

Sami Rintamäki

# TUOTANNON JA TUOTESUUNNITTE- LUN INTEGROINNIN MENETELMIÄ

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Maaliskuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Sami Rintamäki: Tuotannon ja tuotesuunnittelun integroinnin menetelmiä

Tampereen yliopisto

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2021

---

Tuotekehitysajat ovat kansainvälisen kilpailun kautta lyhentyneet ja kilpailu on johtanut kustannustehokkaiden suunnitteluratkaisujen kysyntään. Tässä työssä käsitellään menetelmiä, jotka tarjoavat näkökulmia kilpailukykyiseen tuotekehitykseen, tuotannonohjaukseen ja liike-toimintaan. Työssä tarkastellaan menetelmiä Design for Assembly (lyhyesti DFA), modulointi ja Manufacturing Execution System (lyhyesti MES). Ensimmäisessä luvussa annetaan lyhyt johdanto näihin menetelmiin, toisessa luvussa selvennetään menetelmien taustaa kirjallisuustutkimuksen tuloksien perusteella ja kolmannessa luvussa menetelmistä on otettu esimerkkejä eri teollisuudenalojen käyttökohteista ja arvioitu näiden menetelmien hyödyllisyyttä. Viimeisessä kappaleessa kerrataan tämän kandidaatintyön teoria ja tulokset tiivistetysti.

DFA perustuu tuotteiden suunnittelemiseen siten, että niiden kokoonpanemiseen kuluu mahdollisimman vähän aikaa ja resursseja. Oleellisena osana on tuotteen kokoonpanemiseen tarvittavien osien vähentäminen sekä selkeän kokoonpanojärjestyksen luominen. Tämän menetelmän avulla onkin pystytty vähentämään tuotteiden osien kokonaismäärää ja hintaa, kuten kolmannessa luvussa esitetyn DFA-analysoidun nitojan tapauksessa pystyttiin tekemään.

Moduloinnissa keskitytään jakamaan tuote pienempiin itsenäisiin osakokonaisuuksiin, joita kutsutaan moduuleiksi. Tämä tapahtuu muun muassa tuotearkkitehtuurin ja moduulien rajapintojen välisellä analysoinnilla. Tämän menetelmän avulla on pystytty laajentamaan yritysten tuotevalikoimaa. Esimerkiksi sähkötyökaluyritys on pystynyt akkujen modulaarisella suunnittelulla laajentamaan omaa tuotevalikoimaansa eri tuotteissa olevien samanlaisten rajapintojen avulla.

MES on tuotannonohjaukseen liittyvä sovellus, jossa hyödynnetään tuotannosta saatavaa dataa esimerkiksi työvaiheiden toteutumisaajoista tai koneistamisajoista. Tätä tietoa hyödynnetään tietokoneavusteisen suunnittelun avulla tehokkaampien tuotantolaitosten suunnittelussa. Tämän järjestelmän käyttöönotolla on pystytty parantamaan ajantasaista tuotannonseurantaa, välttämään tuotannon pullonkauloja ja helpottamaan tuotannon automatisointia.

Avainsanat: Design for Assembly, Modulointi, tuotearkkitehtuuri, tuoteperheet, Manufacturing Execution System, tuotannonohjaus

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	4
2. TEOREETTINEN TAUSTA.....	5
2.1 Tutkimusmenetelmät ja aineisto .....	5
2.2 Design for Assembly .....	5
2.2.1 Design for Assembly teoriaa.....	6
2.2.2 Integroitu tuotekehitys DFA-menetelmän näkökulmasta.....	6
2.2.3 Yhteenveto Design for Assemblystä.....	8
2.3 Modulointi.....	8
2.3.1 Moduloinnin teoriaa.....	8
2.3.2 Tuotealustat ja -arkkitehtuuri .....	9
2.3.3 Konfigurointi ja tuoteperheet.....	10
2.3.4 Yhteenveto moduloinnista .....	11
2.4 Manufacturing Execution System, MES.....	11
2.4.1 MES teoriaa .....	12
2.4.2 MES-järjestelmä tuotannonohjauksessa .....	12
2.4.3 Yhteenveto MES-järjestelmistä .....	14
3. MENETELMIEN KÄYTTÖKOHTEET TEOLLISUUDESSA JA TULOSTEN TARKASTELU .....	15
3.1 Design for Assembly: nitoja .....	15
3.2 Modulointi: sähkötyökalut .....	17
3.3 MES: ympäristönhoitokoneet.....	19
3.4 Päätelmät.....	20
4. YHTEENVETO.....	22
LÄHTEET .....	23

# 1. JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on selventää konetekniikan kandidaattiopiskelijalle, että mitä tarkoittaa asiat ”Design for Assembly”, Modulointi ja ”Manufacturing Execution System” tuotannossa ja tuotekehityksessä. Työ on jaettu näitä menetelmiä käsitteleviin lukuihin, joissa käydään läpi menetelmien teoriaa ja niiden yhdistämistä tuotantoon. Teoriaosuuden jälkeen menetelmien käyttöönottoa havainnollistetaan esimerkein teollisuudenalojen käyttökohteissa. Näillä menetelmillä saavutetut tulokset esitetään tuloksia käsittelevän kappaleen lopussa. Työn lopussa on yhteenveto koko työssä käsitellyistä asioista.

”Design for Assembly” –menetelmässä perehdytään kokoonpanoa avustavaan suunnitteluun. Tämän menetelmän tarkoitus on turhien osien poistaminen suunnitelluista tuotteista ja mahdollisimman vähän aikaa vievän kokoonpanon mahdollistaminen. Kokoonpanossa oleellisia tekijöitä ovat myös kokoonpanosuunnat, kappaleen kääntelykerrat ja kokoonpantavien elementtien symmetria. Kokoonpanon helpottumista perustellaan myös taloudellisista syistä.

Modulointia käsittelevässä kappaleessa perehdytään tuotteen jakamiseen pienempiin osiin, joilla on oma selkeä käyttötarkoituksensa. Tuotteen jakaminen osiin saattaa helpottaa tuotannon ongelmia, sillä samanaikainen tuotanto selkeän elementtijaon avulla voidaan tehdä mahdolliseksi. Tuotteen jakaminen osiin voi myös laajentaa tuotevalikoimaa, joka voi olla merkittävä kilpailutekijä tuotteen myynnissä. Moduloinnin avulla tuotteesta voidaan myös tehdä helpompi kokoonpanna ja helpottaa automaation liittämistä tuotantoon. Moduloinnilla voidaan myös standardisoida tietyt rakenteita tuotteissa, johon erilliset osakokonaisuudet liitetään yhteisten rajapintojen kautta. Tämänlainen yhteinen alusta voi olla kustannustehokas tapa suunnitella tuotteita, sillä tällä tavalla säästetään jokaisen tuotteen erilliseltä suunnittelulta.

”Manufacturing Execution System” -tietojärjestelmää käsittelevässä kappaleessa perehdytään tuotannossa tapahtuvaan tiedon kulkuun. Tiedon kulkemisen hitaudesta voi aiheutua ongelmia tuotantoon, joita tällä tietojärjestelmällä pyritään ennaltaehkäisemään. Tämän järjestelmän avulla tuotannon työntekijät saavat oikeaa tietoa oikeaan aikaan ja pystyvät suorittamaan työtehtävänsä ongelmitta. Tietojärjestelmän avulla pyritään helpottamaan ajantasaista tiedonkulkua tuotannon prosesseista. Järjestelmä on yleisesti tietokoneohjelmaan perustuva, joten sähköisellä kirjauksella voidaan nopeuttaa paperilappuihin perustuvaa kirjautamista. Tämän tietojärjestelmän avulla voidaan myös automatisoida joitakin prosesseja ja valvomaan niiden toiminnan parametreja.

## 2. TEOREETTINEN TAUSTA

Tässä osiossa käsitellään tuotesuunnittelun ja tuotannon integroinnin menetelmiä kirjallisuustutkimuksen avulla useaan eri lähteeseen perehtyen. Tämä työ rajataan kolmen erillisen aiheen käsittelyyn, jotka ovat ”Design for Assembly” eli DFA, modulointi ja ”Manufacturing Execution System” eli MES.

