinnunen	<b>Pages</b> 38 + 1	
<b>Instructor representing commissioning institution or company</b> Hanna Toivonen		
<p>Thesis was commissioned by a Finnish bakery company. The purpose of the thesis was to study the benefits of the OEE system for the bakery industry and particular for industrial baking. The OEE pilot was implemented in the customer's production facilities. The background information and material were also provided by the ordering party. In addition, the benefits of the OEE system were evaluated from the perspective of implementing digitalization and industry 4.0 concept. The topic of the thesis was backgrounded with a general overview of the bakery industry. The theoretical concepts of digitalization and industry 4.0 were opened in the work. OEE calculation was addressed through theory and the pilot project. The production process of the bakery industry was explained by going through the main process phases. It was seen in the thesis that OEE calculation is suitable for monitoring the efficiency of the bakery industry processes. In addition, conclusion was made that companies will benefit from OEE system when digitalization and industry 4.0 capabilities are implemented.</p> <p>At the request of the ordering party, the OEE pilot materials and exact findings are excluded from the public thesis. The pilot material and background information contain sensitive information for the company, which is why the section on the pilot is excluded.</p>		
<b>Key words</b> Development, digitalization, industry 4.0, MES, OEE, smart factories		

# KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

## **Digitalisaatio**

Digitalisaatio perustuu tietotekniikan ja tiedon hyödyntämiseen. Uudet teknologiat mahdollistavat tehokkaan tiedon keräämisen, käsittelyn ja hyödyntämisen. Yrity maailmassa digitalisaatio liittyy liiketoiminnan kehittämiseen uusien teknologioiden ja tiedon hyödyntämisen avulla.

## **ISA 95**

ISA 95 on kansainvälisen automaatioyhdistyksen (*International Society of Automation*) luoma globaali standardi automaatorajapinnan kehittämiseksi. Standardin tarkoituksena on luoda yhtenäinen ja johdonmukainen terminologia automaatiojärjestelmien ja yritysten rajapinnoista.

## **Teollisuus 4.0**

Teollisuus 4.0 on laaja käsite ja yleisesti sillä tarkoitetaan teollisen vallankumouksen neljättä aaltoa. Se käsittää uusien teknologioiden, järjestelmien ja toimintamallien kokonaisuuden, jonka avulla yritykset voivat tehostaa toimintojansa. Pääsääntöisesti teollisuus 4.0:aa pidetään IT-vetoisena muutoksena. Sen keskeisimpiä teknologioita ovat muun muassa konenäkö, robotiikka, 3D-tulostus, algoritmit, koneäly, pilvi, big data ja IIoT.

## **Päivittäisjohtaminen**

Tässä työssä päivittäisjohtamisella tarkoitetaan tuotannon operatiivista johtamista. Päivittäisjohtamiseen kuuluu tuotannon organisointi ja tuotantoresurssien ohjaaminen siten, että päivittäiset tuotantotavoitteet voidaan saavuttaa.

## **Taktinen johtaminen**

Tässä työssä taktisella johtamisella tarkoitetaan päivittäisen ja strategisen johtamisen välimaastoon sijoittuvaa keskipitkän aikavälin johtamista. Keskipitkän aikavälin johtamiseen sisältyy tuotantotekijöiden organisointi ja tuotannon suunnittelu operatiivista johtamista pidemmällä aikavälillä.

## **MES**

Manufacturing Execution System (MES) järjestelmä viittaa yrityksen tuotannon operatiivisessa johtamisessa käytettäviin järjestelmiin. MES-kokonaisuus voi pitää sisällään muun muassa seuraavia toimintoja: tuotannosuunnittelu ja työjonojen hallinta, materiaali- ja varastonhallinta, häiriöilmoitukset ja kunnossapitotehtävät. MES-järjestelmä sijoittuu yrityksen toiminnanohjausjärjestelmän (*Enterprise Resource Planning, ERP*) ja tehdasautomaation välille.

## **OEE**

Overall Equipment Efficiency (OEE) on mittari tuotannon tehokkuuden laskemiseksi. Laskennassa pyritään huomioimaan tehokkuuteen vaikuttavat eri tekijät. Suomeksi käytetään myös lyhennettä KNL, joka tulee sanoista käytettävyys, nopeus ja laatu. OEE-luku voidaan laskea yksittäiselle koneelle, linjalle tai tehtaalle. OEE-laskentaa suorittavia järjestelmiä on useita.

## **Mittapiste**

Tässä työssä mittapisteellä tarkoitetaan tuotantolinjan prosessivaihetta, josta kerätään tietoa OEE-järjestelmään. Mittapisteestä kerätään vähintään käytettävyys- ja häiriötiedot. OEE-luku voidaan laskea jokaiselle mittapisteelle, edellyttäen, että laskentaa tarvittavat tiedot ovat saatavilla. Operaattorien kommentit ja häiriökuittaukset tehdään aina jollekin mittapisteelle.

## **Operaattoripiste**

Tuotantolinjan prosessivaihe, josta operaattori on vastuussa. Vastuualueelle voi kuulua yksi tai useampi valvottava prosessinvaihe. Operaattorit ovat myös vastuussa näiden vaiheiden valvonnasta ja häiriösyiden kuittaamisesta OEE-järjestelmässä.

## **Älykäs valmistus**

Tuotantolaitos, joka hyödyntää sille soveltuvia teollisuus 4.0 -konseptin teknologisia kyvykkyyksiä. Älykäässä valmistuksessa järjestelmät, tuotantolaitteet ja ihmiset työskentelevät tiiviisti yhdessä. Järjestelmät ja laitteet kykenevät ainakin osittain itsenäiseen päätöksentekoon.

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 LEIPOMOTOIMIALA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Tulevaisuuden näkymät.....	4
<b>3 DIGITALISAATIO JA TEOLLISUUS 4.0</b> .....	<b>6</b>
3.1 Teollisuus 4.0 .....	6
3.2 Teollisuus 4.0 – teknologiset kyvykkyydet .....	7
3.2.1 Teollisten esineiden internet.....	8
3.2.2 Pilviratkaisut- ja palvelut .....	8
3.2.3 Big data .....	9
3.2.4 Simulaatiot .....	9
3.2.5 Lisätty todellisuus.....	10
3.2.6 Horisontaalinen ja vertikaalinen järjestelmäintegraatio .....	10
3.2.7 Autonominen robotiikka .....	11
3.3 Älykäs valmistus.....	11
3.4 Älykäs valmistus – MES-järjestelmät .....	13
<b>4 OEE-JÄRJESTELMÄ</b> .....	<b>16</b>
4.1 Perusteet.....	17
4.1.1 Käytettävyys .....	18
4.1.2 Nopeus .....	19
4.1.3 Laatu.....	19
4.2 OEE-mittaus käytännössä .....	20
4.3 Tuotantolinjan OEE.....	21
<b>5 LEIPOMOTEOLLISUUDEN VALMISTUSPROSESSI</b> .....	<b>23</b>
5.1 Annostelu, taikinan teko ja ylöslyönti .....	23
5.2 Nostatus, paisto ja jäähdytys.....	25
5.3 Pakkaus ja laatikointi .....	26
<b>6 OEE-PILOTTI</b> .....	<b>27</b>
<b>7 OEE-JÄRJESTELMÄN MITOITUS</b> .....	<b>28</b>
7.1 Laaja OEE-järjestelmä.....	28
7.2 Yhdistetty OEE-järjestelmä .....	29
7.3 Suppea OEE-järjestelmä .....	30
<b>8 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>31</b>
8.1 OEE-järjestelmän hyödyt päivittäisjohtamisessa .....	32
8.2 OEE-järjestelmän hyödyt taktisessa johtamisessa .....	33
8.3 OEE-järjestelmä älykkään valmistuksen näkökulmasta .....	34
8.4 Johtopäätökset.....	35

<b>LÄHTEET .....</b>	<b>37</b>
<b>LIITTEET</b>	

### **KUVIOT**

KUVIO 1. Elintarvikealan henkilöstötehokkuus vuonna 2020.....	4
KUVIO 2. ISA 95 -automaatiostandardin toiminnan tasot.....	13
KUVIO 3. OEE-laskennan perusteet.....	17
KUVIO 4. Automatisoitu leivontaprosessi.....	23
KUVIO 5. Tuotantolinjan laaja OEE-mitoitus.....	29
KUVIO 6. OEE-järjestelmän yhdistelty mitoitus.....	30
KUVIO 7. Suppea OEE-järjestelmän mitoitus.....	30

### **TAULUKOT**

TAULUKKO 1. Tuotannon kuusi suurta hävikkiä.....	18
--	----

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä perehdytään tuotannon suorituskyvyn mittaamiseen OEE-järjestelmää käyttäen. Tarkoituksena oli arvioida OEE-järjestelmän soveltuvuutta leipomotoimialalla teollisen leivonnan tuotantolinjalla. Lisäksi työssä arvioidaan OEE-järjestelmän merkitystä digitalisaation ja teollisuus 4.0:n kyvykkyyksien hyödyntämisessä. OEE-järjestelmän soveltuvuutta teolliseen leivontaan arvioitiin tilaajalle toteutetun OEE-pilotin kautta.

OEE-järjestelmän pilotti toteutettiin tilaajan leipomossa 1.6.2021 alkaen ja pilotti päättyi 31.4.2022. Pilotissa OEE-järjestelmää käytettiin kahdella eri tuotantolinjalla. Pilotin tarkoituksena oli selvittää, että miten OEE-koneseurantajärjestelmä soveltuu käytettäväksi teollisen leivonnan automatisoidussa tuotantoprosessissa sekä mitkä ovat järjestelmästä saatavat hyödyt. Lisäksi pilotissa arvioitiin OEE-seurannan kehitysmahdollisuuksia teollisuus 4.0:n näkökulmasta. Tässä työssä ei arvioitu OEE-järjestelmän tilaajalle toimittaneen yrityksen järjestelmää tai yhteistyötä järjestelmätoimittajan kanssa. Arviointi sisältyy tilaajan OEE-pilottiin, mutta se ei ole osana tätä opinnäytetyötä. Tarkastelu rajattiin OEE-järjestelmän hyödyntämiseen teollisen leivonnan tuotantoprosessissa.

OEE-järjestelmän arviointi tapahtuu teorian ja toteutetun pilotin kautta. Teollisuus 4.0:n teknologisten kyvykkyyksien ja OEE-järjestelmän tuottaman tiedon yhdistäminen arviointi tehtiin teoriatasolla. Tuloksia voidaan soveltaa myös muihin teollisuuden aloihin, joissa tuotantoprosessi perustuu pitkälle automatisoituun tuotantolinjaan. Organisaatiotasolla työssä keskitytään pääsääntöisesti tuotantoon, valmistusprosesseihin ja niiden johtamiseen ja kehittämiseen. Työn tarkoitus oli vastata pääkysymykseen, joka jaettiin kolmeen alakysymykseen:

Mitä hyötyjä OEE-järjestelmällä voidaan saavuttaa?

- Mitä hyötyä OEE-järjestelmä tuo tuotannon päivittäiseen johtamiseen?
- Miten järjestelmää voidaan hyödyntää taktisen johtamisen osalta?
- Miten OEE-järjestelmää voidaan hyödyntää älykkään valmistuksen (*smart factories*) näkökulmasta?

Alkuun työssä esitellään leipomotoimialaa ja elintarviketeollisuutta. Tarkoituksena on avata yleisellä tasolla toimintaympäristöä, johon työ sijoittuu. Sen jälkeen perehdytään digitalisaation ja teollisuus 4.0



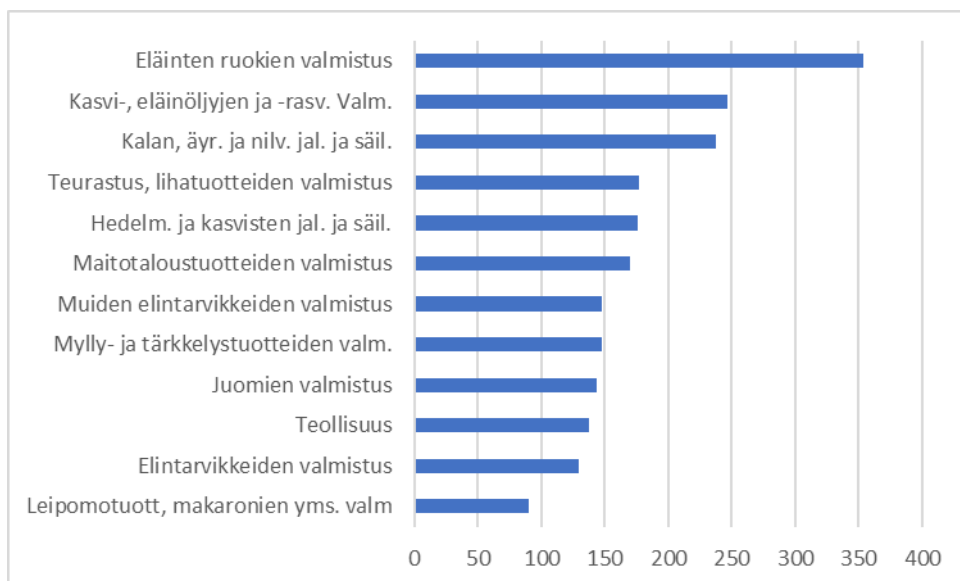
-konseptin mahdollistamiin teknologisiin kyvykkyyksiin. Luvun tarkoitus on avata nykyistä vallalla olevaa kehityksen paradigmaa, digitalisaatiota ja sen teollisuuteen liittyviä suuntauksia (teollisuus 4.0 ja älykäs valmistus). Neljännessä luvussa perehdytään OEE-järjestelmän teoriaan ja laskennan perusteisiin. Seuraavassa luvussa esitellään teollisen leivonnan prosessi linjaleivonnan osalta. Kuudennessa luvussa esitellään pilottia ja tuloksia yleisellä tasolla. Seitsemäs luku käsittelee OEE-järjestelmän mitoittamista. Järjestelmä voidaan mitoittaa eri tavoilla ja järjestelmän potentiaaliset höydyt riippuvat myös mitoituksesta. Kahdeksannessa luvussa keskitytään vastaamaan opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin sekä johtopäätöksiin.

## 2 LEIPOMOTOIMIALA

Leipomotoimiala Suomessa on yrittäjävetoista verrattuna elintarvikealaan tai toisiin toimialoihin. Elintarvikealan 1603 yrityksestä yli kolmannes (35 % ja 620 yritystä) toimii leipomoalalla. Elintarviketeollisuuden työvoimasta leipomoalalla toimii 20 % (7000 henkilöä) kokoaikaisesti. Liikevaihdossa mitattuna leipomoala on noin 10 % elintarvikealan liikevaihdosta 1,1 miljardia euron liikevaihdolla. Elintarvikeala on kansallisesti neljänneksi suurin toimiala metalli-, kemian ja metsäteollisuuden jälkeen. Euroopan Unionin mittakaavassa elintarvikeala on suurin ja työllistää eniten ihmisiä Euroopassa; ruoka- ja juomateollisuus työllistää 4,82 miljoonaa ihmistä. Elintarvikealalla toimivia yrityksiä EU:n alueella on 291 000 ja liikevaihto toimialalla on yhteensä noin 1205 miljardia euroa. (Hyrylä 2021, 16.)

