

Jani Kanniala

RINNAKKAISUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN

RINNAKKAISUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN

Jani Kanniala
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Jani Kanniala
Opinnäytetyön nimi: Rinnakkaissuunnitteluprosessin kehittäminen
Työn ohjaaja: Jari Viitala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2019
Sivumäärä: 59 + 1 liite

Opinnäytetyössä tutkittiin rinnakkaissuunnitteluprosessin kehittämistä. Työssä esiteltiin tuotesuunnittelun vaatimusten huomioimista kokoonpanosuunnittelussa ja kokoonpanovaatimusten huomioimista tuotesuunnittelussa. Lisäksi esiteltiin kokoonpanovaiheiden verifiointi ja niiden vastuut, katselmointikäytäntöjen määrittely ja ajoitukset sekä muutoshallinta tuotesuunnittelun ja kokoonpanosuunnittelun välillä. Lisäksi työssä selvitettiin riskienarvioinnin ja riskien hallinnan kehittämistä tuotekehitysprojekteissa. Ylätasolla tavoitteena oli selventää ja kehittää toimintatapoja ja käytäntöjä, joilla muutos- sekä korjauskierrosten lukumäärää tuotekehitysprojekteissa saadaan vähennettyä. Työn tilaajana toimi Polar Electro Oy.

Opinnäytetyön lähtökohtana oli Polar Electro Oy:llä määritellyt prosessikuvaukset ja käytännöt eri tiimien ja organisaatioiden toiminnassa. Tavoitteena oli kehittää nykyisiä prosesseja ja toimintatapoja, jotta tuotteiden tuotekehitysaikaa voitaisiin lyhentää ja tuotantoon vietävät tuotteet ja työkalut olisivat mahdollisimman laadukkaita.

Rinnakkaissuunnittelun tehokkaaseen hyödyntämiseen haettiin ratkaisuja tarkastelemalla tiedonjaon tehostamista tiimien välillä ja yhtenäistämällä tiimien sisäisiä toimintatapoja. Tiimien käytössä oli Siemens NX -mallinnusohjelma, Teamcenter -tuote- ja suunnittelutiedon hallintajärjestelmä, ActiveWorkspace -rajapinta Teamcenteriin, yrityksen oma Confluence-wikisivusto ja Jira-tehtävienhallintaohjelmisto. Yhtenäistämällä toimintatapoja ja ohjelmien ja sovellusten kautta jaettua informaatiota saatiin kohdennettua paremmin ja ajantasaista tietoa jaettua nopeasti sitä tarvitseville.

Yrityksessä hyödynnettiin FMEA-menetelmän käyttöä tuotekehitysprojektien suunnittelussa ja riskien arvioinnissa. Menetelmän tehokkaalla ja aiempaa laajemmalla käytöllä saatiin parannettua ja aikaistettua riskien arviointia ja ehkäistyä myöhempää riskien toteutumista.

Asiasanat: rinnakkaissuunnittelu, tuotekehitys, prosessi, FMEA, kokoonpano, riskienhallinta, valmistettavuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering, Machine Automation

Author: Jani Kanniala
Title of thesis: Concurrent engineering process development
Supervisor: Jari Viitala
Term and year when the thesis was submitted: spring 2019
Pages: 59 + 1 attachment

The aim of the thesis was to study and find out how to improve concurrent engineering process. This thesis analyzed the requirements of product design in assembly planning and the verification of assembly phases and their responsibilities, definition of the audit habits and timing and change management between product design and assembly planning. In addition, risk assessment and risk management in product development projects were analyzed. At the top level, the aim was to find out and develop ways of working and practices that reduce the number of change and correction cycles in product development projects. The subscriber for the thesis was Polar Electro Oy.

The starting point of the thesis was the process descriptions and practices of the various teams and organizations. The aim was to develop existing processes and practices in order to shorten the product development time of products and to produce high-quality products and tools for production.

Solutions were sought for more efficient use of concurrent engineering by examining the intensification of information sharing between teams and by harmonizing internal practices in teams. Teams used Siemens NX -modeling software, Teamcenter product and design information management system, ActiveWorkspace interface in Teamcenter, the company's own wiki-site and the JIRA task management software. By integrating practices, the information shared through programs and applications was better targeted and up-to-date information was shared more quickly for those who needed it.

The company utilized the FMEA method for designing product development projects and risk assessments. More efficient and widespread use of the methods provided an improves in early risk assessment and prevented future risk realization.

Keywords: concurrent engineering, product development, process, FMEA, assembly, risk management, manufacturability

ALKULAUSE

Opinnäytetyö on tehty Polar Electro Oy:lle vuosina 2016 - 2019. Työn mahdollisti ja ohjasi Director, HW R&D Jouko Lehto. Oulun ammattikorkeakoulun ohjaavana opettaja toimi lehtori Jari Viitala.

Haluan kiittää Jouko Lehtoa ja Jari Viitalaa työn ohjauksesta, neuvomisesta ja aihenäkökulmien ehdotuksista. Lisäksi haluan kiittää Polar Electro Oy:n henkilöitä, jotka ovat olleet mukana kehittämässä ja toteuttamassa rinnakkaissuunnittelua kuluneiden vuosien aikana. Erityisesti haluan kiittää Manager, Mechanical Development Veli-Pekka Putilaa, Quality Manager, Devices Markku Ränää ja Senior Design Engineer Raimo Karvosta. Heidän kanssaan käytyjen keskustelujen avulla olen saanut opinnäytetyöhön uutta näkökulmaa mekaniikkasuunnittelun, kokoonpanotyökalujen suunnittelun ja tuotteen laadun näkökulmista.

Isoin kiitos kuuluu kuitenkin aviopuolisolleni Iiris Kannialalle, joka on tukenut ja kannustanut viemään opinnäytetyön päätökseen.

Kempeleessä 16.5.2019

Jani Kanniala

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
1.1 Polar Electro Oy	10
1.2 Työn tavoitteet	11
2 RINNAKKAISSUUNNITTELU	12
3 TUOTTEISTON SUUNNITTELU	14
3.1 Valmistettavuuden suunnittelu	17
3.1.1 Design for Manufacturing DFM	18
3.1.2 Design for Assembly DFA	20
3.1.3 Design for Excellence DFX	24
3.1.4 Design for Manufacturing and Assembly DFMA	25
3.1.5 Conceptual Design for Manufacturing and Assembly C_DFMA	25
3.2 C_DFMA-lähestymistapa tuotesuunnittelussa	25
3.3 Vika- ja vaikutusanalyysi	27
3.3.1 Failure Mode and Effects Analysis FMEA	27
3.3.2 System Failure Mode and Effect Analysis SFMEA	28
3.3.3 Design Failure Mode and Effect Analysis DFMEA	28
3.3.4 Process Failure Mode and Effect Analysis PFMEA	28
3.3.5 FMEA-analyysi ja -määrittely	29
4 RINNAKKAISSUUNNITTELU POLAR ELECTRO OY:SSÄ	34
4.1 Suunnittelun ohjelmistot ja tietojärjestelmät	34
4.1.1 Office 365	34
4.1.2 Teamcenter	34
4.1.3 Siemens NX	35
4.1.4 IBM Lotus Notes	35
4.1.5 Confluence	35
4.1.6 JIRA	36

4.1.7 ActiveWorkspace	36
4.2 Rinnakkaissuunnittelun toteutus	36
5 RINNAKKAISSUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN	38
5.1 Tuotekehitysprosessin kehittäminen	38
5.1.1 G-1 Gate	39
5.1.2 G0 Gate	39
5.1.3 G1 Gate	40
5.1.4 G2 Gate	42
5.1.5 G3 Gate	43
5.1.6 G4 Gate	43
5.1.7 G5 Gate	44
5.1.8 G6 Gate	44
5.2 Ohjelmien ja tietojärjestelmien tehokkaampi hyödyntäminen	45
5.2.1 ActiveWorkspace	45
5.2.2 Confluence	47
5.2.3 JIRA	49
5.3 FMEA:n tehokas hyödyntäminen	50
6 POHDINTA	55
LÄHTEET	58
LIITTEET	
Liite 1 Yleinen tuotekehitysprosessi	

SANASTO

BOM	Bill Of Material, osaluettelo
C_DFMA	Conceptual Design for Manufacturing and Assembly, konseptivaiheessa tapahtuva valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden suunnittelu
DFA	Design for Assembly, kokoonpantavuuden suunnittelu
DFM	Design for Manufacturing, valmistettavuuden suunnittelu
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly, valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden suunnittelu
DFMEA	Design Failure Mode and Effect Analysis, suunnittelun riski- ja seuraamus analyysi
DFX	Design for Excellence, suunnittelu jonkin tietyn osa-alueen suunnasta. X-kirjain voidaan korvata kirjaimella, joka kuvaa kyseistä suunnittelunäkökulmaa.
ECR	Engineering Change Request, muutospyyntö
ECN	Engineering Change Note, muutosilmoitus
FMEA	Failure Mode Effect Analysis, vika- ja vaikutusanalyysi
JT	Jupiter Tessellation, ISO-standardoitu 3D-dataformaatti
NPI	New Product Introduction, uuden tuotteen tuotantoon saattamisprosessi
PFMEA	Process Failure Mode and Effects Analysis, prosessin riski- ja seuraamus analyysi

SFMEA

System Failure Mode and Effect Analysis, systeemin
riski- ja seuraamus analyysi prosessissa

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan rinnakkaissuunnitteluprosessin kehittämistä tuotekehitysprojekteissa. Tuotekehitysprojekteissa on mukana yrityksen eri organisaatioita. Näin ollen huomioon otettavia osa-alueita, ohjelmistoja, tietojärjestelmiä ja toimimiskäytäntöjä on useita.

Työssä tutkitaan tuotesuunnittelun vaatimusten huomioimista tuotteen kokoonpanosuunnittelussa ja kokoonpanovaatimusten huomioimista tuotesuunnittelussa. Erityisesti tutkitaan riskiarvioinnin ja riskienhallinnan kehittämistä tuotekehitysprojektissa. Lisäksi tutustutaan yrityksen tuotekehitysorganisaation käyttämiin ohjelmiin. Työssä tutustutaan myös tuotesuunnittelun ja kokoonpanosuunnittelun muutoshallinnan tietojärjestelmiin tutkimalla niiden nykyisiä käyttötapoja ja tietojärjestelmien tarjoamia mahdollisuuksia, joita voitaisiin hyödyntää nykyistä tehokkaammin.

Työssä perehdytään katselmointikäytäntöjen määrittelyyn ja ajoitukseen sekä kokoonpanovaiheiden verifiointiin ja niiden vastuisiin. Pohdinta-osuudessa käydään läpi tulokset rinnakkaissuunnitteluprosessin kehittämisestä. Työ tehdään Kempeleessä toimivalle Polar Electro Oy:lle.

1.1 Polar Electro Oy

Polar Electro Oy on vuonna 1977 perustettu suomalainen teknologia-alan yritys, jonka liiketoimintaa on langattomaan sykkeenmittaukseen liittyvien laitteiden valmistus. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Oulun lähellä Kempeleessä, jossa sijaitsevat muun muassa tuotteiden suunnittelu- ja tuotekehitysorganisaatiot. Tuotekehityksiköitä sijaitsee myös Jyväskylässä ja Tampereella. Tuotteet valmistetaan Polar Electron omissa tehtaissa Kiinassa ja Malesiassa. Polar Electron palveluksessa on maailmanlaajuisesti 1 200 ihmistä, 26 tytäryhtiötä ympäri maailman sekä jakeluverkosto, joka kattaa yli 35 000 jälleenmyyjää yli 80 maassa. (1.)

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on tuotteen kokoonpanosuunnittelun prosessin kuvaaminen ja vastuiden määrittely sekä olemassa olevien tietojärjestelmien mahdollisimman tehokkaan ja järjestelmällisen hyödyntämisen määrittely. Työssä myös selvitetään teoria D- ja PFMEA-analyysin implementointiin tuotekehitysprojektissa.

Työn tavoitteena on etsiä ohjelmien ja tietojärjestelmien käyttöön toimintatapoja, joilla rinnakkaissuunnittelun hyödyntämistä tuotekehitysprojektissa saadaan toimivaksi ja tehokkaaksi. Tavoitteena on tutustua yrityksen eri organisaatioiden nykyisiin toimintatapoihin ja tietojärjestelmiin. Lisäksi tutkitaan, miten ohjelmistoja ja tietojärjestelmiä käytetään nykyhetkellä hyödyksi rinnakkaissuunnittelussa ja miten niitä voitaisiin hyödyntää nykyistä tehokkaammin. Lisäksi tutkitaan yrityksellä jo olemassa olevien, mutta tällä hetkellä hyödyntämättömien ohjelmistojen ja tietojärjestelmien tarjoamia mahdollisuuksia.

Työn aikana perehdytään mekaniikka- ja kokoonpanotyökalujen suunnittelijoiden käyttämiin ohjelmiin ja tietojärjestelmiin. Ohjelmia ja tietojärjestelmiä ovat Siemens NX -mallinnusohjelma, Teamcenter-tuotteen elinkaaren hallintaohjelma ja sen ActiveWorkspace-lisäosa, Atlassian Confluence -organisaatiowikiohjelma, Jira -tehtävän- ja projektinhallintaohjelma ja muut perusohjelmistot, joita Polar Electrolla yleisesti käytetään tuotekehityksen tukena.

2 RINNAKKAISUUNNITTELU

Rinnakkaissuunnittelu on strategia, jolla pyritään lyhentämään ja tehostamaan tuotteen suunnittelu-aikaa. Suunnitteluajan lyheneminen nopeuttaa tuotteen pääsyä markkinoille ja samalla pienentää suunnittelukuluja. Rinnakkaissuunnitteluun liittyy useita toimintoja päätöksen teosta tuotteen suunnitteluun, siten että tuotteen loppupään kysymyksiä, kuten valmistettavuutta, markkinointia, huollettavuutta ja koko elinkaaren ongelmia ennakoidaan jo hyvin varhaisessa tuotesuunnittelu vaiheessa. (2, s. 48.)

