

Kalle Kauhanen

**TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄN  
HANKINTAPROSESSIN  
LÄHTÖTILASELVITYS JA  
VAATIMUSMÄÄRITTELY PIENISSÄ JA  
KESKISUURISSA YRITYKSISSÄ**

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Huhtikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Kalle Kauhanen: Tuotannonohjausjärjestelmän hankintaprosessin lähtötilaselvitys ja vaatimusmäärittely pienissä ja keskisuurissa yrityksissä  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma  
Huhtikuu 2022

---

Tuotannonohjausjärjestelmä MES (Manufacturing Execution System) on tietojärjestelmä, jonka tavoitteena on sitoa toiminnanohjausjärjestelmä ERP:n (Enterprise Resource Management) ja tuotannon lattiatason toiminta yhteen ja välittää tietoa näiden välillä mahdollisimman saumattomasti. Sen päätehtäviä ovat tuotantoprosessin hallinta sekä tuotantotilausten etenemisen raportointi reaaliajassa. Lisäksi MES-järjestelmä tallentaa tuotantodataa pitkältä aikaväliltä, mikä mahdollistaa tarkan tuotannon suorituskyvyn mittaamisen sekä analysoinnin. Järjestelmä voidaan integroida yrityksen muihin tietojärjestelmiin, mikä mahdollistaa sujuvan viestinnän ja tiedonkulun yrityksen sisällä. Tällaisen MES-järjestelmän hankkiminen vaatii tarkan lähtötilaselvityksen sekä huolellisen vaatimusmäärittelyn, jotta järjestelmään investoitavat resurssit käytetään tehokkaasti ja kannattavasti.

Tässä työssä tarkastellaan kirjallisuuskatsauksen muodossa MES-järjestelmän hankintaprosessin ensimmäisiä vaiheita eli lähtötilaselvitystä ja vaatimuskartoitusta. Näitä vaiheita tarkastellaan pienten ja keskisuurien yritysten näkökulmasta, joiden investointiresurssit ovat rajallisemmat ja järjestelmätarpeet erilaiset kuin suuremmilla yrityksillä. Työn alussa esitellään tuotannonohjausta ja sen menetelmiä sekä tietojärjestelmiä. Tämän jälkeen perehdytään MES-järjestelmään ja sen ominaisuuksiin tarkemmin. Työ jatkuu sen jälkeen MES-järjestelmän hankintaprosessin vaiheiden esittelyllä, minkä jälkeen tutustutaan tarkemmin prosessin kahteen ensimmäiseen vaiheeseen. Ensin selvitetään, miten lähtöselvitys tehdään ja sen jälkeen tutustutaan pienten ja keskisuurten yritysten vaatimuksiin MES-järjestelmälle. Näiden vaiheiden jälkeen yrityksellä tulisi olla selkeä käsitys omasta tuotantoprosessistaan sekä tarkat vaatimukset hankittavalle MES-järjestelmälle. Näiden vaatimusten pohjalta järjestelmätoimittajan kanssa yhteistyössä voidaan alkaa suunnitella ja konseptoida hankittavaa MES-järjestelmää.

MES-järjestelmän hankintaprosessille löydettiin selkeät vaiheet, joita noudattamalla MES-järjestelmän hankinta etenee järjestelmällisesti. Hankintaprosessia tutkittaessa esiin nousi tuotantohenkilöstön osallistaminen hankintaprosessiin, jotta järjestelmä saavuttaa sisäisen hyväksynnän koko henkilöstön sisällä. Lähtötilaselvityksen huomattiin noudatettavan pienissä ja keskisuurissa yrityksissä samaa kaavaa kuin suurissa yrityksissä. Huomiota tulee kiinnittää etenkin tuotannonohjausprosessin tämänhetkisiin toimintatapoihin sekä tuotantolaitteiden valmiuksiin MES-järjestelmän integrointiin. Vaatimuskartoituksesta varten on olemassa standardin määrittämä toimintamalli, joka auttaa yritystä pohtimaan MES-järjestelmän toimintoja. Standardi ei itsessään kuitenkaan aseta järjestelmälle vaatimuksia, vaan hankkivan yrityksen tulee itse konsulttien ja järjestelmätoimittajan kanssa päättää millaisia vaatimuksia se asettaa hankittavalle järjestelmälle. Standardin toimintamallia mukaileva vaatimuskartoitus ei kuitenkaan palvele täysin pieniä ja keskisuuria yrityksiä, koska se on suunnattu yleisellä tasolla MES-järjestelmien hankintaan. Pienissä ja keskisuurissa yrityksissä yleiseksi erikoisvaatimukseksi nousi järjestelmän joustavuus nopeiden muutosten varalle. Nopeita muutoksia työjonoihin ja tuotantoreitityksiin tarvitsee tehdä pk-yrityksissä useammin, koska tuotantokapasiteetti on rajallinen henkilöstön ja laitteiden lukumäärän vuoksi.

Avainsanat: Tuotannonohjausjärjestelmä, MES, hankintaprosessi, lähtötilaselvitys, vaatimusmäärittely, pk-yritys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. TUOTANNONOHJAUS.....	3
2.1 Tuotannonohjauksen menetelmät .....	3
2.2 Tavanomaiset tuotannon tietojärjestelmät.....	5
3. MES-JÄRJESTELMÄ.....	9
3.1 MES-järjestelmän rakenne.....	9
3.2 MES-järjestelmän käyttö .....	12
3.3 MES-järjestelmän hankintaprosessin vaiheet .....	13
4. TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄN LÄHTÖTILASELVITYS.....	17
4.1 Tuotannonohjauksen nykytilan vaikutus tuotannonohjausjärjestelmän hankintaprosessiin .....	17
4.2 Hankinnan vaikutukset yrityksen toimintaan .....	18
5. TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄN VAATIMUSKARTOITUS .....	22
5.1 Standardin SFS-EN 62664-3 mukaiset vaatimukset.....	22
5.2 Pk-yritysten erityistarpeet tuotannonohjausjärjestelmälle .....	25
6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	28
LÄHTEET .....	31

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

APS	Tuotannon hienokuormitusjärjestelmä (Advanced Planning System)
DCS	Hajautettu ohjausjärjestelmä (Distributed Control System)
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise Resource Planning)
KPI	Suorituskykymittari (Key Performance Indicator)
MES	Tuotannonohjausjärjestelmä (Manufacturing Execution System)
MOM	Tuotannon operaatioiden hallinta (Manufacturing Operations Management)
MRP	Materiaalitarvelaskenta (Material Resource Planning)
PLC	Ohjelmoitavat logiikkaohjaimet (Programmable Logic Controller)
PLM	Tuotteen elinkaaren hallinta -järjestelmä (Product Lifecycle Management)
SCADA	Valvomo-ohjelmisto (Supervisory Control And Data Acquisition)

# 1. JOHDANTO

Tuotannonohjausjärjestelmä MES (Manufacturing Execution System) liittyy oleellisesti käynnissä olevaan neljänteen teolliseen vallankumoukseen, jolla tarkoitetaan digitalisointia jokaisella elämän osa-alueella (Vasilev 2021). Digitalisointi tuo mukanaan uudenlaisia tarpeita tietoliikenteen sujuvoittamiseksi yrityksissä. Sen myötä vanhat paperipohjaiset toimintatavat digitaalisiin MES-järjestelmiin, joilla voidaan hallita tuotantoprosessia ja kerätä reaaliaikaista tietoa tuotannon toiminnasta koko yrityksen käyttöön (Knight & Lamb 2006). Tällainen järjestelmä muuttaa yrityksen toimintatapoja radikaalisti, joten yritysten on oltava tarkkana, millaisiin tarpeisiin järjestelmää ollaan hankkimassa ja miten se vaikuttaa yrityksen toimintaan tulevaisuudessa.

Tuotannonohjausta ja -suunnittelua tehdään suomalaisissa yrityksissä pääsääntöisesti toiminnanohjausjärjestelmä ERP:n (Enterprise Resource Planning) ja erilaisten excel-tiedostojen avulla. Näiden ongelma on, etteivät ne integroidu keskenään, vaan päällekkäistä ja vanhentunutta tietoa on manuaalisesti säilötty useaan eri paikkaan. Tietojen ajankohtaisuus ja käyttökelpoisuus ovat pitkälti henkilöriippuvaisia eli vain muutamat henkilöt osaavat tulkita ja täyttää näitä tietoja. (Järvenpää & Lanz 2014) Siksi tässä työssä esitellään MES-järjestelmän hankintaprosessin ensimmäisiä vaiheita sekä järjestelmän ominaisuuksia. Työssä keskitytään etenkin pk-yrityksiin eli pieniin ja keskisuuriin yrityksiin, koska niillä on suurempi kynnys ryhtyä tietojärjestelmäinvestointeihin rajallisten resurssien vuoksi.

Työn tavoitteena on selvittää, miten lähtötilaselvitys ja vaatimusmäärittely tehdään MES-järjestelmän hankintaprosessissa pienissä ja keskisuurissa yrityksissä kappaletavarateollisuudessa.

Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

K1. Millaisia vaiheita MES-järjestelmän hankintaprosessissa on?

K2. Miten MES-järjestelmän hankintaprosessin lähtötilaselvitys tehdään pk-yrityksissä?

K3. Millaisia vaatimuksia pk-yrityksillä on MES-järjestelmän hankinnalle?

Tutkimus on rajattu koskemaan MES-järjestelmiä ja niiden hankintaan liittyvää lähtötilaselvitystä ja vaatimusmäärittelyä. Tutkimuskohteeksi on valittu pienet ja keskisuuren kappaletavarateollisuuden yritykset.

Tutkimusmenetelmä tässä kandidaatintyössä on kirjallisuustutkimus aiempaan alan kirjallisuuteen ja tutkimukseen. Tiedonhankinta suoritettiin keräämällä riittävä määrä laadukkaita lähteitä sekä suomen että englannin kielellä. Tietolähteinä pyrittiin käyttämään kattavasti erilaisia lähdetyyppejä kuten tieteellisiä artikkeleita, konferenssijulkaisuja, kirjoja, standardeja sekä tutkimuksia. Kirjoja ja standardeja käytettiin perusteoksina kattavan kokonaiskuvan luomiseksi, minkä jälkeen tietoja tuettiin ajankohtaisemmilla artikkeleilla ja konferenssijulkaisuilla. Artikkeleiden luotettavuuden varmistamiseksi suosittiin vertaisarvioituja artikkeleita. Tiedonhaku keskittyi Tampereen yliopiston kirjaston Andor-tietokantaan, jonka tuloksia täydennettiin Google Scholar- sekä IEEE Xplore-tietokannoista.

Työ sisältää johdannon lisäksi viisi lukua. Luvussa 2 käsitellään tuotannonohjauksen teoriaa sekä siihen liittyviä tietojärjestelmiä. Kolmannessa luvussa esitellään MES-järjestelmän määritelmää ja ominaisuuksia tarkemmin sekä tutustutaan sen hankintaprosessiin kirjallisuuskatsauksen muodossa. Luvussa 4 paneudutaan tarkemmin MES-järjestelmän hankintaprosessin ensimmäiseen vaiheeseen eli lähtöselvitykseen. Viidennessä luvussa esitellään hankintaprosessin seuraavaa vaihetta eli vaatimusmäärittelyä. Vaatimusmäärittelylle esitellään standardin ohjaama toimintamalli sekä pk-yritysten erityisvaatimuksia järjestelmälle. Luku 6 on yhteenveto, jossa kootaan työn tuloksia ja pohditaan niiden oikeellisuutta.

## 2. TUOTANNONOHJAUS

Tuotannonohjauksella tarkoitetaan henkilöstön, välineiden ja materiaalien seuranta ja ohjausta valmistuksessa. Tuotannonohjaus on tärkeä osa koko yrityksen liiketoimintaa, koska resurssit tuotteiden valmistamiseen eivät vielä takaa kannattavaa liiketoimintaa. Resursseja tulee osata käyttää tehokkaasti ja suunnitelmallisesti, jotta liiketoiminnasta saadaan kannattavaa. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 12; Holweg et al. 2018, s. 3-23)

Tuotannonohjausta ei tule sekoittaa tuotannosuunnitteluun. Tuotannonohjauksella tarkoitetaan tuotannon hallintaa ja monitorointia eli se on osa operatiivista toimintaa. Sen sijaan tuotannosuunnittelu tapahtuu ennen operatiivista toimintaa ja sen tavoitteena on tuotannon hienokuormitus eli lyhyen aikavälin tarkka kuormittaminen. (Järvenpää & Lanz 2014) Tuotannosuunnittelussa siis etsitään optimaalista tapaa suorittaa tarvittavat työt käytettävissä olevilla tuotantoresursseilla.