### 2.1 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Tutkimus tehtiin käyttämällä Tampereen yliopiston Andor-tietokannasta löytyviä artikkeleita ja yliopiston kirjastosta lainattuja diplomitoita työhön liittyvistä aiheista. Diplomitoista on otettu muutama käytännön esimerkki menetelmien käytöstä. Kirjallisuustutkielmassa kerättiin tietoa monista eri aiheeseen liittyvistä lähteistä ja koottiin yhteneväiset tiedot järjestetyssä muodossa ylös kandidaatintyön sivuille. Aluksi tutustuttiin tutkimusaineistoon teorian pohjalta ja sen jälkeen etsittiin menetelmien käytöstä esimerkkejä, joita on otettu käyttöön teollisuudessa. Teorian ja käytännön esimerkkien avulla tehtiin päätelmiä menetelmien soveltuvuudesta tuotesuunnittelun ja tuotannon integrointiin ja niistä tehtiin yhteenveto.

### 2.2 Design for Assembly

Nykytuotannon tuotteita rakennetaan suuremmalla osamäärällä ja tuotannon monimutkaisuudella kuin on tarve, joka voi johtaa tuotteen suurempiin kokonaiskustannuksiin (Favi et al. 2012), (Dalgeish et al. 2000), (Moultrie et al. 2014). Tähän ongelmaan on kehitetty menetelmä ”Design for Assembly”, jolla voidaan helpottaa monimutkaisten tuotteiden kokoonpanoa vähentämällä muun muassa kokoonpanemiseen tarvittavia osia ja kääntelykertoja. (Moultrie et al. 2014)

Tuotteiden liiallinen kääntely kokoonpanemisen aikana on usein turhaa, jonka takia kokoonpano suunnitellaan tehtäväksi mahdollisimman vähistä ja yksinkertaisista suunnista. DFA-menetelmällä saavutetaan taloudellista hyötyä, sillä menetelmän avulla voidaan merkittävästi vähentää kokoonpanettavan tuotteen osien määrää, materiaaleja ja kokoonpanoon kuluva aikaa johtaen tuotteen alhaisempiin kokonaiskustannuksiin (Favi et al. 2012). Menetelmässä käytetään hyväksi materiaalien joustoja ja esimerkiksi ruuviliitokset voidaan korvata joustavien muoviosien napsautusliitoksilla vähentäen tuotteen osien kokonaismäärää.

DFA-menetelmän kokonaisvaltaiseen hyödyntämiseen on tehtävä yhteistyötä organisaation eri osastojen, kuten myynti, tuotanto, laatu, alihankkijat ja tuotesuunnittelun kanssa.

Yhteistyö voi lyhentää tuotteen markkinoille pääsemiseen kuluvaan aikaan, sillä useille eri osastoille siirtyviä ongelmia tuotesuunnittelusta voidaan vähentää huomattavasti aikaisen kommunikation myötä eikä vasta sitten, kun ongelmat ilmenevät. (Siuko 1991)

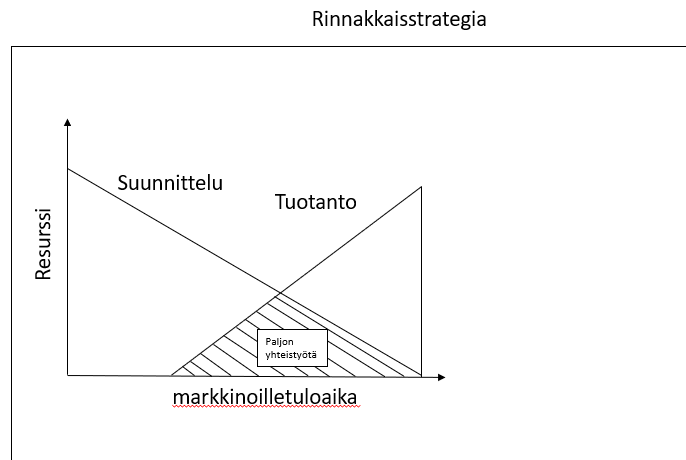
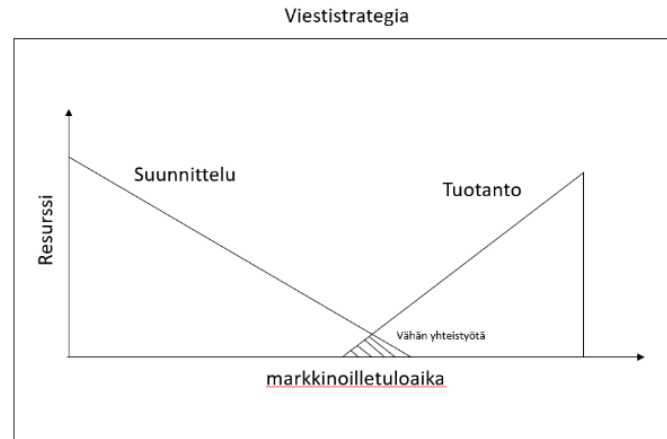
### **2.2.1 Design for Assembly teoriaa**

Design for Assembly on jo 1980-luvulta asti käytössä ollut menetelmä, jota käytetään monien suurien toimialojen tuotantoprosessien helpottamiseksi kokoonpanon yksinkertaistamisen avulla. DFA-menetelmän avulla kokoonpanojen osien määrää voidaan pienentää ja tuotantoprosesseja voidaan tehdä tehokkaammiksi. (Favi et al. 2012)

DFA:ta käytetään muun muassa CAD-ohjelmien kanssa yhdessä, jolloin suunnittelijat pääsevät suunnittelemaan osia ensin kokoonpanon osalta ja vasta sen jälkeen yksityiskohtaisen mallintamisen osalta. Tietotekniikan kehitys on johtanut siihen, että tietokoneohjelmat pystyvät rajallisesti avustamaan CAD-mallintajaa geometrian avulla. Esimerkiksi osat, jotka voitaisiin eliminoida, voidaan tunnistaa tietokoneohjelman avulla ja poistaa (Dalgeish et al. 2000). Konkreettisia keinoja implementoida DFA:ta ovat standardointi, tolerointi ja uudelleensuunnittelu. Suunnittelun toimet keskittyvät enemmän tuoterakenteeseen ja tuotannon virtausnopeuteen. Tehtaan suunnitteluun voi vaikuttaa myös tuotantoprosessien kehittäminen, esim. automaatio tuotteiden orientoimiseksi. Tuotantoaikoja voidaankin vähentää tämän menetelmän avulla. (Dalgeish et al. 2000), (Moultrie et al. 2014)

### **2.2.2 Integroitu tuotekehitys DFA-menetelmän näkökulmasta**

Teollisuudessa toimivan tuotanto-organisaation eri osastojen yhteistyötä kasvattamalla eli integroinnilla pyritään ratkaisemaan yrityksen eri osastojen välille muodostuvia ongelmia muun muassa suunnittelussa, valmistuksessa, huolto- ja kunnossapitotoiminnassa ja taloudessa (Whitney 2004, s. 317), (Siuko 1991, s. 27–30). Tuotteeseen liittyvien ongelmien huomioonottaminen voi tapahtua liian myöhään tuotekehitysprosessissa, jolloin niiden ratkaiseminen on vaikeampaa ja kalliimpaa kuin tuotekehitysvaiheen alkupuolella. Tämän takia DFA-menetelmä toimii parhaiten, kun se otetaan käyttöön tuotekehityksen alkuvaiheilla (Siuko 1991, s. 28)



Kuva 1: Suunnittelun ja tuotannon yhteistyön vaikutus markkinoilletuloaikaan perustuen Siuko (1991, s. 29) kuvaan 9.

Kuvassa 1, nähdään suunnitteluosaston ja tuotanto-osaston yhteistyön vaikutus markkinoilletuloaikaan. Yhteistyön ollessa vähissä, ongelmia ilmenee ja markkinoilletuloaika kasvaa. Kun yhteistyötä on paljon, markkinoilletuloaika vähenee ennakoitujen ongelmien välttämisen seurauksena. Favi et. al. (2012) mukaan suurin osa tuotteen elinkaaren kokonaiskustannuksista määräytyy suunnitteluvaiheessa, joten suunnitteluvaiheeseen panostaminen on perusteltua.