On tutkittu, että tehokkaalla rinnakkaissuunnittelulla voidaan saavuttaa 40 - 67 % säästö tuotekehitysvaiheen suunnitteluajassa. Matkapuhelimien tuotekehityskustannuksissa on saavutettu 16 - 46 % säästöjä suunnittelukuluissa ja ilmailualalla 55 - 95 % kustannussäästöjä. (2, s. 49.)

On olemassa monenlaista tuotesuunnittelua. Yksinkertaisimmillaan tuote koostuu yhdestä ainoasta osasta. Haastavimmillaan tuote voi sisältää miljoonia osia, kuten uusimmissa lentokoneissa. Tuotteiden muodostuttua monimutkaisiksi ja sisältäessään useita erillisiä osia yhden ihmisen aika ja kyvyt eivät riitä hallitsemaan koko tuotekehitysprojektia. Tuotekehitysprojekti on tällöin jaettavissa eri ryhmiin ja toimintoihin kuten markkinointiin, valmistukseen ja suunnitteluun. Tämä johtaa over the wall -periaatteeseen, jossa suunnittelun siirtyessään seuraavaan vaiheeseen siirtyy myös työ eri osastolle ja eri ihmisille. Uudessa vaiheessa ei enää voida vaikuttaa edellisessä vaiheessa tehtyihin päätöksiin. Tämä saattaa johtaa suunnittelun laadun huononemiseen. (3, s. 140.)

Rinnakkaissuunnittelun periaate kehitettiin 1980-luvulla. Rinnakkaissuunnittelusta käytetään myös nimityksiä integroitu suunnittelu tai concurrent engineering. Rinnakkaissuunnittelun periaatteen mukaisesti suunnittelun toteuttaa tiimi, johon kuuluu jäseniä jokaisesta tuotteen suunnitteluun osallistuvasta organisaatiosta. Markkinointi tuo suunnitteluun asiakkaan vaatimukset, tuotannon edustaja tuo esiin tuotteen valmistukseen liittyvät vaatimukset ja mekaniikan edustaja tuo suunnitteluun lujuusopilliset ja materiaaleista riippuvat vaatimukset. (3, s. 141.)

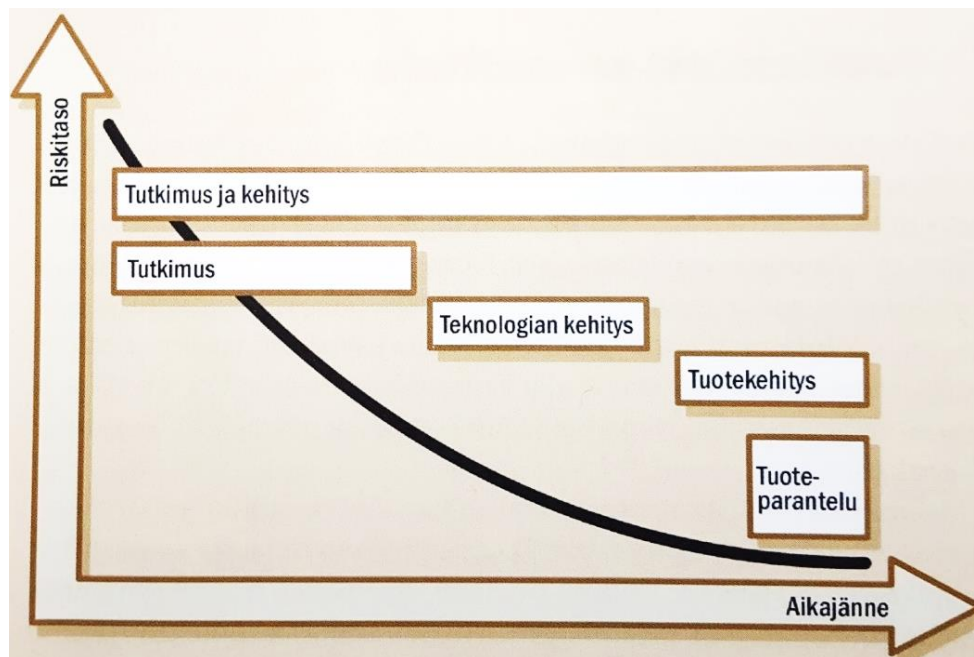
Rinnakkaissuunnittelu edellyttää tehokasta kommunikointia eri tiimien jäsenten välillä. Nykyaikaisista kommunikointivälineistä yksi tärkeimmistä on sähköposti. Sähköpostilla voidaan välittää monenlaista tietoa ja mediaa halutulle joukolle ihmisiä samanaikaisesti. Toinen rinnakkaissuunnittelun teknologinen näkökohta on tiedon jakaminen ja varastointi. Jokaisen tiimin jäsenen on päästävä käsiksi projektiin liittyvään tietoon. Aikaisemmin tilanne on ollut eri yrityksissä varsin kaoottinen siksi, että erilaiset tiedonhallinnan järjestelmät ovat perustuneet täysin erilaisille periaatteille ja tiedon muuntaminen järjestelmästä toiseen on ollut käytännössä mahdotonta. Viime vuosina on alkanut ilmestyä alan standardointia, mikä on helpottanut tilannetta. Nykyisin tieto voidaan varastoida joko yhteen tai useampaan paikkaan siten, että se on käytettävissä ajasta ja maantieteellisestä sijainnista huolimatta yhtä helposti kuin viereisestä huoneesta. (3, s. 141.)

Sähköpostin heikkous tiedon välittämiseen on rajoittunut tiedon välittyminen ainoastaan sähköpostin lähettäjän ja vastaanottajien kesken. Sähköpostilistan ulkopuoliset henkilöt eivät pääse tietoon käsiksi. Vahvuus on kuitenkin halutun tiedon välittyminen suoraan vastaanottajan saataville. Laajoissa postituslistoissa on olemassa tietoturvariskejä, jolloin voi vahingossa paljastaa kolmannelle osapuolelle tietoa, jota ei tulisi välittää yrityksen ulkopuolelle. Sähköpostiviestiä lähetettäessä täytyy huolellisesti tarkistaa, että viesti menee sille, kenelle se on tarkoitettukin. Tietoturvan takia on hyvä käyttää sähköposteissa yrityksen omiin tietojärjestelmiin linkkejä, joista tarkempi tieto on saatavilla. Tietojärjestelmät ovat yleensä rajattuja käyttäjäkohtaisilla tunnuksilla ja salasanoilla, jolloin ulkopuoliset eivät pääse siellä olevaan tietoon helposti käsiksi.

Projekteissa on mukana useita eri suunnittelutiimejä, joiden myötä tarvitaan tehokkaan kommunikoinnin lisäksi jäljitettävyyttä ja uudelleenkäytettävyyttä. Pelkät piirustukset eivät perustele suunnittelijan ratkaisuja eivätkä selitä suunnitteluprosessin kulkua sellaiselle henkilölle, joka ei ole ollut projektissa mukana. Nykyaikaiseen suunnitteluun kuuluu suunnittelijan muistikirja designer's notebook, johon kirjataan ainakin tärkeimmät päätökset perusteluineen. Muistikirjaa tulee pitää sähköisessä muodossa ja mielellään hypertekstinä siten, että se sisältää linkit tarvittaviin tietolähteisiin ja yksityiskohtaisempiin perusteluihin ja laskelmiin. (3, s. 142.)

3 TUOTTEISTON SUUNNITTELU

Tuotteiston suunnittelu on strateginen jatkuva prosessi tuotekehitystoiminnan suunnitteluun ja ohjaamiseen, millä ohjataan tuotekehitystä tuotekartan kautta. Kuvassa 2 on esitetty tuotteiden kehittämisen keskeiset käsitteet. (9, s. 35.)



KUVA 2. Tuotteiden kehittämisen käsitteet (9, s. 35)

Tuotteiston suunnittelu on yläkäsite, joka sisältää perustutkimuksen, soveltavan teknologiatutkimuksen, teknologia- ja tuotekehityksen sekä nykyisten tuotteiden tuoteparantelun. Tutkimus on uuden tiedon ja teknologioiden tuottamista ja arviointia. Aikajänne tyypillisesti 5 - 10 vuotta. Teknologiakehitys on tutkimusvaiheessa kehitettyjen teknologioiden jatkokehitys ja varmentaminen riskitason matalamiseksi ennen tuotekehitysvaihetta. Toiminnan aikajänne tyypillisesti 3 - 5 vuotta. Tuotekehitys on uuden tuotteen kehittäminen tai vanhan tuotteen uudistaminen. Tuotekehityksen aikajänne on yleisesti 1 - 2 vuotta. Tuoteparantelu on markkinoilla olevien tuotteiden ominaisuuksien parantelua ja osa tuotekehitystä. Tuotehallinta on tuotteen hallinta tuotteen kaupallistamisesta markkinoilta pois-
toon saakka. (9, s. 35.)

Työssä keskitytään rinnakkaissuunnitteluprosessin kehittämiseen tuotekehityksen näkökulmasta. Tuotekehitysvaiheessa useat eri tiimit ja henkilöt työskentelevät samanaikaisesti yhteisen päämäärän eli valmiin ja ennalta sovitut määritykset täyttävän tuotteen aikaansaamiseksi. Tuotekehitysvaiheen aikana käsitellään suuri määrä monenlaista informaatiota ja muuta tuotteen suunnitteluun vaikuttavaa tietoa, joka tulee olla sitä tarvitsevien saatavilla.

Pyrkimys vaiheiden rinnakkaisuuteen on nykyään yleinen tapa kehitysajan koonpuristamiseen ja keskenään kytkettyjen toimintojen suunnitelmalliseen iterointiin. Tuotekehitys on kuitenkin tyypillisesti prosessi, jossa aikaisemmassa vaiheessa tuotettua tietoa hyödynnetään myöhemmissä vaiheissa. Tämän seurauksena kaikkia prosessin tehtäviä ei voida tehdä rinnakkain, osa tehtävistä voidaan ja osa pitää tehdä samanaikaisesti. Oleellista on tehtävien koordinointi ja oikea-aikainen, luotettavan tiedon siirto toisistaan riippuvien tehtävien välillä. (9, s. 46.)

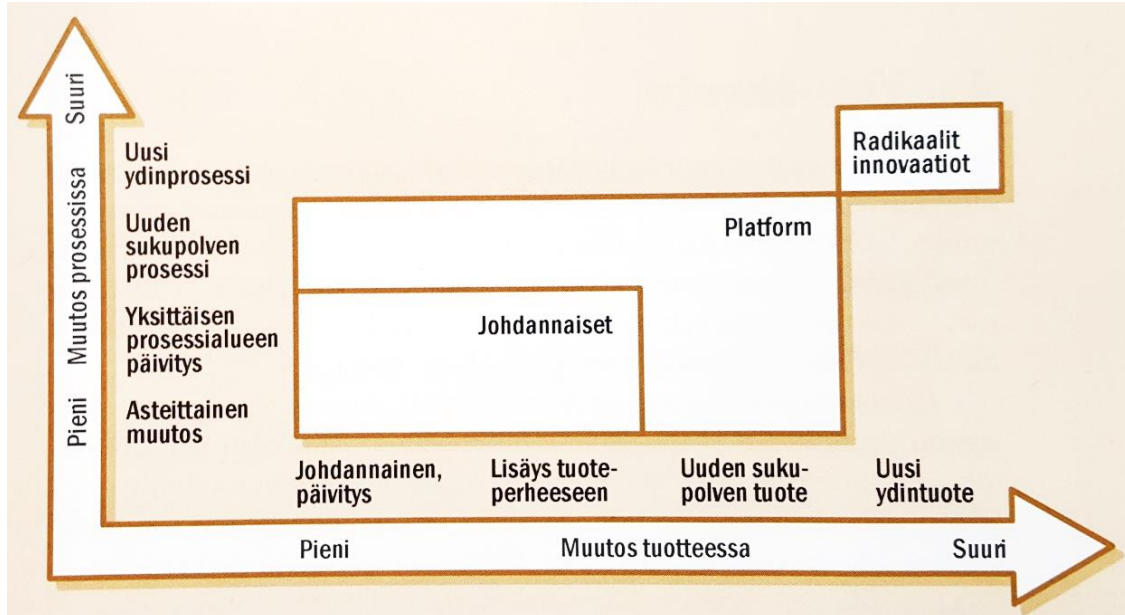
Tuotesuunnittelu muodostaa keskeisen aliprosessin tuotekehitysprosessissa. Muita tärkeitä aliprosesseja ovat esimerkiksi tuotanto-, markkinointi-, johtamis- ja tutkimusprosessit. Suunnittelun prosessiin on sovellettavissa monenlaisia luovaan toimintaan liittyviä ongelmanratkaisumenetelmiä ja sen voi tehdä yksilö, tiimi tai organisaatio. Tuotannolliseen toimintaan yhdistettynä suunnitteluprosessi muodostuu teknisistä toiminnoista eikä siihen yleensä sisälly johtamiseen liittyviä toimintoja, kuten riskien hallintaa, päätöksenteon tukemista tai taloudellista analysointia. Suunnitteluprosessi keskittyy ratkaisujen tuottamiseen, niiden arviointiin ja täytäntöönpanoon. Tuotesuunnittelu on prosessi, joka tuottaa annettuihin vaatimuksiin vastaavan teknisen ratkaisun, eli tuotekehitysprosessi määrittää tuotesuunnittelun vaatimukset. (9, s. 46.)

Uuden tuotteen kehitysprosessin tavoitteena on puolestaan varmistaa, että kehitettävä tuote on oikeanlainen ja että saavutettu ratkaisu on liiketoimintaan sovelias. Prosessissa painottuvat strategiset ja johtamiseen liittyvät asiat. Uuden tuotteen kehitysprosessi on osa tuotteen elinkaarta, jonka aikana tuodaan uusi konsepti markkinavalmiuteen. Prosessi kattaa uuden tuotteen visioinnin, liiketoimintamahdollisuuksien analysoinnin, markkinoinnin toimenpiteet, teknisen suunnittelun, tuotantosuunnitelmien laadinnan, suunnittelun validoinnin näitä

suunnitelmia vastaan, jakelukanavien kehittämisen markkinointia varten ja päättyy lopulta uuden tuotteen tuomiseen markkinoille. Tuotekehitysprosessi voi ulottua tuotteen myöhäisempiinkin vaiheisiin, mikäli uudelleensuunnittelua tai ylläpitosuunnittelua tarvitaan. (9, s. 47.)