Leipomoala Suomessa on hyvin perheyritystaustainen ja alalla on paljon pieniä mikrotason yrityksiä, jotka toimivat paikallisesti. Vuonna 2020 leipomoalan 620 yrityksestä 403 työllisti viisi henkilöä tai vähemmän. Yli kymmenen hengen yrityksiä oli 137 vuonna 2020. Elintarvikealalla, ja myös leipomoalalla, on tyypillistä, että kansallisesti muutamalla yrityksellä on keskeinen rooli. Leipomoalan kulurakenne on kuitenkin lähes samankaltainen pienissä ja suurissa yrityksissä. Materiaali- ja palkkakulut sekä liiketoiminnan muut kulut ovat kolme suurinta kuluerää pienissä sekä isoissa leipomoissa. (Hyrylä 2021, 60–61.)

Leipomoalan tuottavuus on muuta elintarvikealaa huonompi, mikä johtuu pääsääntöisesti suuresta työvoiman käytöstä. Leipomoalan automaatioaste on kohtuullisen pieni ja käsin tehtävää työtä on paljon. Esimerkiksi juomien valmistus ala työllistää 2 900 henkilöä kokoaikaisesti, mutta on liikevaihdoltaan suurempi, kuin leipomoala. Henkilöstötehokkuutta mitatessa alle kymmenen ja yli kymmenen henkilön yritysten välillä ei ollut eroja. Automaatioasteen kasvun ja koneellistamisen seurauksena leipomoalan työllistämä henkilömäärä on kuitenkin viime vuosina ollut laskusuunnassa. Vuonna 2020 henkilöstötehokkuus leipomoalalla oli keskimääräisesti 90 t€/henkilö/vuosi (KUVIO 1). Elintarvikealan muut toimijat pääsivät samana vuonna huomattavasti tehokkaampiin lukemiin (KUVIO 1). Tästä voidaan päätellä, että leipomoala on koneellistamisessa ja automaatioasteen osalta jäljessä muuta elintarvikealaa. (Hyrylä 2021, 27–28.)



KUVIO 1. Elintarvikealan henkilöstötehokkuus vuonna 2020. Liikevaihto 1 000 €/henkilö/vuosi/medi-  
aani (mukaiillen Hyrylä 2021)

Leipomoalalla kaksi kolmannesta yrityksistä työllistää viisi henkilöä tai vähemmän ja ovat usein paikallisesti toimivia leipomoita. Suomessa toimineista leipomoalan yrityksistä 19:llä oli yli 10 miljoonan liikevaihto vuonna 2015 ja 2016. (Hyrylä 2017, 13–19.) On selvää, että leipomotoimialan sisällä henkilöstötehokkuudessa on myös paljon hajontaa.

## 2.1 Tulevaisuuden näkymät

Elintarviketeollisuus investoi 2021 ennätysellisen paljon. Elinkeinoelämän keskusliiton (EK) Investointitiedustelun perusteella kiinteiden kotimaisten investointien arvioitiin nousevan 672 miljoonaan euroon, kun vuotta aikaisemmin investoinnit olivat 424 miljoonaa euroa. Kyselyn perusteella elintarvikeyritykset tavoittelevat investoinneilla parempaa kilpailukykyä parantaakseen asemiaan tiukassa markkina-kilpailussa. Kyselyn perusteella investointeja on tarkoitus kohdistaa tuotantokapasiteettiin korvaamiseen sekä parantaa joustavuutta ja lisätä tehokkuutta. Investointien jakautuminen pienten (<250 henkeä työllistävien) ja isojen (>250 henkeä työllistävien) yritysten kesken on muuttunut 2020 ja 2021 aikaisempiin vuosiin verrattuna. Pienet ja keskisuuret yritykset ovat kasvattaneet osuuttaan investoinneista, mutta kuitenkin pääosa investoinneista on isojen yritysten tekemiä. Vuonna 2021 kyselyn mukaan isojen yritysten osuus teollisuuden investoinneista on noin 57 %. (Investointitiedustelu 2021 3–4.)

Investointitarpeita ovat kiihdyttäneet tarve tuottaa uusia tuotteita markkinoille, energiatehokkuuden parantaminen, hävikin vähentäminen sekä joustavuuden lisääminen. Edellä mainitut asiat ovat yrityksen menestymisen ja kilpailukyvyn kehittämisen kannalta keskeisiä. Automatisointi, digitalisointi sekä tiedolla johtaminen ovat digitalisaation keskeisiä tekijöitä. Suomalaisissa elintarviketeollisuuden yrityksissä digitalisaatiota hyödynnetään jo ennestään ja teollisuus 4.0 -konseptin (*Industry 4.0*) yleistymisen tehostaa toimintaa entisestään. (Näsi 2021.)

On syytä olettaa, että uusien investointien myötä uudet teknologiset kyvykkyydet tulevat kasvamaan suomalaisessa elintarviketeollisuudessa. Digitalisaatio koskee myös leipomotoimialaa. Investointien kasvaessa muun muassa konenäkö, älykkäät anturit, kehittyneet järjestelmät, pilvipalvelut ja koneoppiminen tulevat osaksi suomalaista leipomoteollisuutta.

### 3 DIGITALISAATIO JA TEOLLISUUS 4.0

Digitalisaation käsite yleistyi 2010-luvulla, mutta todellisuudessa se on prosessina jo alkanut 1990-luvulla. Tarkkaa määritelmää tai ajankohtaa ilmiön syntyemiselle on vaikea antaa. Yleisesti ottaen digitalisaation koskee koko yhteiskuntaa ja sillä tarkoitetaan kaiken tiedon digitalisoitumista ja sen mahdollistamaa teknistä kehitystä. Tiedon ja tekniikan digitalisoituminen ei kuitenkaan yksistään riitä selittämään digitalisaatiota. Digitalisaatioon tarvitaan myös ihmisten ja yhteiskunnan sekä yritysten muuttamista; digitalisaatio vaikuttaa yritysten ydintoimintaan ja muuttaa toiminnan dynamiikkaa. Tiedon ja tekniikan digitalisoituminen mahdollistaa muutoksen, mutta ihmiset, yhteisöt ja yritykset toimeenpanevat sen omalla toiminnallaan. (Ilmarinen & Koskela 20015, 22.)

Digitalisaatio voidaan jakaa karkeasti mikro- ja makrotason toimintaan. Makrotasolla tarkoitetaan talouden rakenteiden, toimialojen, markkinoiden ja koko yhteiskunnan dynamiikkaa. Mikrotasolla tarkastelu voi keskittyä esimerkiksi yksittäisen toimijan kuten yrityksen toimintaa. Mikrotasolla tarkastelu voi keskittyä esimerkiksi siihen, miten digitaalisuus muuttaa tuotteita tai palveluita, jolloin sillä voi olla vaikutusta yrityksen strategiaan. Vaikutusta voi olla myös ihmisten osaamiseen tai ansaintamekanismeihin, jolloin se muuttaa työnteon luonnetta. Samalla tavalla voidaan tarkastella myös vaikutusta yrityksen toimintaan ja miten digitalisoituminen voi vaikuttaa esimerkiksi yritystoiminnan johtamiseen sekä tuotannon ja toimitusketjun toimintaan. Yritys- ja teollisentoiminnan digitalisaation yhteydessä puhutaan usein myös teollisuus 4.0 -konseptista, joka voidaan pitää teollisen kehityksen neljäntenä aaltona tai vallankumouksena. (Ilmarinen & Koskela 20015, 22.)

#### 3.1 Teollisuus 4.0

Teollisuus 4.0 (*Industry 4.0*) on laaja käsite, jolle ei ole muodostunut tarkkaa määritelmää. Teollisuus 4.0 on neljäs teollisen kehityksen aalloista, joista ensimmäinen oli höyrykoneen ja vesivoiman valjastaminen teolliseen käyttöön. Toinen teollinen vallankumous liittyi sähkön hyödyntämiseen ja sitä kautta teollisen toiminnan tehostumiseen. Automaation ja ohjelmoitavien logiikoiden myötä tapahtui teollisuus 3.0, jota voidaan kutsua automaation vallankumoukseksi. (Kagermann, Wahlster & Helbig 2013; Collin 2016, 38.) Teollisuus 4.0 pohjautuu tietoyhteiskunnan kehitykseen ja sitä voidaan pitää luonnollisena jatkumona automaation jälkeiselle kehitykselle. Ajatuksen teollisuus 4.0:sta esittivät saksalaiset 2010

luvun alussa. Muita vastaavia konsepteja ovat Yhdysvalloissa Smart Manufacturing -hankkeet tai Korean ja Japanin omat kansalliset ohjelmat teollisen internetin kehityksen ympärille. (Thoben, Wiesner & Wuest 2016, 4; Fonseca 2018, 388.) Työssä jatkossa puhutaan teollisuus 4.0 -konseptista, joka tässä työssä käsittää myös termin Smart Manufacturing ja eri maiden kansalliset digitalisaatiohankkeet.

Teollisuuden neljäs vallankumous on kuitenkin ennustettavissa, päinvastoin kuin aikaisemmat vaiheet. Yritykset pystyvät suunnittelemaan toimenpiteitään ja arvioimaan, mitä digitalisaatio heille merkitsee. Konseptin ympärillä on valtavasti nostetta, mutta yleisesti ei ole muodostunut yhtenäistä tarkkaa ajatusta, mitä on teollisuus 4.0 tai miten sitä tulisi lähestyä. Yritysten onkin kartoitettava omat tarpeet ja muodostettava tarkka kuva kyvykkyyksistä, jotka auttavat heitä ottamaan digitalisaation mahdollistaman kehitysoikan. (Almada-Lobo 2015.)

### **3.2 Teollisuus 4.0 – teknologiset kyvykkyydet**

Teollisuus 4.0 voidaan määritellä uusien teknologisten kyvykkyyksien kautta. Slack ja Lewis (2019, 203) jakavat teollisuus 4.0 -konseptin kyvykkyydet viiteen eri päätasoon; päättely/ajattelu, kommunikointi, objektien siirtäminen, materiaalin prosessointi ja tunnistaminen/näkeminen. Päättely/ajattelu -tasoon kuuluu tekoälyn, algoritmien ja big datan mahdollistavat asiat. Kommunikointiin kuuluvat kehittyneet järjestelmät ja lisääntynyt tiedonsiirto. Nykyaikaiset tuotannonohjausjärjestelmät ja älykkäät resurssit voivat kommunikoida keskenään. Esimerkiksi laitteiden, ihmisten ja materiaalien reaaliaikainen paikannus ja toiminnan tila voi olla osana tehdasverkkoa. Objektien siirtäminen teollisuus 4.0:ssa tarkoittaa uuden sukupolven teollisuusrobottien käyttöä ja esimerkiksi dronejen hyödyntämistä teollisuudessa. 3D tulostus on hyvä esimerkki materiaalien prosessointiin liittyvistä uusista teknologisista mahdollisuuksista. Tunnistaminen ja näkemisen kyvykkyydet perustuvat kehittyneempään kamerateknologiaan, konenäköön, älykkäisiin antureihin ja myös virtuaalitodellisuus voidaan nähdä tämän kategorian kyvykkyytenä. (Slack & Lewis 2019, 203.)

Alcácer & Cruz-Machado (2019, 901) luonnehtii teollisuus 4.0 -konseptin olevan automaation, teknologian ja digitaalisten prosessien osalta pitkälle kehittynyt ja se keskittyy koneelta koneelle tai koneelta ihmiselle vuorovaikutukseen tiedon siirrossa ja päätöksenteossa. Teollisuus 4.0:n teknologiset kyvykkyydet koostuvat peruspilareista, joiden avulla eri osa-alueet liitetään yhdeksi kokonaisuudeksi. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 900-901.) Alla on esitelty tämän työn aihepiirin kannalta seitsemän oleellista pilaria.

### 3.2.1 Teollisten esineiden internet

Industrial Internet of Things (IIoT) on teollisten esineiden internet. Yhteen kytketyt laitteet tuottavat reaaliaikaista tuotantodataa muille laitteille ja käyttäjille, jolloin tuotantoprosessista tulee tehokkaampi ja joustavampi. IIoT:n mahdollisuus tuottaa lisäarvoa perustuu parantuneeseen seurantaan, tarkempaan analysointiin sekä näiden kautta tapahtuvaan nopeampaan prosessin optimointiin. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 901.)

Vuonna 2021 suomalaisista yrityksistä 40 prosenttia käytti laitteita ja järjestelmiä, joita voidaan ohjata tai valvoa verkon välityksellä. Suurista yli 100 henkilöä työllistävästä yrityksistä 53 prosenttia ilmoitti käyttävänsä IoT-teknologiaa. Yleisimmät käyttötarkoitukset olivat toimitilojen turvallisuuden valvonta (32 %), logistiikassa (12 %) sekä kuntoon perustuvassa huollossa (10 %) ja energiakulutuksen valvonnassa (10 %). Teollisuudenalan yrityksistä 48 prosenttia ilmoitti käyttävänsä esineiden internetiä. Teollisuuden alalla IoT-ratkaisuja käytettiin seuraavasti: turvallisuuden valvonnassa (38 %), energiankulutuksen hallinnassa (17 %), tuotantoprosessien valvonnassa (17 %). (Tietotekniikan käyttö yrityksissä, 2021, 18–19.)

### 3.2.2 Pilviratkaisut- ja palvelut

Pilvipalveluilla (*cloud computing*) tarkoitetaan IT-palveluiden tuottamista verkon yli ilman paikallisia palvelimia ja IT-arkkitehtuuria. Pilvipalvelut vaativat vähemmän yrityksen omaa IT-resurssia, joka it-sessään nähdään yhtenä teollisuus 4.0:n hyödyistä ja mahdollistajana. Pilvipalvelut mahdollistavat teollisuus 4.0:n käyttöönoton myös pienissä ja keskisuurissa yrityksissä. Pilvipalveluiden avulla pienet ja keskisuuret yritykset pystyvät hyötymään teollisuus 4.0:n mahdollistamista ratkaisuista ilman suuria panostuksia IT-ratkaisuihin. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 901–902.)

Suomessa 75 prosenttia yrityksistä käytti jollain tavalla maksullisia pilvipalveluita vuonna 2021. Yli sata henkilöä työllistävästä yrityksistä pilvipalveluita käytti 96 prosenttia. Teollisuuden yrityksistä 85 prosenttia käytti pilvipalveluita. Yleisimmät käyttökohteet olivat sähköposti (64 %), tiedon tallennus (57 %) ja toimisto-ohjelmat (56 %). Toiminnanohjausjärjestelmiä pilvipalveluna käytti 28 prosenttia yrityksistä ja lisälaskentatehoa haettiin 15 prosentissa yrityksistä. (Tietotekniikan käyttö yrityksissä 2021, 14–15.)

### 3.2.3 Big data

Nykyään saatavilla oleva datan määrä on kasvanut huomattavasti 2000-luvun aikana. Dataa saadaan useista eri lähteistä, jolloin se on myös usein pirstaloitunutta, erilaisissa muodoissa ja eri tavoin järjestyksessä. Tätä dataa kutsutaan yleisesti ”big dataksi”. Sen hyödyntäminen vaatii datan keräämisen ja varastoinnin lisäksi datan analysoinnin. Ilman analysointia big datan keräämisellä ei ole merkitystä yrityksille. Big dataa voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotantoprosessin kustannustehokkuuden parantamisessa, prosessiarvojen optimoinnissa, virheiden ennakoinnissa tai tuotannon johtamisen päätöksenteossa. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 904–905.)

Tilastokeskuksen tutkimuksessa Tietotekniikan käyttö yrityksissä (2018) todettiin, että big data ei ole tarkasti määritelty käsite, mutta sille voidaan antaa tietyt reunaehdot. Big dataa kerätään sähköisistä toiminnoista ja koneiden välisestä kommunikaatiosta. Esimerkiksi verkkosivut, järjestelmät ja tuotanto- sekä logistiikkaprosessit tuottavat big dataa. Data voi olla valmiiksi jäsenneiltyä tai täysin raakadataa. Big datan ominaisuudet voidaan määritellä seuraavasti: dataa on saatavilla suuri määrä, sitä kertyy nopeasti ja sen muoto vaihtelee. Big data voi olla esimerkiksi kuvaa, ääntä, tekstiä, lokikirjauksia, prosessi-arvoja, selaustietoja ja sensoridataa. (Tietotekniikan käyttö yrityksissä 2018, 21.)