### 2.1 Tuotannonohjauksen menetelmät

Tuotannonohjauksessa on havaittavissa kaksi pääsuuntaa, joiden alle voidaan jakaa lähes kaikki tuotantomuodot. Tämä jako perustuu tuotantotilauksen aiheuttavaan tekijään. Nämä kaksi ohjausmenetelmää ovat tilausohjautuva- (Make to Order) sekä varasto-ohjautuva tuotanto (Make to Stock). Molemmilla on omat vahvuutensa sekä heikkoutensa, joten yrityksen tulee tarkkaan miettiä, kumpaa menetelmää se käyttää. Joissakin tapauksissa voidaan yrityksen sisällä tehdä tuotekohtaisia päätöksiä tuotannonohjausmenetelmän kohdalla. Joitakin tuotteita kannattaa tehdä tilausohjautuvasti ja joitakin varasto-ohjautuvasti riippuen tuotteen ominaisuuksista, tuotantomäärästä tai valmistuskustannuksista. (Zaerpour et al. 2008, s. 186-201; Iravani et al. 2012, s. 224-225)

Tilausohjautuvassa tuotannossa yrityksen toiminta perustuu asiakkaan tekemiin ostotilauksiin, jotka käynnistävät tuotantoprosessin. Tuotantotilaus syntyy siis aina todellisesta asiakastarpeesta, jolloin valmiita tuotteita ei ole yrityksellä varastossa nopeita toimituksia varten. Tilausohjautuvassa tuotannossa yrityksellä ei ole siis suuria pääomia sidottuna valmiiden tuotteiden varastossa, mikä altistaisi yrityksen taloudelliselle riskille, mikäli tuotteet jäävät myymättä. Pitkä varastointiaika voi johtaa tuotteen arvon alenemiseen, jos esimerkiksi tuotteet ovat arvokkaita ja uusia malleja julkaistaan usein. Tällöin vanhojen tuotteiden arvo laskee uusien mallien julkaisun myötä. Tilausohjautuva tuotanto johtaa usein pitkiin tuotannon läpimenoaikoja, mikä

vaikuttaa suoraan toimitusaikoihin. Lisäksi tilausohjautuva tuotanto aiheuttaa suuria tilauskantoja, koska tuotteiden valmistus vie enemmän aikaa, kun tuotanto aloitetaan vasta asiakastilauksesta. (Zaerpour et al. 2008, s. 186-201)

Tilausohjautuva tuotanto on parhaimmillaan yrityksissä, jonka tuotteet ovat monimutkaisia ja niiden ominaisuudet vaihtelevat keskenään tuotteiden välillä. Myös pienet eräkoot ovat tyypillisiä tilausohjautuvassa tuotannossa, koska keskenään erilaisia tuotteita on paljon. Erä koko voi olla myös yksi, jolloin puhutaan tilausohjautuvan tuotannon alalajista eli yksittäistuotannosta, jossa yritys valmistaa vain yhden tuotteen kerralla. Tätä käytetään yleensä suurten kokonaisuuksien valmistuksessa, joissa valmistuskustannukset ovat niin korkeita, että varastointi ei ole järkevää. (Iravani et al. 2012, s. 224-225)

Varasto-ohjautuva tuotanto valmistaa tuotteita varastoon, josta niitä myydään asiakkaille. Tällaisessa tuotannonohjausmenetelmässä tuotantotilaukset syntyvät varastotason mukaan eli silloin, kun varastossa olevien kappaleiden määrä alittaa ennalta määritetyn rajan. Yrityksellä on siis aina tietty puskurivarasto tuotteille eikä tuotannosta valmistuvia osia myydä suoraan asiakkaille, vaan ne kulkevat varaston kautta. Näin yritys voi myydä tuotteita lyhyillä toimitusajoilla, koska tuotteita on aina varastossa eivätkä tuotannon ongelmat heijastu suoraan toimitusaikoihin. Varasto-ohjautuva tuotanto on kuitenkin riskialtista, koska yritys joutuu sitomaan pääomaa varastoihin, joita ei välttämättä saada myytyä kysynnän vaihtelun tai tuotteiden lyhyen elinkaaren vuoksi. Varasto-ohjautuva tuotanto on kuitenkin toimiva menetelmä suurien kappalemäärien valmistamisessa, jolloin myös eräkoot ovat suuria. Tällöin tuotteet ovat yleensä kuluvia osia, joiden valmistuskustannukset yhtä tuotetta kohti ovat pieniä. (Zaerpour et al. 2008, s. 186-201; Iravani et al. 2012, s. 224-225)

Monissa yrityksissä näitä kahta mallia yhdistetään niin, että joitakin tuotteita tehdään varasto-ohjautuvasti, kun taas toisia tilausohjautuvasti. On myös mahdollista, että tuotteita tehdään varastoon niin, että näistä aihioista voidaan valmistaa useampaa eri tuotetta. Tällaisissa tapauksissa aihioita valmistetaan varasto-ohjautuvasti ja lopulliset tuotteet tehdään näistä aihioista tilausohjautuvasti. Näin saadaan lyhennettyä toimitusaikoja ja varmistettua tuotannon työllisyys kysynnän vaihtelusta huolimatta. Toinen tapa yhdistää ohjausmenetelmiä on erilaiset asiakassopimukset. Yritys voi tehdä asiakkaidensa kanssa sopimuksen, jossa määritellään millaisella prioriteetilla ja ohjausmenetelmällä tuotteita valmistetaan. Autoteollisuudessa tämä voi tarkoittaa, että komponenttitoimittaja valmistaa tiettyjä komponentteja varasto-ohjautuvasti autovalmistajille, koska niiden menekki on suuri ja samanlaisia osia tarvitaan paljon. Sama komponenttitoimittaja tuottaa autokorjaamoille komponentteja tilausohjautuvasti,



koska menekki on pienempi ja tarve on yleensä vain yksittäisiä kappaleita. Korjaamo tarvitsee myös useita toisistaan poikkeavia osia, joten tilausohjautuvuus on järkevämpi ratkaisu. (Iravani et al. 2012, s. 224-225)

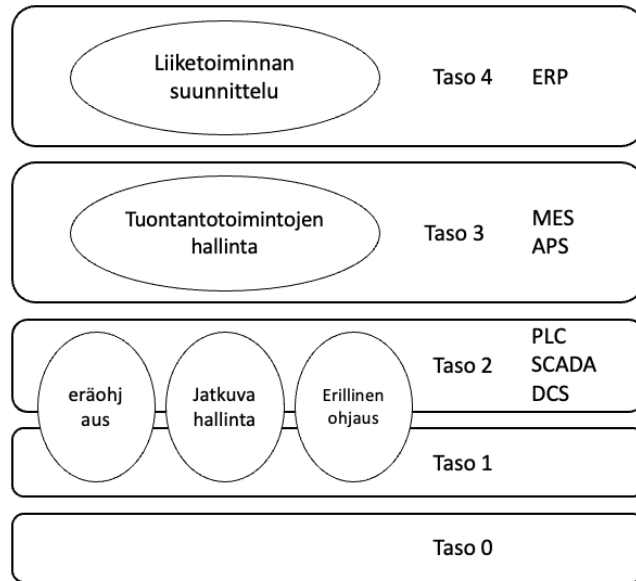
Tuotannonohjausta puhuttaessa ei voi olla törmäämättä termiin lean. Se on johtamisfilosofia, jota pyritään hyödyntämään tuotannonohjauksen tukena monissa valmistavan teollisuuden yrityksessä. Lean tarkoittaa toimintatapojen jatkuvaa parantamista, jolla pyritään kustannusten vähentämiseen välttämällä arvoa lisäämätöntä toimintaa ja lyhentämällä sykli-aikoja. Siinä pyritään minimoimaan seitsemää tyypillistä hukkaa, joita ovat kuljetus, odottaminen, ylituotanto, varastointi, yliprosessointi, liikkuminen ja virheet. (Naslund 2008; Järvenpää & Lanz 2014; Sanders et al. 2016)

Toinen tuotannonohjauksen liittyvä menetelmä on juuri ajallaan -valmistus eli Just-In-Time (JIT), joka usein yhdistetään vahvasti leaniin ja sen periaatteisiin. Sillä tarkoitetaan nimensä mukaisesti juuri ajallaan valmistusta, jossa varastoja pyritään minimoimaan tuottamalla edelliset vaiheet juuri ajallaan niin, että tuotanto ei joudu odottamaan edellisten vaiheiden valmistumista. Näin voidaan välttää varastojen syntymistä, mikä pienentää kustannuksia ja tilantarvetta. (Stevenson 2018, s. 687-709; Erkayman 2019)

## **2.2 Tavanomaiset tuotannon tietojärjestelmät**

Tuotannonohjaus vaatii suunnittelua ja päätösten tekoa monilla tasoilla. Kasvavan kilpailun vuoksi jatkuvaa analyysia ja tuotantoprosessin optimointia tarvitaan yhä enemmän. Siksi on tärkeää, että suunnittelu ja päätökset pohjautuvat luotettavaan ja mieluiten reaaliaikaiseen dataan tuotannosta. Tämän datan keräämiseen tarvitaan tuotannon tietojärjestelmiä. (Kucharska et al. 2015)

Yrityksen tietojärjestelmät voidaan jakaa viidelle eri tasolle riippuen niiden toiminnoista ja vaikutusalueista. Standardissa esitetään yrityksen sisäisen toiminnan eri tasot, joilla toimintaa suunnitellaan ja ohjataan. Näille tasoille voidaan jakaa myös tietojärjestelmät. Nämä tasot on esitetty kuvassa 1.



**Kuva 1.** Yrityksen ohjausjärjestelmähierarkia (muokattu lähteestä SFS-EN 62264-1 2013, s. 18)

Ylimmällä tasolla 4 ovat yrityksen liiketoimintaa ohjailevat toiminnot, joihin kuuluvat muun muassa pitkän aikavälin suunnitelmat tuotannosta, toimituksista ja myynnistä. (SFS-EN 62264-1 2013, s. 18). Tällä ylimmällä tasolla on tietojärjestelmistä laajin eli toiminnanohjausjärjestelmä ERP, johon kootaan yrityksen liiketoimintaan liittyvät tiedot. ERP on koko yrityksen työkalu, koska sinne tallennetut tiedot ovat koko yrityksen käytössä. Yrityksen sisällä eri osastot käyttävät ERP:n eri toimintoja. Esimerkiksi myyntiosasto syöttää tilauksia järjestelmään, henkilöstö hallinto HR (Human Resources) rekrytoi uusia työntekijöitä järjestelmään tehdyistä työhakemuksista, tuotannonsuunnittelija purkaa tilaukset tuotannosuunnitelmaksi ja johto analysoi tilausmääriä ja vertaa niitä vertailujaksoihin. Kukin osasto käsittelee siis ERP:n dataa hieman eri näkökulmasta.

Nykyään lähes kaikissa ERP-järjestelmissä on myös tuotannonsuunnittelu ja -aikataulutulosominaisuuksia, mutta ne ovat usein melko yksinkertaisia ja rajoittuvat lähinnä materiaalitovelaskentaan eli MRP:hen (Material Requirements Planning). (Kucharska et al. 2015) Materiaalitovelaskenta huomioi tuotannon eri vaiheissa tarvittavat materiaalmäärät ennalta määritetyn tuoterakenteen avulla sekä pitää kirjaa saapuvista materiaalieristä. Se siis varmistaa, että tuotannon materiaalitovelaskenta ja -saatavuus vastaavat toisiaan. Tarjoamalla näitä melko alkeellisia tuotannonsuunnittelun työkaluja ERP-järjestelmätarjoajat ovat luoneet asiakkaille mielikuvan, että järjestelmät voivat korvata erilliset tuotannonohjausjärjestelmät, mikä yleensä ei kuitenkaan ole totta. (Järvenpää & Lanz 2014)

Kirjallisuudessa on korostettu, että tämä ERP-tarjoajien luoma mielikuva järjestelmän käytännöllisyydestä myös tuotannonohjauksessa on hieman harhaanjohtava, koska ERP on tarkoitettu liiketoiminnan tietojärjestelmäksi. Sen tuotannonohjaukselliset toiminnot ovat edelleen melko alkeellisia, eivätkä ne vastaa valmistavan teollisuuden yritysten todelliseen tarpeeseen. Muun muassa hienokuormitus on ERP:llä hankalaa, koska järjestelmä ei mahdollista kapasiteettirajoitteista suunnittelua, tai kapasiteettirajoitusten päivittäminen ja hallinta on hankalaa. (Vidoni & Vecchiotti 2015) Tämän vuoksi suomalaiset valmistavan teollisuuden yritykset käyttävät ERP:n tukena erillisiä Excel-tiedostoja hienokuormituksen tukena (Järvenpää & Lanz 2014).