Kokoonpanemisen suunnittelua voidaan tehostaa parantamalla työohjeita liittämällä ne kokoonpantaviin kappaleisiin ja alikokoonpanoihin tuotteiden kokoonpanomahdollisuuksia rajaamalla. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi fyysisten esteiden lisäämisen avulla ei-haluttuihin asentamismahdollisuuksiin ja visuaalisten vihjeiden liittämällä haluttuihin asennuskohtiin. Epäselvästi dokumentoidut ja erilliset työohjeet saattavat johtaa ohjeiden noudattamattomuuteen manuaalisen kokoonpanon työntekijöiden toimesta ja systemaattiseen virheelliseen toimintaan, sillä huomion keskittäminen osiin ja työohjeisiin erillisinä kappaleina vaatii enemmän keskittymistä kuin osien asentaminen osiin liitettyjen ohjeiden kanssa. (Permantier et al. 2019)

## 2.2.3 Yhteenveto Design for Assemblystä

Design for Assembly on menetelmä, jossa turhien osien määrää pyritään vähentämään. Tämä johtaa tuotteen kustannustehokkaampaan kokoonpanoon, sillä yleisesti materiaalia säästetään ja kokoonpaneminen on nopeampaa. Menetelmän kokonaisvaltainen hyödyntäminen vaatii monien eri yrityksen osastojen yhteistyötä, sillä tuoterakenteen muuttaminen muuttaa koko tuotekehitysketjua. Näin ollen muun muassa markkinointi-, suunnittelu- ja tuotanto-osastot ovat osa tämän menetelmän täysivaltaista hyödyntämistä. Eri yritysten osastojen välinen yhteistyö voi vähentää aikaa, joka kuluu tuotteen kehittämisestä markkinoille tuloon, sillä tiiviimmässä kommunikaatiossa mahdolliset tuotanto- tai muut ongelmat voidaan välttää etukäteen eikä vasta silloin, kun ne ilmenevät.

## 2.3 Modulointi

Moduloinnissa tuote jaetaan pienemmiksi osakokonaisuuksiksi, joita kutsutaan moduuleiksi. Pienempiin osakokonaisuuksiin jakaminen voi olla perusteltua monesta syystä. Tuotantopaikan layout voi johtaa siihen, että eri työvaiheissa esimerkiksi mekaaninen ja sähköinen kokoonpano voivat olla toistensa tiellä ja näin ollen näiden kahden osakokonaisuuden erittely voi mahdollistaa yhtäaikaisen tuotannon sekä mekaanisessa, että sähköisessä asennustyössä. Myös jotkin tuotteet voivat olla niin samankaltaisia, että on halvempaa hyödyntää jo suunniteltua tuotealustaa ja lisätä tähän yhteiseen rajapintaan uusi moduuli kuin suunnitella kokonaan uutta tuotetta. Lisäksi modulointi voi standardisoida jonkin tuotteen alikokoonpanon, jolloin sen kokoonpaneminen eri tuotevariaatioiden välillä on helppoa. Moduloinnin hyödyt saadaan tuotevariaation laajentamisesta, jonka avulla olemassa olevaa tuotearkkitehtuuria pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon.

### 2.3.1 Moduloinnin teoriaa

Pakkanen (2015) käsittelee moduloinnin määritelmää seuraavalla tavalla. Modulointi tähtää tuotevariaation luomiseen asiakasnäkökulmasta siten, että se vähentää monimutkaisuutta yrityksen toiminnassa. Sen lisäksi samankaltaisia ominaisuuksia tuotteiden välillä, kuten rakenneominaisuuksia, pyritään hyödyntämään. Modulointi sisältää moduulien suunnittelemisen, modulaarisen arkkitehtuurin ja näistä saatavien hyötyjen keräämisen optimaalisten olosuhteiden luomisen avulla. Moduloinnissa hyödynnetään siis tuotevariaatiosta saatavia hyötyjä olemassa olevien ratkaisujen avulla. Oleellinen osa modulointia on hyödyllisten moduulien kehittäminen, joka tuo modulaariselle tuotteelle lisäarvoa. Pakkanen (2015) työssä tarkennetaan



moduulin määritelmää. Määritelmä osoittaa, että moduuli on kokonaisuus, jolla on funktionaalista tai toimielimien näkökulmasta tietyt toiminnot ja halutut ominaisuudet siten, että rajapinnat ja vuorovaikutukset muiden kokonaisuuksien kanssa tekevät siitä osan tuoterakennetta. Toisin sanoen moduuli on vaatimusten mukaan varioituva osa tuotetta, joka on itsenäinen osa tuoterakennetta. Sillä on tietty rajapinta, johon se liitetään koko tuotteen suhteessa. Pakkanen (2015) ja Salontisin (2014) mukaan moduloinnilla voidaan konfiguroida tuotetta erilaisiin käyttötarkoituksiin, joka johtaa tuotevariaation lisääntymiseen.

Moduloinnin avulla sovitaan yhteen monimutkaisia prosesseja ja tuotteita. Salontis (2014) ja Pakkanen (2015) esittävät, että tuotteen rajapintojen hyvällä suunnittelulla voidaan tehdä asiakasräätälöintiä paremmin kuin moduloimattomissa tuotteissa, joka helpottaa myös automaatiojärjestelmien liittämistä tuotantoon. Favi et al. (2012) mukaan komponenttien välisten rajapintojen avulla voidaan myös muodostaa tuotantokaavio. Modulaarinen tuotesuunnittelu ja yksinkertaiset rajapinnat mahdollistavat siis järjestelmällisen tuotantotavan monimutkaisen tuotteen kokoonpanemiselle.

### **2.3.2 Tuotealustat ja -arkkitehtuuri**

Tuotealustat ovat uudelleenkäytettyjä tuoterakenteita, joita voidaan hyödyntää moduloinnissa. Tuotealustojen suunnittelemisella on etuna halvempi hinta, sillä tuotealustoja käytettäessä kaikkia osia ei tarvitse suunnitella alusta alkaen uudelleen. Tuotealustat oikein suunniteltuina mahdollistavat tuotevariaation, jolloin ne tuottavat lisäarvoa. Huonosti suunniteltuina ne voivat toisaalta hidastaa yrityksen kehitystä, sillä innovointi on vaikeampaa muuttumattomalle alustalle.

Modulaarinen tuote omaa siis moduuleja. Modulaarisen tuotteen vastakohta eli integraalinen tuote on myös tärkeä vertailukohta, kun puhutaan modulaarisista tuotteista. Whitney (2004, s. 345) mukaan integraalisen ja modulaarisen tuotteen erot ilmenevät toiminnallisten elementtien riippumattomuuden asteesta toisiinsa nähden. Elementtien riippumattomuuden kasvaessa voidaan puhua modulaarisista tuotteista, kun taas riippuvuuden kasvaessa puhutaan integraalisesta tuotteesta. Esimerkiksi täysin modulaarisessa tuotteessa jokainen toiminto ja alitoiminto olisivat liitetty yhteen fyysiseen elementtiin, kun taas täysin integraalisessa tuotteessa olisi vain yksi fyysinen osa, joka toteuttaisi kaikki toiminnot (Whitney 2004, s. 345). Mitä enemmän rakenteessa on uniikkeja osia, sitä huonompi tuotetta on moduloida. Uniikit osat teettävät enemmän suunnittelutyötä ja ovat kalliimpia toteuttaa kuin standardoidut modulaariset rakenteet. Konfiguroitavaan tuotteen suunnittelun tarvitaan tietoa asiakkaalta, joka perustuu modulaarisen tuotteen vaatimuksiin.

### 2.3.3 Konfigurointi ja tuoteperheet

Pakkasen (2015) mukaan modulaarisia tuotteita usein tehdään tuoteperheissä, joissa asiakkaalle tarjotaan erilaisia vaihtoehtoja samasta tuotteesta. Tuoteperheen tarkoituksena on yrityksen strateginen kilpailuedun tavoittelu modulointiin investoinnilla. Yrityksen näkökannasta modulointi on järkevää ottaa käyttöön ainoastaan tietyissä tilanteissa. Tilanteita hahmottamaan on käytetty muun muassa ”Company Strategic Landscape” -karttaa, jossa sekä modulaaristen tuotteiden, että liiketoimintaympäristön näkökulmat otetaan huomioon. Moduloinnissa on erityisen tärkeää, että mitä tietyllä moduulilla pyritään saavuttamaan. Yksi jakotapa on erotella moduulit niiden funktioiden ja alafunktioiden avulla. Tämän avulla saadaan määritettyä järkeviä rajapintoja, joihin moduulit kiinnitetään. (Pakkanen 2015)

Konfiguroinnilla tarkoitetaan erilaisiin asiakasvaatimukseen vastaamista oikeanlaisilla tuoterakennevalinnoilla. Yksittäinen tuoterakennevalinta muodostaa konfiguraation ja kaikki tuotevalinnat yhdessä muodostavat tuoteperheen. Pakkasen (2015) työssä konfiguraatio määritetään olevan itsenäinen tuote, joka on osa tuoteperhettä. Konfiguraatiot koostuvat ryhmästä komponentteja ja niiden välisistä relaatioista. Yleisesti konfiguraatiot eroavat toisistaan, jolloin konfiguraatio on erityinen asetelma kaikkien mahdollisten asetelmien joukosta. Varianttia voidaan myös käyttää synonyyminä konfiguraatiolle. (Pakkanen 2015) Konfiguraatioiden määrää on yleisesti kuitenkin rajattu. Whitney (2004, s. 360) mukaan konfiguroitavissa tuotteissa on rajoitettu määrä erilaisia vaihtoehtoja jokaiselle moduulille riippuen moduulien yhteen liittämistä. Haasteita voi ilmetä esimerkiksi moduulien kokojen yhteensopimattomuudesta toistensa kanssa. Pakkasen (2015) mukaan konfiguroinnissa tuotevariaatiota voidaan luoda esimerkiksi samanlaisten elementtien määrän vaihtelulla, elementtien tyyppien vaihtamisella, elementtien välisten relaatioiden vaihtamisella tai elementin ominaisuuksia muuttamalla.