### 3.2.4 Simulaatiot

Simuloinnissa voidaan mallintaa muutoksia oikean elämän prosesseihin tai etukäteen kokeilla suunniteltujen systeemien ja prosessien toimivuutta. Sen avulla voidaan saavuttaa mallin (systemi tai prosessi) toimivuudesta parempi kuva. Mallinnukset ovat usein yksinkertaistettuja ympäristöjä, joissa pyritään huomioimaan vain oleellinen. Simuloinnin avulla voidaan kokeilla eri vaihtoehtojen vaikutusta systeemiin tai prosessiin ennen todellista implementointia. Lisäksi simuloinnin avulla voidaan saada lisätietoa prosessista ilman, että häiritään todellista ympäristöä. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 905–907.)

Ennen simulointi tapahtui offline-ympäristössä, jolloin simuloitiin aikaisemmin kerätyn tiedon perusteella tulevia pitkän aikavälin mahdollisia tapahtumia. Teknologinen kehitys mahdollistaa nykyään myös prosessien online-simuloinnin, mikä lisää simuloinnin käyttötarkoituksia ja sitä voidaan hyödyntää myös lyhyenajan tapahtumien ennakointiin. Esimerkiksi muutokset tuotantosuunnitelmassa tai yllättävät tuotannon häiriötilanteet vaikuttavat useaan eri tekijään, jolloin muutosten vaikutuksia voi olla



vaikea arvioida. Online tapahtuvalla simuloinnilla voidaan saada parempi käsitys muutosten vaikutuksista kokonaisuuteen. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 905–907.)

### 3.2.5 Lisätty todellisuus

Lisätty todellisuus (*augmentet reality, AR*) tuottaa lisäelementtejä normaalinäkymään äänen, grafiikan, video tai tekstin muodossa. Tarkoituksena on tarjota käyttäjälle lisäinformaatiota, jota hänelle ei muuten ole saatavilla. Lisättyä todellisuutta käytetään jo useilla aloilla tuotannossa tai valmistavassa teollisuudessa. Lisätyn todellisuuden arvo voi koostua esimerkiksi käyttäjälle tarjotusta lisäarvosta kunnossapitotehtävissä tai kokoonpanotehtävissä. AR-teknologia lisää operaattorin kokemaan todellisuuteen keinoitekoista tietoa eri koneiden tai prosessin tilasta. Lisättyä todellisuutta voidaan ajatella eräänlaisena uutena HMI-rajapintana (*Human-Machine Interface*). (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 905–908.)

Lisätyn todellisuuden hyödyntämismahdollisuuksia ovat esimerkiksi uusien henkilöiden perehdytys. Tuotantotiloista ja -linjoista voidaan tarjota lisätietoja uusille työntekijöille, jolloin perehdytys on tehokkaampaa. Lisättyä todellisuutta voidaan myös hyödyntää linjojen tuotevaihdossa tai tuotantoprosessin asetuksia vaihdettaessa. Lisätty todellisuuden avulla voidaan varmistaa, että työvaiheet tulevat tehtyä oikeassa järjestyksessä ja oikein. Tuotevaihtoihin ja asetusten vaihdossa menetettyä aikaa pidetään yhtenä teollisuuden yleisimmistä tehokkuuden häviöistä.

### 3.2.6 Horisontaalinen ja vertikaalinen järjestelmäintegraatio

Teollisuus 4.0 -konseptissa yritysten eri toiminnot ovat linkittyneet tiiviisti toisiinsa myös järjestelmien kautta. Yrityksen tasojen ja toimintojen välillä liikkuu tietoa isoja määriä ja tämä asettaa myös tiettyjä vaatimuksia järjestelmille ja integraatiolle; reaaliaikainen data on jaettava horisontaalisesti sekä vertikaalisesti. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 910–911.)

Horisontaalisella integraatiolla voidaan tarkoittaa yritysten välistä integraatiota, jossa yritykset ovat yhteydessä toisiinsa tiedonjakamisen kautta, ja se tuottaa molemmille osapuolille lisäarvoa. Laitetoimittajilla on pääsy automaatioverkkoon, jossa laitetta etävalvontaan. Tällöin laitteen toimintavarmuus on korkeampi, kun ennakoiva huolto voidaan suunnitella tarpeiden perusteella ja akuutit korjaustarpeet havaitaan aikaisemmin. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 910–911.) Horisontaalinen integraatio voidaan

nähdä myös arvoketjun mukaisena integraationa, missä materiaaleista jalostuu vaiheittain yrityksen tuote. Yrityksen oma arvoketju on osa laajemman arvoketjun kokonaisuutta, missä raaka-aineista muodostuu tuote. Esimerkiksi leipomoalan arvoketju koostuu viljelijöistä, myllyistä, leipomoista ja vähittäiskaupasta.

Vertikaalinen integraatio tarkoittaa yrityksen sisäistä integraatiota, jossa yrityksen sisäiset järjestelmät ja hierarkiat ovat integroituneet toisiinsa. Toiminnanohjausjärjestelmä (*Enterprise Resource Planning, ERP*), tuotannon hieno- ja resurssisuunnittelu, varastohallintajärjestelmä (*Warehouse Management System, WMS*), kunnossapito- ja laatu järjestelmät ovat kaikki integroituneet ja tieto kulkee myös vertikaalisesti tasolta toiselle sujuvasti. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 910–911.)

### 3.2.7 Autonominen robotiikka

Teknisen kehityksen myötä myös teollisuudessa käytettävä robotiikka kehittyy monipuolisempaan suuntaan. Valmistava teollisuus muuttuu enemmän massatuotannosta kokonaan tai ainakin osittain kustomoituihin tuotteisiin. Tämä tuo muospaineita prosesseihin, tiedonhallintaan, automatiikkaan ja robotiikkaan sekä valmistusmenetelmiin. Prosessien tulee olla joustavia, että voidaan vastata asiakkaiden ja markkinoiden toiveisiin. Autonomiseksi roboteiksi määritellään robotit, jotka kykenevät itsenäiseen päätöksenteeseen ja toimintaan eri tilanteissa. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 910–911.)

Osana autonomista robotiikkaa voidaan pitää myös yhteistyörobotteja (*collaborative robots, cobotti*). Cobotit suorittavat tehtäviä ihmisten kanssa yhteistyössä, jolloin robotiikkaa voidaan hyödyntää kohteisiin, mihin ei aikaisemmin ollut järkevä investoida perinteisiä teollisuusrobotteja. Yhteistyörobotit ovat kooltaan pienempiä, toimintatehoiltaan rajoitettuja ja varustettu älykkäillä turvallisuussensoreilla, jolloin niitä voidaan hyödyntää ihmisten kanssa samoissa työpisteissä. Cobotit ovat myös helposti ohjelmoitavissa ja aiempaa ohjelmointiosaamista ei tarvita. (Alcácer & Cruz-Machado 2019, 911–912.)

## 3.3 Älykäs valmistus

Kagerman, Wahlster & Helbig (2013) linjaavat Teollisuus 4.0 -kokonaisuutta koskevassa työssään, että uudet tietotekniset kyvykkyudet yhdistävät tuotantolaitteet, materiaalit, varastot ja henkilöresurssit yh-

deksi kokonaisuudeksi – älykkääksi valmistukseksi (*smart factories*). Älykkäässä valmistuksessa tuotetietojen, reseptien ja valmistuserien hallinta linkittyy reaaliaikaisesti tapahtuvaan tuotantoon. Älykäs valmistus on vertikaalisesti yhteydessä yrityksen sisäisiin tasoihin ja horisontaalisesti sisäisiin sekä ulkoisiin toimijoihin ja arvoketjun toimijoihin. Koko prosessia voidaan seurata reaaliajassa tilauksesta asiakkaalle toimitukseen asti. Teollisuus 4.0:n teknologiset kyvykkyydet ovat otettu käyttöön älykkäässä valmistuksessa. Yritysten täytyy löytää teollisuus 4.0-konseptista itselleen arvoa tuottavat kyvykkyydet, joihin investoida. (Kagermann, & ym. 2013, 5–7.)

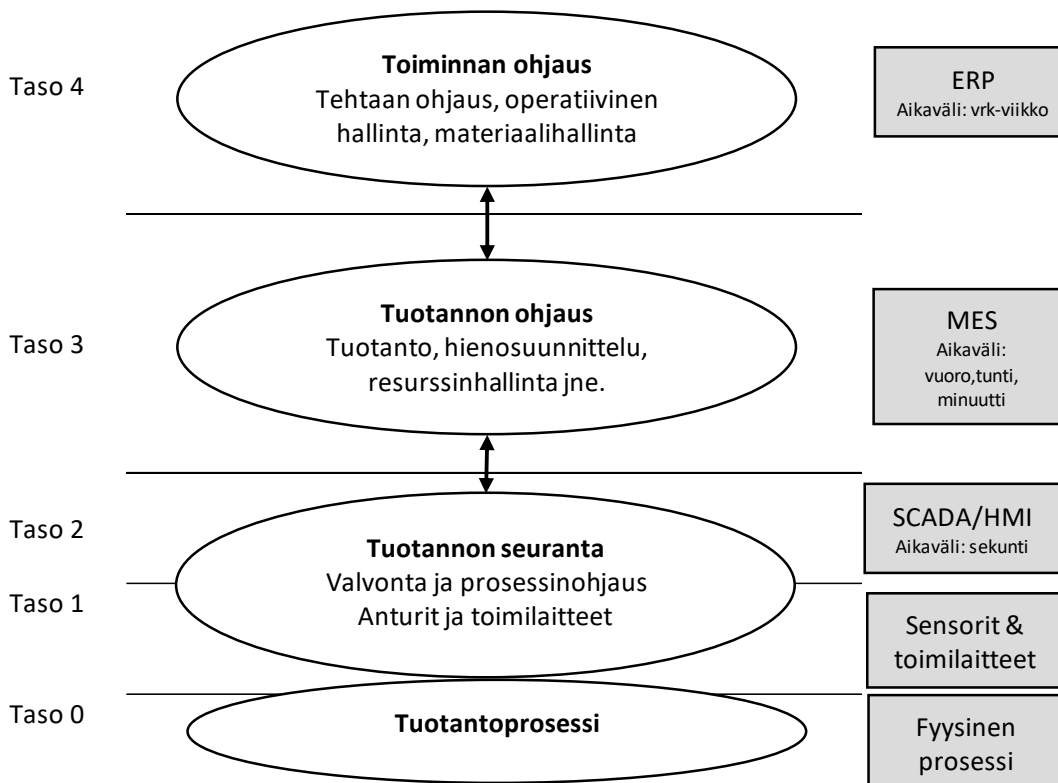
Älykkäässä valmistuksessa työntekijät, koneet ja resurssit ovat jatkuvassa yhteydessä toisiinsa. Mallissa pelkästään tuotantoympäristö ei ole ”älykäs”, vaan myös puolivalmisteilla ja tuotteilla voi olla tietoa valmistustavasta ja -ajasta, käytetyistä resursseista sekä tuotteen käyttötarkoituksesta. Älykkäiden laitteiden, järjestelmien, resurssien sekä ihmisten verkostot luovat pohjan, mihin älykkään valmistuksen arvontuotto perustuu. (Kagermann, & ym. 2013, 19-21.)

Luvussa 3.2 esiteltiin teollisuus 4.0:n mahdollistavia kyvykkyyksiä, jotka vievät eteenpäin neljättä teollista vallankumousta. Pelkästään uusien teknologisten ratkaisujen toteutus ei riitä älykkään tuotannon käynnistämiseen, teollisuus 4.0-konsepti perustuu myös fyysisen ympäristön ja virtuaalisen maailman yhdistämiseen. Teollisuus 4.0-konseptissa näitä kutsutaan kyberfyysisiksi järjestelmiksi (*Cyber Physical System, CPS*). Tuotantotilojen olosuhteet ja laitteet muodostavat yhden kokonaisuuden, jossa tieto liikkuu ihmisten, järjestelmien ja koneiden välillä reaaliaikaisesti. (Kagermann, & ym. 2013, 5; Almada-Lobo 2015 16–17.)

Kyberfyysiset järjestelmät ovat yksinkertaistettuna laitteita, joissa on sisäänrakennettu ohjelmisto ja laskekäkyvykkyyttä. Tulevaisuudessa yhä useammat laitteet ovat älylaitteita, jotka ovat yhteydessä toisiinsa ja järjestelmiin sekä kykenevät itseohjautuvuuteen. Laitteiden ollessa yhteydessä toisiinsa ne voivat muodostaa myös kyberfyysisiä tuotantokokonaisuuksia (*Cyber-Physical Production Systems, CPPS*), jotka ymmärtävät tilansa, kapasiteettinsa ja eri tuotanto- ja toimintavaihtoehtojen määrän (Almada-Lobo 2015 16–17.) Älykkäät tuotantolaitteet ja ympäristöt vaativat myös tuotantojärjestelmiltä enemmän, jotta kokonaisuutta voidaan hallita ja ohjata.

### 3.4 Älykäs valmistus – MES-järjestelmät

Älykäs valmistus perustuu teollisuus 4.0:n kyvykkyyksien hyödyntämiseen. Älykkäässä valmistuksessa tuotannon järjestelmät ja laitteet ovat yhteydessä toisiinsa sekä yrityksen muihin järjestelmiin. Manufacturing Execution System (MES) järjestelmät ovat jo 1980-luvulla saaneet alkunsa, mutta teknologian ja IT-järjestelmien kehittyessä MES-ratkaisut ovat kehittyneet mukana. MES-järjestelmät nähdäänkin yhtenä teollisuus 4.0 -konseptin kulmakivistä. Yrityksen vertikaalisessa arkkitehtuurissa MES-järjestelmällä ohjataan tuotannossa tapahtuvia prosesseja yhtenä kokonaisuutena. Kansainvälisen automaatioyhdistyksen (*International society of Automation, ISA*) ISA 95 standardin mukaisesti MES-järjestelmällä ohjataan tasolla 3 (KUVIO 2) tapahtuvia prosesseja. ISA 95 standardissa tasoa kolme pidetään tuotannon tasona ja tasoilla 1–2 sijaitsevat laitteiden ja linjojen toimilaitteet ja ohjelmoitavat logiikat (*Programmable Logic Controller, PLC*). Tasolla 3 hallitaan koko tehdasympäristöön ja tuotantoon liittyviä kokonaisuuksia. Tasolla 4 tapahtuu yrityksen pitkän aikavälin resurssien hallinta ja suunnittelu ERP-järjestelmässä. (Mantravadi & Møller 2018, 591–592.)



KUVIO 2. ISA 95 -automaatiostandardin toiminnan tasot (mukaillen Brandl, Hunkar, & Mahnke 2013)

Almada-Lobon (2015, 18) mukaan MES-järjestelmät ovat merkittävässä osassa tulevaisuuden tuotantojärjestelmiä ja tehdastason toimintaa. Nykyaikaisilla MES-järjestelmillä saadaan tuotantoon tehokkuutta, laadukkuutta ja joustavuutta. Almada-Lobo jakaa teollisuus 4.0:n vaatimukset MES-järjestelmän osalta neljään eri luokkaan: hajautettu, vertikaalinen integraatio, yhdistettävyyden ja mobiilius sekä pilvipalvelut ja analyysit. (Almada-Lobo 2015 18–20.)