Tasolla 3 sijaitsee tuotantotoimintojen hallinta, jonka tehtävänä on tuotantoresurssien optimaalinen käyttö suhteessa kysyntään. Tasolla siis hallitaan tuotantoprosessia ja suunnitellaan tulevaa tuotantoa tilausten perusteella. (SFS-EN 62264-1 2013, s. 18) Kolmannella tasolla keskeisiä tietojärjestelmiä ovat MES- ja APS-järjestelmät, jotka tarjoavat apuvälineitä tuotantoaikataulun luomiseen ja seurantaan. Tasolle kuuluvat myös varastojen hallinta, laadunhallinta, kunnossapito sekä tuotantotietojen keräys ja mahdollinen raportointi yrityksen sisällä. (Järvenpää & Lanz 2014)

Ensimmäinen tason 3 tietojärjestelmä on tuotannon hienokuormitusjärjestelmä APS (Advanced Planning & Scheduling). Tämä on nimensä mukaisesti juuri työkalu, jolla voidaan suunnitella ja simuloida optimaalinen tuotantoreitti tilauksille käytössä olevien kapasiteettirajoitteiden puitteissa. Se sisältää toimintoja ja algoritmeja tuotannon suunnitteluun huomioiden kapasiteettirajoitteet ja materiaalisaahtavuuden. Uusimmat hienokuormitusjärjestelmät hyödyntävät tekoälyä ja koneoppimista optimaalisen kuormituksen ehdottamiseen käyttäjälle. (Kucharska et al. 2015) Se siis tarjoaa monipuolisia tuotannosuunnittelun ja hienokuormituksen työkaluja, jotka puuttuvat ERP:stä.

Järvenpää ja Lanz (2014) huomauttavat artikkelissaan, että APS on erityisesti suunnittelujärjestelmä, jota käytetään ennen operatiivista toimintaa. Sen avulla siis suunnitellaan ja simuloidaan tuotantoa ja sen kuormitusta lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Järjestelmän etuna on tuotannon erilaisten skenaarioiden simulointi, jonka avulla voidaan tehdä ennusteita tuotannon kantokyvystä ja toimitusajoista tuleville tilauksille (Järvenpää & Lanz 2014).

APS-järjestelmä voidaan integroida ERP-järjestelmään, mikä mahdollistaa tuotantosuunnitelmien luomisen ERP-järjestelmän datan pohjalta. Tällaisissa tilanteissa törmätään kuitenkin ongelmaan, jossa suunnittelua vaikeuttaa reaaliaikaisen tuotantodatan puute. Tämä tuotantodata tarkoittaa työpisteiden nykytilaa, kuormitusta,

vikatietoja sekä varastojen tilannetta. Tämä data on täytettävä manuaalisesti joko suoraan APS:ään tai ERP:n kautta, ellei yrityksellä ole käytössään MES-järjestelmää, joka tekee tämän datan keräämisen. (Kucharska et al. 2015)

Toinen tason 3 tietojärjestelmä on MES-järjestelmä, joka tarkoittaa tuotannonohjausjärjestelmää. Sen tehtävänä on tuotantoprosessin ohjaaminen ja sen tuottavuuden monitorointi yrityksen tarpeisiin sopivasti. MES on siis osa yrityksen operatiivista toimintaa ja sen keskeinen tehtävä on integroida yrityksen tietojärjestelmiä toisiinsa niin, että tiedonkulku liiketoimintatasojen 4 ja 2–1 välillä on sujuvaa molempiin suuntiin. MES-järjestelmän tehtäviä ovat myös tuotannon resurssien hallinta, tuotantotiedon keruu sekä tuotannon suorituksen hallinta. (Järvenpää & Lanz 2014)

Tasolla 2 on tuotannon valvonta, joka voidaan toteuttaa eri tavoin yrityksen laitteistosta ja toimintatavoista riippuen (SFS-EN 62264-3 2017, s. 18). Yleensä kyseessä on valvontatietokoneet ja ohjelmoitavat logiikat, jotka ohjaavat tuotantoautomaatiota alemmilla tasoilla käyttäen automaation ohjausjärjestelmää. Näitä voivat olla muun muassa ohjelmoitavat logiikkaohjaimet PLC:t (Programmable Logic Controller), valvomo-ohjelmisto SCADA:t (Supervisory Control And Data Acquisition) tai hajautetut ohjausjärjestelmä DCS:ät (Distributed Control System). (Järvenpää & Lanz 2014)

Tasolla 1 sijaitsee tulo- ja lähtöportteja ylemmän tason ohjelmoitavien logiikoiden ja alemman tason antureiden ja toimilaitteiden välillä. Tasolla 0 sijaitsevat siis todellinen tuotantoprosessi eli toimilaitteet ja anturit, jotka ovat kosketuksissa tuotantoprosessin kanssa. Nämä kaksi alinta tasoa ovat siis tiedon välitykseen ja keskittyviä tasoja. (SFS-EN 62264-1 2013, s. 18)

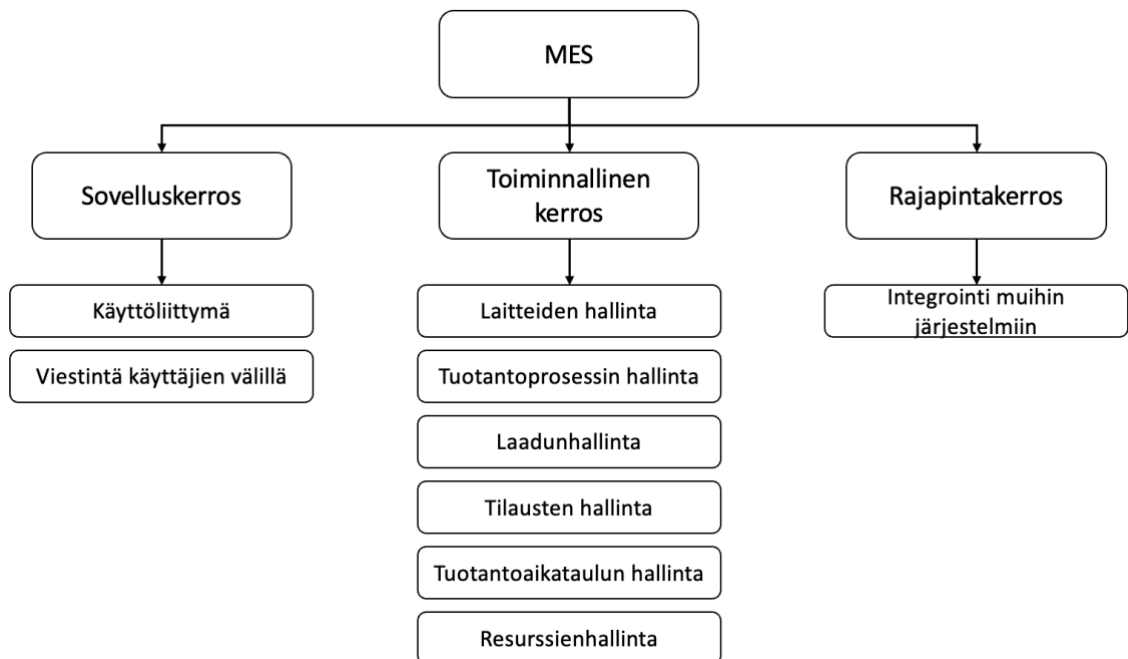
### 3. MES-JÄRJESTELMÄ

Tuotannonohjausjärjestelmä MES on suunniteltu täyttämään väli toiminnanohjausjärjestelmän ja tuotannon lattiataason toiminnan välillä mahdollistaen sujuvan tiedonkulun näiden välillä. Järjestelmää oikein hyödyntämällä voidaan optimoida tuotantoprosessia ja monitoroida sen suorituskykyä yrityksen toiminnan läpinäkyvyyden parantamiseksi. Tuotannon datan kerääminen mahdollistaa myös tuotantoprosessin jatkuvan kehittämisen ja suorituskyvyn seuraaminen tämän kehityksen mittaamisen. (Jaskó et al. 2020)

#### 3.1 MES-järjestelmän rakenne

MES-järjestelmä on yksi tietojärjestelmä, jonka perustehtävänä on hallita tuotantoprosessia ja raportoida tuotantotilausten eteneminen reaaliajassa. Se siis tarjoaa dataa ja työkaluja, joiden avulla voidaan tietää tarkasti, missä vaiheessa tilaukset ovat ja milloin ne valmistuvat. Tuotannon suunnittelija voi näin tarkasti tietää, milloin koneet vapautuvat seuraavalle työlle, mikä johtaa tarkkoihin arvioihin toimitusajoista ja aikatauluista. (Gao et al. 2012; Kucharska et al. 2015)

Perinteinen MES koostuu kolmesta pääkerroksesta, jotka voidaan tarkemmin jakaa vielä pienempiin osiin. Nämä ovat: sovelluskerros, toiminnallinen kerros ja rajapintakerros. (Luo 2010) MES:n rakenne on hahmoteltu kuvassa 2.



**Kuva 2. MES-järjestelmän rakenne** (muokattu lähteestä Luo 2010).

Sovelluskerros koostuu graafisesta käyttöliittymästä, jonka kanssa käyttäjä on vuorovaikutuksessa. Käyttöliittymän kautta käyttäjä voi tehdä laitehallintaa ja suorittaa töiden etenemisen kirjaamista manuaalisesti. Tämä on tarpeen, kun järjestelmään yhdistetään manuaalisia työvaiheita. (Luo 2010)

Toiminnallinen kerros on MES:n tärkein osa, joka jakautuu alamoduuleihin. Nämä ovat tuotannon oleellisimpia toimintoja, jotka mahdollistavat tuotannon arvoa lisäävän toiminnan. Modulaarinen rakenne mahdollistaa järjestelmän räätälöinnin yrityksen tarpeisiin, jolloin tarpeettomat osat voidaan jättää järjestelmästä pois. (Lapinleimu et al. 1997, s. 15-23; Luo 2010)

Rajapintakerroksen tehtävänä on mahdollistaa tietokantatoiminnot MES:n ja yrityksen muiden tietojärjestelmien välillä. Tämä mahdollistaa järjestelmien integroinnin, mikä minimoi kustannukset välttämällä päällekkäisten järjestelmien kehitystä. (Luo 2010) Rajapintakerroksen kautta luodaan siis integroinnit sekä ylemmän tason toiminnanohjausjärjestelmiin sekä liitetään alempien tasojen tuotantolaitteita MES-järjestelmään tuotantodatan keruuta varten.

Toiminnallinen kerros jaetaan alamoduuleihin, jotka on kuvattu kuvassa 2. Näistä ensimmäinen on laitehallinta, joka kattaa tuotannon laitteiden kunnossapidon, vikatietojen ja käyttötilastojen hallintaa. Näin laitteiden tuotannon laitteisto pysyy käyttökelpoisena mahdollisimman pitkään, mikä vähentää seisokkeja ja viivästyksiä. (Luo 2010)

Seuraava moduuli on tuotantoprosessin hallinta, joka on MES:n avain tehtävä. Sillä tarkoitetaan tuotannon reaaliaikaista seurantaa, kuten materiaalien-, laiteresurssien- ja henkilöstö seurantaa. Näin tuotannon suunnittelulla on käytössään reaaliaikaista tietoa tuotannosta ja toisaalta samalla myös suorituskykyä analysoidaan tarkasti suhteessa aikataulutettuun suunnitelmaan. (Luo 2010) Reaaliaikaisen datan avulla tietokantaan jää lokitiedot tehdyistä töistä, joiden avulla valmiiden tuotteiden jäljitettävyys paranee. (Knight & Lamb 2006)

Laadunhallintamoduuli on kolmas toiminto, jolla syötetään tuotantoprosesseille tietyt laatustandardit, joiden mukaan syntyy laatuluokkia. Valmistetut tuotteet, jotka eivät täytä laatuvaatimuksia, hylätään ja ne kirjataan yleensä manuaalisesti hukkakappaleiksi. Kirjauksen yhteydessä järjestelmään kirjataan syy, joka aiheutti viallisen tuotteen syntymisen. Näin pidemmällä aikavälillä MES-järjestelmään alkaa kertyä hyödyllistä dataa tuotteiden hylkäämisistä. Tämän tiedon pohjalta voidaan havaita tuotannon toiminnan ongelmakohtia ja ehkäistä niitä tulevassa toiminnassa. (Luo 2010)

Tilausten hallinta on tuotannon lähtökohta ja se ohjaa kaikkea tuotantotoimintaa välittömästi tai välillisesti. Järjestelmässä käsitellään ja puretaan tilauksia, jotka tulevat yrityksen koosta riippuen joko yrityksen sisältä muista tietojärjestelmistä rajapintoja pitkin tai suoraan järjestelmään syötettyinä. (Luo 2010) Näin ollen tilausten hallinta voidaan joissakin tapauksissa lukea myös rajapintakerrokseen.