Yleisesti konfiguraatiot annetaan asiakkaalle ja asiakas valitsee valikoimasta haluamansa rakennevalinnat. Asiakkaalle voidaan myös tarjota täysin räätälöityä tuotevaihtoehtoa, jolloin rakenteeseen sisältyy paljon uniikkeja osia. Konfiguroinnissa on oleellista se, että eri konfiguraatiot ovat toteutettavissa helposti. Yksi esimerkki tällaisesta on funktionaalinen tuoterakenne, joka moduuleina toteutettuna on helppo ymmärtää. Pakkasen (2015) työssä esitetään, että funktionaalisessa tuoterakenteessa jokainen funktionaalinen elementti on toteutettu yhdellä fyysisellä moduulilla ja näiden moduulien välillä on vain vähän vuorovaikutusta.

### 2.3.4 Yhteenveto moduloinnista

Modulointi on tuotesuunnittelumenetelmä, jossa tuote jaetaan itsenäisiksi osakokonaisuuksiksi, joita kutsutaan moduuleiksi. Näiden moduulien suunnittelulla pystytään vastaamaan muuttuviin asiakastarpeisiin joustavasti, sillä modulaarisen arkkitehtuurin avulla muutokset olemassa olevaan tuotteeseen ovat yksinkertaisempia toteuttaa kuin uuden tuotteen suunnittelussa. Tuotearkkitehtuurin suunnittelussa otetaan huomioon asiakastarpeet ja moduulit suunnitellaan vastaamaan tähän tarpeeseen esimerkiksi funktionaalisen moduulien jakotavan avulla. Modulaarisen suunnittelutavan avulla vanhan tuotearkkitehtuurin kierrättämisellä voidaan saada aikaiseksi kustannustehokkaampia tuotteita ja laajennettua tuotevalikoimaa.

## 2.4 Manufacturing Execution System, MES

MES on tuotannon ohjaamiseen käytetty tietojärjestelmä, jonka avulla ajantasainen tuotantoinformaatio saadaan jaettua oikeille työvaiheille oikeassa järjestyksessä. Kun tuotannon vaiheita seurataan reaaliaikaisesti, on reagoiminen tuotannossa mahdollisesti ilmeneviin ongelmiin nopeaa. Tietojärjestelmän avulla voidaan seurata tuotannon parametreja, kuten tuotannon työvaiheisiin kulunutta aikaa, laatua ja kustannuksia. Tuotannon seuraaminen tarjoaa myös yrityksen johdolle, palkanmaksulle ja asiakkaalle arvioita tuotteen valmistumisen ajankohdasta ja siihen tarvituista kuluista. MES sisältää kokoonpanoon liittyvää tietoa, kuten CAD-kuvia, tuoterakenteita ja osatietoja. Tämän informaation ollessa helposti ja tehokkaasti saatavilla, voidaan tuotannossa varautua jokaiseen projektiin jo etukäteen. Tämän tiedon jakaminen ajantasaisesti jokaiseen tuotantovaiheeseen voi saada tuotannon virtauksesta tehokkaampaa ja säästää aikaa. Jotkin MES-järjestelmät ovat automaattisesti toimivia, mutta esimerkiksi pienempien konepajojen tuotannonohjausjärjestelmät toimivat manuaalisen kirjauksen avulla.

Tuotteiden vaihtelevuus lisääntyy nykymarkkinoilla ja tuotteiden elinkaaret ovat lyhentyneet Uusien tuotteiden kehitystoiminnassa vaaditaan lisää joustavuutta. Oleellinen linkki suunnittelun ja tuotannon välissä on tuotantosuunnittelu. Tuotannonsuunnittelu tulisi aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta mahdollisilta ongelmilta vältyttäisiin käyttöönotto-vaiheessa. Läpinäkyvyys ja jäljitettävyyys ovat merkittäviä tekijöitä useilla teollisuuden aloilla ja MES-järjestelmä voi tarjota ratkaisun näihin vaatimuksiin. Systeemejä, jotka sisältävät suunnittelua, tiedon syöttämistä manuaalisesti ja ohjausta, tarvitaan myös toimivaksi reaaliajassa. Näihin käyttötarkoituksiin on tehty MES, jossa systeemit ohjaavat tuotantoon integroitua informaatiota reaaliaikaisesti ja tarkkailevat laitteiden kuntoa saavuttaakseen ennalta määrätyt tavoitearvot. (Fuchs et al. 2009)

## 2.4.1 MES teoriaa

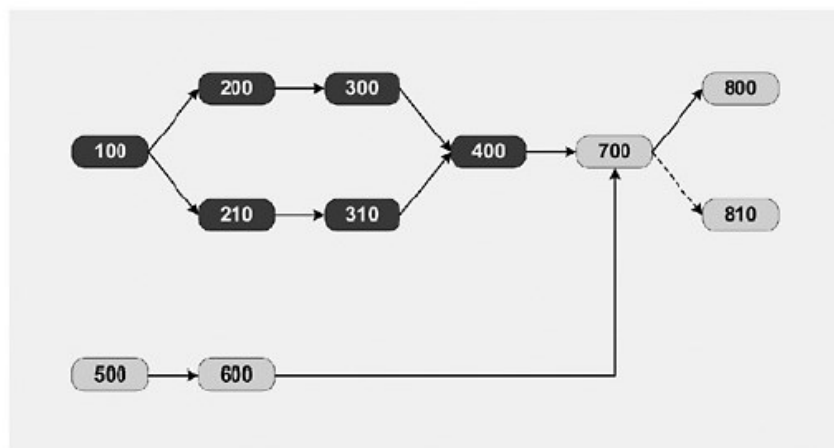
On oletettu, että MES-järjestelmät ovat tulevaisuudessa olennainen osa tehtaiden toimintaa. MES on strateginen työväline, jonka avulla voidaan toteuttaa verkostoitunutta tuotantoa. Kaikki tehtaassa tehtävät kootaan yhteen integroituun tuotealustaan, jonka avulla erillisten IT-työkalujen dataa kerätään samaan paikkaan. (Fuchs et al. 2009, luku 2)

Tuotetiedon keräämisen avulla voidaan kehittää tuotannon virtausta parantavia ratkaisuja ja poistaa turhia työvaiheita. Tuotetiedon keruun avulla suunnittelijoille tarjoutuu uusia työkaluja tuotannonsuunnittelun tehokkaaseen mallintamiseen. Nämä menetelmät perustuvat esimerkiksi CAD-datasta saatavaan kokoonpanojärjestykseen ja geometrisiin rajoitteisiin, joita voidaan optimoida tietokoneavusteisen suunnittelun avulla. Tuotannonsuunnittelussa erityisen tärkeyden saa komponenttien välisten kokoonpanojärjestyksen asettaminen oikein. Uudet datankeräysmenetelmät perustuvat oppimislogiikka- ja luokitustyökaluihin 3D CAD-datan keräämisessä. Datan keräämisen avulla voidaan saada hyödyllistä informaation tuotannon virtauksen mahdollisuuksista ja osien yhteen liittämisen vaihtoehdoista. Datankeruun avulla voidaan ehdottaa vaihtoehtoisia kokoonpanotapoja tai arvioida projektiin kuluva aikaa ja rahaa. Tuotteen sisällä olevien relaatioiden luominen voi olla vaikeaa suunnittelijalle, jonka takia tähän tehtävään on tarjolla relaatioiden tekemiseen tarkoitettuja ohjelmia. Tietokoneohjelmia voidaan käyttää CAD mallinnusohjelmien kanssa, ja niiden avulla voidaan kerätä informaatiota muun muassa vääntömomenteista ja geometrisista riippuvuussuhteista. Tiedot kerätään sähköisesti datankeruujärjestelmään, jossa näkyy materiaalilistat kappaleista tai kokoonpanoista. Suunnittelija voi määrittellä CAD-ohjelmalla kappaleiden välisiä relaatioita, jotka ovat oleellinen osa tuotannon virtauksessa. Dataa voidaan kerätä myös ja yrityksen sisäisistä tietojärjestelmistä, johon voi kuulua esimerkiksi palkkatiedot. Suunnittelija voi piirtää tuotantokaavion, jonka avulla tuotannon relaatioita pystytään määrittämään. (Kretschmer et al. 2017)