Hajautettu MES-järjestelmä tarkoittaa, että koneet ja laitteet voivat toimia itsenäisinä yksikköinä, kunhan ne on kytketty tehdasverkkoon tai osaksi järjestelmää. Laitteet voivat sijaita missä vain, kunhan ne pystyvät ilmoittamaan tilansa ja toimintansa. Tarvittavat laskenta- ja analyysitoiminnot voivat tapahtua toisaalla, esim. pilvessä. Hajautuksella ei tarkoiteta pelkästään fyysistä hajauttamista, vaan ennemminkin päätöksenteon ja toiminnan kannalta loogista hajauttamista. (Almada-Lobo 2015, 20.)

Vertikaalisella integraatiolla MES-järjestelmän osalta tarkoitetaan, että MES on liitetty yrityksen hierarkiaan myös pystysuuntaisesti, jolloin läpinäkyvyys myös muihin toimintoihin on mahdollistettu. Esimerkiksi MES-järjestelmän vertikaalinen integraatio mahdollistaa tuotteiden vaatimustenmukaisuuden, kustannus seurannan tai logistiikkatoimintojen liittämisen osaksi reaaliaikaista kokonaisuutta. (Almada-Lobo 2015, 19.)

MES-järjestelmän yhdistettävyyden ja mobiilius mahdollistaa laitteiden ja materiaalien yhdistettävyyden skaalaamisen tehokkaasti ja edullisesti. Esimerkiksi koneiden ja materiaalien sijainnit ja tilat voidaan nykyteknologialla helposti liittää osaksi MES-järjestelmää. Passiiviset tunnistusmenetelmät, kuten radiotaajuinen etätunnistus (*Radio Frequency Identification*, RFID) tai älylaitteet kytkettynä tehdasverkkoon kertovat resurssien tarkan sijainnin. (Almada-Lobo 2015 19–20.)

Pilvipalvelut ja kehittyneet analyysimenetelmät tarjoavat MES-järjestelmään laskentakapasiteettia CPS-laitteiden ja CPPS-kokonaisuuksien keräämästä datasta. Kerätty data tulee varastoida ja käsitellä myöhempiä käyttöä varten. Yksi teollisuus 4.0 -konseptin tarkoitus on luoda kokonaisvaltainen käsitys tuotantoympäristöstä ja tämä onnistuu vain, kun eri lähteistä saatu data pystytään yhdistämään kokonaisuudeksi. Pilvipalvelut tarjoavat yhden ratkaisun datan varastointiin ja käsittelyyn. Kehittyneillä analyysimenetelmillä pystytään käsittelemään ja analysoimaan varastoitua dataa tehokkaammin ja sitä kautta myös ymmärtämään valmistusprosessin suorituskykyä paremmin. Kehittyneet analyysit voidaan jakaa kahteen luokkaan: monimutkaiset data-analyysit, jotka tehdään offline-tilassa tilastollisia menetelmiä hyödyntäen. Offline-analyysien perusteella luodut algoritmit ja tapahtumien tunnistaminen on kuitenkin

syytä saada osaksi online-toimintaa, jotta tapahtumiin voidaan reagoida ennen kuin ne tapahtuvat tuotannossa. (Almada-Lobo 2015, 21.)

Mantradi & Mollerin (2018) mukaan MES-järjestelmistä tai niiden hyödyistä ei löydy merkittävästi akateemista tutkimusta, joissa olisi esitelty tapausten perusteella todisteita parantuneesta suoritustasosta ja läpinäkyvyydestä MES-järjestelmän käyttöönoton seurauksena. Konsultoivia ja näkökulmaa antavia tutkimuksia on tehty, ja niissä on nähty, että MES-järjestelmillä voidaan saada hyötyä nopeutuneen läpimenon tai parantuneen OEE-luvun muodossa. Teollisuusalalla vallitsee kuitenkin yhtenevä käsitys, että viime vuosikymmeninä järjestelmien parissa tapahtunut nopea teknologinen kehitys parantaa järjestelmistä saatavaa hyötyä myös MES-järjestelmien kohdalla. Nykyaikaisen MES-järjestelmän avulla tieto siirtyy reaaliaikaisesti laitteiden, ihmisten ja järjestelmien välillä ja tuotannon tilasta saadaan reaaliaikainen läpileikkaus. Lisäksi älykkäät järjestelmät kykenevät ilmoittamaan etukäteen mahdollisista tuotannon ongelmatilanteista tai tehokkuuden alenemista. Järjestelmien osalta myös integraatiomahdollisuudet sekä laskentateho ovat kehittyneet viime vuosina. Ne mahdollistavat älykkään valmistuksen reaaliaikaisen tiedon siirtymisen tehdasautomaation, järjestelmien ja ihmisten välillä. (Mantravadi & Møller 2018, 592.)

## 4 OEE-JÄRJESTELMÄ

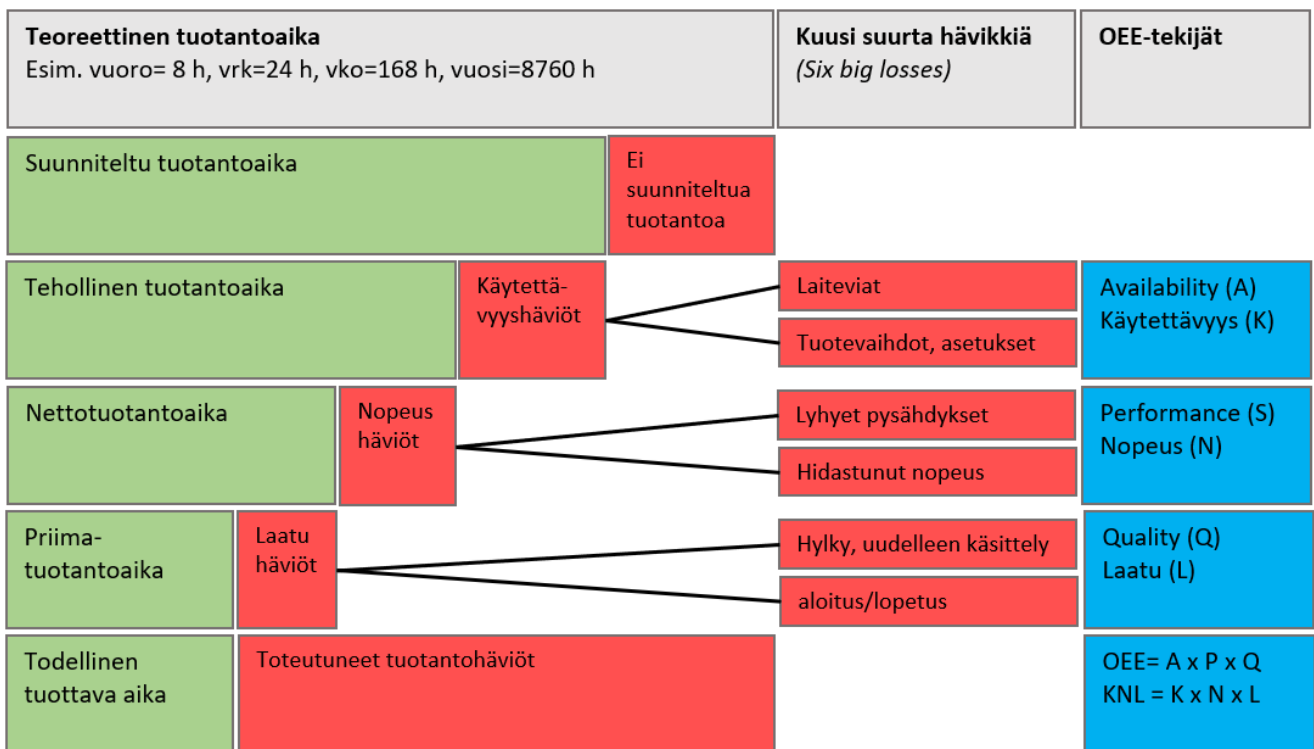
Tehtaat ja tuotantolaitokset yrittävät toimia mahdollisimman tehokkaasti tuotantoresursseja hukkaamatta. Tehokkuuden parantamiseen ja resurssien tehokkaaseen hyödyntämiseen panostetaan jatkuvasti. Laadukkailla tuotantolaitoksilla on kaksi yhteistä tekijää; niissä päätöksenteko perustuu tietoon ja niiden johtamisjärjestelmä perustuu eri toimintojen yhteistyöhön. Tuotannon johtaminen perustuu valittuihin KPI-lukuihin (*Key Performance Indicator*, KPI), joita seuraamalla tiedetään suoriutumisen taso kullakin osa-alueelle. Yksi yleisimmistä KPI-luvuista on Overall Equipment Efficiency luku (OEE). (Hansen 2002.)

Penttinen (2013) kertoo tuotannon seuranta- ja raportointijärjestelmää käsittelevässä diplomityössään, että OEE on mittari, jolla voidaan arvioida, kuinka tehokkaasti tuotantolaitteita on käytetty. Periaatteessa OEE-luku antaa standardin mukaisen tuloksen tehokkuudesta, ja tämän perusteella on mahdollista mitata tuotannon tehokkuutta eri laitteiden, linjojen, osastoja tai tehtaiden välillä. OEE-mittaus ei kuitenkaan ole yksiselitteinen asia, vaan lopputulokseen vaikuttavat monet tekijät. Esimerkiksi tuotevaihtojen määrä ja kesto vaikuttavat OEE-lukuun, joten valmistettavien tuotteiden määrällä on suuri vaikutus OEE-tooteumaan. OEE-luvun avulla tehtaiden tai eri linjojen vertailussa on varmistettava, että laskenta taustalla on tehty samalla periaatteella. OEE-luku toimii myös toiminnan kehityksen mittarina, silloin kun tarkoituksena on kehittää jonkin koneen, linjan, yksikön suorituskykyä. Järjestelmän avulla voidaan selvittää pullonkaulat ja asiat, joihin tulisi keskittää resursseja. OEE-mittari soveltuu hyvin tehokkuuden mittaamiseen ja lisäksi OEE-lukua voidaan hyödyntää kehitystoimenpiteiden vaikutusten todentamisessa. Alun perin OEE-laskenta liittyi kokonaisvaltaisen tuottavan kunnossapidon (*Total Productive Maintenance*, TPM) käsitteeseen, mutta nykyään sitä käytetään kokonaisvaltaisesti tuotannon seurantaan. (Penttinen 2013, 27.)

OEE-luvun laskeminen täytyy aina sovittaa kohteen prosessiin mukaan. Jokaisella prosessilla on ominaispiirteet ja ne täytyy huomioida OEE-laskennassa. Jos prosessissa on paljon laskennan epätarkkuutta lisääviä tekijöitä, silloin laskentaa joudutaan soveltamaan enemmän. OEE-laskennassa tarkkuutta vähentäviä tekijöitä ovat muun muassa tuotevaihtojen ja tuotantosarjojen suuri määrä, tuotteilla on eri läpäisykyky prosessissa sekä raaka-aineiden laadulla suuri vaikutus ajonopeuksiin. OEE-laskennassa on hyvä muistaa, että absoluuttiseen tarkkuuteen ei ole tarve päästä. Tärkeämpää on tehokkuuden ja tuotavuuden kehityksen seuranta pidemmällä aikajaksolla. (Laine 2010, 21)

## 4.1 Perusteet

Overall Equipment Effectiveness (OEE) on tuotannon tehokkuuden mittaamiseen käytetty standardi. OEE-luku kertoo, kuinka tehokkaasti koneet, linjat tai tehtaat suoriutuvat valmistuksesta. OEE-luku koostuu kolmesta kokonaisuudesta, jotka ovat: käytettävyys (*availability*), nopeus (*performance*) ja laatu (*quality*). Alla olevassa kuviossa (KUVIO 3) on esitelty OEE osa-alueet ja kuusi suurta hävikkiä (*six big losses*) sekä kokonaisuuden muodostuminen. OEE-luvulla saadaan kokonaiskäsitys valmistuksen tehokkuudesta, mutta myös tarkempaa tietoa siitä, mikä osa-alue tuotannossa vähentää tehokkuutta. OEE-seurantaa pidetään yhtenä yleisimpänä tuotannon kyvykkyyttä mittaavana mittarina ja sitä voidaan hyödyntää jatkuvan parantamisen prosesseissa ja prosessin tehokkuuden arvioinnissa. (OEE 2022.)



KUVIO 3. OEE-laskennan perusteet (mukaiillen Hanski ym. 2018)

OEE-seurannassa usein seurataan yleisten tuotannon hukatekijöiden vaikutusta koneen tai linjan suorituskykyyn. Alla olevassa taulukossa on esitelty tuotannon kuusi suurta hävikkiä (*six big losses*), joita pidetään yhtenä yleisimpinä tuotannon hukkaa aiheuttavina tekijöinä (TAULUKKO 1). OEE-luvusta käytetään myös paikoitellen suomennosta KNL-luku, jossa K tulee käytettävydestä, N nopeudesta ja L laadusta.



TAULUKKO 1. Tuotannon kuusi suurta hävikkiä (mukaillen Vorne 2022)

OEE	Tuotannon hukatekijät	Selitys
Käytettävyys hukat	Laitehäiriöt	Laitteelle suunniteltu tuotantoa, mutta tuotantoa ei käynnissä laiteviasta johtuvasta syystä
	Vaihto- ja säätöajat	Suunnitellun tuotannon aikana tapahtuvat suunnitellut pysähdykset; lajinvaihdot, säätöajat, siivoukset
Nopeus hukat	Lyhyet pysähdykset	Laitteella tapahtuvat lyhyet pysähdykset, esim. operaattori selvittää ruuhkaa tai tukosta
	Hidastunut nopeus	Kun laite käy pienemmällä nopeudella, kuin suunniteltu. Hidastumisen on voinut aiheuttaa liikaantuminen, kuluminen, materiaalivirheet yms.
Laatu hukat	Laatupoikkeamat	Valmistetut yksiköt, jotka eivät täytä laatukriteerejä
	Aloitushukka	Tuotannon alussa/käynnistämässä tulevat virheelliset tuotteet

#### 4.1.1 Käytettävyys

Käytettävyysluku kertoo, että kuinka paljon tuotannossa tapahtuu suunnittelemattomia pysähdyksiä, jotka ovat tehokkuuden kannalta hukka-aikaa. Pysähdykset aiheuttavat käytettävyyden häviötä. Kaikki laiteviat tai häiriöt laitteissa aiheuttavat hävittyä tuotantoaikaa. Materiaalien tai puolivalmisteiden odotuksesta johtuvat tuotannon pysähdykset aiheuttavat myös menetettyä käytettävyyttä. Myös tuotevaihdosta aiheutuvat katkot tuotannossa vähentävät koneiden ja linjojen käytettävyyttä. Tuotevaihdot ovat osa normaalia tuotantotoimintaa, mutta silti ne aiheuttavat menetettyä valmistusaikaa. Tuotevaihdosta ei todennäköisesti voida päästä kokonaan eroon, mutta niiden kestoa voidaan ja tulisi pyrkiä vähentämään. Häiriöiden ja odotusten jälkeinen aika on toteutunutta tehollista tuotantoaikaa. (Laine 2010, 20–22; OEE 2022.)

OEE-laskennassa käytettävyys (K) lasketaan seuraavalla tavalla:

$$K = \frac{Ka}{ST} = \frac{\text{Käyntiaika (h)}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika (h)}} \quad (1)$$

missä Ka on toteutunut käyntiaika ja ST suunniteltu tuotantoaika. Käyntiaika on siis suunniteltu tuotantoaika, josta on vähennetty kaikki käytettävyyden häviötä aiheuttaneet tapahtumat (häiriöt, tuotevaihdot, odotukset ym.). Käyntiaika on jäljelle jäänyt tehollinen tuotantoaika. Käytettävyys ilmoitetaan tehollisen tuotannon ja suunnitellun tuotannon suhdelukuna. (Laine 2010, 20–22; OEE 2022.)