Tuotantoaikataulun hallinta käsittää tuotantosuunnitelman lukemisen ja sen pohjalta yksityiskohtaisen tuotantoaikataulutuksen. Tämä tarkoittaa materiaalien valmistelua tuotantoaikataulun ja tuotanto-ohjeiden mukaisesti. Jos yrityksellä on käytössään APS-järjestelmä, voidaan tuotantoaikataulun hallinta suorittaa osittain tai kokonaan siellä. APS-järjestelmässä on yleensä tähän paremmat toiminnot, mutta se ei yksin saa reaaliaikaista tietoa tuotannon resursseista. (Luo 2010)

Resurssienhallinta kattaa kaiken materiaali- ja henkilöstöhallinnon, jota tuotannossa tarvitaan. Se pitää huolen etenkin tuotteiden materiaaliominaisuuksista eli tuotekohtaisista materiaalitarpeista ja -tiedoista. Se tuottaa myös tarkkaa dataa materiaalivarastoista, mikä helpottaa yrityksen toimintaa. Tuotannon työntekijöille voidaan näyttää perustiedot varastojen tilanteesta, materiaalityöntekijät saavat suoraa tietoa tarvittavista materiaaleista tai hankintaosasto saa tarkat tilattavista materiaaleista. (Luo 2010)

MES-järjestelmä voidaan integroida yrityksen muihin tietojärjestelmiin, jolloin sen tuottama data kulkeutuu integroitujen rajapintoja pitkin järjestelmästä toiseen automaattisesti. Näin kaikilla tietojärjestelmillä on reaaliaikaista dataa tuotannon nykyhetkestä. Tämä integrointi voidaan tehdä sekä yrityksen sisäisesti, että tarvittaessa myös muiden yritysten järjestelmiin. Näin kaikki yrityksen toiminnot käyttävät päätöksenteossa reaaliaikaista tietoa tuotannon toiminnasta ja tilanteesta, mikä tehostaa yrityksen toimintaa ja kannattavuutta. (Gao et al. 2012)

Järvenpää ja Lanz (2014) toteavat artikkelissaan, että raja MES:in ja muiden tuotannon tietojärjestelmien välillä on häilyvä, koska termiä käytetään myös järjestelmistä, jotka toteuttavat mitä tahansa tuotannon operatiivisia toimintoja (Järvenpää & Lanz, 2014). Näitä operatiivisia toimintoja ovat muun muassa tuotannon aikataulutus ja -suunnittelu, tiedonkeruu ja sen raportointi (SFS-EN 62264-3, 2017). Siksi markkinoilla onkin paljon järjestelmätoimittajia, jotka tarjoavat yhdistelmäjärjestelmiä MES- ja APS-järjestelmien ominaisuuksista (Järvenpää & Lanz 2014)

### 3.2 MES-järjestelmän käyttö

MES-järjestelmän keskeinen käyttötarkoitus on kerätä dataa tuotannon etenemisestä ja tarjota tätä reaaliaikaista tietoa muiden yrityksen toimintojen käyttöön. Data ei kuitenkaan aina synny itsestään, vaan tietoa tuotannon etenemisestä joudutaan syöttämään joissakin tilanteissa manuaalisesti. Uudet tuotantokoneet mahdollistavat rajapinnan luomisen MES-järjestelmän kanssa niin, että tuotanto-ohjelman eteneminen raportoidaan automaattisesti MES-järjestelmään, mutta etenkin vanhemmissa koneissa tämä ei onnistu. Tällöin tuotantodata tarvitsee tehdä itse syöttämällä manuaalisesti tuotannon etenemistietoja MES-järjestelmään. Tämä tietojen syöttäminen järjestelmään on yrityksen koosta riippuen joko tuotantotyöntekijöiden tai työjohtajien työtä. Pienimmissä yrityksissä tuotantotyöntekijä voi olla vastuussa tiettyjen työpisteiden etenemisen kirjaamisesta, kun taas suuremmissa yrityksissä työnjohtajat merkitsevät yleensä työn etenemisen MES-järjestelmään. Toisaalta suuremmissa yrityksissä tuotantokoneet ja -laitteet ovat usein uudempia kuin pienemmissä yrityksissä, koska investoinnit tuotantokoneisiin ovat suurempia ja niitä tehdään yleensä useammin suuremmissa yrityksissä. (Jaskó et al. 2020)

MES-järjestelmää käytetään yleensä pääsääntöisesti toimihenkilöiden toimesta, jotka ohjaavat sen avulla toiminnallista kerrosta. Järjestelmän käyttö riippuu myös paljon siitä, mitä muita tietojärjestelmiä yrityksellä on käytössään. Jos yrityksellä on käytössään MES-järjestelmän lisäksi APS-järjestelmä, voidaan tuotannon hienokuormitus tehdä siellä. MES-järjestelmässä keskitytään tuotantotietojen kokoamiseen ja niiden käsittelyyn sekä resurssien, kuten materiaalien ja varastojen hallintaan. Lisäksi laadunhallinta nousee tällöin yleensä keskeisemmäksi MES-toiminnoiksi. Jos taas MES-järjestelmää käytetään yksin tuotannon tietojärjestelmänä, tuotannonsuunnittelija tekee hienokuormitusta muodostaen työjonoja työpisteille. (Luo 2010)

Jos yrityksellä on oma it-osasto, tuottaa MES-järjestelmä heille myös omat tehtävänsä. Järjestelmään tulee säännöllisesti suorittaa ohjelmistopäivityksiä, jotta versio ei pääse vanhenemaan liikaa. Lisäksi it-osaston tulee osata käyttää järjestelmää niin, että ongelmatilanteissa se osaa korjata mahdolliset muiden käyttäjien tekemät virheet ja ohjeistaa heitä jatkossa toimimaan toisella tavalla. Pk-yrityksissä ei usein kuitenkaan ole omaa it-osastoa, joten järjestelmän ajantasaisuudesta ja käyttäjätuesta tulee huolehtia jonkun yrityksen työntekijän tai siitä on sovittava järjestelmätoimittajan kanssa. (Lee et al. 2012)

Yrityksen johto käyttää MES-järjestelmää seuraamalla tuotannon suorituskykykymittareita eli KPI:tä (Key Performance Indicator). Nämä ovat yrityksen itse määrittämiä arvoja, jotka



koetaan tärkeäksi suorituskyvyn mittareiksi. MES-järjestelmä laskee ne yleensä tuotantodatan perusteella ja niistä on helppo saada käsitys, miten tuotanto on suoritunut tietyssä ajanjaksona. Tällaisia KPI:tä voivat olla muun muassa valmistettujen kappaleiden määrä, kokonaistuotantoaika, ylitöiden määrä, myöhästyneiden kappaleiden määrä, hylättyjen kappaleiden määrä. Näitä voidaan vertailla esimerkiksi kuukausi- tai viikkotasolla, mikä auttaa johtoa tuntemaan tuotannon tilanteen. Läpinäkyvyyden lisäämiseksi näitä KPI:tä voidaan myös esittää tuotantohenkilöstölle esimerkiksi taukotiloissa tai kuukausittaisissa palaverissa. (Anisimov & Reshetnikov 2011)

### **3.3 MES-järjestelmän hankintaprosessin vaiheet**

Yrityksen tietojärjestelmien hankintaprosessi on pitkälti standardoitu prosessi, johon pätevät yleensä yhtenevät vaiheet järjestelmästä riippumatta (SFS-EN 62264-3 2017). Ennen prosessin käynnistämistä tulee hankkivan yrityksen muodostaa ydintiimi, joka alkaa päätehtävänänsä hankkia järjestelmää ja huolehtia hankintaprosessin etenemisestä ja sen vaiheiden toteuttamista yhdessä järjestelmätoimittajan kanssa. Tähän tiimiin tulee valita edustajia useasta eri työtehtävästä yrityksen sisällä ja valituille henkilöille tulee antaa riittävästi vapautusta muista työtehtävistä, jotta hankinnan toteuttamiseen jää aikaa. Ydintiimiin tulee ottaa edustajia ainakin työjohtajista, tuotannon työntekijöistä, logistiikasta, laadunvalvonnasta, huollosta sekä tärkeimpänä yrityksen johdosta. Pk-yrityksissä näihin kaikkiin tehtäviin ei välttämättä ole omia henkilöitään vaan sama ihminen voi tehdä useampaa näistä tehtävistä. Siksi ydintiimi on hieman pienempi pk-yrityksissä. (Meyer 2009, s. 176)

Ydintiimin tehtävänä on valita luotettava järjestelmätoimittaja, jonka kanssa prosessi aloitetaan. MES-järjestelmä on niin monimutkainen hankinta, että useamman toimittajan kanssa yhtäaikainen hankintaprosessin kilpailuttaminen on hankalaa ja hukkaan usein paljon investointiresursseja. Siksi ennen prosessin aloittamista kannattaa kilpailuttaa muutama sopivaksi todettu järjestelmätoimittaja ja valita näistä paras. (Meyer 2009, s. 187)

MES-järjestelmän hankintaprosessi koostuu viidestä vaiheesta, jotka tulee suorittaa huolellisesti, jotta järjestelmänhankinta saadaan suoritettua tehokkaasti. Nämä vaiheet ovat:

1. Lähtötilaselvitys
2. Vaatimuskartoitus
3. Järjestelmän konfigurointi, rakentaminen ja testaus

#### 4. Käyttöönotto

##### 5. Tuotantokäyttö (Govindaraju & Putra 2016)

Lähtötilaselvityksessä keskitytään yrityksen omiin valmiuksiin MES-järjestelmän hankinnalle sekä pohditaan ongelmia, joihin järjestelmällä halutaan ratkaisu. On tärkeää, että tässä vaiheessa prosessia osallistetaan kaikkia järjestelmän kannalta oleellisia sidosryhmiä mukaan hankintaan. Näin voidaan varmistua yrityksen valmiuksista MES-järjestelmän hankinnalle ja vähentää mahdollista vastustusta uutta järjestelmää vastaan. Lähtötilaselvitystä tehtäessä tulee muodostaa mahdollisimman puolueeton näkemys yrityksen tilasta ja valmiuksista järjestelmähankintaa. (Anisimov & Reshetnikov 2011; Govindaraju & Putra 2016)

Govindaraju ja Putra (2016) korostavat, että lähtötilaselvityksessä on tärkeää rajata tavoitteet MES-järjestelmälle. Näin voidaan taata, ettei järjestelmällä yritetä ratkaista ongelmia, joihin sitä ei ole suunniteltu. Tähän työkaluna voidaan käyttää kuvassa 1 esitettyä hierarkiamallia, johon tehtävät jaetaan. Kun toiminnot jaetaan selkeästi optimaalisille tasoille, voidaan MES-järjestelmän vaatimukset lukea helposti tasolta 3.