Tuotekehityksen päävaiheista vallitsee selkeä yhteisymmärrys. Professorit Karl T. Ulrich ja Steven D. Eppinger ovat kirjoittaneet useita kirjoja aiheesta tuotekehitys ja innovaatiot. (9.) Ulrich ja Eppinger ovat hahmotelleet yleisen, esimerkiksi mekaanisten ja sähkömekaanisten järjestelmien kehittämiseen soveltuvan prosessin vaiheet (liite 1).

Tuotteita ja näiden kehittämiseen tähtäviä hankkeita voidaan luokitella sen mukaisesti, kuinka suuri on aiheutuva muutos kahdessa eri dimensiossa, tuotteessa ja tuotantoprosessissa (kuva 3). Mitä suurempi on muutos jommassakummassa dimensiossa, sitä enemmän resursseja hanke tarvitsee. (9, s. 52) Wheelwright ja Clark päätyivät luokittelussaan kolmeen luokkaan: johdannaisiin, platformeihin eli tuotealustoihin ja radikaaleihin innovaatioihin. (11.)



KUVA 3. Tuotteet ja tuotekehitysprojektit jaoteltuna muutoksen suuruuden mukaisesti tuotteessa ja tuotantoprosessissa (9, s. 53)

Johdannaistuotteiden luokkaan kuuluvissa hankkeissa tuotteeseen ja prosessiin kohdistuvat muutokset ovat asteittaisia muutoksia tuotteissa, prosesseissa tai molemmissa. Hankkeet ovat rajattuja ja kehitysresurssien tarve jää maltilliseksi.

Tuotealusta-tuotteiden kehittämiseen tähtäävissä hankkeissa muutokset tuotteessa ja prosessissa ovat yleensä suurempia kuin johdannaistuotteisiin tähtäävissä hankkeissa. Näissäkään ei kuitenkaan yleensä tuoda koettelematonta uutta teknologiaa tai uusia materiaaleja markkinoille. Tuotealustat kohdistetaan vastaamaan tärkeimpien asiakasryhmien tarpeisiin, mutta ne on suunniteltu muokattavaksi johdannaisiksi lisäämällä, korvaamalla tai poistamalla ominaisuuksia.

Radikaaleja innovaatioita käsittelevien hankkeiden tuloksena syntyy tuotteita, jotka ovat uusia yritykselle tai uusia maailmanlaajuisesti. Muutos tuotteessa tai prosessissa on huomattava verrattuna nykyisiin tuotteisiin. Tämän luokan tuotteisiin sisältyy usein uutta teknologiaa tai uusia materiaaleja. Näiden kehittäminen saattaa edellyttää liikkumavaraa tuotekehitykselle, koska nykyinen toimintaympäristö ei välttämättä tarjoa radikaalille innovaatiolle sopivia aineksia. (9, s. 53.)

Rinnakkaissuunnittelu ei aina tarkoita yhden tietyn projektin sisällä tapahtuvaa suunnittelua, tiedon tallennusta ja sen jakamista. Tässä työssä on otettu huomioon samaa tuotealustaa hyödyntävien tuotteiden kehittäminen ja rinnakkaissuunnittelussa saavutetun tiedon välittyminen myös toisille, samaa tuotealustaa käyttävien projektien suunnittelijoille. Radikaaleja innovaatioita voivat olla useiden toimintojen liittäminen yhteen osaan tai täysin uusien valmistusmenetelmien käyttöönotto, joista ei ole vielä aikaisempaa omakohtaista kokemusta. Näiden suunnittelutietojen taltiointi ja jakaminen muiden suunnittelijoiden saataville on ensisijaisen tärkeää uusien tuotteita suunniteltaessa.

3.1 Valmistettavuuden suunnittelu

Tuotteita ja tuotteen osia suunniteltaessa valmistettavuus ja markkinoille saattaminen otetaan huomioon jo suunnittelun alkuvaiheessa. Valmistettavuuden tarkasteluun on olemassa useita eri menetelmiä kuten DFX, DFA, DFM ja DFMA. Markkinoille saattamisen prosessi, NPI-prosessi (New Product Introduction) on prosessi, mikä tarkastelee eri suunnittelumenetelmiä hyödyntäen

kokonaisvaltaisesti uuden tuotteen kehityskaareen liittyviä asioita konseptoinista markkinoille viemiseen (17).

3.1.1 Design for Manufacturing DFM

Design for Manufacturing eli valmistettavuus ja valmistettavuuden suunnittelu luovat menetelmiä ja järjestelyjä, jotka yksinkertaistavat ja alentavat valmistuskustannuksia. DFM-prosessi suuntautuu pääasiassa yksittäisiin osiin ja komponentteihin, kun taas DFA-prosessissa tarkastellaan osakokoonpanoja, kokoonpanoja ja tuotetta. DFM-prosessilla eliminoidaan kalliit ja tarpeettomat piirteet osista, jotka aiheuttaisivat osan hankalan ja kalliin valmistuksen. Näitä ovat tarpeettoman sileät pinnat, kulmien pienet säteet ja tarpeettoman pienet valmistustoleranssit.

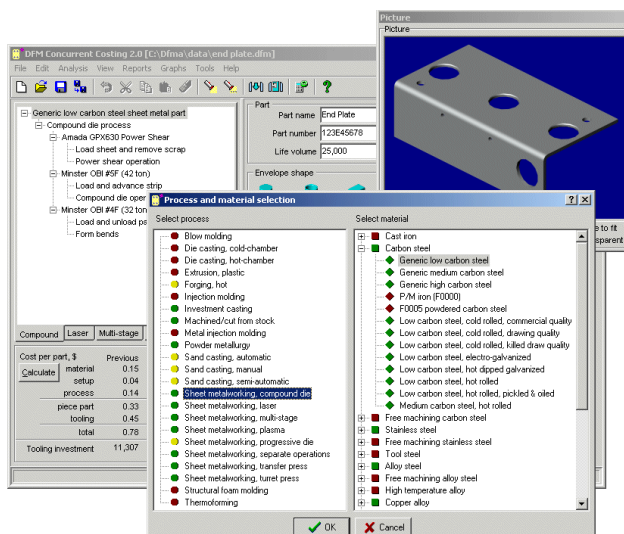
DFM-prosessin tavoitteena on pitää yksittäiset osat yksinkertaisena, koska monimutkaiset osat pitävät helposti sisällän piilokustannuksia (4). Esimerkiksi hitsausta vaativassa valmistuksessa DFM-prosessi huomioi hitsausasennot, luokse päästävyiden ja esivalmistelut (6).

Valmistettavuus on ominaisuus, jonka ansiosta tuotteen osien valmistaminen, kuten koneistaminen, hitsaaminen ynnä muut osavalmistusmenetelmät ovat toteutettavissa tavoitteiden mukaisesti. Esimerkkejä tavoitteiden täyttymistä mittavista kriteereistä ovat tasalaatuisuus, tehokkuus ja tavoiteltava kustannustaso. Valmistettavuus kuvaa osien ja osavalmistusmenetelmien kohtaamista. (15, s. 21.)

DFM on tietokantapohjainen systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, joka käyttää suosituksiaan, tarkistuslistojaan, peruseriaatteitaan ja peukalosääntöjään auttamaan tuotekehitystiimiä suunnittelemaan tuote siten, että se olisi helpompi valmistaa. Nämä mainitut DFM apuvälineet auttavat myös tuotetta toimimaan paremmin, luotettavammin, näyttämään siistimmältä, helpottavan tuotteen huollettavuutta ja parantamaan tuotteen ympäristökuormitusta. Päällimmäisenä tavoitteena on kuitenkin aina valmistuskulujen alentaminen, joka saavutetaan yhteistyöllä tuotekehitys- ja valmistustiimin välillä. (15, s. 13.)

Valmistettavuuden arvioinnissa on käytössä seitsemän kriteeriä. Laadulla mitataan kykyä noudattaa tuoteselostetta ja spesifikaatiota sekä sille asetettuja vaatimuksia. Puutteet laadussa nähdään laadunvalvontaongelmina, korjauksina ja romutuksina. Kalleimmat laatuongelmat näkyvät koko tuote-erän takuukorjauksina. Tuotantokustannuksiin kuuluvat kiinteät kustannukset, kuten varastointi, laadun valvonta, ostot ja tilat. Tuotantokustannuksiin kuuluvat myös muuttuvat kustannukset kuten työvoima ja materiaalit. Kokoonpantavuus-analyysillä arvioidaan tuotteen kokoonpantavuudesta seurautuvia kokoonpanon työkustannuksista. Joustavuutta kuvaa kyky siirtää halutut muutokset valmistuksen tuotokseen eli valmiiseen tuotteeseen. Valmistettavuuden riskejä ovat tuotekonstruktion aiheuttama jatkuva valmistuksen riskialttius ja tuotantovolyymien nopea kohottaminen. Valmistettavan tuotteen läpimenoaika niin perustuotteilla, kuin myös asiakaskohtaisesti räätälöidyillä tuotteilla. Tehokkuus henkilöstö- ja talousresurssien hyödyntämisessä. Ympäristövaikutuksiin vaikuttavat osien materiaalien kierrätettävyys, valmistusprosessin ympäristövaikutukset sekä tuotteen purettavuus ja hävittäminen. (15, s. 20.)

Internetistä on saatavilla esimerkkejä DFM-tarkistuslistoista ja -ohjeistuksista. Kuvassa 4 on näkymä markkinoilla olevasta ohjelmistosta, joilla voidaan estimoida materiaalien, koneiden ja työmenetelmien toimintaa osan valmistuksessa. Ohjelmaan syötettyjen osien tiedoilla saadaan tarkka ymmärrys osan valmistuskustannuksista. (6.)



KUVA 4. DFM Concurrent Costing 2.0 (6)

Rinnakkaissuunnittelussa kokoonpantavien osien DFM on merkityksellisessä asemassa tuotteen mekaniikkaosissa, kokoonpanotyökalujen suunnittelussa ja tuotantokustannuksien ja määrien laskelmoinnissa. Mekaniikka- ja kokoonpanotyökalujen osissa joudutaan joskus tekemään kompromisseja osien lujuusopillisten perusteiden, tuotteen käytettävyyden ja osien ulkonäöllisten asioiden suhteen. Päätöksiin vaikuttavat myös DFM-analyysin tulokset. Osien on oltava kokoonpanon ja lopputuotteen kannalta laadukkaita. Samalla valmistettavan osan hinnan tulee olla mahdollisimman alhainen ja saatavuus tuotantomäärään so- piva.

3.1.2 Design for Assembly DFA

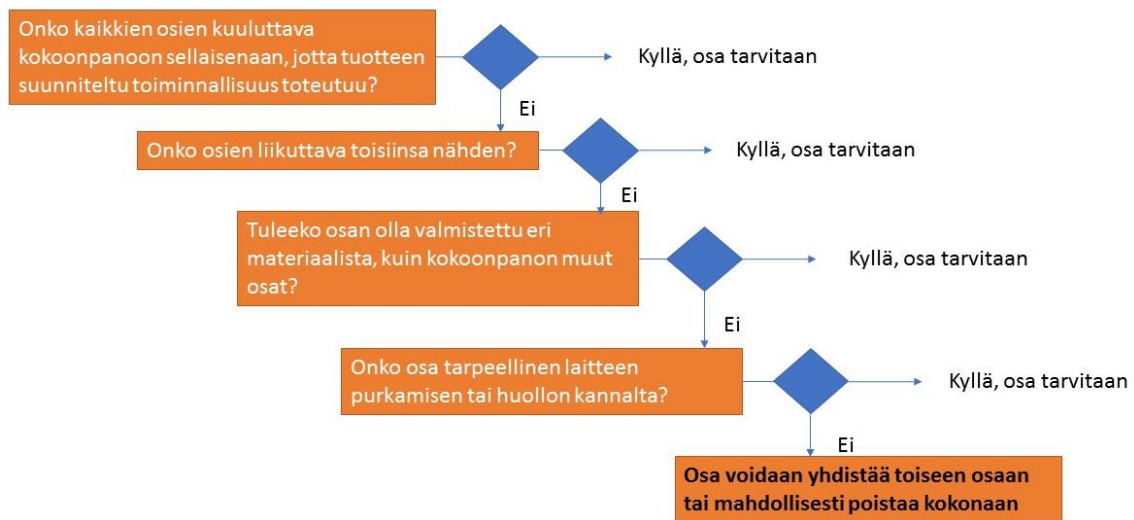
Design for Assembly -prosessissa (DFA) tuote on suunniteltu helpon kokoonpanon näkökulmasta. DFA-prosessilla pyritään vähentämään kustannuksia ja kokoonpanoaikaa, sekä yksinkertaistamaan tuotetta ja kokoonpanoprosessia. DFA menetelmää noudattamalla vähennetään kokoonpanossa käytettävien osien lukumäärää, kaksi tai useampi osaa yhdistetään yhdeksi osaksi, osien kohdistuksia vähennetään tai ne poistetaan kokonaan, kokoonpanotoimintaa yksinkertaistetaan, osan käsittely asennuksessa huomioidaan jo suunnittelussa, kiinnitysmenetelmät valikoidaan kokoonpanoa helpottavaksi, suositetaan ylhäältä alas-asennustapaa, minimoidaan osien toisiinsa takertumista ja varmistetaan tuotteen helppo testattavuus. (15, s. 71.)