### 4.1.2 Nopeus

OEE-mittauksessa nopeudella mitataan, mikä on koneiden ja linjojen tehollisen tuotannon aikana toteutunut tuotanto verrattuna teoreettiseen tuotantomäärään. Kaikki tilanteet, jotka vaikuttavat kapasiteetin alentumiseen tai saannon huonontumiseen, vähentävät nopeutta. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi koneiden kulumiset, huonolaatuiset tuotteet, syöttöhäiriöt ja tukokset. Kaikki edellä mainitut vähentävät koneen tai linjan tavoiteltua nopeutta ja aiheuttavat häviötä tuotantotehokkuudessa. Tuotannon nopeutta vähentävät lyhyet häiriöt esimerkiksi lyhyet pysähdykset, mikrohäiriöt ja tukokset. Toinen nopeutta vähentävä tekijä on alentunut nopeus, mikä tarkoittaa tilanteita, missä konetta joudutaan käyttämään matalammalla nopeudella, kuin suunniteltu. Nopeushäviöt vähennetään tehollisesta tuotantoajasta ja jäljelle jää nettotuotantoaika. (Laine 2010, 20–23; OEE 2022.) Tuotantoajat voidaan kääntää myös määrälliseksi arvoksi (esimerkiksi kpl, pss, kg, ltk, pkt), jos se soveltuu prosessin laskentaan.

OEE-laskennassa nopeus (N) lasketaan seuraavalla tavalla:

$$N = \frac{TM}{Ka \cdot NT} = \frac{\text{Tuotantomäärä (kpl)}}{\text{Käyntiaika (h)} \cdot \text{nimellistuotantokyky} \left(\frac{\text{kpl}}{\text{h}}\right)} \quad (2)$$

missä TM tarkoittaa toteutunutta tuotantomäärää, eli paljonko tuotantoajasta on saatu tuotteita. Tuotantomäärä jaetaan käyntiajan ja nimellistuotantokyvyn (NT) tulolla. Nimellistuotantokyvyllä tarkoitetaan teoreettista määrää, joka voidaan valmistaa tunnissa (kpl/h). Käyntiaika (Ka) on sama, jota käytettiin käytettävyyden laskemisessa. (Laine 2010, 20–23; OEE 2022.)

### 4.1.3 Laatu

Laatuhäviöt OEE-laskennassa tarkoittavat laadullisten asioiden vuoksi menetettyä tuotantoa. Laatuhäviöt yleensä lasketaan tuotteista, jotka ovat jo läpäisseet valmistusprosessin ilman edellä mainittuja häviöitä (käytettävyys ja nopeus), mutta eivät täytä tuotteelle tarkoitettuja laatuvaatimuksia. Tällöin tuotteet ovat esimerkiksi sekundaa tai hävikkiä tai ne joudutaan työstämään uudestaan. Laatuhäviöiden jälkeen jäljelle jää varsinainen koneen tai linjan suorittama todellinen tuottava työ (priimatuotantoaika tai -määrä), jolloin on saatu valmistettua asiakkaalle toimitettavaa laatukriteerit käyttävää tuotetta. (Laine 2010, 20–23; OEE 2022.)



loppuun asti ilman väliavarastoinnin mahdollisuutta ja yhden vaiheen häiriöt aiheuttavat odotusta koko linjalle.

OEE-lukua voidaan laskea kaikkia käytettävissä olevaa aikaa (kalenteriaika, esimerkiksi vuodessa 8760 tuntia) vasten tai suunniteltua tuotantoaikaa vasten, kuten yllä esitetty. Kalenteriaikaa vasten laskettu OEE-kertoo enemmän paljonko koneet ovat käytössä ja paljonko tuotantoaikaa on ”reservissä”. OEE-luvun laskeminen suunniteltua tuotantoaikaa vasten kertoo enemmän siitä, miten tuotanto on onnistunut suunnitelmaan nähden. OEE-lukuja onkin hyödyllistä pitää rinnakkain useampi. (Laine 2010, 22)

### 4.3 Tuotantolinjan OEE

Braglian, Frosolinin & Zammorin (2008) mukaan ongelmia OEE-luvun laskennassa ja tulkinnessa voi esiintyä silloin, kun mitataan tuotantolinjan OEE-lukua, jossa koneet ovat suorassa yhteydessä toisiinsa ja edeltävä kone syöttää seuraavaa konetta jatkuvalla tuotevirralla. Esimerkiksi tuotantolinjan kapasiteetti muodostuu tällöin pullonkaulakoneen mukaan. Yksittäisille koneille voidaan laskea OEE-luku teoreettisen maksimin mukaan, mutta koko linjan OEE-luku tulee laskea pullonkaulakoneen kapasiteetin mukaan. Varsinkin silloin, kun tuotantolinjalla ei ole mahdollista käyttää väliavarastoja eikä tuotevirtaa voida ohjata sivuun odottamaan kesken prosessin. Tällöin pullonkaulakone muodostaa koko linjan kapasiteetin. (Braglia ym. 2008, 11–12.)

Braglia ym. (2008) käyvät läpi tutkimuksessaan eri tutkijoiden tapoja mitata kokonaisen tuotantolinjan OEE-lukua. Esimerkiksi Nachiappan & Anantharaman [2006] esittelivät Overall Line Effectiveness luvun (OLE) vaihtoehtoisena tapana mitata tuotantolinjan tehokkuutta. OLE-luku koostuu linjan käytettävyyden (*line availability*) ja tuotantolinjan laatu ja nopeus luvun (*line production quality performance*) tulosta.

Overall Line Effectiveness (OLE) lasketaan kaavalla:

$$OLE = LA \cdot LPQP = \text{line availability} \cdot \text{line production quality performance} \quad (5)$$

missä LA on linjan viimeisen koneen toteutunut käytettävyys ja LPQP lasketaan:

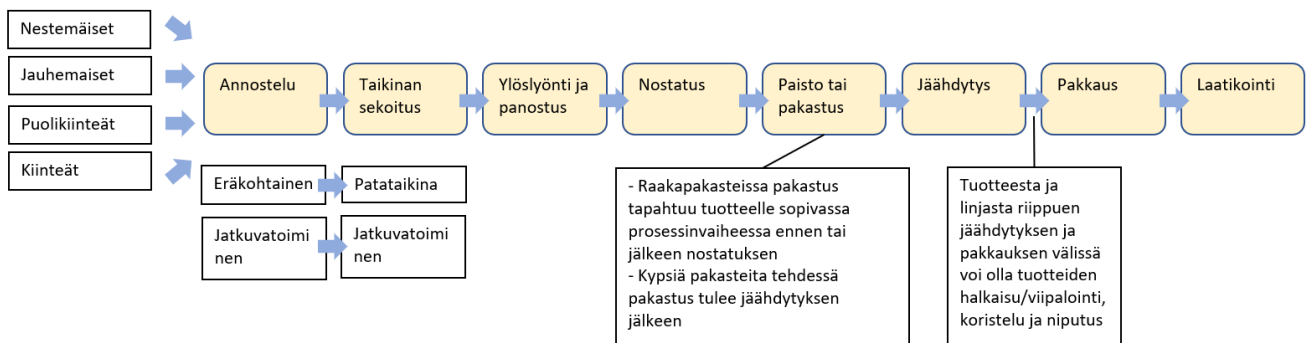
$$LPQP = \frac{G_n \cdot CT_{bn}}{OT} = \frac{\text{Viimeisen koneen yksiköt}(kpl) \cdot \text{viimeisen koneen jaksoaika (s)}}{\text{toteutunut tuotanto (s)}} \quad (6)$$

LA ja LPQP keskittyvät seuraamaan linjan viimeisen koneen toimintaa, johon heijastuvat myös linjan aikaisempien koneiden toimivuus ja tapahtumat. Kaikki linjalla tapahtuneet häiriöt ja katkot näkyvät odotuksena viimeisellä koneella. Toisaalta seuraamalla vain yhtä kohdetta linjalla menetetään tarkempaa ja tärkeää tietoa häiriöistä ja odotusta aiheuttaneista tapahtumista. Lisäksi yhden koneen huolto yleensä pysäyttää koko linjan aiheuttaen menetettyä tuotantoaikaa linjan muille koneille, joten pelkästään perinteinen konekohtainen OEE:n tarkastelu ei ole mielekästä tässäkään mielessä, vaan tuotantolinjaa tulisi mitata myös yhtenä kokonaisuutena. (Bragilia ym. 2008, 11–13.)

## 5 LEIPOMOTEOLLISUUDEN VALMISTUSPROSESSI

Tässä työssä teollisella leivonnalla tarkoitetaan prosessia, joka on jatkuvatoiminen valmistusprosessi alusta loppuun. Prosessin päävaiheet on kuvattu kuviossa automatisoitu leivontaprosessi (KUVIO 4). Tässä luvussa esitelty leivontaprosessi kuvaa parhaiten ruokaleivän valmistusta (vaalea ja tumma ruokaleipä). Täysin automatisoitu prosessi toimii yhtämittaisena raaka-aineiden annostelusta ja sekoituksesta tuotteen laatikointiin asti. Usein leipomoteollisuudessa prosessin alkuvaihe on enemmän automatisoitu, mutta pakkaamisessa ja laatikoinnissa on enemmän manuaalista työtä vaativia vaiheita.

Automatisoitua leivontaprosessia ei voida keskeyttää pitkäksi aikaa, koska tuotteiden laatuominaisuudet ovat herkkiä muutoksille. Esimerkiksi nostatusvaiheessa jo 10–15 min suunniteltua pitempi nostatusaika vaikuttaa tuotteen ominaisuuksiin. Tuotekohtaisia eroja on siinä, miten tuotteet kestävät seisahdunutta prosessia, mutta pääsääntöisesti jo 20–30 minuutin pysähdyksen jälkeen tuotantolinjan alkupään prosessista (vaiheet ennen uunia) aiheutuu hävikkiä. Häiriötilanteissa tuotantoprosessi pyritään pitämään käynnissä, mutta se ei ole aina mahdollista.



KUVIO 4. Automatisoitu leivontaprosessi

### 5.1 Annostelu, taikinan teko ja ylöslyönti

Taikinan valmistuksessa tarvittavat raaka-aineet voidaan jakaa seuraavasti: nestemäiset (vesi, raski, öljy, siirappi ym.), jauhemaiset (jauhot, suola, sokeri, kuivahiiva, hiutaleet), kiinteät (voi, palahiiva, margariini) ja puolikiinteät (esitaikinat, hauteet). Annostelujärjestelmä annostelee taikinan valmistukseen tarvittavat raaka-aineet. Annostelu voi toimia yksinkertaisimmillaan siten, että raaka-

aineet voidaan purkaa jauhosiilosta taikinapataan ruuvikuljettimella. Yleensä kuitenkin jauhojen siirto tapahtuu imu- tai puhallussiirron avulla keskitettyyn jauhovaakaan tai suoraan taikinan sekoituskoneille. Paljon kuluvat jauhot ja muut raaka-aineet säilytetään siiloissa ja suursäkki- tai nestekonttiasemilla ja vähän kuluvat raaka-aineet annostellaan pienkomponettiaseman kautta, jossa usein on oma vaaka. Annostelussa prosessin kannalta tärkeitä tekijöitä ovat raaka-aineiden oikeat suhteet ja lämpötilat. (Salovaara, Ignatius, Jussila & Hurri-Martikainen 2017, 90–101.)

Annostelun jälkeen raaka-aineet sekoitetaan taikinaksi. Sekoitus tapahtuu lähes poikkeuksetta kahdella tavalla; taikina voidaan sekoittaa eräkohtaisesti taikinapataan tai -astiaan. Taikina voidaan myös sekoittaa ja valmistaa jatkuvatoimisena prosessina, jossa raaka-aineita sekoitetaan kokoajan taikinaksi ja annostelu toimii jatkuvana. Eräkohtaisessa valmistuksessa irtopatoja siirretään sekoituskoneelta seuraavaan vaiheeseen (ylöslyönti) joko käsin tai automaattisesti. Jatkuvatoimisessa sekoituksessa raaka-aineet sekoitetaan ruuvimaisella sekoitustyökalulla ja taikina siirretään kuljettimia ja letkuja pitkin ylöslyöntivaiheeseen. Jatkuvatoiminen taikinasekoitus ei sovi kaiken tyyppisille taikinoille. Esimerkiksi sitkoa vaativat taikinat on usein järkevämpää tehdä eräkohtaisesti taikinapataan sekoittamalla. Sekoituksen jälkeen seuraava prosessivaihe alkaa taikinalevon jälkeen. Taikinasta riippuen taikinalle annetaan välilepo padassa, joka on yleensä noin 30-60 minuuttia. Jatkuvatoimisessa annostelussa taikinan lepoaika yleensä toteutetaan kuljettimilla. (Salovaara ym. 2017, 92–101.) Lepoajan jälkeen taikinat siirretään seuraavaan vaiheeseen, ylöslyöntiin, joko kuljettimilla tai taikinakipillä.

Ylöslyönti leipomisprosessissa tarkoittaa vaihetta, jossa taikinaa muokataan ja siitä muodostetaan halutun mallisia tuotteita. Vehnä- ja ruistaikinoilla ylöslyöntiin sisältyy eri vaiheita sekä tehdäänkö palaleipää vai vuokaleipää vaikuttaa ylöslyöntiprosessiin. Ylöslyöntivaiheessa prosessiin voi sisältyä seuraavia vaiheita: paloittelu (taikinamassan jakaminen haluttuun palakokoon), riivaus (tuotteesta saadaan halutun muotoinen, esim. kartioriiivaimella pallo tai pitkittäisriivaimelle pitkän mallisia tuotteita), valssaus (taikinasta muodostetaan halutun paksuista mattoa), leikkaus ja muotoilu (taikinamatosta leikataan halutun kokoisia ja muotoisia paloja) ja koristelu/ripottelu (tuotteen pintaan ripotellaan siemeniä tai jyviä). Ylöslyönnissä tarkkaillaan tuotteen muotoa ja leivät halutaan saada tiettyyn tavoitepainoon. (Salovaara ym. 2017, 101–120.)

## 5.2 Nostatus, paisto ja jäähdytys

Ylöslyönnin jälkeen vuorossa on nostatusvaihe. Tuotteet ohjataan ja panostetaan nostatuskaappiin, jossa olosuhteet lämpötilan ja kosteuden suhteen ovat optimaaliset hiivan toiminnan käynnistymiselle. Automaattisessa tuotantolinjassa tuotteet kuljetetaan läpi nostatuskaapin halutun ajan verran. Tyypillisesti nostatuksessa lämpötila on 32-36 °C asetta lämpöä ja suhteellinen kosteus (RH) on 75-95 prosenttia. Useimpien ruokaleipien nostatusaika on 2-4:1 paistoajan kanssa, joten tuotteet viettävät nostatuskaapissa ison osan kokonaisprosessista. (Salovaara ym. 2017, 148–164.)