Seuraava vaihe hankintaprosessissa on vaatimuskartoitus, jossa kartoitetaan vaatimukset MES-järjestelmälle sekä muiden yrityksen aiempien järjestelmien rajapinnoille. Tulee siis ottaa selvää, millaisia rajapintoja ja integraatioita tulee ylemmän tason ERP-järjestelmään sekä alempien tasojen järjestelmiin. (Govindaraju & Putra 2016) Lisäksi on hyvä priorisoida järjestelmävaatimukset MES-järjestelmälle ja koota ne selkeästi esille, koska vaatimuksia on vaikea täyttää, jos niitä ei kerrota toimittajalle. (Anisimov & Reshetnikov 2011)

Kolmas vaihe on järjestelmän konfigurointi, rakentaminen ja testaaminen sen todellisessa käyttöympäristössä. Tässä vaiheessa järjestelmätoimittaja konfiguroi ja rakentaa asiakkaan tarpeisiin sopivan järjestelmän tämän vaatimusten pohjalta. Toimittajalla on yleensä perusjärjestelmä, josta voidaan karsia toimintomuodulleja halutun mukaisesti ja lisätä räätälöityjä moduuleja, jos sopivia ominaisuuksia ei valmiina löydy. Yleisimmille integroitaville tietojärjestelmille on myös olemassa valmiit moduulit, joiden avulla integraatio on helppo tehdä, mutta joskus vaaditaan suuriakin räätälöintitoimia rajapintojen luomiseksi. Kun järjestelmän rakennusvaihe valmis, voidaan alkaa siirtää asiakkaan tuotantotietoja ja dataa järjestelmään sen testausta varten. Testauksessa halutaan varmistaa, että järjestelmä toimii halutulla tavalla sekä järjestelmätoimittajan, että asiakkaan mielestä. Testausvaiheen lopussa toimittaja haluaa yleensä hyväksyttää räätälöidyt moduulit asiakkaalla, jotta myöhemmässä vaiheessa prosessia ei tule yllätyksiä tai väärinymmärryksiä. Ennen asiakkaan

hyväksyntää järjestelmä voi kiertää useamman kerran testausvaiheesta takaisin konfigurointi- ja rakennusvaiheeseen, koska sen ominaisuudet eivät miellyttäneetkään asiakasyritystä ja asiat halutaankin tehdä toisella tavalla. (Govindaraju & Putra 2016)

Neljäs vaihe koostuu käyttöönotosta, joka tarkoittaa järjestelmän käyttöönottoa tuotannossa. Käyttöönotto suoritetaan yleensä portaittain niin, että ongelmatilanteissa koko tuotanto ei seiso järjestelmän vuoksi. Oleellinen osa käyttöönottoa on myös henkilökunnan koulutus niin, että he osaavat käyttää järjestelmää itsenäisesti ilman järjestelmätoimittajan tukea. Tässä vaiheessa yrityksen sisälle pyritään kouluttamaan ydinryhmä, joka auttaa muita ongelmatilanteissa tulevaisuudessa. Näin asiakasyrityksen ei tarvitse myöhemmin kysyä jatkuvasti apua toimittajalta, kun asiakasyrityksen sisältä löytyy tukea ongelmatilanteisiin. (Govindaraju & Putra 2016)

Viimeinen vaihe on todellinen tuotantokäyttö, jossa järjestelmä otetaan suunnitellussa mittakaavassa tuotantokäyttöön. Tässä vaiheessa toimittaja alkaa tarjota projektin jälkeistä tukea asiakkaalle ja näin jää pikkuhiljaa pienempään rooliin prosessissa. (Govindaraju & Putra 2016) On tärkeää, että tuotantokäytön vakiintuessa suoritetaan myös loppuarvio vaatimuskartoituksen tuotosten pohjalta, jossa pohditaan järjestelmähankinnan onnistumista ja tavoitteiden täyttymistä. (Anisimov & Reshetnikov 2011)

Jos hankintaprosessi on sujunut hyvin ja asiakas on järjestelmätoimittajalle merkittävä, halutaan asiakkaasta tehdä referenssi toimittajan seuraavia projekteja varten. Etenkin suurien yritysten referenssit voivat olla merkittävä tekijä asiakkaiden päätöksenteossa, kun ne valitsevat hankittavan järjestelmän toimittajaa. Myös pienempien yritysten referenssit voivat olla merkittäviä, jos toimitettu järjestelmä on sisältänyt uudenlaisia ominaisuuksia tai se on ollut poikkeuksellinen jollakin muualla tavalla. Järjestelmätoimittajat käyttävät näitä referenssejä markkinoinnissaan, koska ne herättävät luottamusta uusissa asiakkaissa ja toimivat todisteina hyvin hoidetuista projekteista. (Anisimov & Reshetnikov 2011)

Tietojärjestelmähankinta on aina investointi, jota kannattaa miettiä tarkasti ja laskelmoiden. Tietojärjestelmähankinnan onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä on paljon, joten järjestelmän liiallista paisumista on vältettävä. Tuotannon työntekijöiden on päästävä tekemään päätehtävänsä eli tuotantoa, eikä aikaa saa kulua liikaa monimutkaisten tietojärjestelmien ylläpitoon. On siis tärkeää, että tietojärjestelmällä pyritään vastaamaan ennalta määritettyihin tavoitteisiin, jotta järjestelmä pysyy riittävän yksinkertaisena. (Lapinleimu et al. 1997, s. 273; Govindaraju and Putra 2016)

Järjestelmähankintaan osallistuvien tahojen intressit ovat joskus ristiriidassa keskenään sekä yrityksen sisällä että järjestelmätoimittajan välillä. Yrityksen sisällä ylin johto odottaa henkilöstöressurssien tehokkaampaa käyttöä, kustannusten vähenemistä ylituotantoa vähentämällä sekä tuotantoprosessin parempaa läpinäkyvyyttä. Tuotantohenkilöstö sen sijaan ei haluaisi tuntea oloaan töissä liian valvotuksi, koska se luo suorituspainetta jokapäiväiseen työhön. Siksi kokoaikaista töiden etenemisen kirjaamista yleensä vastustetaan. Siksi on tärkeää, että hankittavan järjestelmän tuomat hyödyt ovat mahdollisimman hyvin kaikkien yrityksen sidosryhmien tiedossa, jotta hankinta saavuttaa sisäisen hyväksynnän henkilöstön keskuudessa. (Anisimov & Reshetnikov 2011)

## 4. TUOTANNOHJAUSJÄRJESTELMÄN LÄHTÖTILASELVITYS

Tuotannonohjausjärjestelmä MES:n hankinta aloitetaan yleensä tekemällä kattava lähtötilaselvitys. Lähtötilaselvitys tehdään, jotta kaikille hankinnan ydintimissä on selvää, miten yrityksen tuotannonohjaus tehdään tällä hetkellä. Selvityksen tulee keskittyä tuotantoprosessiin ja sen nykytilaan sekä nykyisten laitteiden ja tietojärjestelmien luomiin rajoituksiin. (Meyer 2009, s. 178)

Lähtötilaselvitys tehdään yleensä niin, että ydintimi kokoaa tapaamisessaan tuotantoprosessikaavion, josta käy ilmi tuotteen reitti tuotannon läpi. Se siis alkaa asiakkaan tilauksesta ja päättyy valmiin tuotteen toimitukseen asiakkaalle. Siinä tulee tarkasti määritellä alusta asti, kuka tekee, mitä tekee ja mitä työkaluja tai järjestelmiä hän käyttää. Miten tilaus asiakkaalta tulee, mihin järjestelmään se kirjataan, kuka sen hyväksyy ja siirtää tuotantoaikatauluun, kuka ajoittaa tuotantoon, miten tuotteen valmistukseen käytettävät resurssit hankitaan ja niin edespäin. Näin saadaan tarkka kuva minkä vaiheiden läpi tilaus ja tuote kulkevat ja mitä toimintoja sille tehdään ennen kuin tuote on valmis toimitettavaksi. Varsinkin pk-yrityksissä ydinryhmän henkilöt ovat juuri niitä tahoja, jotka ovat mukana tässä prosessissa, joten lähtötilaselvityksen tekeminen on yksinkertaista kaikkien ollessa koolla. (Meyer 2009, s. 178; Anisimov & Reshetnikov 2011)

### 4.1 Tuotannonohjauksen nykytilan vaikutus tuotannonohjausjärjestelmän hankintaprosessiin

Ennen uuden MES-järjestelmän hankintaa ja käyttöönottoa on välttämätöntä analysoida yrityksen nykyistä toimintaa tarkasti, jotta voidaan havaita ongelmakohtia omassa toiminnassa. Tämän analyysin pohjalta voidaan havaita parannuspotentiaalia, joka pyritään saavuttamaan mahdollisella järjestelmähankinnalla. (Meyer 2009, s. 178) Lähtötilaselvitys toimii myös pohjana vaatimusmäärittelylle, jossa havaittua parannuspotentiaalia tuotantoprosessissa pyritään muuttamaan järjestelmävaatimuksiksi.

Järvenpää ja Lanz (2014) toteavat, että tuotantopäälliköt ja muut toimihenkilöt haluaisivat lisätä digitaalisuutta tuotannon lattiatasolla, esimerkiksi digitaalisten työjonojen, työkuvioiden sekä virhekuittausten muodossa. Työntekijät kuitenkin kokevat pärjäävänsä hyvin nykyisillä, monin paikoin paperisilla työtavoilla, koska työmäärän

odotetaan kasvavan monimutkaisten järjestelmien myötä (Järvenpää & Lanz 2014). Siksi jo alkutilaselvitystä tehtäessä on tärkeää, että keskusteluun osallistuu myös tuotannon edustaja, koska MES tuo eniten muutoksia juuri tuotannon lattiatasen työskentelyyn. Kun heidän edustajansa on mukana hankintaprosessissa alusta asti, on helpompaa saada sisäinen hyväksyntä hankinnalle, mikä helpottaa käyttöönottoa. (Meyer 2009, s. 195; Govindaraju & Putra 2016)

Aluksi on hyvä ottaa huomioon olemassa oleva infrastruktuuri. Tällä tarkoitetaan tuotannon ohjausjärjestelmiä, koneita ja laitteistoa. Tässä vaiheessa on jo hyvä tiedostaa, millaisia tason 1 ja 2 sekä 4 järjestelmiä yrityksellä on käytössä ja miten ne soveltuvat tiedon välittämiseen MES-järjestelmään. (Meyer 2009, s. 179) Meyer (2009) toteaa, että lisäkustannuksia syntyy, jos käytössä olevia koneita ei ole kytketty Ethernet-verkkoon tai niillä ei ole sopivaa ohjelmistorajapintaa tietojen siirtämiseksi MES-järjestelmään. Tällöin tulee pohtia, tuoko MES riittävästi lisäarvoa kattamaan nämä ylimääräiset kulut.

Tuotannonohjauksen nykytilaa pohdittaessa tulee pohtia, miten MES-järjestelmän toiminnot toteutetaan tällä hetkellä. Onko toiminnot, joita MES hoitaa, toteutettu jo useilla eri osatoiminnoilla? Jos osatoiminnot on jaettu erillisiin järjestelmiin, tulee pohtia, jatketaanko näiden toimintatapojen käyttöä MES:n rinnalla vai siirretäänkö toiminnot uuteen järjestelmään. (Meyer 2009, s.179) Järvenpää ja Lanz (2014) huomauttavat tutkimuksensa pohjalta, että yli puolet suomalaisesta teollisuuden yrityksistä käyttävät tuotannonohjaukseensa pelkästään ERP:n ja erilaisten Excel-tiedostojen yhdistelmää. Tällaisissa tilanteissa on selvää, että MES-järjestelmä hankittaessa pyritään pääsemään eroon näistä erillisistä Excel-tiedostoista.

## **4.2 Hankinnan vaikutukset yrityksen toimintaan**

Järjestelmähankinta muuttaa yrityksen toimintatapoja aina, mikä vaatii alkuun totuttelua. Siksi on tärkeää, että hankkiva yritys sekä järjestelmätoimittaja ymmärtävät myös prosessin yhteistyönäkökulman. Toimittajan ja asiakkaan välille syntyy luottamuksellinen suhde, joka mahdollistaa koulutustoiminnan ja järjestelmän kehitysehdotukset myös myöhemmin hankinnan jälkeen. Näin myös toimittaja voi hyötyä yhteistyöstä, koska se saa palautetta järjestelmästä asiakkaan näkökulmasta. (Anisimov & Reshetnikov 2011)

Hankinta vaikuttaa yritykseen monilla eri tasoilla, joten jokaisen työntekijän tulee varautua toiminnan muutoksiin. Alla listattuna asioita, joihin MES vaikuttaa yrityksen toiminnassa:

- lokitiedot tuotannosta
- prosessin ongelmatietojen seuranta
- resurssien tarkka seuranta
- prosessin jatkuva kehittäminen
- tunnuslukujen laskenta ja seuranta
- tulevien investointien arviointi (Lapinleimu et al. 1997, s.272)

Tuotannon lokitiedoilla tarkoitetaan tuotannosta saatavaa reaaliaikaista ja tarkkaa nimikekohtaista tietoa. Tämä tieto mahdollistaa jäljitettävyyden parantamisen tuotannossa. (Lapinleimu et al. 1997, s.272) Järvenpää ja Lanz (2014) toteavat, että yhä useammat asiakkaat vaativat toimittajiltaan ja alihankkijoilta tarkkaa jäljitettävyyttä edellytyksenä tuotteiden tilaamiselle. On siis tärkeää, että asiakas saa tarkat tiedot erä- ja sulatenumeroiden lisäksi myös siitä, kuka heidän kappaleensa on tehnyt, millä laitteilla ja milloin. Nämä tiedot saadaan tarvittaessa MES-järjestelmästä automaattisesti, jolloin tuotannossa ei tarvitse enää kirjata tietoja manuaalisesti Excel-tiedostoihin. (Järvenpää & Lanz 2014)