3.1.2.1 DFA-prosessi

DFA-prosessi voidaan kuvata seitsemänä erillisenä vaiheena. Ensimmäinen vaihe on toiminnallisten vaatimusten tunnistaminen, joka sisältää toiminnallisen analyysin, standardoitavien osien tunnistamisen ja osien kappalemäärän tehostamisen. Toinen vaihe on käytettävien osien lukumääräinen määrittely. Kolmas vaihe on tunnistaa laatuvirheiden ja virheiden ehkäisyn mahdollisuudet. Neljäs vaihe on tunnistaa osien käsittely ja suuntamahdollisuudet. Viides vaihe on tunnistaa osien paikoitus ja asemoinnin varmistumisen mahdollisuudet. Kuudes vaihe on tunnistaa mahdollisuudet toissijaisten toimintojen vähentämiselle. Seitsemäs vaihe on analysoida tiedot uudelleen tuotteen uusista suunnitelmista.

Mikäli mahdollista, kahdeksantena vaiheena on analysoida kilpailevia tuotteita ja käyttää kokoonpanossa jo valmiiksi ratkaistuja toteutuksia. (18.)

Kuvassa 5 on esitetty, miten voidaan testata osien tarpeellisuutta tuotteen toiminnallisuuden, tarpeellisuuden sekä lukumäärän kannalta. Osalle voi olla useita eri kriteerejä, joiden perusteella osa tarvitaan sellaisenaan tai osa voidaan yhdistää toiseen osaan tai poistaa kokonaan muuta osia muuttamalla.



KUVA 5. Osien tarpeellisuuden testaus (19)

3.1.2.2 DFA:n hyödyt tuotesuunnittelussa

DFA:n hyödyntäminen vähentää varastossa olevien nimikkeiden määrää ja samalla varastonhallinta helpottuu. DFA-tekniikasta on erityisesti hyötyä teollisuudessa, jossa käytetään JIT (Just-In-Time) -johtamisfilosofiaa. JIT:n tarkoituksena on parantaa tehokkuutta tuotanto- ja myyntiprosesseissa. (4.)

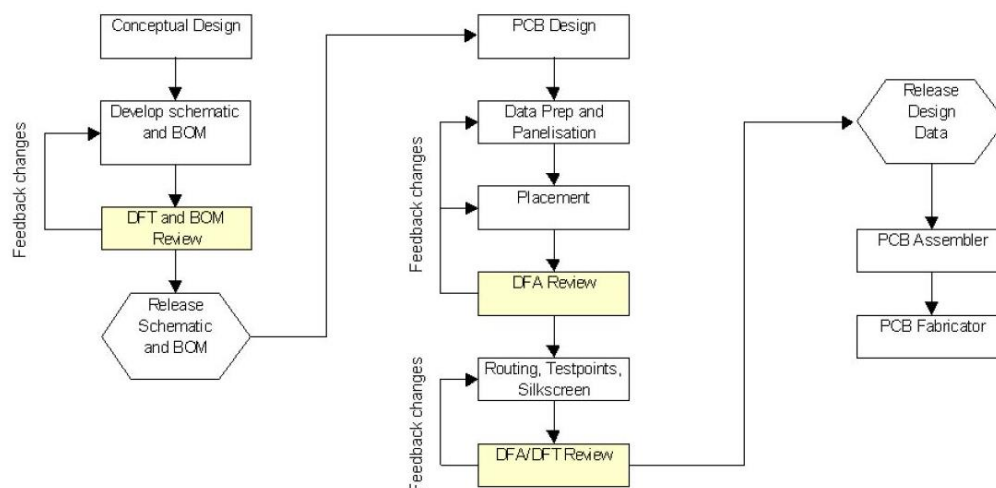
Suunnitteluvaiheessa määräytyy tuotteen kokonaiskustannuksista noin 70 % ja loput 30 % valmistusvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa tehdyt päätökset vaikuttavat tuotteen koko elinkaaren. Kokoonpanon näkökulmasta tehdyt epäedulliset ratkaisut voivat aiheuttaa huomattavat kustannukset tuotteen elinkaaren aikana. DFA-prosessin tavoitteena on pienentää tuotteen kustannuksia vähentämällä ylimääräistä- ja lisäarvoa tuottamatonta työtä, sekä parantaa tuotannon saantoa suunnitteluprosessin aikana tehdyillä valinnoilla. DFA-prosessin pyrkimyksenä

on integroida tuotesuunnittelu ja kokoonpanoprosessi yhdeksi yhteiseksi toiminnaksi. (5.)

Fyysisen suunnittelun muuttuessa konseptoinnista prototyyppien suunnitteluun ja lopuksi massatuotantoon, muutoksista aiheutuvat kustannukset kasvavat merkittävästi. Kaikkien suunnitteluvaiheissa kohdattujen ongelmien ratkaiseminen saattaa lisätä suunnittelu-aikaa, mutta on ylivoimaisesti kustannustehokkain ratkaisu korjata ongelma jo suunnittelun aikana. Muutoksen vieminen massatuotantossa olevaan laitteeseen on aikaan ja rahaan suhteutettuna kallista. (5.)

3.1.2.3 DFA:n toteutuminen ja seuranta

DFA:n toteutumista seurataan tarkistuslistoilla ja ohjeistuksilla. Projektin alkuvaiheessa perustetaan eri osa-alueiden edustajista koostuva arviointiryhmä, joka tarkistaa ja käy läpi projektia sen eri vaiheissa. Tiimi koostuu edustajista konseptointisuunnittelusta, mekaniikkasuunnittelusta, elektroniikka suunnittelusta, tuotannon suunnittelusta, testauksen suunnittelusta ja ostosta. Tiimin jäsenet voivat vaihtua kussakin suunnitteluvaiheessa, mikä mahdollistaa erilaisten skenaarioiden esille tulemisen. DFA-prosessi tulee aloittaa heti projektin alkuvaiheessa, kun tuotteen peruskonsepti on valmis. Prosessista luodulla vuokaaviolla määritetään tarkastelukohdat, joita tiimi noudattaa tuotteen suunnittelun aikana. (Kuva 2).



KUVA 2. Esimerkki elektroniikka DFA-prosessin vuokaavio (4, s. 7)

DFA-prosessin katselmointien tärkein osa on tiedon jakaminen ja palautuminen suunnittelijalle. Kaikki havaitut muutostarpeet tulee dokumentoida siten, että suunnittelija tietää tarkalleen, mitä muutoksilla halutaan saada aikaiseksi. Mikäli suunnittelija ei voi muutosta toteuttaa, tulee suunnittelijan esittää seuraavassa katselmoinnissa perusteet minkä takia muutosta ei voida toteuttaa. Suunnittelussa on syytä edetä eteenpäin vasta siinä tapauksessa, kun katselmoinnin lopputulos on kaikkien osapuolten hyväksymä. (4.)

Suunnittelijoiden on pyrittävä sovitteluun katselmoinnissa, koska suunnittelijoiden ehdotukset voivat olla ristiriidoissa toistensa kanssa. Katselmoinnissa on löydettävä muutokselle kompromissiratkaisu. Suunnittelun lopputuloksena tulee olla toiminnallinen tuote. Ei ole kannattavaa luoda tuotetta jonka valmistuksessa on 100 % saanto ja kustannukset pienet, jos tuote ei toimi niin kuin sen tulisi toimia. DFA tulee vasta toisena vaatimuksena toiminnallisuuden jälkeen. (4.)

Tarkistuslista ja ohjeistukset sisältävät lausuntoja hyviksi havaituista käytännöistä. Ne ohjaavat siihen, että suunnittelija tarkistaa esimerkiksi alikokoonpanon osien määrät. Valmistuksen näkökulmasta tulee välttää hankalia osien asemointeja eikä tule käyttää monenlaisia kiinnitysmenetelmiä, kuten erikokoisia tai tyyppisiä ruuveja. (4.)

DFA-prosessin hyödyntäminen rinnakkaissuunnittelun tukena auttaa alentamaan yksikkökustannuksia, nopeuttaa markkinoille pääsyä ja tuotannossa on tehokkaammin valmistettava tuote, jonka saanto on hyvä ja laadullisesti korkeatasoinen. DFA ottaa kantaa esimerkiksi asennussuuntiin, komponenttien muotoon ja väärinasennusten ehkäisemiseen. (6.)

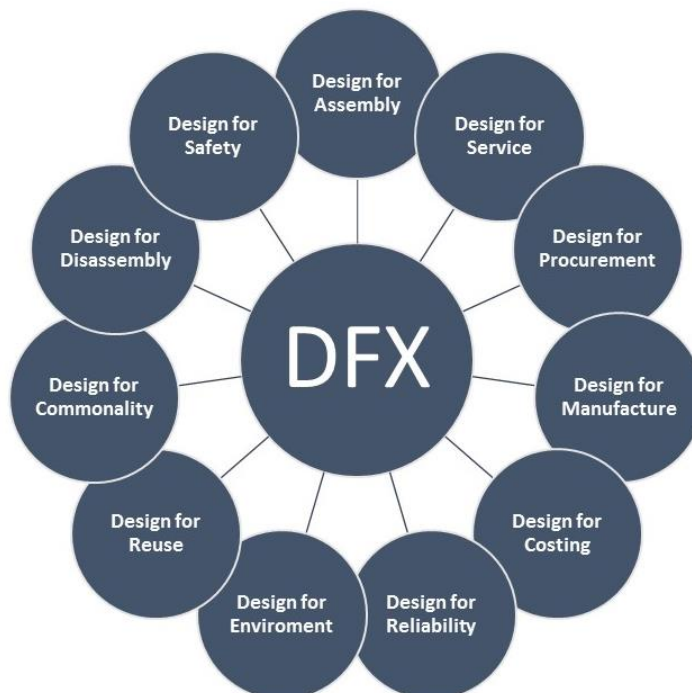
Internetistä on saatavilla esimerkkejä DFA tarkistuslistoista ja ohjeistuksista. Markkinoilla on myös ohjelmistoja, joilla voidaan arvioida ja ennustaa kokoonpanojen haasteita ja hankaluuksia. Kuvassa 3 näkymä DFA Product simplification 10 -ohjelmasta. Ohjelman avulla arvioidaan osan asennettavuutta. Arvion tuloksia voidaan hyödyntää muutettaessa osa helpommin asennettavaksi. Ohjelmien tarjoamat edut tulevat parhaiten esille monimutkaisissa ja paljon osia sisältävissä tuotteissa.



KUVA 3. DFA Product simplification 10 (6)

3.1.3 Design for Excellence DFX

Design for Excellence on suunnittelua, jossa X arvoa käytetään suunnittelun määrittelyssä. Kuvassa 4 on esitetty yleisimpiä vaihtoehtoja millä X voidaan korvata. DFX voi olla esimerkiksi suunnittelunäkökulmien huomiointia tuotteen laadussa, ympäristössä, kustannuksissa, kokoonpanossa, testauksessa, valmistuksessa tai logistiikassa. (8.)



KUVA 4. DFX-suunnittelun määrittelyä (8.)

3.1.4 Design for Manufacturing and Assembly DFMA

Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) on yhdistelmä kahdesta tekniikasta, DFA ja DFM. DFMA-tekniikkaa hyödynnettäessä tulee ymmärtää eroavaisuudet ja samankaltaisuudet DFM- ja DFA-tekniikoiden välillä. DFA tähtää tuotteen kokoonpanokustannuksien minimoimiseen ja DFM tähtää osien tuotantokustannuksien minimoimiseen. Molemmat menetelmät pyrkivät vähentämään materiaali-, yleis- ja työvoimakustannuksia, lyhentämään tuotekehitysaikaa ja tukeutuvat standardien noudattamiseen kustannuksien alentamiseksi. (6.)

Tuotteen kustannuksista 85 % määräytyy suunnittelun alkuvaiheissa. Alkuvaiheessa tehdyt perustellut ja tiedostetut päätökset suunnittelussa, auttavat välttämään kalliit korjaukset myöhemmin tuotteen tuotantovaiheessa. DFMA-prosessin on todettu olevan hyvä lähestymistapa päätösten tueksi jo tuotteen suunnittelun alkuvaiheessa. DFMA:n avulla tuotteen kustannukset pysyvät hallinnassa, kokoonpano helpommin toteutettavana, tuotteessa on halutut toiminnallisuudet, tuotteen saanto tuotannossa on hyvä ja tuote on korkealaatuinen. (6.)

3.1.5 Conceptual Design for Manufacturing and Assembly C_DFMA

Tuotekehityksen alkuvaihe on merkittävin yksittäinen vaihe, joka vaikuttaa tuotekehityksen tuloksiin. Suunnittelun tukijärjestelmät toimivat kuitenkin tehokkaasti vasta tuotteen konseptisuunnittelun jälkeisessä vaiheessa. Tuotettavuuden tukijärjestelmät tulisi kuitenkin saada käyttöön jo tuotekehityksen konseptivaiheessa. Kokoonpantavuutta ja valmistettavuutta pitäisi pystyä arvioimaan ilman yksityiskohtaisia osa- ja kokoonpanomalleja. (9, s. 12.)