Paistoprosessissa tuotteet saavat nostauksen jälkeen vielä lisää tilavuutta paiston alussa tapahtuvalla uuninousulla. Paistossa tuotteet kypsyvät halutulle tasolle ja niille saadaan tavoiteltu paistoväri. Paistoväriin lisäksi tuotteelle halutaan huokoinen rakenne ja myös säilyvyyttä sopivan paistokuoren avulla. Liian vähäinen paisto jättää tuotteet raa'aksi tai kosteaksi sisältä, mikä vaikuttaa tuotteen ominaisuuksiin, mutta myös seuraaviin prosesseihin. Esimerkiksi tuotteen kosteus vaikuttaa automaattihalkaisun toimivuuteen; liian kostea tuote sotkee sahan tai liian kuiva tuote aiheuttaa muita ongelmia. Liian vähäinen tai liiallinen paisto vaikuttaa myös tuotteen painoon. Yleisesti ottaen sisuksen lämpötila on tavoitteena saada 98 °C asteeseen ja kuoren tavoite on noin 170-180 °C astetta. Yli 140 °C asteessa alkaa kuoren värin muodostus. Usein tuote on kypsää jo kaksi kolmasosa paistoajan jälkeen, mutta viimeisellä kolmanneksella tuotteeseen haetaan haluttu väri. Paistoprosessissa taikinapalasta haihtuu myös 8-20 % kosteutta. Tätä kutsutaan paistohäviöksi. Yleisesti ottaen tuotteen paisto aika on 15-45 minuuttia ja paistolämpötilat asettuvat 200-240 °C asteen välimaastoon. Leivän koolla on luonnollisesti merkitystä; pienet palaleivät vaativat vähemmän paistoa, kuin isot vuokaleivät. Paistoprosessiin lisätään myös höyryä tarkoituksella, millä pyritään saamaan tuotteeseen sopiva kuoren paksuus ja rapeus. Leipomoteollisuudessa on eri tyyppisiä uuneja tarjolla sekä niiden lämmönlähteet myös vaihtelevat. Yleensä uunit lämpenevät maa- tai nestekaasulla, sähköllä tai öljyllä. Öljyn käyttö on vähentynyt ympäristön kuormittavuuden vuoksi viime vuosina. (Salovaara ym. 2017, 165–185.)

Paiston jälkeen leipä jäähdytyään ennen kuin leipä pakataan ja toimitetaan asiakkaalle. Automaattisessa leivontaprosessissa jäähtyminen on tärkeä prosessin vaihe, koska sillä vaikutetaan leivän tuoreustuntuun sekä säilyvyyteen. Pakattavat leivät jäähdytetään noin 35-40 °C asteisiksi. Tämä on tärkeää varsinkin, jos leivät halkaistaan ennen pakkaamista. Kuumien leipien halkaisu tai viipalointi on laadultaan heikkoa, kun leivän kuuma sisus tarttuu halkaisuteriin kiinni. Tämä myös vaikuttaa koneiden toimivuuteen ennen pitkää. Lisäksi liian lämpimät tuotteet vapauttavat lämpöä pakkauksessa ja silloin pakkaukseen tiivistyy vesihöyryä, mikä aiheuttaa haluttujen laatuominaisuuksien heikkenemisen (esim. rapea kuori) sekä



nopeuttaa tuotteen homehtumista. Tuotteen jäähdystarve riippuu monesta asiasta. Esimerkiksi onko tuote irtotuote, mikä on pakkaustapa ja materiaali tai viipaloitanko tuote vaikuttavat jäähdystysaikaan. Luonnollisesti myös tuotteen koko ja raaka-aineet vaikuttavat. Tyypillinen jäähdystysaika sämpylöille ja palaleiville on 20-40 minuuttia ja vehnä- ja sekaleiville 30-75 min. Ruisleivät vaativat yleensä hieman pidemmän jäähdystyksen. Oma lukunsa ovat isot tai pitkät viipaloitavat ruisleipäaihiot, joiden jäähdystys voi olla 4 tuntia tai enemmänkin. Automatisoidussa tuotantolinjassa jäähdystys voidaan tehdä keinu- tai spiraalijäähdystyksenä tuotevirtaa kuljettamalla eteenpäin. Suljetuissa jäähdystyskaapeissa olosuhteita pystytään helpommin kontrolloimaan, kuin avonaisissa ratkaisuisissa, mutta molempia ratkaisuja käytetään yleisesti. (Salovaara ym. 2017, 188–198.)

### 5.3 Pakkaus ja laatikointi

Jos tuote siivutetaan valmiiksi, se tehdään heti jäähdystyksen jälkeen ennen pakkaamista. Paahtoleivät voidaan siivuttaa ja palaleivät ja sämpylät halkaista. Siivutus- ja halkaisukoneet ovat teknisesti hieman toisistaan eriäviä, mutta toimintaperiaatteeltaan samanlaisia. Nykyisin isoissa teollisissa leipomoissa valmistetut paahto- ja vuokaleivät siivutetaan lähes poikkeuksetta. (Salovaara ym. 2017, 199–201.)

Ennen pakkausta palaleivät usein niputetaan 2-4 kappalleen pinoihin. Niputus tapahtuu niin sanotulla niputtajalla, joita on useita eri tyyppisiä. Niputtaja voi olla yhdistettynä pakkauskoneeseen tai se voi olla erillinen niputusyksikkö. Niputtajat voivat olla teollisuusrobotteja, jotka nostavat leivät pinoihin tai niputus voidaan tehdä eri tasossa kulkevia kuljettimia hyödyntämällä.

Pakkauskoneita on leipomoteollisuudessa useita eri malleja käytössä ja niiden toimintaperiaate riippuu valmistajasta mutta myös siitä, minkälaisia tuotteita niillä halutaan pakata ja minkälaiseen pakkaukseen. Suomessa käytännössä valtaosa teollisenmittakaavan leipomoista käyttää valmiita tuotekohtaisia pusseja tuotteille. Yleensä ne ovat muovi tai paperipusseja, jotka ovat uudelleen suljettavia. (Salovaara ym. 2017, 202–210.) Pakkausvaiheessa tuotteille tehdään myös vierasesineiden hallintaa, eli metallinilmäsimet ja röntgenlaitteet sijaisevat mahdollisimman lähellä pakkausvaihetta, mielellään sen jälkeen, jolloin tuoteturvallisuuden osalta vierasesineriskiä voidaan hallita parhaalla mahdollisella tavalla. Pakkauksen jälkeen leivät laatikoidaan automaattisesti laatikoihin, joissa tuote toimitetaan asiakkaalle asti. Automaattilinjalla laatikointi tapahtuu täysin automaattisesti ja tähänkin tarkoitukseen on erityyppisiä koneita tarjolla useita. Laatikointi vaihe on myös usein jätetty käsin suoritettavaksi työvaiheeksi vaikka linja olisi muuten täysin automatisoitu. (Salovaara ym. 2017, 211–212.)

## 6 OEE-PILOTTI

OEE-pilotin ensisijaisena tarkoituksena oli arvioida OEE-järjestelmän soveltuvuutta tilaajan tuotantoprosessiin, erityisesti teollisessa leivonnassa käytettäviin tuotantolinjoihin. Leipomoteollisuuden tuotantolinjojen valmistusprosessia avattiin edellisessä luvussa (5 Leipomoteollisuuden valmistusprosessi). Järjestelmän käyttöä haluttiin arvioida päivittäisjohtamisen sekä taktisen keskipitkän aikavälin johtamisen näkökulmasta. Pilotissa haluttiin myös arvioida, että miten OEE-järjestelmää voidaan hyödyntää digitalisaation ja teollisuus 4.0:n kyvykkyyksien käyttöönotossa leipomoteollisuudessa.

Pilotti suoritettiin tilaajan tuotantotiloissa kahdella tuotantolinjalla 1.6.2021 alkaen ja pilotti päättyi 30.4.2022. Pilotin linjat valikoituvat eri ominaisuuden perusteella. Tuotannolliset muuttujat ja linjan tekniset valmiudet kattavalle OEE-seurannalle olivat kriteereinä valintaan. Tuotannolliset muuttujat liittyvät tuotannon päivittäiseen toteuttamiseen linjalla. Pilotissa haluttiin pilotoida linjaa, jolla valmistusta on enemmän kuin yhdessä vuorossa. Tällä tavalla haluttiin varmistua, että pilotoitavalle järjestelmälle saadaan mahdollisimman paljon käyttötunteja. Lisäksi haluttiin, että järjestelmän hyötyjä voidaan arvioida eri muuttujien ja tunnuslukujen kautta. Tällaisia muuttujia ovat esimerkiksi saanto, hävikki, toimitusvarmuus, tuotevaihdot, energian kulutus ja häiriöiden määrä. Teknisestä näkökulmasta pilottiin valittiin tuotantolinjat, jotka olivat automaation osalta riittävällä tasolla, että kattava OEE-seuranta voitiin tuotantolinjalle rakentaa.

Yleisesti ottaen OEE-järjestelmä sopii hyvin teollisen leivonnin seurantaan ja mittaamiseen. Leipomotoimialakohtaiset ominaisuudet täytyy kuitenkin huomioida OEE-laskentaa arvioidessa. Leipomoteollisuudessa tuoretuotteiden tuotantosarjat ovat lyhyitä, kun tuotteita täytyy valmistaa päivittäin eikä tuotteita voi tehdä varastoon. Tuotevaihtoja voi tuotantolinjalla olla useita, jolloin vaihtojoiilla on olla suuri merkitys linjan tehokkuuteen. Linjalla työstettävien eri tuotteiden materiaalien (taikinoiden) välillä saattaa olla ominaisuuksissa suuria eroja, mikä aiheuttaa haasteita oikeiden ajoasetusten löytämisessä. Varsinkin tuotantoajojen aloituksissa aiheutuu usein tehokkuushäviöitä. Pilotin perusteella OEE-järjestelmän käyttö soveltuu hyvin leipomoteollisuuteen. Myös edellä mainittujen asioiden seuranta voidaan parantaa OEE-järjestelmällä. Digitalisaation ja teollisuus 4.0:n näkökulmasta OEE-järjestelmällä on paikkansa uusien teknologisia kyvykkyyksien käyttöönotossa. OEE-järjestelmän hyöty perustuu kokonaisvaltaiseen tehokkuuden mittaamiseen, jolla voidaan todentaa investoinneilla tavoiteltujen hyötyjen toteutuminen. Lisäksi järjestelmää voidaan hyödyntää tuotantodatan keräämisessä ja hyödyntämisessä. Pilotia ja tuloksia esitellään enemmän sitä koskevassa liitteessä (LIITE 1).

## 7 OEE-JÄRJESTELMÄN MITOITUS

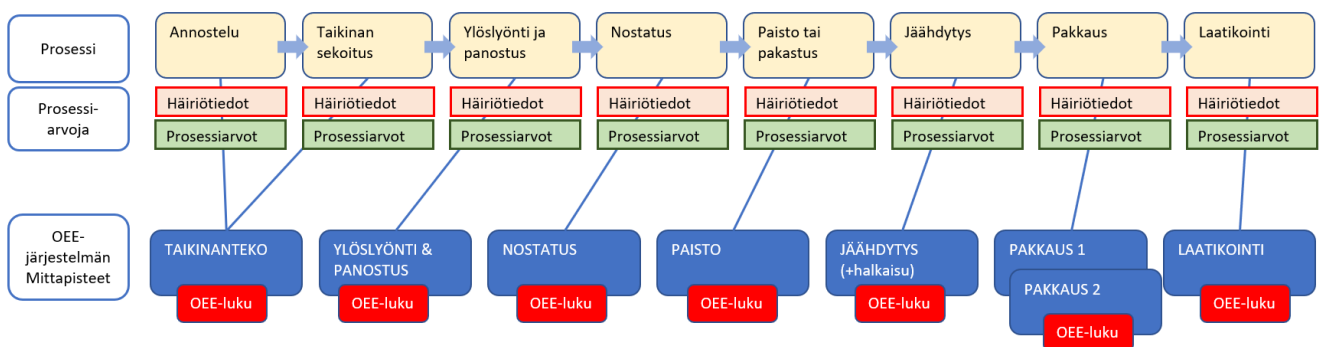
OEE-järjestelmän kustannus on suhteessa mittapisteiden lukumäärään. Usein hinnoittelu on mittapisteperusteinen järjestelmän pystytysvaiheessa. Järjestelmästä maksetaan myös vuosittaiset lisenssimaksut, joiden suuruus määräytyy mittapisteiden lukumäärän mukaan. Mittapisteiden suuri määrä voi lisätä myös järjestelmän pystyttämiskustannuksia, jos tuotantolinjoille joudutaan asentamaan prosessiautomaatiikkaa ja antureita. Mitä tarkemmin tuotantolinjaa halutaan seurata, sitä enemmän on vaatimuksia myös linjan automaatiotasolle. Leipomoteollisuudessa on myös vanhaa konekantaä käytössä, mutta usein linjojen automaatiota on päivitetty ajan tasalle. Vanhemmissa linjoissa voi olla tarpeen päivittää prosessiautomaatiikka, jos halutaan laajamittaista prosessiarvojen ja OEE-seurantaa.

OEE-järjestelmän mitoitus onkin yksi tärkeä kysymys ratkaistavaksi järjestelmän käyttöönotossa. Mikä on sopiva mitoitus? Minkä verran tuottoa järjestelmällä nähdään saatavan? OEE-järjestelmä voidaan rakentaa niin, että se seuraa jokaisen koneen tai prosessivaiheen toimintaa linjalla, jolloin tuotantolinjalta saadaan myös tarkempaa tietoa. Lisäksi operaattoreiden mahdollisuus rikastuttaa häiriö- ja odotustietoja on parempi, kun linjalla on useampi seurantapiste. Minimivaatimus linjan OEE-laskennan saavuttamiseksi on yhden vaiheen tai koneen seuranta. Linjalta valitaan jokin mittapiste, jonka perusteella koko linjan suorituskäykyä arvioidaan. Tämä mittapisteen tulisi olla mahdollisimman lopussa linjaa, mielellään viimeinen vaihe. Tällöin kaikki linjalla aikaisemmin tapahtuneet häiriöt näkyvät odotuksena viimeisessä vaiheessa. Yhdelläkin mittapisteellä voidaan siis laskea linjan OEE-luku, mutta tällaisessa ratkaisussa hävitään saatavien tietojen tarkkuustasossa. Leivontalinja on fyysisesti pitkä prosessi, joka koostuu monesta eri vaiheesta, joita operaattorit valvovat. Pakkaus- tai laatikointikoneen käyttäjien on vaikea kommentoida linjan alkupäässä tapahtuneita häiriötä. Oikean mitoituksen löytäminen vaatii, että järjestelmän käyttöä täytyy arvioida useasta eri näkökulmasta. Seuraavassa on esitelty kolme eri OEE-järjestelmän mitoitustapaa.