Lokitiedot mahdollistavat myös nimikekohtaista datan kappalemääristä, valmistuksen kestosta sekä valmistuslaadusta. Ajan myötä nimikkeille alkaa kertyä historiatietoa aiemmista tilauksista ja niiden valmistuksesta. Uusien tilausten kohdalla voidaan tarkastaa aiempien tilausten pohjalta kunkin nimikkeen valmistusajat kappalemäärään suhteutettuna. Näin voidaan antaa toimitusaika todellisiin arvoihin perustuen sen sijaan, että käytetään laskennallisia arvioita. Lisäksi voidaan huomata, jos tietyt nimikkeet ovat alttiimpia laatuongelmille ja tämä voidaan huomioida hinnassa tai kappalemäärässä valmistuksen muutama ylimääräinen kappale susikappaleiden varalle. Nimikekohtaiset tiedot auttavat myös myyntiosastoa, kun he voivat käyttää tarjouslaskelmissaan todellisia tietoja nimikkeiden edellisistä tilauksista ja mahdollisista laatuongelmista. (Lapinleimu et al. 1997, s. 272)

Prosessin ongelmatiedot ovat kriittisiä toimintatapoja ja valmistusmenetelmiä suunniteltaessa. Laitteiden kunnossapidon kannalta oleellista on vikakoodien ja hylättyjen kappaleiden syiden seuranta ja mahdollisten toistuvien vikojen analysointi. Kunnossapitotoimet ovat kuluera yritykselle, koska tappiota syntyy sekä korjauskustannuksista, että seisovista töistä. Siksi toimintaa tulee tarkkailla kriittisesti ja pyrkiä kaikin keinoin estämään virheiden toistaminen. Tuotantodata voi esimerkiksi paljastaa huonot kiinnittimet, väärät työvälineet tai laitteen riittämättömän jäykkyyden koneistuksessa. Nämä tiedot tulee välittää menetelmäsuunnitteluun, johon voidaan

käyttää MES-järjestelmää automatisoimaan tätä tiedonkulkua. (Lapinleimu et al. 1997, s. 272)

Resurssien käytön seuranta on mahdollista MES-järjestelmän myötä tarkempana kuin aiemmin, koska siihen voidaan laskea mukaan materiaalin lisäksi tarkat tiedot sekä henkilöstön että koneiden käytöstä. Näiden tietojen pohjalta voidaan tehdä tarkkaa kustannuslaskentaa, jota voidaan hyödyntää niin tunnusluvuissa kuin hinnoittelussakin. Lisäksi nämä tiedot hyödyttävät ylempiä johtajia Make or Buy -päätöksissä ja muissa liiketoimintapäätöksissä. (Lapinleimu et al. 1997, s. 272)

MES mahdollistaa myös leanin toteuttamisen tuotannon toiminnassa. Sen avulla voidaan tunnistaa valmistusketjun ja prosessin heikoimmat lenkit, kun tarkastellaan läpimenoaikoja. Vikatietojen perusteella voidaan antaa palautetta koneiden, komponenttien ja materiaalien toimittajille, mikäli niiden toiminnassa huomataan moitteita. Myös oman tuotannon pullonkauloja voidaan pyrkiä välttämään kriittisten toimitusten kohdalla tai niiden kapasiteettia voidaan pyrkiä kasvattamaan. (Lapinleimu et al. 1997, s. 272)

Tunnuslukujen ja indikaattoreiden laskenta tuotannon toiminnasta on oleellinen osa jo järjestelmän hankintavaiheessa, mutta sitä kannattaa jatkaa myös hankintaprosessin jälkeen (Anisimov & Reshetnikov 2011). Niiden avulla voidaan laskea tuotannon tehokkuutta, mitä voidaan käyttää muun muassa palkanmaksun ja tulospalkkioiden perusteena. Kun käytössä on MES, voidaan tuottaa varmasti objektiivista tietoa suorituskyvystä, koska käytetään automaattista tiedonkeruuta esimerkiksi manuaalisten tuntilappujen sijaan. (Lapinleimu et al. 1997, s. 273)

MES voi myös auttaa tulevien investointien arvioinnissa tuottamansa tarkan lokitiedon avulla. Uusia tuotantokoneita ja -laitteita vanhojen tilalle hankittaessa voidaan laskentaan ja simulointiin käytettäviä perustietoja hakea aiemmista lokitiedoista, jolloin laskemista saadaan todenmukaisempia ja luotettavampia. Ostopäätökset perustuvat siis harvemmin enää vain arvailuun omasta tuotannosta ja sen toiminnasta. (Lapinleimu et al. 1997, s. 273)

Hankinnalla voi olla yrityksen toimintaan myös negatiivisia vaikutuksia. Järjestelmän hankintaprosessi voi venyä ja jäädä jopa kesken, jos sitä ei johdeta selkeästi ja määrätietoisesti aikataulussa. Kesken jääneen työn tulokset menevät hukkaan ja resursseja kuluu turhaan, jos investointiin ei suhtauduta vakavasti ja tosissaan. (Anisimov & Reshetnikov 2011) Toinen hankinnan negatiivinen vaikutus voi olla järjestelmäkirjausten tekemisestä syntyvä lisätyö, joka voidaan kokea turhana ja vähäpätöisenä asiana. Näin ajan myötä kirjaamisessa yleensä laiskistutaan, mikä



heijastuu suoraan MES-järjestelmästä saatavaan tietoon yrityksen sisällä. Järjestelmässä saattaa näyttää, että edellinen työ on vielä kesken, vaikka työpisteellä olisi valmista ja on jo siirrytty seuraavaan työhön. (Järvenpää & Lanz 2014)

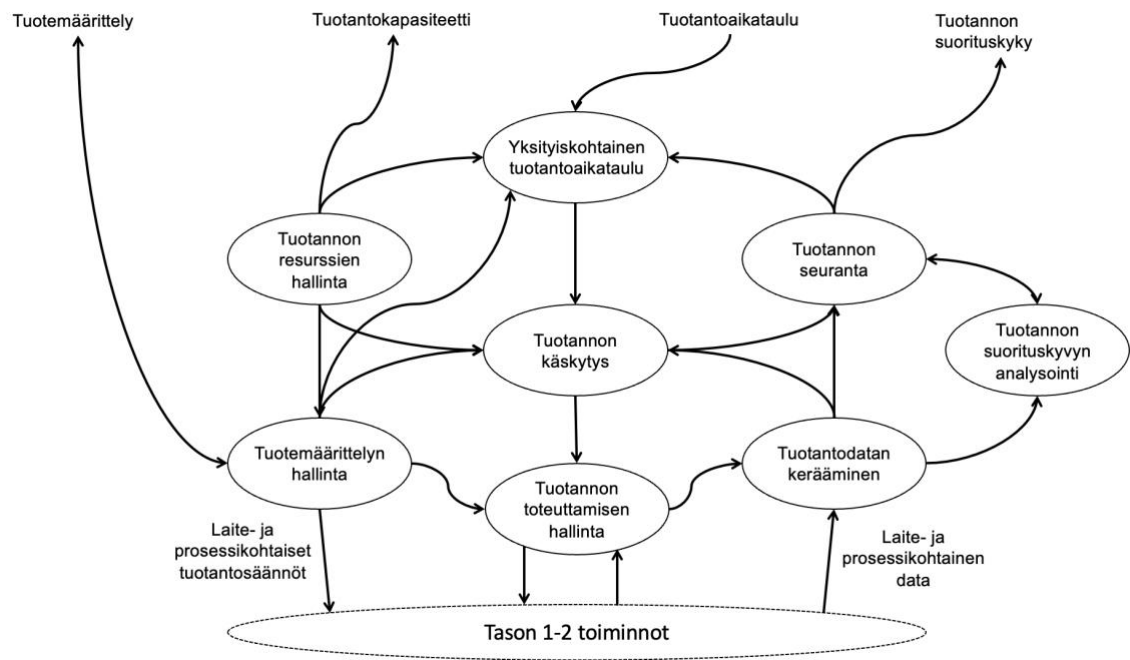
## 5. TUOTANNOHJAUSJÄRJESTELMÄN VAATIMUSKARTOITUS

MES tuotannohjausjärjestelmän vaatimuskartoituksen tavoitteena on muodostaa hankittavalle järjestelmälle toimintovaatimukset. Nämä vaatimukset rajaavat, miten järjestelmän halutaan toimivan ja mitä toimintoja sillä halutaan suorittaa. Vaatimuskartoituksessa on mukana yleensä myös järjestelmätoimittaja, koska vaatimusten pohjalta aletaan rakentaa järjestelmän ensimmäistä versiota. (Dutta et al. 2022)

### 5.1 Standardin SFS-EN 62664-3 mukaiset vaatimukset

Standardissa SFS-EN 62664-3 esitellään toimintamalli, joka tarjoaa yrityksille viitekehyksen MES:n hankintaan. Tämän viitekehyksen on tarkoitus esitellä toiminnot, jotka järjestelmän tulisi suorittaa, mutta se ei ota kantaa siihen, miten ne suoritetaan. Tämä tulee yrityksen päättää itse järjestelmätoimittajan ja mahdollisten konsulttien kanssa. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 21) Vaatimusmäärittelyssä siis asiakkaan järjestelmähankinnasta vastaava tiimi ja järjestelmätoimittajan edustaja kokoontuvat ja päättävät yhdessä, millaisilla ratkaisuilla viitekehysessä esitettävät toiminnot toteutetaan tulevassa järjestelmässä. Järjestelmätoimittaja voi käyttää tässä apuna järjestelmädemoa, jolla se havainnollistaa tulevaa järjestelmää ja esittää ratkaisuvaihtoehtoja asiakkaan vaatimuksiin. Toimittaja yleensä tuntee ohjelmansa toiminnot niin, että hän osaa ehdottaa parhaita mahdollisia ratkaisuja vaatimuksiin. (Jaskó et al., 2020)

Standardissa MES-järjestelmän toiminnot jaetaan kahdeksaan alakokonaisuuteen, jotka kattavat tyypilliset tarpeet joihin järjestelmä vastaa. Nämä esitetään kuvassa 3, ja niitä tarkastellaan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



**Kuva 3. Tuotannonohjausjärjestelmän toimintamalli (suomennettu (SFS-EN 62264-3 2017, s. 21)**

Ylätasolla sijaitsevat neljä päätieta, joiden ympärille MES rakentuu. Näiden tuottamiseksi, niiden parantamiseksi tehtävät toiminnot on esitetty kuvassa. Nämä ovat MES-järjestelmän toimintoja, joita tulee miettiä tehtäessä vaatimuskartoitusta. Lisäksi on tärkeää pohtia, millaisia muita tietojärjestelmiä yrityksellä on esimerkiksi alatasoilla 1–2 sekä ylätasolla 4. Näiden integraatiot ovat itsessään jo vaatimuksia järjestelmälle, joita kaikki toimittajat eivät välttämättä pysty toteuttamaan.