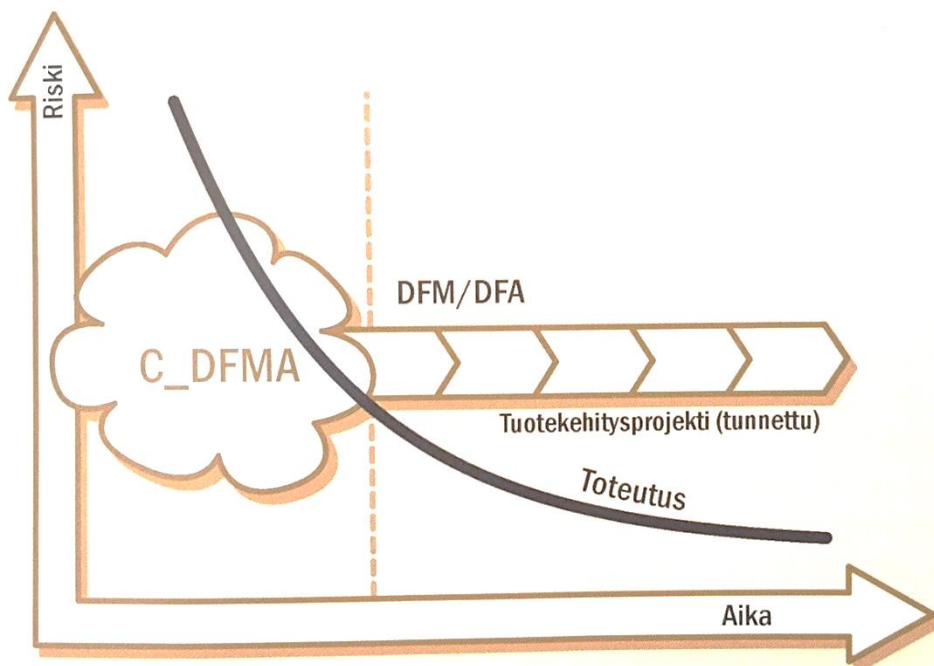
3.2 C_DFMA-lähestymistapa tuotesuunnittelussa

Konseptivaiheessa tuotteen määrittely on vielä osittain abstraktilla tasolla ja kokoonpantavuuden ja valmistettavuuden arviointi haasteellista. Tavoitteena on koko tuotteen elinkaaren yli kestävä tarkastelu, jonka saavuttamiseksi seuraavat osa-alueet ja niiden tutkiminen muodostuvat oleellisiksi. Tuotettavuuden huomiointi otetaan konseptointivaiheessa. Tuotettavuuden ja valmistettavuuden hallinta, kun tuotteen teknologiassa tehdään muutoksia, materiaaleja muutetaan, käyttäjän ja automaation välisiä työnjakoja muutetaan, valmistus ulkoistetaan tai

siirretään erilaiseen yritysverkostoon, valmistus siirretään ulkomaille tai valmistuksessa siirrytään erilaiseen prosessiin. Tuotettavuus ja kustannusten kokonaisvaltainen minimointi. Innovaatiot ja niiden tuotettavuus. Hiljaisen tiedon hyödyntäminen ja siirtäminen muuttuvassa tilanteessa. Valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kehittämisessä saavutettujen hyötyjen jakaminen verkostossa. Kehittämisen organisointimallit, ohjeistus- ja koulutusmateriaalit. (9, s. 12.)

Valmistuskulttuurin muuttuessa tarvitaan entistä täsmällisempää tuotesuunnittelun dokumentointia ja esittämistä. Tuotekehitys- ja suunnittelutyön onnistuminen vaatii tiivistä yhteistyötä suunnittelun ja valmistuksen asiantuntijoiden välillä. Tätä voidaan tehostaa laatimalla suunnittelutyötä tukevia selkeitä ja yksiselitteisiä ohjeita nykyaikaisten valmistusmenetelmien laadukkaaksi ja tehokkaaksi hyödyntämiseksi. (9, s. 12.)

C_DFMA-lähestymistavan painopiste on esitetty kuvassa 5. Painopiste on oleellisesti aikaisemmassa vaiheessa kuin valmistus- ja kokoonpanomyötäisessä suunnittelussa. Aikainen painopiste merkitsee sitä, että suunnitteluun tarvittavia resursseja tulee olla huomattavasti aikaisemmassa vaiheessa käytössä, kuin DFM/DFA-lähestymistavassa. (9, s. 15.)



KUVA 5. C_DFMA:n ajoitus suhteessa DFM/DFA:han (9, s. 15)

Kehitystoiminnan organisointi aiempaa etupainoisemmaksi on ristiriitaista, koska konseptoinnin tuotokset eli suunnitelmat ovat abstrakteja, mutta tuotanto-organisaatio kykenee tulkitsemaan vain konkreettisia tuotesuunnitelmia. Pelkkä henkilöstön lisääminen aikaiseen vaiheeseen ei tule kyseeseen. Sen sijaan tavoitteena on, että kyetään konkretisoimaan nopeasti, ei kuitenkaan välttämättä tarkasti. (9, s. 16)

3.3 Vika- ja vaikutusanalyysi

Tuotesuunnittelussa tehdään yleisesti vika- ja vaikutusanalyysyjä, joiden perusteella etsitään ja määritellään havaittuja riskejä suunnittelussa ja valmistusprosessissa. Käytettyjä analyysyjä ovat FMEA, DFMEA ja PFMEA.

3.3.1 Failure Mode and Effects Analysis FMEA

Failure Mode and Effects Analysis on menetelmä, jonka avulla tunnistetaan ja ymmärretään tietyn tuotteen tai prosessin potentiaaliset vikaantumismallit ja niiden syyt ja seuraamukset järjestelmässä tai loppukäyttäjällä. Menetelmällä arvioidaan riskejä tunnistettuihin vikatilanteisiin, arvioidaan vaikutuksia ja seuraamuksia tuotteeseen tai loppukäyttäjälle ja priorisoidaan korjaustoimenpiteet riskien toteutumisen ehkäisemiseksi tai pienentämiseksi. (12, s. 2.)

FMEA on tekninen analyysi, joka toteutetaan eri osa-alueiden asiantuntijoista koostuvassa ryhmässä. Ryhmässä arvioidaan huolellisesti tuotesuunnitelmia tai valmistusmenetelmiä tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa. Tuotekehityksen aikana tuotteesta korjataan havaitut riskit ja heikkoudet, ennen kuin tuotteen toimitukset asiakkaille alkavat. (12, s. 3.)

FMEA ohjaa tuotteen kehitystä siten, että lopullinen tuote toimisi täydellisesti. Tuotekehityksen alussa havaittujen riskien toteutuminen olisi valmiissa tuotteessa hyväksyttävällä tasolla niin valmistuksessa, testauksessa, kuin myös loppuasiakkaan käyttämänä. Tuotekehitysprosessille ei ole FMEA:sta mitään arvoa, mikäli analyysi tehdään ainoastaan tuotekehitysprosessin alussa ja sen jälkeen asioihin ei enää myöhemmin palata. FMEA-analyysin tehokkaalla hyödyntämisellä tuotteen koko elinkaaren ajan saavutetaan merkittäviä parannuksia tuotteen

luotettavuudessa, turvallisuudessa, laadussa, toimitusajassa ja kustannuksissa. (12, s. 5)

FMEA:n ensisijaisena tavoitteena on parantaa suunnittelua. FMEA-analyysit voidaan lajitella kolmeen ryhmään, System eli systeemin FMEA (SFMEA), Design eli suunnittelun FMEA (DFMEA) ja Process eli prosessin FMEA (PFMEA). FMEA tavoitteita voidaan määrittellä useisiin eri tavoitteisiin. Turvallisuusriskien tunnistaminen ja ehkäisy, tuotteen suorituskykyyn vaikuttavien riskien minimointi tai testaus- ja suunnittelumenetelmien kehittäminen (SFMEA ja DFMEA). Prosessin hallintasuunnitelmien kehittäminen (PFMEA). Harkitut muutokset suunnittelu ja valmistusprosessissa. Tuotteen tai prosessin merkittävien ominaisuuksien tunnistaminen. Esihuoltosuunnitelman laatiminen tarvittavista huollon laitteista. (12, s. 7.)

3.3.2 System Failure Mode and Effect Analysis SFMEA

SFMEA on ylätasoinen analyysi koko järjestelmälle, joka koostuu eri osajärjestelmistä. Analyysin painopiste on järjestelmään liittyvissä puutteissa, kuten järjestelmän turvallisuus ja integraatio, rajapinnat osajärjestelmien ja muiden järjestelmien välillä, vuorovaikutus osajärjestelmien ja ympäristön kanssa, koko järjestelmän epävakauteen vaikuttavat yhdenpisteet, ihmisen vuorovaikutus ja huolto. (12, s. 9.)

3.3.3 Design Failure Mode and Effect Analysis DFMEA

DFMEA on osajärjestelmän tai osan tasolla tehtävä analyysi. Analyysin painopiste on tuotesuunnittelussa ja tavoitteena on suunnittelun parantaminen, tuotteen turvallisen ja luotettavan käytettävyyden varmistaminen koko käyttöajan ajan ja vierekkäisten osien rajapintojen tarkastelu. Suunnittelun FMEA olettaa, että tuote valmistetaan määräysten ja standardien mukaisesti. (12, s. 11.)

3.3.4 Process Failure Mode and Effect Analysis PFMEA

PFMEA on valmistuksen tai kokoonpanon analyysi. Analyysin painopiste on tuotteen valmistukseen ja kokoonpanoon liittyvissä puutteissa. Analyysin avulla pyritään kehittämään valmistusprosessia, varmistetaan tuotteen turvallinen

valmistettavuus ja minimoidaan tuotannon seisokit, romutettavan materiaalin määrä ja korjaukset. PFMEA-analyysiin otetaan huomioon koko prosessi osien saapumisesta, varastoinnista, kuljetusmateriaaleista, kokoonpanotyökalujen ylläpidosta aina valmiiden laitteiden merkintään asti. (12, s. 12.)

3.3.5 FMEA-analyysi ja -määrittely

FMEA-analyysi muodostuu listasta, jonka sisältö määräytyy FMEA-tyypin mukaan. Kuvassa 6 on näkymä yleisesti käytetty taulukosta, joka muodostuu 12 eri sarakkeesta.

Item	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Current Design Controls (Prevention)	Current Design Controls (Detection)	Detection	RPN	Recommended Action(s)	Responsible Person	Actions Taken	Revised Rankings			
												Target Completion Date	Effective Completion Date	Severity	Occurrence	Detection	RPN
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑧	⑨	⑩	⑪		⑫				

KUVA 6. FMEA-taulukko (12, s. 14)

Kuvan 5 selitykset ovat seuraavassa:

1. FMEA-projektin painopiste on ensimmäisessä sarakkeessa, jossa kuvataan analysoitava asia. SFMEA-analyysissä kuvauksena on päätason järjestelmä. DFMEA-analyysissä kuvauksena on osajärjestelmä tai komponentti. PFMEA-analyysissä kuvauksessa kuvataan yksi tietyn valmistuksen tai kokoonpanon vaihe.
2. Function-sarakkeessa kuvataan suunniteltavan osan tai alikokoonpanon tarkoitus tai valmistus kokoonpanovaiheen ensisijainen tarkoitus. Item-sarakkeeseen kuvatulla asialla voi olla monta toimintoa, tämän takia function-sarake voi sisältää samalla rivillä useita eri toimintojen kuvauksia.
3. Potential Failure Mode eli potentiaalinen vikatilanne sisältää kaksi sanaa, joilla molemmilla on oma tarkoituksensa. Failure, eli vika tarkoittaa asiaa, joka lopettaa tai keskeyttää toiminnan tai estää toiminnan osittain. Mode tarkoittaa tilaa, jossa tai jonka seurauksena vikaantuminen tapahtuu.

4. Potential Effect(s) of Failure tarkoittaa vaikutusta, jolla on kuvauksen mukainen seuraus järjestelmälle tai loppukäyttäjälle. Kuvaus voi olla ylimmän vaikutustason kuvaus järjestelmälle tai loppukäyttäjälle. Kuvaus voi olla myös kolmitasoinen, jolla kuvataan paikallinen vaikutus, seuraavan tason vaikutus tai päävaikutus koko tuotteelle tai järjestelmälle. Prosessi FMEA:ssa otetaan huomioon vaikutukset valmistuksen ja kokoonpanon tasolla, kuin myös järjestelmän ja loppukäyttäjän näkökulmasta. Vikatilanteella voi olla useita seurauksia, mutta tyypillisesti vakavin seuraamus kerrotaan FMEA-analyysissä.
5. Vikamuodon vaikutuksen vakavuusasteella, eli Severity-numeroarvolla kerrotaan vikatilanteen vakavuus numeroarvoin ilmaistuna. Numeroarvo perustuu vakavuusasteikolla määriteltyyn skaalaan, joka määräytyy FMEA tyyppin mukaan. Vakavuus määritellään taulukon 1 mukaisesti ilman esiintymisen todennäköisyyden tai havaittavuuden huomiointia. (12, s. 25.)

TAULUKKO 1. Vian vakavuusasteikko, Severity Ranking (13, s. 11)

Arvoasteikko	Arviointikriteerit: vaikutuksen vakavuusaste
1	Ei mitään vaikutusta tuotteelle/prosessille eikä käyttäjälle.
2	Erittäin vähäinen vaikutus tuotteeseen/prosessiin.
3	Vähäinen vaikutus tuotteeseen/prosessiin.
4	Erittäin pieni toimintahäiriö tuotteessa/prosessissa.
5	Pieni toimintahäiriö tuotteessa/prosessissa.
6	Tuotteen/prosessin toimintahäiriö.
7	Selvä toimintahäiriö tuotteessa/prosessissa.
8	Suuri toimintahäiriö tuotteessa/prosessissa.
9	Tuote/prosessi ei toimi.
10	Turvallisuus- tai henkilövahinkoriski.

6. Vian syy eli cause on erityinen syy vikaantumiselle. Ennen kuin juurisyy on selvillä, syytä on helpointa etsiä kysymällä, miksi näin tapahtui.

Jokaiselle vikatilanteelle voi olla useita syitä. Design FMEA:ssa syynä on suunnittelussa tapahtunut virhe tai puutteellinen suunnittelu. Process FMEA:ssa syy on valmistus tai kokoonpanoprosessissa oleva virhe, joka johtaa vikaan.

7. Vian esiintymistodennäköisyys, occurrence, ilmaistaan numeroarvoin. Numeroarvo kuvaa analyysissä todennäköisyyttä, jolla vika ja siihen liittyvä syy voi toteutua. System- ja Design FMEA:ssa arvioidaan vian esiintymisen todennäköisyyttä tuotteen koko eliniän aikana. Process FMEA:ssa vian esiintymisen todennäköisyyttä arvioidaan taulukon 2 mukaisesti tuotteen valmistuksen aikana. Numeroarvo FMEA-analyysiin valitaan arviointikriteerien perusteella vian esiintymistodennäköisyyden mukaan. (12, s. 28.)

TAULUKKO 2. Vian esiintymistodennäköisyys, Occurrence Ranking (13, s. 12)

Arvoasteikko	Arviointikriteerit: esiintymisen todennäköisyys
1	Esiintyminen erittäin epätodennäköistä 1:10 000
2	Hyvin pieni esiintymistiheys 1:5000.
3	Pieni mahdollisuus esiintymiselle 1:2000.
4	Melko pieni esiintymistodennäköisyys 1:1 000.
5	Esiintyminen mahdollista 1:750.
6	Esiintyminen todennäköistä 1:500.
7	Esiintyminen hyvin todennäköistä 1:300.
8	Esiintyminen erittäin todennäköistä 1:200.
9	Esiintyminen toistuvaa 1:50.
10	Esiintyminen jatkuvaa 1:20.