## 2.4.2 MES-järjestelmä tuotannonohjauksessa

MES-järjestelmä hyödyntää tuotedataa tuotantovaiheiden ohjauksessa. Tuotantoa pyritään tekemään tehokkaaksi, jolloin virtausmallinen tuotanto on tärkeässä osassa sen onnistumisesta. Virtausta pyritään mallintamaan tuotteen kokoonpanon välisillä relaatioilla, joiden avulla suunnitellaan virtauskaavio tuotteesta. Tämän virtauskaavion alussa on tuotteeseen tarvittavat osat ja lopussa on valmis tuote. Osien saamiseksi kiinni valmiiseen tuotteeseen on jokainen kokoonpanovaihe suunniteltava siten, että tuotteen virtausaika tuotannon läpi valmiiksi tuotteeksi on mahdollisimman lyhyt. Motivaatio MES-järjestelmän implementointiin on yleisesti tehoton tuotanto, jota pyritään saada tehokkaammaksi ajantasaisen informaation virtauksen avulla.

Fuchs et al. (2009, luku 4) mukaan MES-järjestelmät tarvitsevat toimiakseen dataa, joka sisältää kaikki kyseiseen operaatioon liittyvät asiat, kuten henkilöstön, resurssit ja materiaalit. Datamallissa määritellään ohjattava operaatio, kuten poraaminen tai sorvaus. Operaatioon liitetään tietoa siitä, että mitä resursseja sen suorittamiseen tarvitaan. Operaatiolle on määriteltävä nimi, prosessi, prosessin läpi tuleva muutos tuotteelle (jalostus), materiaalien tunnistus ja prosessin seuraamiseen tarvittavat parametrit. Tuotantodataa ohjataan esimerkiksi operaatioajan, henkilöstön käytön, materiaalien, operointiresurssien, tietodokumenttien ja varianttietojen avulla. Datan avulla muodostettavassa työsuunnitelmassa laaditaan operaatioiden järjestys ja se, että mitä resursseja operaatiot käyttävät ja kuinka paljon prosessin suorittaminen maksaa. Työsuunnitelmat voivat olla monimutkaisia loogisia prosesseja, joita helpotetaan hahmottamaan muun muassa virtauskaavion avulla graafisesti, kuten kuvassa 2 on tehty. (Fuchs et al. 2009, luku 4)



Kuva 2: Prosessin virtauskaavio datamuodossa. (Fuchs et al. 2009, luku 4)

MES-järjestelmä kerää dataa tilausten suorittamisesta. Seurattavana parametrinä voi olla esimerkiksi päivässä suoritettujen tilausten lukumäärä. Ne voidaan todeta koneiden historiadatasta, sillä koneet tallentavat operaatiot muistiin. Historiadataan avulla voidaan löytää prosesseja, jotka toimivat tehottomasti tai tuottavat liikaa laatueroja. (Fuchs et al. 2009)

MES-järjestelmiin saadaan tietoa ERP-järjestelmistä tuotteen kysynnästä, materiaalin-tarpeesta ja tulevasta tavarasta. Muun muassa näiden tietojen avulla voidaan laskea tuotteiden varastointikustannuksia. MES tekee suunnitelman siitä, miten se saa aikaiseksi asiakkaan tuotteen. Tämä tapahtuu käyttämällä tuotantodataa ja aikatauluttamalla sen avulla asiakkaan tuotteen valmistuksen. Suunnitelman keskeinen mittari on toimituspäivä asiakkaalle. Tämä vaikuttaa suuresti tuotannonohjaukseen ja MES:in luomaan tuotantosuunnitelmaan. Tuotantosuunnitelma huomioi koneiden asetusajat ja prosessin aikariippuvuudet. Nämä kootaan yhteen ja resurssit jaetaan. Tästä syntyy Gantt-kaavio, joka kuvaa prosessin virtausta. Algoritmit

järjestävät eri osaprosessit tapahtumaan mahdollisimman hyvin vastaamaan asetettuja tavoitteita. (Fuchs et al. 2009, luku 5)

MES kerää tietoja prosessista reaaliaikaisesti ja nämä tiedot tulee saataville sen käyttäjille. Rajapinta MES:in ja sen käyttäjän välillä voi olla esimerkiksi tietokoneohjelma, johon on kerätty tuotantodataa. Ohjelmien avulla voidaan seurata tuotannon mittareita helposti analysoitavilla graafisilla elementeillä. Järjestelmä varoittaa prosessin puutteista ja parametreja voidaan säätää MES-järjestelmästä käsin ja korjata prosessi ennen kuin vikatila pääsee tapahtumaan. Prosesseja ohjataan myös paljon automaation avulla ennalta määrätyillä komendoilla. (Fuchs et al. 2009, luku 6)

Tilausten käsittelyssä MES-järjestelmä antaa työohjeet työntekijöille ja laitteille, jotka yhdessä suorittavat työsuunnitelman mukaiset toimenpiteet annettujen tietojen perusteella. Tilausten käsittelyssä työohjeet tulevat työntekijöille esimerkiksi tietokoneohjelman kautta, joissa voi näkyä myös työn tilaan liittyvää tietoa ja tilastodataa. MES-ohjelman kautta työntekijät pääsevät käsiksi prosessin dataan ja voivat muuttaa sen parametreja tarvittaessa. Ohjelma hälyttää, kun prosessi on menemässä tai on mennyt sallimattomiin arvoihin. MES kerää reaaliaikaista dataa prosessista ja tekee ajankohtaisia suunnitelmia materiaalin uudelleenostolle, kaluston huollolle ja seuraaville työtehtäville. MES seuraa materiaalin virtausta koko prosessin ajan ja lähettää siitä reaaliaikaista tietoa datapankkiin. Yrityksen johto voi katsoa, miten tuotanto toimii kokonaisvaltaisesti ja voi puuttua ilmeneviin ongelmakohtiin, jos automaatiojärjestelmät eivät sitä ole jo tehneet. (Fuchs et al. 2009, kappale 6)

### **2.4.3 Yhteenveto MES-järjestelmistä**

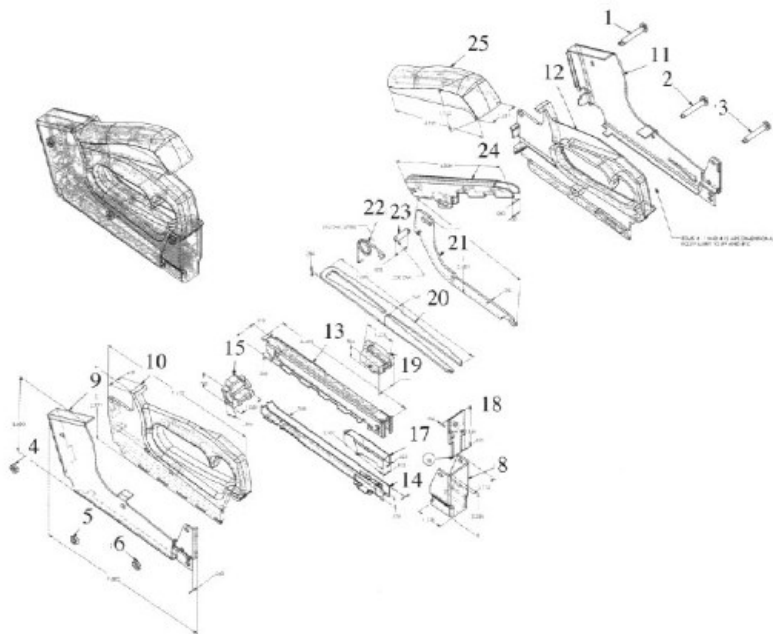
Tuotevariaation kasvaessa tiedon määrä lisääntyy ja suurien tietomäärien käsitteleminen koroostuu entisestään. MES-järjestelmien suurin etu on prosessien seuraaminen ja ohjaaminen ajantasaisesti. Tämä antaa paremman kokonaiskuvan tuotannon virtaavuudesta ja mahdollistaa tuotannon sujuvamman ohjaamisen. Ajantasaisen tiedon avulla tuotannon pullonkauloja voidaan välttää, laatua saadaan parannettua ja tuotannon läpäisyajoja pienennettyä. Laajan yhtenäisen tietojärjestelmän avulla voi saada myös paremman tilannekuvan tuotannosta ja sen ohjaaminen voi helpottua.