Aluksi perehdytään tarkemmin tuotemäärityksen hallintaan, joka on keskeinen osa MES-järjestelmää. Tällä tarkoitetaan siis nimikekohtaisia tuotantotietoja ja niiden hallintaa järjestelmässä. Tuotantotiedot kattavat kaiken tiedon, joka tarvitaan tuotteen valmistamiseksi. Yleensä tämä tarkoittaa työohjeita, piirustuksia, tuoterakennetta, materiaalitietoja, konfiguraatioita, tuotantosääntöjä, kuten työstöohjelmia. Näiden tietojen ajankohtaisuus ja helppo saatavuus helpottavat tuotannon työskentelyä huomattavasti ja MES-järjestelmässä nämä tiedot ovat muiden tason 3 ja 2 toimintojen käytettävissä saumattomasti. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 22–24) Tuotemääritys voidaan joissakin yrityksissä tehdä erillisellä tuotteen elinkaaren hallinta -järjestelmällä PLM:illä (Product Lifecycle Management) Sinne tallennetaan kaikki tuotteeseen liittyvät materiaalit ja tiedostot, jotta ne ovat helposti saatavilla tarvittaessa. Tällaisissa tilanteissa MES-järjestelmältä ei välttämättä vaadita kattavaa tuotemäärityksen hallintaa, koska tiedot voidaan tuoda suoraan PLM-järjestelmästä integroimalla, mikä takaa ajankohtaisten tietojen käytön. (Jaskó et al. 2020, s. 6)

Tuotannon resurssien hallinnalla tarkoitetaan toimintoja, jotka hallitsevat tuotannon vaatimia resursseja sekä ohjaa resursseja suhteessa työkalentereihin. Näitä resursseja ovat materiaalit sekä raaka-aineet, koneet, työkalut ja henkilöstö. Resurssien ohjaamisen ratkaiseminen on monimutkaista täysin automatisoidulla tietokonejärjestelmällä, joten yleensä manuaalisten muutosten tekeminen tässä kohtaa on yleistä myös MES-järjestelmässä. Hyvän resurssien hallinnan pohjana on yksityiskohtainen tuotantoaikataulu sekä tarkat tiedot tason 1 ja 2 nykytilasta. Resurssien hallinta välittää ajankohtaista tietoa tuotantokapasiteetista muille tason 3 toiminnoille sekä tasolle 4. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 24–28)

Yksityiskohtaisen tuotantoaikataulun luominen on yksi MES:n tärkeimmistä vaatimuksista. Lyhyen aikavälin suunnittelussa ja työjonojen luomisessa se on parhaimmillaan, koska järjestelmässä on käytössä ajankohtaiset tiedot tuotannon tilasta ja resurssien saatavuudesta. Järjestelmän operaattori allokoi työt tuotantopaikoille työjonoihin tasolta 4 saamansa tuotantoaikataulun mukaisesti. Tuotantoaikataulu muodostuu tuotantotilausten pohjalta ja se on pidemmän aikavälin suunnitelma valmistettavista tuotteista ja kappalemääristä. Yksityiskohtaisen tuotantoaikataulun luomiseen tarvitaan tietoa muista MES-toiminnoista, kuten nimikkeiden tuotantosäännöt, tuotannon kapasiteetti, resurssien saatavuus sekä tuotantoaikataulu. Optimaalisessa tilanteessa operaattori voi näiden tietojen pohjalta yhdistellä tuotantotilauksia ja ohjata niitä tietyille tuotantopaikoille niin, että asetus- ja puhdistusaikoja saadaan pienennettyä. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 28-31)

Tuotannon käskytyks on yksityiskohtaisen tuotantoaikataulun suorittamiseen ja täydentämiseen liittyvä toiminto. Sen tehtävän on kohdistaa työtehtäviä laitteille ja henkilöille sekä reagoida mahdollisiin odottamattomiin tilanteisiin parhaaksi näkemällään tavalla. Lisäksi tuotannon käskytyks ohjaa mahdollisia järjestelmän ulkopuolisia prosesseja ja hoitaa töiden tilakirjaukset järjestelmään. Tuotannon käskytykseltä vaaditaan siis usein hyvää tuntemusta järjestelmästä, koska heidän varassaan on tilakirjausten tekeminen sekä nopeiden muutosten tekeminen tarvittaessa. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 31-33) Pienimmissä yrityksissä tuotannon käskytyksä hoitavat yleensä työnjohtajat tai muut tuotannon toimihenkilöt, joten MES-järjestelmän käyttö edellyttää heiltä it-osaamista ja uuden omaksumiskykyä. Siksi järjestelmävaatimuksia tehtäessä etusijalle nousee usein helppo käyttöliittymä sekä kattavat koulutus- ja tukipalvelut.

Tuotannon toteuttamisen hallinta on tuotannon tukemista sekä informaation kuljetusta yrityksen sisällä. Tarkoituksena on varmistaa tuotannon resurssien oikeellisuus vastaamaan haluttuja laatuvaatimuksia. Tämä tarkoittaa riittävien tarkkuuksien varmistamisen, henkilökunnan riittävän ammattitaidon varmistamisen sekä

tuotantoinformaation kulun ylemmiltä tasoilta tuotantotasolle 1-2. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 36)

Tuotantodatan kerääminen tarkoittaa toimintoja, joilla kerätään tietoa tuotantoprosesseista ja tallennetaan ne myöhempää käyttöä varten. Näitä tietoja saadaan manuaalisista kirjauksista sekä tason 1 ja 2 prosessien antureiden ja toimilaitteiden avulla. Manuaalisista kirjauksista jää aikaleimat, joiden avulla voidaan analysoida prosesseja ja läpimenoaikoja, kun taas antureiden lukemia ja toimilaitteiden tiloja voidaan tallentaa seuraavia eriä varten. Datan avulla voidaan pitää kirjaa myös tuotantolaitteiden kuormituksesta ja huoltotarpeesta. Kerättyä dataa käytetään tuotannon mittareiden laskennassa, koska MES:n avulla pyritään myös optimoimaan tuottavuutta. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 36-37)

Tuotannon seuranta käsittää toiminnot, jotka valmistelevat ja koostavat tiedot tasolle 4. Tarkoitus on koota raportti toteutuneesta tuotannosta ja sen käyttämistä resursseista tasolle 4 eli yleensä ERP-järjestelmään. Se voi sisältää myös kustannusten kokoamista sekä tuotannon suorituskyvyn arvioimista tunnuslukujen ja mittareiden avulla. Tämä helpottaa ylemmän tason johtajia pysymään ajan tasalla tuotannon toimista selkeän raportin muodossa. Siksi hyviä tuotannon seuranta -toimintoja vaaditaan usein ylempien johtajien toimesta. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 38) Nämä seurantaraportit kootaan tietyltä aikaväliltä ja niiden sisältö on usein räätälöitävissä tarpeen mukaan vastaamaan yrityksen toiveita. Tämä seurantaraporttien räätälöinti on yleensä osa hankintaprosessin kolmatta vaihetta eli järjestelmän rakentamista ja konfigurointia.

Tuotannon suorituskyvyn analysointi kattaa toiminnot, jotka tuottavat tietoa tuotannon todellisesta suorituskyvystä sekä vertaavat niitä aiempiin vertailujaksoihin. Näin saadaan raportteja tuotannon suoriutumisesta, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotannon seuranta -toiminnoissa. Suorituskykyä mitataan monessa yrityksessä eri mittareilla, joten vaihtoehtoja näiden toimintojen valintaan on monia. Suorituskyvyn analysointiin voidaan liittää vahvasti esimerkiksi laadunhallinta ja jäljitettävyys, joista huolehtiminen yrityksen tulee tehdä jollakin systemaattisella tavalla. (SFS-EN 62264-3 2017, s. 40-42)

## **5.2 Pk-yritysten erityistarpeet tuotannonohjausjärjestelmälle**

Pk-yritysten tarpeet tuotannonohjausjärjestelmälle poikkeavat yleensä hieman tavanomaisista suurten yritysten tarpeista. Erot johtuvat pienemmistä varoista ja resursseista, joita pk-yrityksellä on käyttää järjestelmähankintoihin. Siksi varat tulee käyttää järkevästi ja mahdollisimman tehokkaasti. Kustannustehokkaan ratkaisun löytäminen alkaa heti järjestelmän toimintojen rajaamisesta, jossa tulee tarkasti miettiä,

mitä toimintoja yrityksessä tarvitaan ja mitkä ovat tuuria. Järjestelmän ominaisuuksia pohdittaessa kannattaa ottaa huomioon myös toimiala, jolla yritys toimii. Toimiala tulee ottaa huomioon jo toimittajaa valitessa, koska järjestelmätoimittajat keskittyvät tyypillisesti tiettyihin toimialoihin ja ovat näin jo valmiiksi selvittäneet toimialakohtaisiin ongelmiin ratkaisut. Näin pk-yritykset voivat säästää räätälöinti ja ohjelmointikustannuksissa, koska ratkaisut toimialan yleisiin ongelmiin on mietitty etukäteen toimittajan puolelta. (Chen et al. 2020)

Pk-yrityksissä on myös yleistä, että käytettävyys ja yksinkertaisuus käyttöliittymässä ovat korkealla prioriteeteissa. Tähän on kaksi selkeää syytä, jotka ovat työntekijöiden rajallinen aika sekä työntekijöiden rajalliset tietotekniset taidot. Pk-yrityksissä henkilöstön koko pakottaa työnkuvan monipuolisemmaksi kuin suuremmissa yrityksissä. Siksi monipuolista tekemistä on usein paljon, joten työn sujuvuus on taattava. Tietojärjestelmän käyttö ei siis saa viedä liikaa aikaa työtehtäviltä. Selkeä ja helppokäyttöinen tuotannonohjausjärjestelmä ei vaadi työntekijöiltä tietoteknistä osaamista, joka on usein puutteellista etenkin vanhempien ikäluokkien kohdalla. Pk-yrityksissä it-tuki on usein ulkoistettu, joten apua järjestelmän käyttöön ei ole helposti saatavilla käyttöönottoprosessin jälkeen. (Lee et al. 2012)

Pk-yrityksissä tuotantokapasiteetin rajallisuus ja usein pienet eräkoot luovat tarvetta joustavuudelle, koska tilauksia saattaa tulla lyhyellä varoitusajalla tai tuotantokapasiteettia vapautua yllättäen. Tällöin tuotantoaikatauluun täytyy pystyä tekemään nopeita muutoksia, koska töiden järjestys tai tuotantoreitti muuttuvat nopeasti. Tuotannonohjausjärjestelmältä vaaditaan tällaisissa tilanteissa joustavuutta, koska työjonojen täytyy olla ajantasaiset kaikissa tuotantosoluissa. Myös henkilökunnan sairastumiset ja yllättävät poissaolot voivat vaatia nopeita muutoksia tuotannonohjauksessa. Näissäkin yksinkertainen käyttöliittymä ja osaava pääkäyttäjä ovat avainasemassa. (Dutta et al. 2022)

Tämän joustavuuden luominen järjestelmään vaatii myös järjestelmätoimittajalta ymmärrystä ja sopivaa näkökulmaa ymmärtääkseen pk-yritysten erityistarpeita (Lee et al. 2012) Järjestelmätoimittajan tulee pohtia asiakkaan kanssa järkeviä ja kustannustehokkaita ratkaisuja ongelmiin, koska he tuntevat järjestelmänsä ominaisuudet ja rajallisuudet parhaiten. Hyvän järjestelmätoimittajan ominaisuus on, että kaikkiin asiakkaan toiveisiin ei lähdetä tekemään räätälöintiä järjestelmään vaan haetaan parasta mahdollista vaihtoehtoa yhteistyössä asiakkaan kanssa. Tämä tarkoittaa, että sopivissa määrin toimittaja kyseenalaistaa asiakkaan toimintaa ja ehdottaa ulkopuolisesta näkökulmasta parasta vaihtoehtoista ratkaisua. Joitakin toimintoja ja

kirjauksia on voitu tehdä vain, koska vanha järjestelmä on ollut puutteellinen ja niistä voitaisiin luopua uuden järjestelmän myötä. (Dutta et al. 2022)

Keskeistä pk-yrityksen näkökulmasta on myös, että tuotannonohjausjärjestelmä vastaa mahdollisimman pitkään yrityksen tarpeisiin. Toimittaja kannattaakin valita siten, että järjestelmän laajentaminen tulevaisuuden tarpeisiin, mikäli yrityksen liiketoiminta kasvaa. Tämä laajentaminen tarkoittaa uusien tietojärjestelmien ja tuotantolaitteiden integrointimahdollisuutta myös jatkossa. Lisäksi kannattaa selvittää tulevien järjestelmäpäivitysten suorittaminen MES-järjestelmään, jotta se pysyy arvokkaana myös jatkossa. Pk-yritysten kohdalla järjestelmän päivittäminen tulee tapahtua mielellään toimittajan aloitteesta, koska pk-yrityksen ulkoistettu it-tuki ei yleensä huolehdi yrityksen tietojärjestelmistä toisin kuin suurissa yrityksissä, joissa oma it-tuki pitää huolen myös järjestelmien ajantasaisuudesta. (Dutta et al. 2022)

## 6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli selvittää, miten lähtötilaselvitys ja vaatimusmäärittely tehdään tuotannonohjausjärjestelmän hankintaprosessissa pienissä ja keskisuurissa kappalevarateollisuuden yrityksissä. Työssä keskityttiin etenkin MES-järjestelmän hankintaan. Aihetta tarkasteltiin kirjallisuuskatsauksen muodossa pyrkien muodostamaan kokonaiskuva lähtöselvityksestä ja vaatimusmäärittelystä tällaisessa järjestelmähankinnassa.

Tuotannonohjausjärjestelmä MES on tietojärjestelmä, jolla hallitaan tuotantoprosessia ja raportoidaan tuotantotilausten etenemistä reaaliajassa. Sen vahvuus on reaaliaikaisen tuotantotiedon kerääminen yhteen paikkaan kaikkien yrityksen toimintojen käytettäväksi. Sujuva tiedonhallinta yrityksen sisällä hyödyttää tuotannon johtamisen ja kehittämisen lisäksi myös lattiataason työntekijöitä, koska myös he näkevät miten vuorossa on suoriuduttu ja tietävät mitä tuotantotilauksia tehdään seuraavaksi. Näin koko yrityksen toiminta on läpinäkyvämpää kaikille työntekijöille.