8. Parhailaan menossa olevat menetelmät tai toimet, Current Design Controls, joilla pyritään vähentämään tai poistamaan riskiä. System tai Design FMEA:ssa riskiä voidaan vähentää ennaltaehkäistävällä (prevention) seurannalla, jossa kuvaillaan, kuinka syy, vikatilanne tai vaikutus estetään

tuotteen suunnittelussa perustuen meneillä oleviin tai suunnitelmissa oleviin toimiin. Toimilla vähennetään todennäköisyyttä, jolla riski toteutuisi ja näin ennaltaehkäisevät toimet vaikuttavat suoraan esiintymistodennäköisyyden kertoimeen.

Riskiä voidaan arvioida myös tunnistustyyppisellä (detection) seurannalla. Tunnistuksessa kuvataan, miten vikatilanne tai syy on suunnittelussa havaittu parhaillaan meneillä oleviin tai suunnitelmissa oleviin toimiin ennen kuin tuote viedään tuotantoon. Tunnistus-tyypistä arviota käytetään määriteltäessä arvoa vian havaitsemisen todennäköisyydelle.

9. Vian havaitsemistodennäköisyys eli detection kuvaa arvoa todennäköisyydestä, jolla viat voidaan havaita ennen tuotteen toimitusta asiakkaalle. (12, s. 35.) (Taulukko 3.)

TAULUKKO 3. Vian havaitsemistodennäköisyys, Detection ranking (13, s. 13)

Arvoasteikko	Arviointikriteerit: vian havaitsemistodennäköisyys
1	Virhe havaitaan aina > 99,99 %.
2	Virhe havaitaan erittäin suurella todennäköisyydellä >98 %.
3	Virhe havaitaan suurella todennäköisyydellä >96 %.
4	Normaali todennäköisyys virheen löytymiselle >95 %.
5	Pienehkö todennäköisyys virheen löytymiselle >90 %.
6	Pieni todennäköisyys virheen löytymiselle >85 %.
7	Hyvin pieni todennäköisyys virheen löytymiselle >80 %.
8	Vähäinen todennäköisyys virheen löytymiselle >60 %.
9	Erittäin pieni todennäköisyys virheen löytymiselle >50 %.
10	Virhettä ei todennäköisesti löydetä.

10. Riskille määritetyt kolme arvoa, vakavuus, esiintymistodennäköisyys ja havaittavuus muodostavat riskiluvun, eli RPN-luvun (Risk Priority Number). RPN-luku saadaan selville kertomalla kaikki kolme lukua yhteen. (12, s. 37.) (Kaava 1.)

Riskiluku lasketaan kaavalla 1 (12, s. 36).

$$RPN = S * O * D$$

KAAVA 1

RPN = riskiluku

S = Severity eli vakavuus

O = Occurrence eli esiintymistodennäköisyys

D = Detection eli havaittavuus

11. Recommended Actions ovat toimintasuosituksia, joilla FMEA tiimi pyrkii vähentämään tai poistamaan potentiaalisia syitä vikaantumiselle ja epäonnistumiselle. Toimintasuosituksissa tulisi esittää toimenpiteet vikatilanteiden havaittavuuden parantamiseksi, priorisoida asiat tärkeysjärjestykseen RPN-luvun korkeudesta huolimatta ja ottaa huomioon korjaustoimenpiteissä kustannustehokkaat korjaustoimenpiteet. Jokaisella asialla voi olla useita toimintasuosituksia.
12. Toimet riskien pienentämiseksi tai vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle määritellään Actions Taken -kohdassa. Toimien tulisi korreloitua tiettyyn toimintaan riskin pienentämiseksi. Toimien toteutukselle on syytä sopia vastuullinen henkilö ja aika, milloin korjaavat toimet tulee olla tehtynä. Korjaavien toimien toteuduttua FMEA-tiimi arvioi uudelleen riskin vakavuuden, esiintymistodennäköisyyden ja havaittavuuden. Korjaustoimenpiteitä voidaan pitää kunnollisina, mikäli uusintatarkastelussa RPN-luku on pienentynyt 50 % aikaisemmista arvoista. (13, s. 14).

4 RINNAKKAISUUNNITTELU POLAR ELECTRO OY:SSÄ

Polar Electrolla tuotteen suunnitteluun ja toteuttavaan projektiorganisaatioon kuuluu edustajia monista tiimeistä. Tiimit, joiden toimintaa työssä erityisesti tutkitaan, osallistuvat tiiviisti projektin etenemiseen ja ovat suuressa vastuussa projektin onnistumisessa ennalta määritellyssä aikataulussa. Tiimien työskentely on vahvasti liitoksissa toistensa toimintaan ja tiedonkulun ja suunnittelun on edetävä saumattomasti, jotta tuoteprojektin eri etappien ja vaiheiden tavoitteet saavutetaan aikataulun mukaisesti.

4.1 Suunnittelun ohjelmistot ja tietojärjestelmät

Projektien ohjaus ja etenemisen seuranta toteutetaan Confluence-organisaatiowikiohjelmistoa ja Jira-tehtävienhallinta ohjelmistoa hyödyntäen. Tuotteen suunnitteluun ja tiimien väliseen kommunikointiin käytetään useita eri ohjelmia, kuten Microsoft Officen -ohjelmistoja, Siemens Teamcenter, Siemens NX, IBM Lotus Notes, Atlassian Confluence ja Jira. Lähes jokaisella tiimillä on vielä lisäksi omat erityisohjelmat, oman osa-alueensa suunnittelun tueksi.

4.1.1 Office 365

Microsoft Office 365 -ohjelmisto sisältää Outlook-sähköpostin, -kalenterin, Wordtekstinkäsittelyn, Excel-taulukkolaskentaohjelman, PowerPoint-esitysgraafiikkaohjelman ja Skype for Business VoIP- ja pikaviestintäohjelman. Tiimienvälisessä yhteydenpidossa, tiedon jaossa ja asioiden esittämisessä Officen erilliset ohjelmat ovat päivittäisessä käytössä.

4.1.2 Teamcenter

Teamcenter on Siemens PLM Softwaren kehittämä tuotetiedon ja tuotteiden elinkaarenhallinnan ratkaisu. Hallintajärjestelmä palvelee yrityksen sisäisten sidosryhmien informaatiotarpeita alkaen tuotteen tuotemäärityistä aina huolto- ja palveluliiketoiminnan prosesseihin asti. Tuotetiedonhallinnan tietojärjestelmistä käytetään yleisesti lyhennettä PDM tai PLM. PDM koostuu sanoista Product Data Management ja PLM sanoista Product Lifecycle Management.

Tuotekehityksen alussa Teamcenter palvelee projektia projektinhallinnan, vaatimustenhallinnan ja järjestelmäsuunnittelun tukena. Suunnitteluprosessin aikaiset CAD-järjestelmät ovat integroitu Teamcenteriin. Tuotetiedonhallintaa käyttämällä vältetään tuoterakenteiden ja nimikkeiden määrittelyn mahdolliset ongelmatilanteet. Eri tiimien ja eri paikoissa työskentelevien suunnittelijoiden yhteistyön tukena PDM tarjoaa ajantasaisen informaation tuotteesta ja versioista kaikille samanaikaisesti. Valmistuksen käynnistyttyä tuotetiedonhallinta palvelee tuotannossa olevan tuotteen muutoksen ja version hallinnassa. (14.)

4.1.3 Siemens NX

Siemens NX on suunnitteluohjelma tuotekehityksen, suunnittelun, simuloinnin ja valmistuksen tarpeisiin. Siemens NX on kehitetty yhdistämällä I-DEAS ja Unigraphics-ohjelmistojen toiminnallisuuksia. Siemens NX:n pääasiallinen käyttötarkoitus on 3D-mallien ja 2D-piirustusten laatiminen.

4.1.4 IBM Lotus Notes

IBM Lotus Notes on työryhmäohjelmisto, joka pitää sisällän sähköpostin, kalenterin ja asiakirjahallinnan. Lotus Notesiin on ohjelmoitu myös Human Resource ohjelmisto ja esituotannon tilauskanta. Lotus Notes on pikkuhiljaa vähenemässä Polar Electron käytössä, eikä sitä enää kehitetä tuotekehityksen tarpeisiin. Kokonaan ohjelmisto ei kuitenkaan ole lähiaikoina poistumassa käytöstä, koska kaikille toiminnoille ei ole vielä löydetty korvaavia ohjelmistoja.

4.1.5 Confluence

Confluence on Atlassianin kehittämä verkkosivupohjainen wiki-sovellus, joka mahdollistaa projektikohtaisien työtilojen luomisen web-selaimella käytettäväksi. Työtilat sisältävät omat osa-alueensa projektin toiminnassa mukana olevien tiimien mukaisesti. Tiimien vetäjät ja suunnittelijat dokumentoivat oman osa-alueensa tekemiseen vaikuttavat suunnitelmat, palaverimuistiot ja muut projektin etenemisen kannalta oleelliset asiat sivustolle, josta projektiin kuuluvat henkilöt voivat niitä tarvittaessa tarkastella.

4.1.6 JIRA

JIRA on Atlassianin kehittämä tehtävienhallintaohjelmisto, jota käytetään projektin hallintaan, työtilausten, työmääräysten, virheiden ja tukipyyntöjen raportointiin. JIRA:ssa olevia tietoja voidaan linkittää suoraan Confluenceen, jonka ansiosta yksittäisistä JIRA-raporteista saadaan tilannenäkymä suoraan esimerkiksi Confluenceen laadittuun muistioon. Muistioon linkitetyn raportin näkymä päivittyy automaattisesti sen perusteella mikä raportin tilanne on JIRA:ssa.

4.1.7 ActiveWorkspace

ActiveWorkspace on web-selaimella toimiva tiedonhaku-sovellus Teamcenteriin tallennettujen tiedostojen ja tietojen hakemiseen, tarkasteluun ja tallentamiseen. ActiveWork-spacen käyttäminen ei vaadi Teamcenterin asennusta käytössä olevaan päätelaitteeseen kuten tietokoneeseen, tabletiin tai matkapuhelimeen. Käytäjällä tulee kuitenkin olla Teamcenter-tunnukset sovellukseen kirjautumiseen.

4.2 Rinnakkaissuunnittelun toteutus

Tuotteen suunnittelu saa alkunsa olemassa olevasta tarpeesta, jota täyttämään konseptoinnissa määritellään tuotteen spesifikaatio. Spesifikaatio, yhdessä teollisen muotoilijan hahmotelmista tuotteen ulkonäölle, määrittelee raamit tuotteen ominaisuuksille, ulkomitoille ja käytettäville materiaaleille.

Mekaniikkasuunnittelija suunnittelee Siemens NX:llä tuotteen 3D-mallin ja 2D-mittapiirustukset kokonaisuudessaan. Jokaiselle yksittäiselle osalle varataan yksilöllinen koodi Teamcenteristä, jonka jälkeen tuotteen 3D-malli, eri osineen on löydettävissä Teamcenter PLM-järjestelmästä. Samalla nimikkeellä voi olla tallennettuna PLM-järjestelmään useita osia, mutta samalla koodilla ei voi olla muita osia. Mikäli osiin tulee tehdä muutoksia, muutos tallennetaan alkuperäisille koodille, joille kuitenkin luodaan uusi revisio numero ja tehdyt muutokset tallennetaan uuden revision alle. Näin voidaan olla varmoja, että suunnittelussa mallina käytettävät osat ovat aina juuri oikeita. Samalla osan historiatietoja voidaan tarkastella aikaisempien revisioiden alta.

Tuotteen kokoonpanoon tarvitaan erilaisia laitteita, työkaluja, jigejä ja fixtureita. Näiden kokoonpanotyökalujen suunnittelun pohjana käytetään tuotteen 3D-mallin mukaisia osia, joita on määritelty käytettäväksi kokoonpantavassa laitteessa. Tieto kaikista tuotteeseen kuuluvista osista ja niiden versioista on määritelty tuotteen BOM-listaukseen. BOM-listassa mainituilla osien koodeilla löydetään Teamcenteristä juuri oikea osa ja osan versio, jota kokoonpanossa käytetään. Näitä osatietoja hyödyntäen kokoonpanotyökalujen suunnittelijat voivat valmistaa kokoonpanossa käytettävät työkalut tuotteen osien mukaisesti.

Kokoonpanossa käytettävistä laitteista ja työkaluista suunnitellaan aluksi 3D-mallit samalla tavalla, kuten kokoonpantavasta tuotteestakin. Kokoonpanotyökalujen 3D-mallit ja 2D-mittakuvat tallennetaan myös Teamcenteriin. Polar Electrolla on tehtaat Kiinassa ja Malesiassa. Tästä syystä ei ole järkevää toimittaa kaikkia työkaluja Suomesta. Teamcenteristä löytyvien 3D- ja 2D-kuvien perusteella kokoonpanotyökalut tai niiden osat on mahdollista tilata myös Kiinan ja Malesian tehtaiden lähellä sijaitsevilta paikallisilta toimittajilta.

Kokoonpanossa tarvittavat työkalut määritellään DFA Specialistin tai NPI koordinaattorin toimesta. DFA Specialisti tai NPI koordinaattorit tutustuvat hyvissä ajoin kokoonpantaviin rakenteisiin, osakokoonpanoihin, osiin ja työmenetelmiin, joiden perusteella määritellään kokoonpanossa ja tuotannossa tarvittavat työkalut. Työkalut käyvät läpi samankaltaiset kehitysvaiheet, kuin itse kokoonpantava tuotekin useiden prototyyppisarjojen aikana. Kokoonpanotyökalujen pääasiallinen käyttö tapahtuu massatuotantotehtaalla, joten työkalujen käytettävyys, tuotannon vaatimukset ja kokoonpantavien laitteiden tuotantomäärät tulee huomioida tarkoin jo ensimmäisen työkaluversion suunnittelussa.