### 3. MENETELMIEN KÄYTTÖKOHTEET TEOLLISUUDESSA JA TULOSTEN TARKASTELU

Tässä osiossa käsitellään teoriaosuudessa esiteltyjä aiheita teollisuudessa käytettyjen projektien avulla. Nämä projektit esitellään lyhyesti, kootaan tulokset ja tehdään johtopäätöksiä projekteihin liittyvistä huomioista ja tuotekehityksen ja tuotannon integrointiin liittyen.

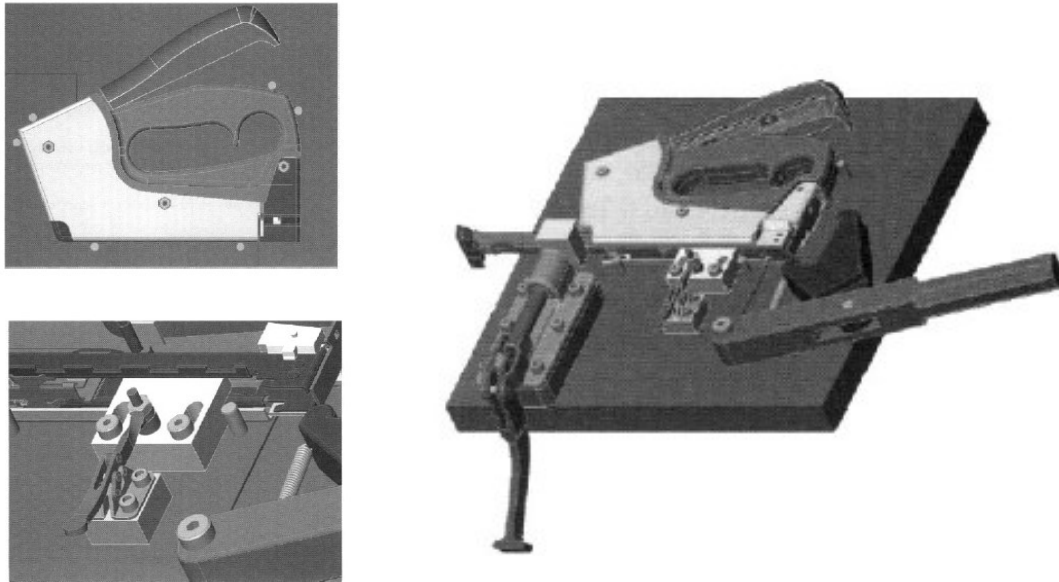
#### 3.1 Design for Assembly: nitoja

DFA-menetelmää käytettiin Powershot Tool Companyssa nitojan kokoonpanon optimoimiseen. Nitoja on manuaalisesti kokoonpantava ja koostuu 27 osasta. Osien käsittelyn helpoutta analysoitiin jumittumisen, takertumisen, koon, joustavuuden, liukkauden ja terävyyden suhteen alkuperäisestä tuotteesta. Nitoja näkyy kuvassa 3. (Whitney 2004, s. 408)



Kuva 3: Nitoja ja sen osat. (Whitney 2004, s. 408)

Nitojan kokoonpanoon käytettiin kokoonpanoasemia, joiden välillä oli yksinkertaisia siirtymälinjoja ja kokoonpanokiinnittimiä. Kuvasta 4 nähdään, että kiinnittimet pitävät nitojan asennossa, jossa osat ovat helppoa kiinnittää kokoonpanoon ja tarjoavat tarvittavan tuen muun muassa jousen asentamiseen, joka pitää esijännittää kokoonpanon aikana.



Kuva 4: Kokoonpanokiinnittimet kokoonpanoasemilla (Whitney 2004, s. 411)

Kokoonpanon vaiheita analysoitiin mittaamalla jokaisen kokoonpano-operaatioon kulunut aika. Tästä saatiin kokonaisaika, joka koko tuotteen kokoonpanemiseen tarvittiin. Kokoonpanoaika oli tyydyttävä, mutta joitakin muutoksia tähän malliin ehdotettiin. Analyysin perusteella joitakin osia oli mahdollista poistaa. Lisäksi alkuperäisessä tuotteessa tuotetta oli käännettävä. Uudessa mallissa nämä hukkavaiheet olivat eliminoitu, joka johti tehokkaampaan kokoonpanoon ajan ja tarvittavien osien osalta (Whitney 2004, s. 413). Alkuperäistä mallia ja uutta ehdotettua DFA-analysoitua mallia on vertailtu taulukossa 1 ja taulukossa 2.

Taulukko 1: Kokoonpanotehokkuuden analyysi nitojalle perustuen (Whitney 2004, s. 413) taulukkoon 15-15.

<b>Osien määrä</b>	<b>27</b>
<b>Teoreettinen osien minimimäärä</b>	15
<b>Kokonaisasennusaika</b>	267,26 sekuntia
<b>Kokoonpanotehokkuus</b>	16,84 %

Taulukon 1 arvojen mukaan alkuperäinen malli nitojasta oli lähes 17 % kokoonpanotehokkuudellansa keskiarvoa parempi kokoonpanna. (Whitney 2004, s. 413) Kokoonpanotehokkuus on laskettu seuraavasti. (Whitney 2004, s. 395)

$$\text{Kokoonpanotehokkuus} = \frac{\text{teoreettinen osien minimimäärä} \cdot 3 \text{ sekuntia/osa}}{\text{arvioitu kokoonpanoaika kaikille osille}} \quad (1)$$



Kaavassa (1) arvioitu kokoonpano-aika kaikille osille on mitattu arvo kokonaisu-asennusajasta. Mallissa, josta oli poistettu ylimääräiset osat, tehtiin sama kokoonpanotesti ja tulokset ovat esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Kokoonpanotehokkuuden analyysi perustuen turhien osien poistamisen jälkeiseen malliin. Taulukon tiedot ovat otettu Whitney (2004, s. 413) taulukosta 15-16.

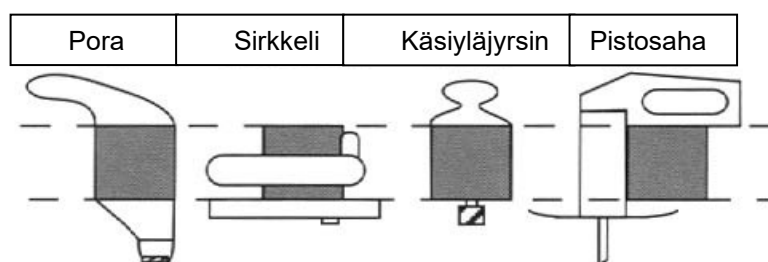
<b>Tarvittavien osien määrä luotettavaan toimintaan</b>	<b>19</b>
<b>Kokonaisu-asennusaika</b>	225,41 sekuntia
<b>Kokoonpanotehokkuus</b>	25,29 %

Taulukon 2 tuloksista nähdään, että turhien osien poistamisen jälkeen kokoonpano-aika pieneni noin 40 sekuntia eli noin 15,7 %. Osien määrää saatiin vähennettyä 8 osalla, joka on noin 30 % osien kokonaismäärästä. Taulukoiduissa arvoissa on kuitenkin eri oletukset teoreettisista minimimäärästä osia, joka tekee kokoonpanotehokkuuksien suoran vertailun virheelliseksi. Alkuperäisessä oletettiin minimiosien määrän olevan 15 ja uudessa mallissa niiden oletettiin olevan 19. Kokoonpanotehokkuus taulukossa 2 on samoilla lähtöarvojen oletuksilla noin 20 %, joka on silti 3 % tehokkaampi kuin alkuperäisessä mallissa. 15 osan kokoonpanossa on vaarana aiheuttaa riskiä laitteen toiminnalle, mutta tästä tehdyllä kokoonpanotestillä saatiin uuden mallin kokoonpanotehokkuudelle jopa 30 %:n arvoja.

Tämän DFA-analysoidun nitojan kokoonpanoa saatiin nopeutettua 15,7 % ja osien määrää saatiin pienennettyä noin 30 %. Kokoonpanemiseen tarvittavien osien vähentämisellä ja kokoonpanoajan lyhentämisellä voidaan saavuttaa myös säästöjä tuotteen kokoonpanoon kohdistuneissa kustannuksissa.