### 7.1 Laaja OEE-järjestelmä

Laaja OEE-järjestelmä on mitoitettu siten, että jokaista prosessin vaihetta tarkastellaan omana mittapisteenä, josta voidaan laskea ainakin käytettävyyysluku. Vaiheen toimilaitteista ja antureista riippuen joistain vaiheista on mahdollista laskea myös nopeus- ja laatutietoja. Tällöin voidaan myös laskea OEE-

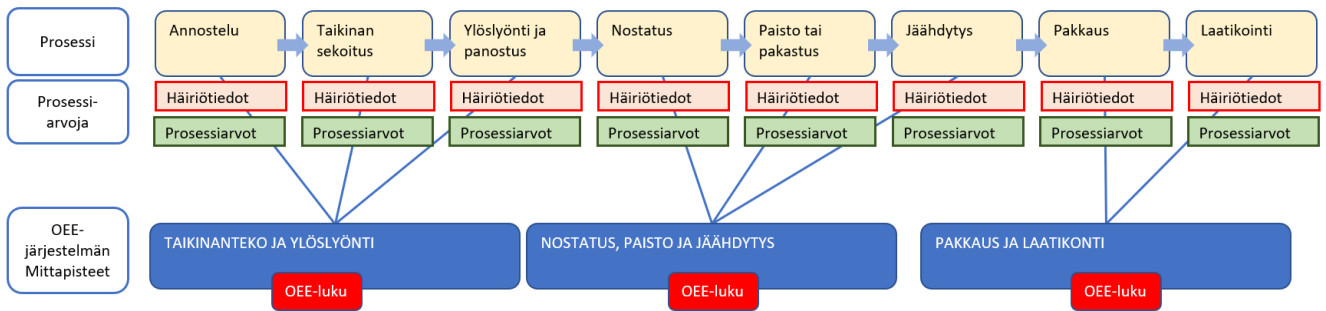
luku vaiheelle. Käytettävyyden, nopeuden ja laadun lisäksi vaiheista kerättävää tärkeää tietoa ovat häiriötiedot, jotka liittyvät käytettävyyden lukuun. Myös tärkeimpien prosessitietojen kerääminen voi olla kannattavaa. Linjan häiriö- ja prosessidata on arvokasta tietoa linjan toiminnan kehittämiseksi. Esimerkki tuotantolinjan laajasta OEE-järjestelmästä mittapisteineen on esitelty kuviossa 5. Laajassakin mitoituksessa tuotantolinjan OEE-luku lasketaan linjan viimeisen mittapisteen (laatikointi) perusteella. OEE-luku voidaan teoriassa laskea joka mittapisteelle, mutta käytännössä se vaihtelee linjakohtaisesti riippuen linjan toimilaitteista ja logiikoista. Esimerkiksi nopeustietojen kerääminen kaikista vaiheista riittäväällä tarkkuudella riippuu linjasta ja siitä, miten laskurit ja vaa'at on sijoiteltu.



KUVIO 5. Tuotantolinjan laaja OEE-mitoitus

## 7.2 Yhdistetty OEE-järjestelmä

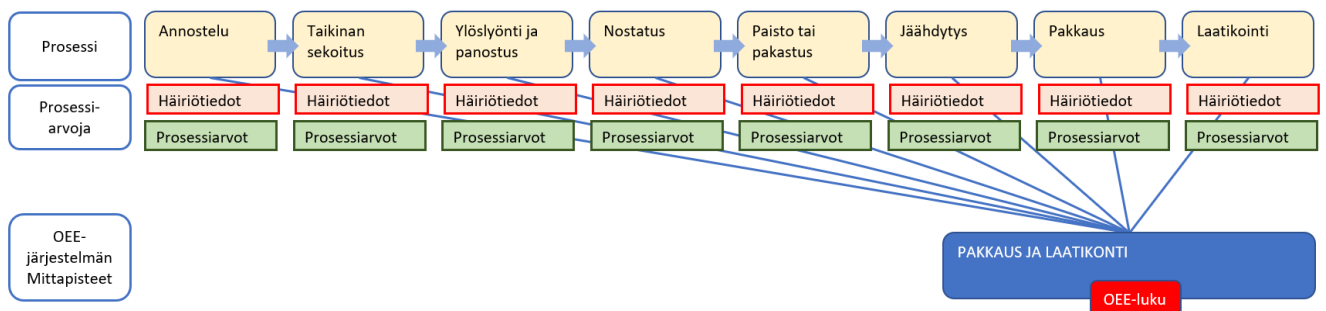
Yhdistetyllä OEE-järjestelmällä tässä työssä tarkoitetaan sellaista mitoitusta, jossa prosessivaiheita on niputettu kokonaisuuksiin. Kuviossa 6 näkyy, miten linja on jaettu kolmeen kokonaisuuteen, alkupää sisältää annostelun, taikinan sekoituksen ja ylöslyönnin. Keskimmäinen vaihe sisältää olosuhdemuutosvaiheet, jossa tuote kuljetetaan eri olosuhteiden läpi (nostatus, paisto, jäähdytys). Viimeinen vaihe eli pakkaus sisältää mahdollisen halkaisun, niputuksen (linjasta riippuen) ja pakkauskoneen ja laatikoinnin. Tällä ratkaisulla voidaan joka kokonaisuudelle laskea OEE-luku, jos niistä kerätään käytettävyyden, nopeus ja laatu tiedot. Tuotantolinjan OEE-luku lasketaan viimeisen vaiheen perusteella (laatikointi). Häiriö- ja prosessiolosuhdetiedot voidaan kerätä lähes samalla tarkkuudella kuin laajassa mitoituksessa. Järjestelmä voidaan asettaa tunnistamaan, että johtuuko alkupään vaiheen häiriö taikinan sekoituksesta vai ylöslyöntilaitteesta. Samoin myös prosessiarvot saadaan prosessin vaihekohtaisesti ylös. Tällä mitoituksella hävitään pieni osa tarkkuudesta, mutta voidaan saavuttaa kuitenkin OEE-järjestelmän hyödyt.



KUVIO 6. Tuotantolinjan yhdistetty OEE-mitointi

### 7.3 Suppea OEE-järjestelmä

Suppeassa OEE-mitoituksessa järjestelmä on rakennettu siten, että seurataan vain yhtä mittapistettä linjalla. Tarkoitusta parhaiten palvelee, jos tämä mittapiste on mahdollisimman lopussa tuotantolinjaa. Tällöin saadaan kaikki linjan alkupään, keskivaiheen ja loppupään häiriöt talteen. Alkupäässä tapahtuneet häiriöt näkyvät joko häiriöinä tai odotuksena mittapisteellä. Tässäkin mitoituksessa OEE-luku lasketaan samalla tavalla kuin kahdessa aikaisemmin esitettyssä mitoituksessa. OEE-luvun lisäksi häiriötietoja saadaan kaikilta vaiheilta, mutta ei yhtä tarkasti. Lisäksi tiedonkeruun määrityksissä joudutaan tekemään kompromisseja, kun kahden tunnin prosessia mitataan yhdestä vaiheesta. Operaattoreiden kommentointitarkkuus myös vähenee ja logiikoilta saatava tieto häiriöstä sekoittuu osittain muuhun prosessiin; kahden tunnin läpimenoajalla tuotantolinja on samaan aikaan häiriössä ja tuotannossa. Suppealla mittauksella saadaan OEE-luku laskettua, mikä tuo jo lisää työkaluja linjan tehokkuuden kehittämiseen, mutta häiriötietojen tarkentaminen vaatii enemmän selvittelyä kuin yllä mainituissa malleissa. Lisäksi vaihekohtaista toimivuutta linjalle on vaikea arvioida. Linjaa käsitellään enemmän kokonaisuutena. Prosessiarvoista tärkeimmät saadaan kerättyä samalla tarkkuudella kuin laajassa ja yhdistetyssä mitoituksessa. Kuviossa 7 näkyy suppean OEE-seurannan tuotantolinja.



KUVIO 7. Tuotantolinjan suppea OEE-mitointi

## 8 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Digitalisaatio ja teknologinen kehitys näkyvät myös leipomoteollisuuden investoinneissa. Teollisuus 4.0 -kokonaisuus sisältää uusia kyvykkyyksiä, joista myös leipomoteollisuus hyötyy. Kehittyneet pilvipalvelut ja niiden laaja tarjonta mahdollistaa myös pienten ja keskisuurten leipomoiden hyötymisen digitalisaatiosta. Laiteissa, automaatioissa sekä järjestelmissä tapahtunut teknologinen kehitys tarjoaa monia mahdollisuuksia parantaa suorituskykyä ja tehostaa toimintoja. Tehostamistoimien vaikutukset olisi hyvä myös pystyä mittaamaan, joten OEE-laskennalla on paikkansa myös digitalisaation ja älykkään tuotannon implementoinnissa. OEE-luvun merkitystä voidaan jopa pitää suurempana, kun halutaan varmistaa, että tehostamiset todella toteutuvat. Digitalisaatio ja teollisuus 4.0 -konsepti tarjoavat uutta teknologiaa tuotannon tehokkuuden parantamiseksi, OEE-järjestelmä antaa työkalut tehostumisen mittaamiseksi.

Teollisen leivonnan automatisoitua valmistusprosessia voidaan mitata automaatiokerroksesta saatavalla datalla. Tätä tietoa pitäisi pystyä hyödyntämään niin päivittäisessä toiminnassa kuin myös pidemmän aikavälin tuotannon johtamisessa ja suunnittelussa. Kerätty tieto tulee pystyä viemään osaksi johtamisjärjestelmää. Leipomoteollisuudessa tuotantolinjat sisältävät tietyt perusvaiheet, ja valmistusprosessi kestää yleistäen noin 2–3 tuntia raaka-aineiden sekoituksesta tuotteen pakkaamiseen saakka. Tämän prosessin mittaaminen ja seuranta on tärkeää, jotta kehitystoimenpiteet voidaan kohdistaa tuotantoprosessin oikeisiin vaiheisiin ja laiteihin. Leivontaprosessia voidaan pitää herkkänä prosessina, koska sitä ei voi keskeyttää kuin hetkeksi. Pidemmissä keskeytyksissä koko alkupään prosessista ennen uunia aiheutuu hävikkiä. Välivarastoja ei usein ole mahdollista tai järkevää tehdä tuotantolinjaan, joten prosessin virtaus on pidettävä käynnissä. Prosessinarvojen pieni muutos valmistusprosessin alkupäässä voi aiheuttaa suuria ongelmia loppupäässä. OEE-seurannalla voidaan tätä prosessia mitata tarkasti ja sen avulla voidaan saavuttaa lisäarvoa. Lisäksi nykyteknologia mahdollistaa OEE-järjestelmän tuottaman datan yhdistämisen muiden järjestelmien tuottaman datan kanssa. OEE-järjestelmään investoidessa tulisi yritysten arvioida siitä saatavat hyödyt omassa toimintaympäristössä.

Seuraavissa luvuissa käydään läpi tutkimuksen tulokset tutkimuskysymyksiin, jotka olivat:

- Mitä hyötyä OEE-järjestelmä tuo tuotannon päivittäiseen johtamiseen?
- Miten järjestelmää voidaan hyödyntää taktisen johtamisen osalta?
- Miten OEE-järjestelmää voidaan hyödyntää älykkään valmistuksen (*smart factories*) näkökulmasta?

## 8.1 OEE-järjestelmän hyödyt päivittäisjohtamisessa

OEE-luvun perusteella voidaan arvioida linjan suorituskykyä käytettävyyden, nopeuden ja laadun osalta. Käytettävyys kertoo linjan teknisestä käytettävyydestä sekä sitä, miten tuotevaihdot, asetusten muutokset ja muut ei koneiden vikaantumisesta johtuvat odotukset heikentävät suorituskykyä. Lisäksi järjestelmällä saadaan historiatietoa siitä, kuinka usein laitteet ovat häiriötilassa tai rikkoontuvat. Käytettävyystiedon perusteella voidaan tuottaa tietoa tuotannon ja kunnossapidon tarpeisiin toiminnan kehittämiseen. Järjestelmällä saadaan näkyviin häiriöiden toistuvuus ja niiden vaikutukset. Lisäksi järjestelmä kertoo tuotevaihtojen ja muiden tehokkuutta alentavien tapahtumien määrät ja toistuvuudet linjalla.

Linjan tehokkuuteen vaikuttavat häiriöt eivät aina aiheuta prosessia pysäyttävää häiriötä. OEE-järjestelmän avulla voidaan mitata prosessin käyntitehokkuutta alentavia tekijöitä. Linjan kapasiteettiin vaikuttavia mikrohäiriöitä voi olla vaikea havaita ilman OEE-seurantaa tai niiden esiintymistiheys, ja sitä kautta myös vaikutus voidaan helposti arvioida pienemmäksi kuin se todellisuudessa on. Mikrohäiriöt laitteissa tai tuotevirrassa aiheuttavat suoraan hukkaa materiaaleissa ja tehokkuudessa. Usein mikrohäiriöt myös kertovat, että laitteiden toimintaa tulisi säätää tai tuote saattaa olla laadullisesti viitearvojen rajalla tai ulkopuolella. Tuotantolinjan tehokkuutta voi aiheuttaa myös alentunut ajonopeus, mikä ei välttämättä esiinny varsinaisena teknisenä häiriönä. Alentunutta ajonopeutta voi aiheuttaa esimerkiksi poikkeamat raaka-aineiden laadussa. OEE-laskennan avulla myös alentuneet ajonopeudet tulevat helpommin havaittaviksi.

OEE-järjestelmällä voidaan myös mitata laadullisten asioiden vaikutusta tuotantolinjan tehokkuuteen. Teollisessa leipomoprosessissa laadunvalvonta tehdään usein linjalla osana prosessia ja tuotteita ei varsinaisesti tarkasteta enää pakkausprosessin jälkeen. Tuotteille tehdään linjalla vaadittavat elintarviketurvallisuuden ja laatuun liittyvät tarkastukset. OEE-luvun laskennan kannalta laatu voidaan sisällyttää nopeuslukuun, mutta nopeushäviöiden ja laatu poikkeaminen erotus toisistaan on järkevää, jotta niiden erilliset vaikutukset voidaan arvioida. Valmistuksen jälkeen tuotteille tehdään laatukselmuksat satunnaisella otannalla, mutta jokaista leivottua tuotetta tai pakattua pussia ei enää valmistuksen jälkeen arvioida ja OEE-luvun laskennassa tätä laatu seurantaa ei voida hyödyntää. Tuotelaatua arvioidaan myös tuotantoprosessin ulkopuolella. Esimerkiksi tuotteen säilyvyyttä ja mikrobiologisia ominaisuuksia valvotaan jälkikäteen, mutta päätös tuotteen asiakkaalle toimittamisesta tehdään linjalla osana prosessia.

OEE-järjestelmä on perinteisenä OEE-seurantanakin hyvä työkalu tuotantolinjan tehokkuuden seuramiseen. OEE-seuranta huomioi linjan käytettävyyteen liittyvät tekniset ja tuotannolliset asiat. Prosessin

virtausta ja tehokkuutta kapasiteettiin nähden voidaan arvioida järjestelmällä. Tuotteiden valmistusta voidaan tarkastella myös tuotekohtaisesti. OEE-seuranta voidaan mitoittaa linjalla sopivalle tasolle, jolloin sen tuottama hyöty on suhteessa järjestelmän investointikustannuksiin. OEE-tunnuslukua(-ja) voidaan hyödyntää tuotannon sekä kunnossapidon näkökulmasta päivittäisjohtamisessa. Itse OEE-seuranta ei kuitenkaan lisää tehokkuutta, vaan se on kyettävä tuomaan osaksi johtamisjärjestelmää ja käytettävä kehittämisen työkaluna. Lisäksi on myös huomioitava, että järjestelmän käyttö ja ylläpitäminen vaatii henkilöresursseja. OEE-järjestelmää voidaan laajentaa myös kohti MES-järjestelmää, jolloin siihen voidaan tuoda muita toiminnallisuksia, kuten prosessiarvojen seuranta sekä datan keräys ja varastointi. Integraatiot muihin järjestelmiin, kuten tuotannosuunnitteluun tai kunnossapitoon lisäävät järjestelmän hyödyntämismahdollisuuksia.

## 8.2 OEE-järjestelmän hyödyt taktisessa johtamisessa

OEE-järjestelmää voidaan soveltaa muuhunkin kuin pelkästään tuotannon tehokkuuden mittaamisen laskentaan. OEE-järjestelmän avulla kerättyä dataa voidaan hyödyntää tuotannon keskipitkän aikavälin suunnittelussa ja johtamisessa. Järjestelmän tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää suorituskyvyn arviointiin linja-, tehdas tai koko tehdasverkostotasolla.