Teamcenter pitää sisällään kaiken tuotteisiin liittyvän suunnittelutiedon ja dokumentaation. Suunnittelijat käyttävät näitä tietoja hyödyksi oman osa-alueensa suunnittelussa. On havaittu, että tiedon jakamiseen tarvitaan parannusta. Mallinustiedot ja dokumentit ovat saatavilla Teamcenterissä, mutta muuhun suunnittelutyössä tarvittavaan tiedon jakamiseen ei yhtenäistä käytäntöä ole vielä olemassa. Tiedon jakaminen tiimien välillä tapahtuu keskinäisten keskusteluiden, palavereiden, sähköpostien, Confluencen ja JIRA:n kautta.

5 RINNAKKAISUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN

Tuotekehitysprosessi on jaettu Polar Electrolla seitsemään etappivaiheeseen G0-G6. Kaikki tiimit eivät ole vielä mukana projekteissa G-1 konseptointivaiheesta, vaan tulevat mukaan projektiin sitä mukaa, kun lopullisen tuotteen konsepti alkaa hahmottumaan ja varmistumaan. Viimeistään projektin G1-etapin hyväksymisen jälkeen kaikki tiimit ovat mukana projektin toteuttamisessa. Tiimien välisessä rinnakkaissuunnittelussa yhtenäisten käytäntöjen noudattaminen on avainasemassa. Nykyiset ohjelmistot ja tietojärjestelmät tarjoavat rinnakkais-suunnitteluun mahdollisuuksia, joita ei vielä täysin hyödynnetä tai toimintatapoja olisi aiheellista yhtenäistää.

5.1 Tuotekehitysprosessin kehittäminen

Uuden tuotteen konseptoinnissa, suunnittelussa, valmistuksen- ja kokoonpantavuuden suunnittelussa eri tiimeillä on omat Gate-etapit. Projektin Gate-etappien ja sen mukaisten tiimikohtaisien tavoitteiden toteutuessa, projekti etenee kohti tuotteen valmistumista ja myynnin aloitusta G5-etapissa. NPI-prosessi on keskeisessä roolissa projektin saattamisessa massatuotantoon. NPI-prosessi on jaksotettu yrityksessä käytössä olevien Gate-etappien mukaisesti alkaen projektin G0-etapista ja päättyen tuotteen ylläpitoon G6-etapin jälkeen. Rinnakkaissuunnittelun kannalta NPI-prosessi kokoaa yhteen usean tiimin etappitavoitteet.

Tuotteesta valmistetaan tuotekehityksen aikana useita prototyyppisarjoja. Sarjoilla testataan mekaniikka- ja elektroniikkaratkaisujen toimivuutta tuotteessa, tuotannon aikaista tuotteen testausta ja tuotannollisuutta kokoonpanoprosessin näkökulmista. Tuomalla eri osa-alueiden muutokset ja korjaukset koostetusti protosarjoihin, varmistetaan tuotteen valmistuminen sovitussa aikataulussa ja vähennetään protosarjojen määrää. Protosarjat on aikataulutettu eri Gate-etappeihin siten, että sarja ehditään tilaamaan, valmistamaan ja testaamaan ennen kuin käydään läpi, onko tiimien omiin Gate-etappiin määritellyt asiat saavutettu ja tehty ennen kuin voidaan siirtyä seuraavaan etappiin. Eri tiimien omat Gate-prosessit ovat tiukasti sidoksissa muiden tiimien Gate-etappeihin ja etappien sisältöihin. Jos jonkun osa-alueen Gate-katselmoinnissa havaitaan puutteita, tulee sopia

puutteiden korjauksesta erikseen. Mikäli kyseessä on pieni puute tai puutteeseen on tulossa korjaus nopeasti, voidaan kyseinen kohta hyväksyä erillisillä kommentteilla, jolloin koko Gate-katselmointi ei mene uudelleen katselmointiin myöhemmäksi.

5.1.1 G-1 Gate

Tuotteen konseptointi ja varhainen suunnittelu alkaa jo G-1-vaiheessa. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan ole vielä perustettu tuotekehitysprojektia, vaan projektin suunnittelu on vasta alussa vähäisillä suunnittelijaresursseilla. G-1-vaiheessa tehdään selvityksiä ja ehdotuksia tuotteen suunnitelmiin, joiden pohjalta tuotetta aletaan kehittämään tulevissa tuotekehitysvaiheissa kohti tuotantoa.

G-1-vaiheessa tuotteen suunnitelmia tehdään laitteen ulkonäön, ulkomittojen, elektronisten komponenttivalintojen ja mekaniikkamateriaalien ja lujuusopillisten rakennesuunnittelujen osalta. Tässä vaiheessa tehdään myös tuotteen kokoonpanoprosesseihin vaikuttavia suunnitelmia, joihin olisi hyvä saada näkemyksiä ja kommentteja kokoonpanosta vastaavilta henkilöiltä. Tuotesuunnittelun varhaisessa vaiheessa on helpompi tehdä tuotteeseen vaikuttavia muutoksia, kuin myöhemmässä vaiheessa, jolloin tuotteen suunnittelu on viety jo pidemmälle ja mahdollisesti tehty jo pitkän toimitusajan vaativia osatilauksia. Muutoksilla suunnittelun alkuvaiheessa voidaan helpottaa tuotteen kokoonpantavuutta, vähentää tuotteessa tarvittavien osien määrää, pienentää tuotteen omakustannehintaa ja pienentää riskejä tuotannon aikana tapahtuville kokoonpanovirheille, joiden seurauksena voi aiheutua pilalle menneen materiaalin romutuskuluja.

5.1.2 G0 Gate

Gate G0 on vaihe, jolloin on jo olemassa tuotteesta tarkoin määritelty konsepti ja tuotespesifikaatio. Valmistettavasta tuotteesta on olemassa 3D-mallinnukset, joiden perusteella voidaan alkaa käymään läpi tuotteen osien valmistuksessa käytettäviä valmistustekniikoita, sekä osien kokoonpanoon tarvittavaa kokoonpano- ja testausteknologiaa. G0-vaiheessa ei ole vielä olemassa tarkkaa tietoa tuotteen lopullisesta kokoonpanoprosessista. Tiedossa olevien osien ja niiden valmistukseen liittyvien teknologioiden, kokoonpanoprosessien ja työvaiheiden määrän

perusteella voidaan kuitenkin laatia ensimmäisiä arvioita tuotteen lopullisesta omakustannehinnasta ja kokoonpanoajasta eri työvaiheineen. Arvio perustuu aikaisempiin kokemuksiin vastaavanlaisista tuotteista, osista ja kokoonpanoprosesseista.

Projektin G0-vaiheessa on tehty jo useita valintoja kokoonpanossa käytettävistä menetelmistä, teknologioista ja prosesseista. Osien kokoonpanojärjestykseen on mahdollisesti tehty valintoja, jotka määrittelevät lopullista kokoonpanojärjestystä massatuotannossa. Laitteen valmistuksen ja kokoonpantavuuden arvioimisen kannalta olisi aiheellista katselmoida tuotteen rakennetta yhdessä elektroniikka-, mekaniikka-, työkalu- ja kokoonpanosuunnittelijoiden kanssa jo hyvin varhaisessa vaiheessa, ensimmäisistä 3D-mallinuksista alkaen jatkuen viimeisiin muutoksiin, aina massatuotannon aloitukseen asti.

5.1.3 G1 Gate

G1-vaiheessa on olemassa tieto tuotteen kokoonpanossa käytettävistä osista ja komponenteista. Osien ja komponenttien valmistajiin on oltu yhteydessä ja ensimmäiset tarjoukset osien ja komponenttien hinnoista on saatavilla, arvioituilla tuotteen massatuotantomäärillä. Tuotteen kokoonpanoprosessi ja kokoonpanossa tarvittavat työkalut ovat alustavasti määriteltynä osakohtaisesti ja kokoonpanotyökalujen suunnittelu on aloitettu. Osien, komponenttien ja työvaiheiden tarkentuessa myös tuotteen omakustannehinnasta ja kokoonpanoajasta on olemassa tarkemmat laskelmat.

Tuotteen protosarjojen tavoitteet ja aikataulut määritellään G1-vaiheessa. Protosarjojen huolellinen aikataulutus on oleellisen tärkeää, jotta usean eri osa-alueen välitavoitteet voidaan määritellä ja saavuttaa suunnitellusti. Muutokset tuotteeseen G1-vaiheen jälkeen vähentävät käytössä olevaa aikaa tuotteen viimeistelystä ja testauksesta ennen massatuotannon aloitusta. Projektin päätavoitteena on saada määritykset ja vaatimukset täyttävä tuote sovitussa aikataulussa tuotantoon ja toimitukset käyntiin asiakkaille.

Todellinen rinnakkaissuunnittelu tiimien välillä käynnistyy viimeistään projektin G1-vaiheessa. Tuotteen 3D-mallien avulla voidaan aikaisempaan kokemukseen

pohjautuen arvioida mahdollisia riskejä tuotteessa ja kokoonpanoprosesseissa. Tuotteelle laaditaan ensimmäinen FMEA, jonka avulla pyritään ennakoimaan ja pienentämään riskiä mahdollisesti kokoonpanossa aiheutuvista vioista. Kokoonpanovaiheessa aiheutuvien vikojen seurauksena pahimmassa tapauksessa valmiiksi kasattu tuote joudutaan kokonaan romuttamaan. FMEA vika- ja vaikutusanalyysin laatiminen projektin alussa on paljon aikaa vaativa vaihe. Laadittu FMEA auttaa projektin suunnittelijoita ymmärtämään mahdolliset riskit myös laajemmassa näkökulmassa, ei pelkästään suunnittelijan omassa vastuualueessa. Tuotannon aikaisella testauksella varmistetaan onnistunut kokoonpano ja mahdollisesti viallinen tuote havaitaan jo omassa tuotannossa eikä viallinen tuote päädy loppukäyttäjälle asti.

Polar Electrolla on laadittu FMEA-analyyseja jo aikaisemminkin massatuotannon henkilöstön toimesta. Analyysien sisältö ei ole aina välittynyt suunnittelijoille asti tai se on tullut suunnittelijoiden tietoon aivan liian myöhään. Tähän on haluttu saada aikaan muutos, jotta havainnot riskeistä tulisi käytyä läpi suunnittelijoiden kesken jo tuotekehityksen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. FMEA-analyysin ajoittainen läpikäyminen yhdessä tuotteen pääsuunnittelijoiden kesken on edellytys sille, että mahdollisia riskejä saadaan pienennettyä suunnitelmallisesti. FMEA:ssa listatut riskit käydään läpi NPI-tiimin järjestämässä FMEA-katselmoineissa. Katselmoineissa käydään läpi tuotannon henkilöiden listaamat riskit ja listataan tuotekehityksessä havaitut riskit, niiden seuraukset ja toimenpiteet, joilla riskin toteutuminen estetään tai ainakin saadaan RPN-luku hyväksyttävälle tasolle. Suunnittelun ja tuotannon henkilöiden näkemykset ovat toisiinsa nähden hieman eri näkökulmista ja näin tukevat rinnakkaissuunnittelua ja riskien arviointia laajemmassa näkökulmassa.

FMEA-analyysissä havaituille riskeille nimetään vastuulliset henkilöt joko tuotteen suunnittelijoista tai tuotannon henkilökunnasta. Henkilöt seuraavat ja vievät eteenpäin tarvittavia korjaavia toimenpiteitä, jotta riskien RPN-luvut saadaan hyväksyttävälle tasolle. Muutoksien, korjauksien ja ohjeistuksien toimivuutta tarkastellaan käytännössä prototyypisarjojen aikana ja FMEA päivityksiä laatiessa arvioidaan uudelleen riskin vakavuus, esiintyminen ja havaittavuus. Mikäli tehty korjaus on toimiva, RPN-luku alenee hyväksyttävälle tasolle. Mikäli RPN-luku on

edelleen hälyttävän korkealla, tulee tehdä uusia korjauksia, joilla RPN-lukua saadaan alemmaksi.

5.1.4 G2 Gate

G2-vaiheessa saadaan toimittajilta ensimmäisiä toimituksia proto-osista. Tuotteen piirilevystä komponentteineen tehdään työtilaus ja piirilevyjen ladonta tehdään omassa esituotannossa. Kaikkia kokoonpanoon suunniteltuja ja tilattuja työkaluja ei vielä välttämättä ole saatavilla, mutta kokoonpanon eri vaiheita päästään ensimmäistä kertaa kokeilemaan käytännössä, oikeilla osilla. Haasteet ja riskit kokoonpanossa, joita ei ole voitu havaita 3D-mallien perusteella tulee selvittää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Kaikkia riskejä on hankala arvioida pelkkien 3D-mallien pohjalta. Tällöin on ensisijaisen tärkeää tunnistaa riskikohdat ensimmäisiä laitteita kokoonpantaessa ja jakaa tieto havainnoista suunnittelijoille, jotta tarvittavat korjaukset saadaan nopeasti eteenpäin ja testattua seuraavassa protosarjassa.

Kokoonpanoprosessi, kokoonpanossa tarvittavien työkalujen määrytykset ja laitekohtaiset asetukset tarkentuvat ensimmäisiä osia yhteen sovittaessa. Muutokset prosesseihin ja työkaluihin kirjataan ja korjataan seuraavaan protosarjaan. Tuotteen kokoonpano- ja testausjärjestys voi myös muuttua oletetusta ja tästä seuraavat muutostarpeet tulee kirjata ylös ja päivittää kokoonpano- ja testausohjeistuksiin.

Tuotannon kapasiteettilaskelmien tueksi ensimmäisistä kokoonpanoista saadaan todellista näkemystä eri työvaiheista ja niiden ajallisista kestoista. Näitä tietoja hyödyntäen tuotannossa tarvittavaa operaattoreiden henkilömäärää, laitekantaa ja tarvittavien työkalujen määrää voidaan ennakoita tulevaa massatuotannon aloitusta varten.