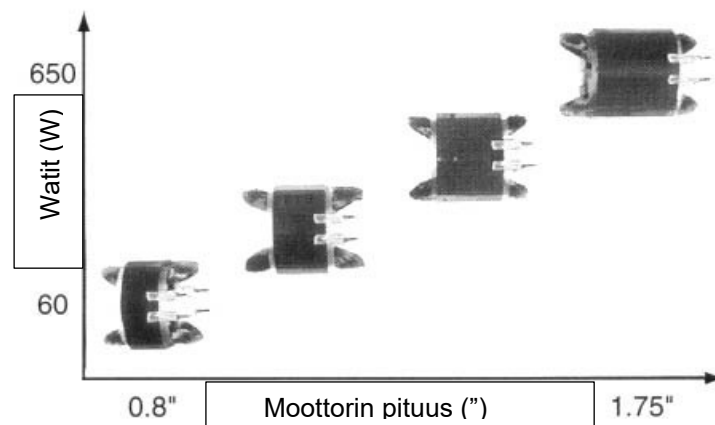
### 3.2 Modulointi: sähkötyökalut

Black and Decker on sähkötyökaluja myyvä yritys, jonka tuotevalikoimaan kuuluu muunmuassa sahoja, porakoneita ja hiomakoneita. Uusi vaatimus asetettiin moottoreille, jotka vaativat kaksinkertaisen määrän eristettä. Tämä johti moottorin uudelleensuunnittelutarpeeseen. Uudelleensuunnitellut moottorit ovat esitetty kuvassa 5 harmaalla neliöllä. (Whitney 2004, s. 369)



Kuva 5: Uudelleensuunnitellut sähkötyökalut perustuen Whitney (2004, s.369) kuvaan 14–23.

Kuvassa 5 näkyvä tuoterakenne on modulaarinen siten, että jokaisessa työkalussa on kolme eri toimintoa tuottavaa osaa: pidikeosa, työstöosa ja moottoriosia keskellä. Jokaisen työkalun kotelot ovat koko tuoteperheessä samat. Näitä eri osia voidaan kutsua modulaarisiksi, sillä ne ovat toisistaan riippumattomia osakokonaisuuksia, jotka yhdessä muodostavat modulaarisen tuotteen. Modulaarisessa moottorissa otettiin huomioon eri sähkökoneiden tehontarve ja tätä varten moottorit valmistettiin samalla halkaisijalla, mutta eri pituisina. Moottorin teholuokan muuttaminen samalla halkaisijalla kuin muissa malleissa mahdollisti koteloon liitettävän yhteisen rajapinnan kaikille malleille. Eri pituiset moottorit näkyvät kuvassa 6 tehon funktiona. (Whitney 2004, s. 369)



Kuva 6: Moottorien pituus tehon funktiona perustuen Whitney (2004, s. 369) kuvaan 14-24

Moottoreja yksinkertaistettiin myös automaatiota helpottavilla keinoilla, jolloin moottorien kokoonpaneminen oli tehokkaampaa. Tämän kehityshankkeen myötä kaikkien mallien käyttäessä samantyyppistä moottoria ja suurelta osin samanlaisia osia, saatiin niiden hintaa lasketua alemmaksi. Halvempien moottorien ja modulaaristen muutosten myötä Black and Decker pystyi tarjoamaan halvempia tuotteita kuin sen kilpailijat ja nousi markkinoiden kärkeen muutamana vuoden aikana. (Whitney 2004, s. 370)

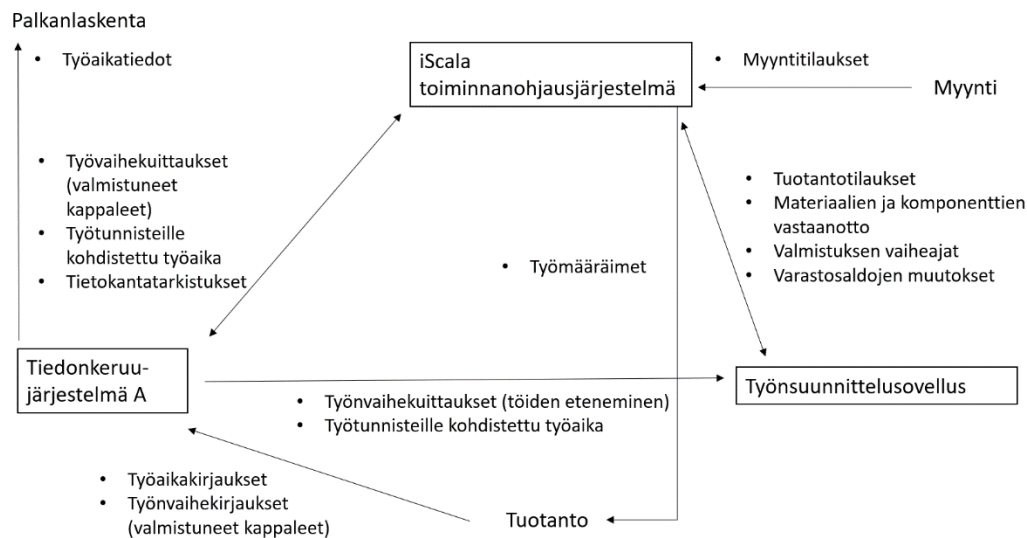
Kuvassa 6 olevien tuotteiden rakenne on pinomainen. Kokoonpano suoritetaan asettamalla työstöpää alas pidikkeeseen ja tiputtamalla akselit ja hammasrattaat sähkökoneen sisään. Tämän jälkeen moottorimoduuli asennetaan ja lopuksi kahva kiinnitetään kokoonpanoon. Tämän rakenteen kokoonpanemisen voisi myös teknisesti ottaen automatisoida. (Whitney 2004, s. 370)

### 3.3 MES: ympäristönhoitokoneet

Juha-Pekka Saukon diplomityössä vuodelta 2011 tarkasteltiin ympäristökoneita valmistavan Vilakone Oy:n tuotannon ongelmia tuotannon ja niihin vastaamista ajantasaisen tiedonkeruun ja suunnittelun ohjauksen tehostamisella. Tässä työssä tehtiin kirjallisuusanalyysi tuotannon-ohjauksesta ja tiedonkeruusta, jonka jälkeen tehtiin Benchmarking-tutkimus muiden samalla alalla toimineiden yritysten tuotannonohjausprosesseista. Näiden selvityksien avulla tehtiin parannusehdotussuunnitelma tuotantoon ja hankintaehdotus uudesta tuotannonohjausjärjestelmästä.

Vilakone Oy:llä ilmeni ongelmia tuotannossa sen takia, että tuotannosta ei saatu ajantasaista tilannetietoa ja tuotannonohjausjärjestelmässä oli puutteita tai sitä ei käytetty ollenkaan. Tämä johti siihen, että yrityksen ERP-järjestelmä ei saanut ajantasaista tietoa tuotannon varastojen tilasta, jolloin ERP-järjestelmässä olevat varastosaldot eivät olleet ajan tasalla. Varastosaldojen ollessa virheelliset, luotettavaa materiaalilaskentaa ei ollut mahdollista suorittaa. Materiaalilaskennan epäluotettavuuden takia tuotantokapasiteetin yksityiskohtaista kuormitussuunnittelua ei myöskään voitu tehdä kunnolla ja joskus koneet saattoivat seistä työvaiheilla pitkänkin aikaa. Tämä johti siihen, että tuotannon työnjohtajat ohjasivat tuotantoa parhaansa mukaan puhelimitse oman asiantuntijuutensa nojalla. Ajantasaisen tiedon puuttuminen johti moniin muihinkin pienempiin ongelmiin, mutta ne koettiin olevan vähemmän merkittäviä. (Saukko 2011)

Tuotannon ongelmiin vastattiin tekemällä arvoanalyysi kolmesta eri tuotannonohjausjärjestelmäratkaisusta. Arvoanalyysissä painotettiin erityisesti materiaalitarvelaskentaa, tuoterakenteita ja varastosaldoja. Arvoanalyysissä paljastui parhaiten näihin tarpeisiin vastaava järjestelmäratkaisu ja se ratkaisisi tuotannossa ilmenevät ongelmat parhaiten annetuista vaihtoehdoista. Valittu järjestelmäratkaisu sisälsi tiedonkeruujärjestelmän ja työnsuunnittelusovelluksen. Tiedonkeruujärjestelmä on helppokäyttöinen ja muokattava ja töiden tilanteen seuraminen onnistuu tällä järjestelmällä hyvin. Tuotannonohjausjärjestelmässä oli hyvin havainnollinen työnsuunnittelusovellus kapasiteetin kuormitussuunnittelun tekemiseen. Valittu järjestelmä oli myös suhteellisen nopea, helppo ja halpa ottaa käyttöön muihin järjestelmiin verrattuna. (Saukko 2011)