OEE-järjestelmän tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää, kun suunnitellaan tuotantoa. Esimerkiksi kuinka paljon tuotantolinjan suorituskykyä täytyy parantaa, että tuotanto voidaan tehostaa kolmesta kahteen vuoroon? OEE-järjestelmällä voidaan mitata linjojen käyttöasteita ja hyödyntää sitä pidemmän aikavälin suunnittelussa. Tuotantolinjojen käyttöasteen avulla voidaan arvioida tehtaiden mahdollisuuksia lisätuotannolle tai mahdollisia tulevia kapasiteettihaasteita. Käyttöasteiden perusteella voidaan arvioida tulevaisuuden kyvykkyyksiä tuotannon osalta; onko jonkin tuoteryhmä tuotantolinjoilla edessä haasteita kapasiteetin kanssa? Voidaanko alhaisen käyttöasteen linjoja ajaa alas ja siirtää tuotantoa toisille linjoille. Käyttöastetietoa voidaan hyödyntää myös investointitarpeiden suunnittelussa ja korjausinvestointitarpeiden määrittelyssä. Ei ole järkevä investoida linjaan, jonka käyttöaste on alhainen. Myös uusien tuotantolinjojen tarpeiden arvioinnissa voidaan hyödyntää käyttöasteita.

OEE-järjestelmä voidaan laajentaa toiminnallisuuksilla kohti MES-järjestelmää tai se voi olla tärkeä osa sitä. Perinteisellä OEE-seuranalla pyritään tuomaan parempaa suorituskykyä, mutta siihen voidaan lisätä teollisuus 4.0:n kyvykkyyksiä tuottamaan lisäarvoa. OEE-järjestelmällä voidaan arvioida, miten kehitystoimenpiteet toimivat todellisuudessa. Parannusten tulisi näkyä myös OEE-luvussa, joten OEE-luku



toimii eräänlaisena vastemuuttujana prosessiarvojen muutoksille tai muille kehitystoimenpiteille. Digitalisaation yhtenä tarkoituksena on parantaa tuotannon suorituskykyä ja ketteryyttä.

### 8.3 OEE-järjestelmä älykkään valmistuksen näkökulmasta

OEE-seuranta ei ole uusi asia tuotannon tehokkuuden mittaamisessa ja järjestelmä pystytään toteuttamaan käytössä olevilla teknologioilla. Teollisuus 4.0:n kyvykkyydet kuitenkin mahdollistavat OEE-järjestelmän tehokkaamman hyödyntämisen. Seuraavissa kappaleissa pohditaan sitä, miten teollisuus 4.0:n kyvykkyyksiin perustuva älykäs valmistus tuo lisäarvoa järjestelmän hyödyntämiseen.

Kehittyntä anturi- ja kamerateknologiaa voidaan hyödyntää OEE-luvun ja prosessiarvojen seurannan yhteydessä. Tuotannosta ja koneista saadaan enemmän dataa ja tärkeiden prosessiarvojen muutos pitäisi näkyä myös OEE-luvussa. Liian suuri hajonta prosessiarvoissa on todennäköisesti nähtävissä laskeneena OEE-lukuna, joka periaatteessa toimii vastemuuttujana kaikille prosessiarvoille. Kehittynyt anturi- ja kamerateknologia lisää mahdollisuuksia valvoa ja ohjata tuotantoprosessia myös leipomoteollisuudessa. Kamerateknologiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotantolinjan laadunvalvonnassa tai tuotevirran seurannassa, jolloin prosessia voidaan säätää heti ongelmien ilmaantuessa. Uusilla anturi- ja kamerateknologioilla voidaan tuottaa enemmän hyödynnettävää dataa tuotantoprosessista. Uusilla mittaisteknologioilla voidaan tuottaa myös OEE-järjestelmän laskentaan tarkempaa tietoa.

OEE-järjestelmällä voidaan kerätä myös tärkeää prosessitietoa ja hyödyntää sitä etsimällä syy-seuraussuhteita prosessiarvojen ja OEE-luvun välillä. Voidaanko häiriötiheydestä päätellä, onko linjalle muodostumassa konerikkoja, jotka voidaan ehkäistä ennakkohuolloilla? Minkälaisia ongelmia tuotantolinjan loppupäässä aiheuttavat alkupään prosessipoikkeamat? Entä heitot raaka-aineiden laatuksiteereissä tai eri toimittajien raaka-aineiden välillä? Voidaanko järjestelmä opettaa koneoppimisen avulla tunnistamaan mahdollisia ongelmatilanteita.

Lisääntynyt datan määrä tulisi pystyä varastoimaan, analysoimaan ja hyödyntämään, jotta sen keräämisestä seuraisi lisäarvoa. Teollisuus 4.0 -konseptin kyvykkyyksistä big data ja pilviteknologia mahdollistavat lisääntyneen datan keräämistä ja varastointia sekä hyödyntämistä. Tietoa ja ohjelmia ei tarvitse enää varastoida fyysisesti yrityksen palvelimilla. Tämä mahdollistaa tiedon keräämisen ja hyödyntämisen myös pienissä yrityksissä, joissa oma IT-resurssi on usein rajallinen. Tämä on yksi teollisuus 4.0:n mahdollistavia tekijöitä myös pienille ja keskisuurille yrityksille. Myös ne pystyvät hyötymään uusista

teknologioista ja mahdollisuuksista investoimalla palveluun. Pilviteknologia tuo digitalisaation kaikkien saataville ja sen avulla se voidaan mitoitaa yritykselle sopivaksi.

#### 8.4 Johtopäätökset

OEE-järjestelmä soveltuu leipomoteollisuudessa tehokkuuden mittariksi. Järjestelmä toimii perusmallisena ratkaisuna, jolloin siitä saadaan ulos tuotannon tehokkuutta mittaavat mittarit ja häiriötiedot. Näillä pelkästään jo pystytään kehittämään tuotantoa ja todentamaan tehtyjen kehitystoimenpiteiden vaikutukset. Järjestelmää pystytään myös laajentamaan keräämään prosessidataa ja toimimaan yhdessä muiden järjestelmien kanssa.

OEE-järjestelmän laajentaminen kohti MES-ratkaisua on toteutettavissa monilla eri tavoilla. Järjestelmän rinnalle voidaan investoida muita toiminnallisuuksia, kunhan varmistetaan, että integraatio järjestelmien välillä on mahdollista. Voidaan myös investoida valmiiseen MES-ratkaisuun, jossa OEE-laskenta on mukana yhtenä toiminnallisuutena. Eri järjestelmiä yhdisteltäessä varmistutaan siitä, että investoidaan vain niihin järjestelmiin, joista yritys saa lisäarvoa. Toisaalta järjestelmien integraatio lisää kustannuksia ja yritysten välinen yhteistyö vaatii enemmän resursseja, kun on monta järjestelmää ylläpidettävänä. Valmiissa MES-ohjelmistossa maksetaan myös toiminnallisuuksista, jotka eivät välttämättä tuo lisäarvoa toimintaan. Toisaalta järjestelmän ylläpidon ja tuen voidaan olettaa toimivan tehokkaammin, kun toimitaan yhden yhteistyökumppanin kanssa.

OEE-seuranta on tehokas työkalu tuotannon tehostamiseen, mutta sen mitoitus ja rakenne täytyy miettiä omaan toimintaan sopivaksi. Järjestelmä itsessään ei muuta mitään, mutta se tarjoaa mahdollisuuden tuotannon kattavaan mittaamiseen ja tiedonkeräämiseen. Järjestelmä täytyy tuoda osaksi tuotannon johtamisjärjestelmää ja toiminnan suunnittelua, että sitä voidaan hyödyntää. Lisäksi järjestelmän käyttö vaatii myös resursseja, jotka täytyy huomioida järjestelmän kokonaishintaan.

Teollisuus 4.0:n kyvykkyyksien hyödyntäminen on järkevää liittää OEE-seurantaan. Pilviteknologia, big data ja nykyaikaiset tuotannon järjestelmät ovat yksi digitalisaation perustoista, joita OEE-järjestelmän tiedonkeruu hyödyntää. Anturi- ja kamerateknologia mahdollistaa uusien asioiden mittaamisen tai jo olemassa olevien kohteiden mittaamisen tehokkaammin. Mittausdatan hyödyntäminen pitäisi näkyä OEE-luvussa, jota voidaan pitää tuotantoprosessiin liittyvien muuttujien vastemuuttujana.

Opinnäytetyön aihepiiriin liittyviä jatkotutkimusten aiheita voi olla esimerkiksi tutkia tärkeimpien prosessiarvojen vaihtelun vaikutuksia OEE-lukuun ja löytyykö vaihtelun ja OEE-luvun välistä korrelaatiota? Esimerkiksi leipomoteollisuudessa hyödyllisiä seurattavia muuttujia olisivat taikinoiden lämpötilat ja kosteudet sekä taikinan kovuutta kuvaavat muuttujat. Hyödyllistä olisi myös selvittää, että voidaanko koneälyn avulla tunnistaa tilanteita, joissa mahdollisesti OEE-luvun alenema on tiedossa? Tällaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi laatupoikkeamat raaka-aineissa ja materiaaleissa tai laiterikkoja edeltävien tunnusmerkkien (tärinä, äänet, lämpötilat) analysointi. Yksi mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe olisi tutkia tuotannon OEE-luvun kehitystä ennen ja jälkeen MES-järjestelmän käyttöönoton, eli selvittää kuinka paljon MES-järjestelmään investointi parantaa tehokkuutta OEE-luvulla mitattuna?

## LÄHTEET

- Alcácer, V. & Cruz-Machado, V. 2019. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (3) 899-919. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>. Viitattu 4.3.2022.
- Almada-Lobo, Francisco. 2015. The Industry Revolution and the Future of Manufacturing Execution System (MES). *Journal of Innovation Management* 3, 4 16-21. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/306150248\\_The\\_Industry\\_40\\_revolution\\_and\\_the\\_future\\_of\\_Manufacturing\\_Execution\\_Systems\\_MES](https://www.researchgate.net/publication/306150248_The_Industry_40_revolution_and_the_future_of_Manufacturing_Execution_Systems_MES). Viitattu 24.3.2022.
- Braglia, M., Frosolini, M. & Zammori, F. 2009. Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML): An integrated approach to assess systems performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 20 (1), 8-29. Saatavissa: <https://doi.org/10.1108/17410380910925389>. Viitattu 3.3.2022.
- Brandl, D., Hunkar, P., & Mahnke, W. 2013. OPC UA and ISA 95. *atp edition*, 55(01-02), 64-73. Saatavissa: [https://ojs.di-verlag.de/index.php/atp\\_edition/article/download/1932/2224](https://ojs.di-verlag.de/index.php/atp_edition/article/download/1932/2224). Viitattu 26.3.2022.
- Fonseca, L. M. 2018. Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits. | *Proceedings of the 12th International Conference on Business Excellence 2018*. Saatavissa: <https://sciendo.com/pdf/10.2478/picbe-2018-0034>. Viitattu 26.3.2022.
- Hansen, R.C. 2002. *Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/Maintenance Tool for Increased Profits*. New York: Industrial Press, Inc.
- Hanski, J., Uusitalo, T., Vainio, H., Kunttu, S., Valkokari, P., Kortelainen, H. & Koskinen, K. 2018. Smart asset management as a service Deliverable 2.0. VTT ja Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Hyrylä, L. 2017. Satojen leipomoiden Suomi. TEM Toimialaraportti 2017:6. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160371/Leipomoteollisuus.pdf>. Viitattu 6.6.2022.
- Hyrylä, L. 2021. Leipomoala – Paikallisuudesta kansainvälisyyteen. TEM Toimialaraportit 2021:5. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163670/TEM\\_2021\\_5\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163670/TEM_2021_5_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Viitattu 15.3.2022
- Ilmarinen, V. & Koskinen K. 2015. *Digitalisaatio: yritysjohdon käsikirja*. Helsinki: Alma Talent.
- Investointitiedustelu. 2021. *Investointitiedustelu – kesäkuu*. Elinkeinoelämän keskusliitto. Saatavissa: [https://ek.fi/wp-content/uploads/2021/06/EK\\_Investointitiedustelu\\_2021-kevat.pdf](https://ek.fi/wp-content/uploads/2021/06/EK_Investointitiedustelu_2021-kevat.pdf). Viitattu 1.3.2022.

Kagermann, H., W. Wahlster, and J. Helbig. 2013. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Securing the future of German manufacturing industry. National Academy of Science and Engineering. Saatavissa: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>. Viitattu 4.4.2022.

Laine, H. 2010. Tehokas kunnossapito – tuottavuutta käynnissäpidolla. Kunnossapidonjulkaisusarja n:o 16. Kunnossapitoyhdistys Promaint. Helsinki: KP-Media Oy.

Mantravadi, S. & Møller, C. 2019. An Overview of Next-generation Manufacturing Execution Systems: How important is MES for Industry 4.0? 14th Global Congress on Manufacturing and Management (GCM-2018). Procedia Manufacturing 30 (2019) 588–595. Saatavissa: [https://www.academia.edu/81076642/An\\_Overview\\_of\\_Next\\_generation\\_Manufacturing\\_Execution\\_Systems\\_How\\_important\\_is\\_MES\\_for\\_Industry\\_4\\_0?ri=85280](https://www.academia.edu/81076642/An_Overview_of_Next_generation_Manufacturing_Execution_Systems_How_important_is_MES_for_Industry_4_0?ri=85280). Viitattu 1.4.2022.

Näsi, T. 2021. Elintarviketeollisuuden tehdassuunnittelun näkökulmia. Kehittyvä elintarvike. Elintarvikealan ammatti- ja tiedelehden kolumni. Elintarviketieteiden seura. Helsinki. Saatavissa: <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/mielipiteet/kolumni/elintarviketeollisuuden-tehdassuunnittelun-nakymia/>. Viitattu 30.3.2022.

OEE. 2022. Overall Equipment Effectiveness. Vorne Industries, Inc. Itasca IL, USA. Saatavissa: [www.oee.com](http://www.oee.com). Viitattu 4.4.2022.

Penttinen, K. 2013. Tuotannonseuranta- ja raportointijärjestelmän kehittäminen. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Diplomityö.

Salovaara, H., Ignatius, A., Jussila, A. & Hurri-Martikainen, M. 2017. Leivonnan teknologia – Ruokaleipä. Helsinki: Suomen Leipuriliitto ry.

Slack, N. & Lewis, M. 2019, Operations Strategy, 5., painos. Limited, Harlow, United Kingdom: Pearson.

Thoben, K., Wiesner, S. & Wuest, T. 2017, "Industrie 4.0 and smart manufacturing – a review of research issues and application examples", International journal of automation technology, vol. 11, no. 1, pp. 4–16. Saatavissa: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijat/11/1/11\\_4\\_article/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijat/11/1/11_4_article/-char/en). Viitattu 27.2.2022

Tietotekniikan käyttö yrityksissä. 2018. Tilastokeskus. Helsinki. Saatavissa: [https://www.stat.fi/til/ict/2018/ict\\_2018\\_2018-11-30\\_fi.pdf](https://www.stat.fi/til/ict/2018/ict_2018_2018-11-30_fi.pdf). Viitattu 5.6.2022.

Tietotekniikan käyttö yrityksissä. 2021. Tilastokeskus. Helsinki: Saatavissa: [https://www.stat.fi/til/ict/2021/ict\\_2021\\_2021-12-03\\_fi.pdf](https://www.stat.fi/til/ict/2021/ict_2021_2021-12-03_fi.pdf). Viitattu 6.5.2022.

Vorne. 2015. Six Big Losses. Vorne Industries, Inc. Itasca IL, USA. Saatavissa: <https://www.vorne.com/learn/tools/six-big-losses/six-big-losses-executive-summary.pdf>. Viitattu 14.4.2022.