Ensimmäinen tutkimuskysymys K1 oli "Millaisia vaiheita MES-järjestelmän hankintaprosessissa on?". MES-järjestelmän hankintaprosessi koostuu selkeistä vaiheista, jotka tulee suorittaa huolellisesti onnistuneen järjestelmähankinnan saavuttamiseksi. Aluksi tulee selvittää yrityksen lähtötila, josta järjestelmää lähdetään hankkimaan. Lähtötilaselvityksessä pyritään kartoittamaan, millaiset edellytykset ja valmiudet yrityksellä on hankkia MES-järjestelmä. Tämän selvityksen pohjalta voidaan suorittaa vaatimusmäärittely eli pohtia millaiseen tilanteeseen uuden järjestelmän myötä yritys haluaa. Vaatimusmäärittelyssä pohditaan, miten yrityksen toiminta halutaan uuden järjestelmän myötä tehdä niin, että se olisi mahdollisimman tehokasta ja tuottavaa. Tässä vaiheessa yrityksen ja järjestelmätoimittajan tulee molempien olla selvillä, millaisia vaatimuksia MES-järjestelmälle on, jotta se vastaa yrityksen tarpeita. Seuraava vaihe on järjestelmän konfigurointi, rakentaminen ja testaaminen. Tässä vaiheessa järjestelmätoimittaja räätälöi järjestelmän ominaisuudet asiakasyrityksen vaatimusten mukaisiksi ja lopuksi hyväksyttää järjestelmän toiminnan asiakasyrityksellä. Tämän vaiheen jälkeen alkaa käyttöönotto, jossa järjestelmää aletaan ottaa tuotantokäyttöön portaittain. Tässä vaiheessa myös henkilökuntaa koulutetaan käyttämään järjestelmää mahdollisimman itsenäisesti tulevaisuudessa. Viimeinen hankintaprosessin vaihe on todellinen tuotantokäyttö, jossa MES-järjestelmä on käytössä kokonaisuudessaan suunnitellussa mittakaavassa. Tässä kohtaa toimittaja ja asiakasyritys loppuarvion investoinnin onnistumisesta ja vaatimusten täyttymisestä.



Hankintaprosessin osalta tulokset vaikuttavat relevanteilta. Esitetty hankintaprosessi on yksinkertainen, mutta varmasti senkin kautta päästäisiin hyviin tuloksiin. Hankintaprosessin pienelle huomiolle jätettiin järjestelmätoimittajan valinta. Valinta oletettiin olevan tehty ennen prosessin käynnistämistä, mutta todellisuudessa toimittajien kilpailuttaminen olisi työläs projekti.

Toinen tutkimuskysymys K2 oli ”Miten MES-järjestelmän hankintaprosessin lähtötilaselvitys tehdään pk-yrityksissä?”. Lähtötilaselvitys tehdään niin, että hankintaprosessia varten muodostettu tiimi kokoontuu muodostaakseen yhtenevän käsityksen yrityksen nykytilasta etenkin tuotannonohjauksen näkökulmasta. Selvityksen tuloksena tulisi olla selkeä tuotantoprosessikaavio, josta käy ilmi tilauksen reitti tuotannon läpi aina valmiin tuotteen toimitukseen saakka. Yrityksen lähtötilaselvityksessä siis kartoittaa, tukeeko yrityksen toiminta MES-järjestelmän hankintaa eli onko tuotannon infrastruktuuri tarpeeksi ajantasaista välittämään tietoa MES-järjestelmään. Tuotannon koneiden ja laitteiden tulee olla tarpeeksi uusia, jotta niiden liittäminen järjestelmään on järkevää. Lisäksi yrityksen tulee tiedostaa, tekevätkö he MES-toimintoja tällä hetkellä joillakin muilla keinoilla ja miten nämä keinot toimivat tällä hetkellä. Muiden tietojärjestelmien integrointimahdollisuudet tulee myös kartoittaa tässä vaiheessa. Lähtötilaselvitys pk-yrityksissä on siis melko yksinkertainen vaihe hankintaprosessia, jossa selvitetään valmiudet järjestelmähankinnalle.

Lähtötilaselvityksen osalta tulokset jäivät huonoiksi, koska selkeitä menetelmiä lähtötilaselvityksen suorittamiseen ei löydetty. Tavoitteita kyllä onnistuttiin listaamaan, mutta menetelmät jäivät vähäisiksi. Siksi tuloksia tuleekin tarkastella kriittisesti.

Kolmas tutkimuskysymys K3 oli ”Millaisia vaatimuksia pk-yrityksillä on MES-järjestelmän hankinnalle?”. Vaatimuskartoitusta varten on standardissa SFS-EN 62264 määritelty kattava toimintamalli, joka tarjoaa viitekehyksen MES:n toiminnoille. Siinä esitellään kahdeksan toimintoryhmää, jotka kattavat päätoiminnot MES-järjestelmälle. Toimintamallia kohta kohdalta läpikäymällä yritys voi verrata omaa toimintaansa tähän toimintamalliin ja muodostaa siten vaatimuksia hankittavalle järjestelmälle. Tämä toimintamalli toimiikin melko pohjana vaatimusmäärittelylle, jonka pohjalta järjestelmää voidaan alkaa konseptoida ja rakentamaan.

Pelkkä standardiin pohjautuva vaatimuskartoitus ei yleensä palvele pk-yrityksiä täysin, koska niiden tarpeet poikkeavat osin suurempien yritysten vaatimuksista. Nämä erot johtuvat pienemmistä resursseista sekä erilaisesta henkilöstörakenteesta. Merkittävimminä eroina ovat pk-yritysten vaatima joustavuus tietojärjestelmissään, mikä tarkoittaa nopeiden muutosten tekemisen mahdollisuutta työjonoihin ja tuotantoreitteihin.

Nämä nopeat muutokset voivat johtua tuotantokapasiteetin muutoksista, kuten laiterikoista tai kiireellisistä toimituksista. Toinen pk-yritykselle tyypillinen vaatimus on investoinnin kestävyys ja mukautuvuus yrityksen tarpeisiin myös jatkossa. MES-järjestelmän tulee pystyä skaalautumaan yrityksen tarpeisiin myös sen kasvaessa tulevaisuudessa uusien tuotantolaitteiden ja tietojärjestelmien. Toimittajan tulee mahdollistaa sujuvat järjestelmäpäivitykset pitkäksi aikaa, jotta pk-yrityksen investointi ei mene hukkaan.

Vaatimuskartoituksen osalta tulokset olivat kohtalaisia, joskin yksiselitteisiä vaatimuksia, jotka pätsivät vain pk-yrityksille, on vaikeaa listata. Luvussa 5.2 Pk-yritykselle listatut vaatimukset sopivat myös isommille yrityksille. Vaatimusten priorisointi riippuu paljon yrityksestä, joten tarkempi rajaus vain tiettyyn yritykseen tuottaisi tarkempia ja käyttökelpoisempia tuloksia. Jatkotutkimuksia voisi siis tehdä keskittyen yhteen yritykseen ja kartoittaen vaatimuksia perehtymällä tuotantoprosessiin ja haastattelemalla yrityksen työntekijöitä.

## LÄHTEET

- Anisimov, D.E. & Reshetnikov, I.S. (2011). "Management aspects in MES implementation projects," *Automation and remote control*, vol.72(6), pp. 1319–1332. doi:10.1134/S0005117911060208
- Chen, X., Nophut, C. & Voigt, T. (2020). "Manufacturing execution systems for the food and beverage industry: A model-driven approach," *Electronics (Basel)*, vol.9(12), pp. 1–21. doi:10.3390/electronics9122040
- Dutta, G., Kumar, R., Sindhwani, R. & Singh, R.K. (2022). "Overcoming the barriers of effective implementation of manufacturing execution system in pursuit of smart manufacturing in SMEs," *Procedia computer science*, vol.200, pp. 820–832. doi:10.1016/j.procs.2022.01.279
- Erkayman, B. (2019). "Transition to a JIT production system through ERP implementation: a case from the automotive industry," *International journal of production research*, vol.57(17), pp. 5467–5477. doi:10.1080/00207543.2018.1527048
- Gao, X., Zhang, R., Zhang, Y. & Jing, S. (2012). "Research Focus on MES Oriented Communication among Enterprise Informatization System," in *2012 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference*. IEEE, pp. 365–368. doi:10.1109/APSCC.2012.72
- Govindaraju, R. & Putra, K. (2016). "A methodology for Manufacturing Execution Systems (MES) implementation," *IOP conference series. Materials Science and Engineering*, vol. 114(1), pp. 12094–12103. doi:10.1088/1757-899X/114/1/012094
- Holweg, M., Davies, J., De Meyer, A., Lawson, B. & Schmenner, R. (2018). *Process Theory*. Oxford University Press, Oxford
- Iravani, S.M.R., Liu, T. & Simchi-Levi, D. (2012). "Optimal Production and Admission Policies in Make-to-Stock/Make-to-Order Manufacturing Systems," *Production and operations management*, vol. 21(2), pp. 224–235. doi:10.1111/j.1937-5956.2011.01260.x
- Jaskó, S., Skrop, A., Holczinger, T., Chován, T. & Abonyi, J. (2020). "Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard- and ontology-based methodologies and tools," *Computers in industry*, vol.123, p. 103300. doi:10.1016/j.compind.2020.103300
- Järvenpää, E. & Lanz, M. (2014). "LeanMES: Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus suomalaisissa valmistavan teollisuuden yrityksissä – Nykytila, haasteet ja tarpeet,"

Stoori. Saatavissa (viitattu 7.2.2022): <https://research.tuni.fi/uploads/2019/05/31946714-leanmes-tuotannonsuunnittelu-ja-ohjaus-suomalaisissa-yrityksiss-julkinen-final-1.pdf>

Knight, J. & Lamb, S. (2006). *Selecting and using a manufacturing execution system, Medical Device and Diagnostic Industry*. Saatavissa (viitattu 10.2.2022): <https://www.mddionline.com/news/selecting-and-using-manufacturing-execution-system>

Kucharska, E., Grobler-Dębska, K., Gracel, J. & Jagodziński, M. (2015). "Idea of Impact of ERP-APS-MES Systems Integration on the Effectiveness of Decision Making Process in Manufacturing Companies," in *Beyond Databases, Architectures and Structures*. Cham: Springer International Publishing (Communications in Computer and Information Science), pp. 551–564. doi:10.1007/978-3-319-18422-7\_49

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. and Torvinen, S. (1997). *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*. WSOY, Porvoo

Lee, S.M., Hong, S.G, Katerattanakul, P. & Kim, N.R. (2012). "Successful implementations of MES in Korean manufacturing SMEs: an empirical study," *International journal of production research*, vol.50(7), pp. 1942–1954. doi:10.1080/00207543.2011.561374

Luo, F. (2010). "Manufacturing execution system design and implementation," in *2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology*. IEEE, pp. V6-559-V6-562. doi:10.1109/ICCET.2010.5486065

Meyer, H. (2009). "Manufacturing execution systems optimal design, planning, and deployment." Edited by F. Fuchs, K. Thiel, and H. Meyer. New York: McGraw-Hill.

Naslund, D. (2008). "Lean, six sigma and lean sigma: fads or real process improvement methods?" *Business process management journal*, vol.14(3), pp. 269–287. doi:10.1108/14637150810876634

Sanders, A., Elangeswaran, C. and Wulfsberg, J. (2016). "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing," *Journal of industrial engineering and management*, vol.9(3), pp. 811–833. doi:10.3926/jiem.1940

SFS-EN 62264-1 (2013). "Enterprise-control system integration - Part 1: Models and terminology." Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki.

SFS-EN 62264-3 (2017). "Enterprise-control system integration. Part 3: Activity models of manufacturing operations management." Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki.

Stevenson, W.J. (2018). "Operations management." McGraw Hill, New York

Vasilev, P. (2021). "IEC/EN 62264 Augmented Reality Manufacturing Operations Research in the scope of Reference Architecture Model for Industry 4.0," in *2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*. Piscataway: IEEE, pp. 219–222. doi:10.1109/ICAI52893.2021.9639673

Vidoni, M.C. & Vecchietti, A.R. (2015). "A systemic approach to define and characterize Advanced Planning Systems (APS)," *Computers & industrial engineering*, vol.90, pp. 326–338. doi:10.1016/j.cie.2015.10.006

Zaerpour, N., Rabbani, M., Gharehgozli, A.H. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2008). "Make-to-order or make-to-stock decision by a novel hybrid approach," *Advanced engineering informatics*, vol.22(2), pp. 186–201. doi:10.1016/j.aei.2007.10.002