Kuva 7: Tuotannonohjausjärjestelmän toimivuus perustuen Saukko (2011, s.84) kuvaan 7.1

Tässä ratkaisussa (kuva 7) myyntiosastolta saatava lopputuotteen tuotantotilaus käännetään tuotantotilaukseksi ERP-järjestelmässä työmääräimien muodossa. Tuotannossa tiedot voidaan kirjata tiedonkeruujärjestelmään, josta sekä palkanlaskenta, että iScala toiminnanohjausjärjestelmä saa ajantasaista tietoa työn valmistumisesta. Toiminnanohjausjärjestelmästä voidaan ohjata tuotannon varastoja ja tuoterakenteita. Nämä tiedot mahdollistavat ajantasaisen materiaalitovelaskennan myydyille koneille. Tiedonkeruujärjestelmää käytettäessä paperiset tuntiliiput jäävät pois käytöstä ja sähköisen kirjauksen myötä paljon manuaalista työtä säästyy ja lisäksi se selkeyttää yrityksen toimintaa, sillä kaikki tiedot kirjataan samaan järjestelmään. Ajantasaisen tiedon mahdollistamalla tuotannon yksityiskohtaisella kuormitus suunnittelulla voidaan pitää tuotantokapasiteetin käyttöaste hyvänä ja vähentää keskeneräisen tuotannon määrää. Yrityksen materiaalinhallinta paranee, tuotannon suunnittelu ja tarkkailu helpottuu. (Saukko 2011)

### 3.4 Päätelmät

Tuotannon ja tuotesuunnittelun yhteensovittamiseen kehitettyjä menetelmiä voidaan käyttää kokoonpanon helpottamiseen siihen tarvittavien osien vähentämisellä, selkeän tuoterakenteen ja tuoteperheiden muodostuksella ja kokoonpanoon tarvittavan oleellisen tiedon ajankoh- taisella virtauksella. ”Design for Assembly”-menetelmällä pystyttiin vähentämään nitojan val-

mistamiseen kulunutta aikaa ja rahaa sekä osia. Modulointiesimerkissä nähtiin, että sähkökoneen modulaarisella suunnittelulla voidaan tuotteen jakamisella omiin itsenäisiin moduuleihin laskea tuotteen hintaa ja saavuttaa näin kilpailuetua. MES-järjestelmän käyttöönotossa huomattiin, että ympäristöhoitokoneiden kokoonpanon ajantasaista tietovirtaa pystyttiin parantamaan ja varastosaldojen oikeellisuus pystyttiin ratkaisemaan. Lisäksi tämän ratkaisun käyttöönoton jälkeen ylimääräistä työtä pystyttiin vähentämään siirtymällä paperisista tuntilipuista sähköiseen kirjaukseen.

## 4. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä käsiteltiin tuotannon ja tuotesuunnittelun yhdistämiseen soveltuvia menetelmiä. Käsiteltävät menetelmät olivat ”Design for Assembly”, modulointi ja ”Manufacturing Execution System”. Näiden menetelmien teoriaosuudet esiteltiin lyhyesti ja sen jälkeen tarkasteltiin teollisuuden alan esimerkkejä näihin menetelmiin liittyen. Näiden menetelmien tulokset esitettiin analyysien kanssa.

”Design for Assembly”-menetelmässä huomattiin kokoonpanon helpottuvan silloin, kun laitteen toiminnalle turhat osat pystyttiin poistamaan. Kappaleiden poistamisen avulla voitiin alentaa tuotteiden hintaa, sillä materiaaleja käytetään DFA-analysoidussa kappaleessa vähemmän. Menetelmän avulla tuotantoaika pystyttiin myös vähentämään johtuen kokoonpanoystävällisestä suunnittelusta. Helposti kokoonpantavissa tuotteissa on otettu huomioon tuotteen liiallisen kääntelyn vähentäminen ja tehokkaat asennussuunnat. Menetelmää käytettäessä saatiinkin teollisuuden alan esimerkkinä nitojan kokoonpanoa nopeutettua noin 15,7 % ja osien kokonaismäärää vähennettyä noin 30 %.

Moduloinnin avulla huomattiin, että tuotteen jakamisella pienempiin osakokonaisuuksiin eli moduuleihin pystyttiin saavuttamaan useita hyötyjä. Tuotevariaatiota pystyttiin kasvattamaan selkeiden rajapintojen omaavilla moduuleilla. Moduulien toiminnallisuuden arvioimisella tuotteet pystyttiin jakamaan erillisiin moduuleihin, jotka voidaan kokoonpanna myös erillisesti tuotannossa, joka nopeuttaa tuotantoprosesseja. Modulaarisen tuotearkkitehtuurin avulla voidaan myös alentaa tuotekehityskustannuksia, sillä samaa tuotealustaa käytettäessä monissa uusissa tuotteissa ylimääräistä tuotekehitystä saadaan vähennettyä. Modulaaristen sähkötyökalujen valmistaja sai modulaarisuuden hyötyjä tuotevalikoiman laajentamisella ja sähkömoottorien standardisoimisen avulla. Tämä johti tuotteen alhaisempiin kustannuksiin ja parempiin myyntituloksiin.

”Manufacturing Execution System” eli lyhyesti MES-tietojärjestelmän avulla pystytään seuraamaan tuotannon tilannetta ja ohjaamaan sitä oikeanlaisen tiedon jakamisen avulla esimerkiksi CAD-kuvien lähettämällä tuotannon työntekijöille oikeille työvaiheille. Tietojärjestelmän avulla tuotannon kokonaiskuvan hallintaa voidaan parantaa ja mahdollisia pullonkauloja välttää. Tämä tietojärjestelmä voidaan myös liittää joihinkin tuotantolaitoksiin automaation avulla. Järjestelmän ensisijaiset hyödyt saavutetaan ajantasaisen tiedonkeruun avulla. Ympäristökoneiden valmistajan varastosaldot pystyttiin korjaamaan todellisuutta vastaaviksi tämän tietojärjestelmän avulla, kun paperilippujen avulla tapahtuva tiedonkulku pystyttiin korvaamaan sähköisellä järjestelmällä.

# LÄHTEET

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

Kretschmer, R., Pfouga, A., Rulhoff, S., & Stjepandić, J. (2017). Knowledge-based design for assembly in agile manufacturing by using data mining methods. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 285-299. doi:10.1016/j.aei.2016.12.006

Brownfield process: A method for the rationalisation of existing product variety towards a modular product family. Retrieved from [https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/brownfield-process\(7026bd47-f6ea-4e3f-9691-8e5737da8bbb\)/export.html](https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/brownfield-process(7026bd47-f6ea-4e3f-9691-8e5737da8bbb)/export.html)

Whitney, D. E. (2004). *Mechanical assemblies their design, manufacture, and role in product development*. New York: Oxford University Press.

Siuko, M. (1991). *Design for assembly-menetelmän sovittaminen tuotekehitysprosessiin : Diplomityö*. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Saukko, J. (2011). *Tuotannon suunnittelun ja ohjauksen tehostaminen ajantasaisen tuotantotiedon keruun avulla : Diplomityö*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Salonitis, K. (2014). Modular design for increasing assembly automation. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63(1), 189-192. doi:10.1016/j.cirp.2014.03.100

Favi, C., Germani, M., & Elmaraghy, H. A. (2012). *From product architecture to assembly sequence: A method to develop conceptual design for assembly based on interface analysis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-23860-4\_34

Parmentier, D. D., Van Acker, B. B., Detand, J., & Saldien, J. (2019). Design for assembly meaning: A framework for designers to design products that support operator cognition during the assembly process. *Cognition, Technology and Work*, , . doi:10.1007/s10111-019-00588-x

Dalgleish, G. F., Jared, G. E. M., & Swift, K. G. (2000). Design for assembly: Influencing the design process. *Journal of Engineering Design*, 11(1), 17-29. Retrieved from <https://lib-proxy.tuni.fi/login?url=https://search.proquest.com/docview/214212027?accountid=14242>

Moultrie, J., & Maier, A. M. (2014). A simplified approach to design for assembly. *Journal of Engineering Design*, 25(1-3), 44-63. doi:10.1080/09544828.2014.887059