Tuotteen kokoonpanoprosessin FMEA:ta päivitetään jatkuvasti ja on tärkeää lisätä listaan uudet, aikaisemmin havaitsematta jääneet riskikohdat. FMEA päivityksen aikana käydään aikaisemmin listatut riskikohdat uudelleen läpi ja selvitetään, millaiset vaikutukset on ollut aikaisemmin sovitulla korjauksilla riskin RPN-lukuun.

5.1.5 G3 Gate

G3-vaiheessa tuotteen suunnittelu ”jäädytetään”, eli olemassa oleviin suunnitelmiin ei tehdä muutoksia ilman pakottavaa syytä. G3-vaiheen aikana valmistetaan prototyyppisiä useisiin erilaisiin testeihin, joilla mitataan ja varmistetaan tuotteen laatu ja tuotteelle ennalta asetettujen vaatimusten täyttyminen. Testituloksien perusteella sovitaan muutokset ja korjaukset, joilla mahdolliset puutteet tuotteen vaatimuksien täyttymisessä tai laadussa saadaan korjattua ennen massatuotannon aloitusta.

G3-vaiheessa on tehty ensimmäisiä riskitilauksia tuotannossa tarvittavista osista ja komponenteista, joilla on pitkä toimitusaika. Kokoonpanossa tarvittavat työkalut on tarkasti määritelty ja tuotteen kokoonpanoprosessi on tiedossa. Tuotteen kokoonpanosta ja testauksesta on tehty työohjeet, joita noudattamalla tuote saadaan valmistettua kokoonpanoprosessin mukaisesti ja tuote täyttää sille asetetut vaatimukset.

Kokoonpanoprosessin FMEA käydään läpi ja tarkistetaan riskikohdat. Tässä vaiheessa ei enää saa olla riskejä korkeilla RPN-luvuilla. Mikäli tuotteen kokoonpanossa on vielä G3-vaiheessa korkean RPN-arvon riskejä, tulisi niihin puuttua välittömästi ja korjaavat toimenpiteet ja aikataulu sopia ja selvittää ennen prototyyppien valmistamista tehtaalla.

5.1.6 G4 Gate

G4-vaiheessa tuotteen tulee olla valmis. Tuotteen valmius massatuotantoon varmistetaan massatuotantotehtaalla valmistettavalla protosarjalla. Tehtaalla valmistetuille laitteille tehdään kattavat testit. Testien perusteella saadaan varmuus kokoonpanoprosessin toimivuudesta ja massatuotannossa käytettävien osien laadusta. Tuotteelle tehdään keinotekoinen vanhennus, jolla saadaan selville tuotteen kestävyys oletetulla tuotteen elinajalla ja sen aikana tapahtuvilla mekaanisilla rasituksilla ja muutoksilla tuotteeseen.

G4-vaiheessa ei enää ole isoja mahdollisuuksia FMEA:ssa olevien riskien RPN-lukujen pienentämiseksi. Kokoonpanoprosesseihin on kuitenkin mahdollisuus tehdä pieniä muutoksia. Työohjeiden ohjeistuksia täydentämällä ja tarkentamalla

on mahdollista saada pienennettyä riskiä kokoonpanossa tapahtuvien vikojen toteutumiselle.

5.1.7 G5 Gate

G5-vaiheessa alkaa asiakkaille myytävien laitteiden massatuotanto ja toimitukset. Tuotannossa on ensisijaisen tärkeää, että noudatetaan testattua ja työohjeiden mukaista kokoonpanoprosessia ja laitteiden tuotannon aikaista testausta. Näitä ohjeistuksia noudattamalla voidaan olla varmoja, että toimitettavat laitteet täyttävät niille asetetut vaatimukset asiakkaan käytössä.

Massatuotantoa ylös ajettaessa on mahdollisuus hienosäätää kokoonpanoprosesseja ja tarkentaa ohjeistuksia kokoonpanossa ja tuotannon aikaisessa testauksessa. Muutoksien tekeminen ei kuitenkaan ole enää yhtä helppoa, kuin aikaisemmissa vaiheissa, koska muutokset tulee tehdä hallitusti muutoksenhallinnan ECR- ja ECN-prosesseja noudattaen.

5.1.8 G6 Gate

G6-vaiheessa tuotteen hallinta siirtyy jatkuvaan kehitykseen eli ylläpitoon. Tuotannossa on tehty kokoonpanoa ja tuotannon aikaista testausta isolle laitemäärälle. G6-vaiheessa on tarkkaa tietoa tuotteen yieldistä eli saannosta tuotannossa. Saanto kuvastaa tuotteen ja tuotteen osien laadukkuutta ja kokoonpanoprosessin toimivuutta ja sen noudattamista.

Tuotannossa olevasta laitteesta on saatu ensimmäisiä asiakaskokemuksia ja näiden perusteella tehdään tarvittaessa tuotelaadullisia korjauksia. Korjauksien vieminen tuotannossa olevaan tuotteeseen on hidasta. Muutokset tulee ensin suunnitella huolellisesti, valmistettavuus varmistaa tuotannossa ja lopuksi tehty korjaus tulee testata ja verifioida ennen kuin se voidaan hyväksyä tuotantoon. Korjauksia tulee tehdä, jos jostain syystä tuotteesta löytyy vika, jota ei tuotekehityksen aikana ole havaittu. Tässä vaiheessa korjauksen vieminen tuotantoon vie suhteessa aikaisempiin protosarjojen välisiin vaiheisiin paljon aikaa ja rahaa.

Tuotannon saanto yhdessä asiakaspalautteen ja huollon raporttien kanssa kuvastaa rinnakkaissuunnittelun onnistumista. Tuotannossa on tärkeää, että kaikki

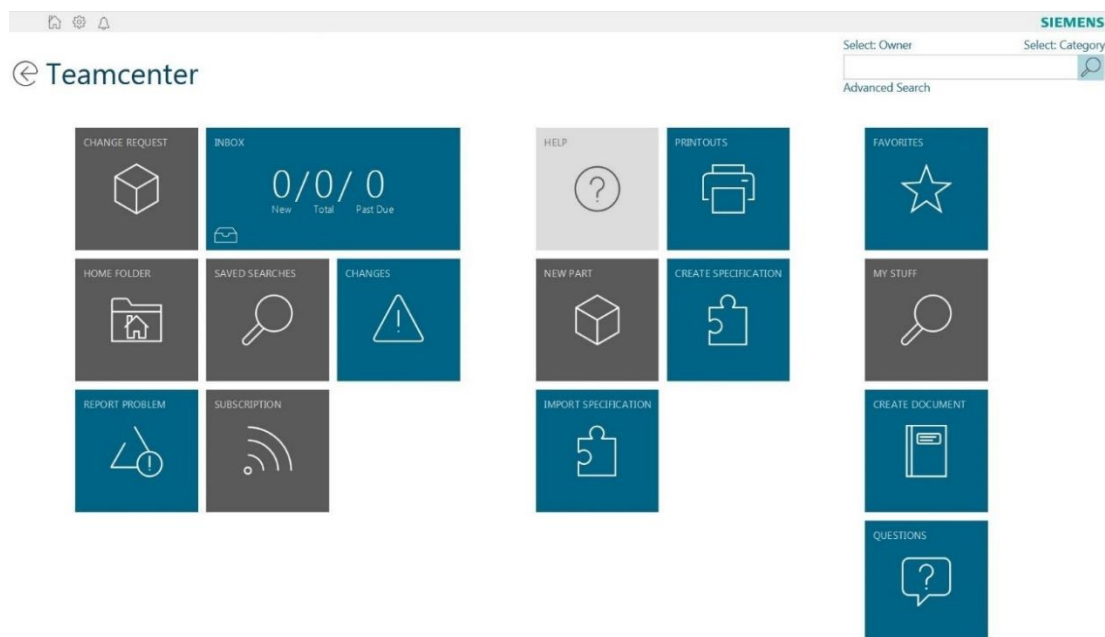
materiaali saadaan hyödynnettyä toimituksiin lähtevissä laitteissa, eikä pilalle menneitä osia jouduta romuttamaan omassa tuotannossa. Huoltoon ei saisi tulla laitteita, jotka ovat vikaantuneet huonon suunnittelun seurauksena tai kokoonpanoprosessissa tapahtuneista virheistä. Tuotekehityksessä kaikkien yhteisenä tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa laite, jonka tuotannon saanto on hyvä, tuote vastaa asiakkaan odotuksia, eikä tuotetta jouduta turhaan korjaamaan tai huoltamaan.

5.2 Ohjelmien ja tietojärjestelmien tehokkaampi hyödyntäminen

Tuotekehityksen suunnittelijoilla on useita eri ohjelmistoja ja sovelluksia, joita jo nykyisellään hyödynnetään hyvin. Käytäntöjen yhtenäistäminen tiedon välittämisessä suunnittelijoiden, tiimien ja tehtaan välillä selkeyttää toimintaa entisestään.

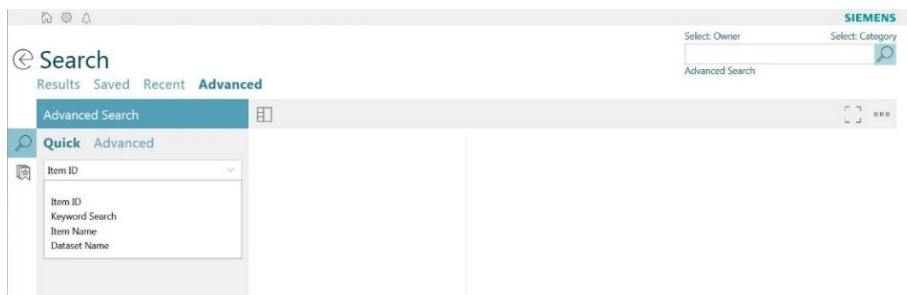
5.2.1 ActiveWorkspace

Yksi nykyisistä, lähes hyödyntämättömistä sovelluksista on selainpohjainen ActiveWorkspace -sovellus. Jokaisella, joilla on tunnukset Teamcenteriin, on pääsy myös ActiveWorkspaceen. Kuvassa 7 on alunäkymä ActiveWorkspacen aloitus-sivulta. Kuvakkeiden järjestystä voi muokata ja esille voi tuoda kuvakkeet, joita omassa työssä eniten tarvitsee.



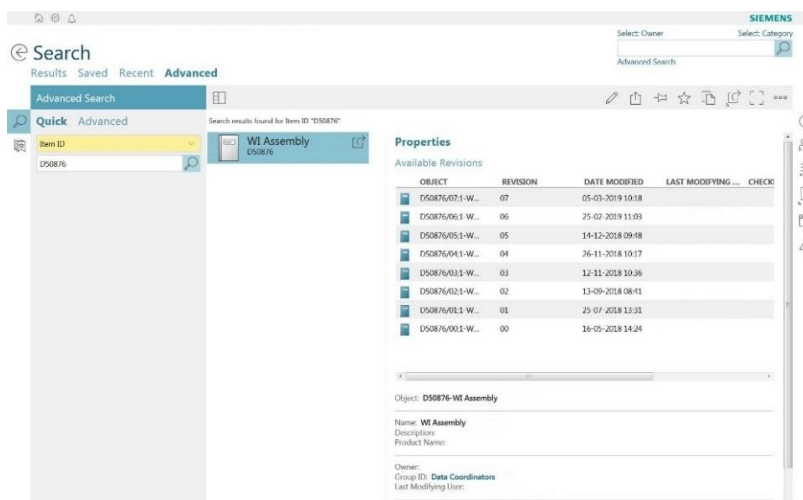
KUVA 7. ActiveWorkspacen aloitusnäky

Teamcenter on useilla suunnittelijoilla aktiivisessa käytössä päivittäin ja heille on luontevaa etsiä tarvitsemansa tieto suoraan Teamcenterin omia tietokantoja ja hakutyökaluja hyödyntäen. Teamcenter voi olla harvakseltaan sitä käyttävälle hieman hankalakäyttöinen tai välttämättä aina ei ole saatavilla päätelaitetta, johon Teamcenter olisi asennettuna. Tällöin ActiveWorkspace on hyvä vaihtoehto tiedostojen tarkasteluun, hakemiseen ja dokumenttien luomiseen. Monipuolisella hakuvalikolla on helppo etsiä ja rajata tietoa. Kuvassa 8 on esillä pikahaku ja sen hakuvaihtoehdot. Hakukriteereinä voi käyttää nimike ID:tä, nimikenimeä, hakusanaa tai aineistonimeä.



KUVA 8. ActiveWorkspace-hakutyökalu

Esimerkiksi dokumentin hakeminen ActiveWorkspacen kautta onnistuu dokumenttinumeron perusteella. Kuvassa 9 on esitetty tietyn dokumentin hakutulokset. Hakutuloksissa näytetään ensimmäisenä viimeisin dokumenttirevisio, sekä myös aikaisemmat revisiot. ActiveWorkspacen kautta saadaan avattua dokumentit ja myös 3D-mallit suoraan Siemens NX:ään.



KUVA 9. ActiveWorkspacen hakutulos

5.2.2 Confluence

Confluence organisaatiowikiohjelmisto on ollut Polar Electrolla käytössä noin kolmen vuoden ajan. Confluencea käytetään päivittäisessä työssä aktiivisesti, mutta edelleen suunnittelussa hyödynnetään paljon verkkoasemia ja sähköpostia. Verkkolevyille tallennetaan suunnitelmia ja muita tuotekehitykseen liittyviä tiedostoja ja dokumentteja, joita ei viedä Teamcenteriin. Sähköpostilla jaetaan palaverimuistioita ja käydään läpi laajojakin asiakokonaisuuksia, jotka vaikuttavat monen eri osa-alueen suunnittelijoiden työskentelyyn. Näiden edellä mainittujen suunnitelmien, dokumenttien ja muistioiden tallentaminen Confluenceen palvelee rinnakkaisuunnittelua huomattavasti paremmin. Tieto on kootusti jaoteltuna ja helposti löydettävissä. Verkkolevyltä sisällön hakeminen hakutoiminnoin on rajoittunutta ja sähköpostit ovat ainoastaan niiden saatavilla, joille sähköposti on alun perin saapunut.

Confluencea on alettu hyödyntämään NPI-tiimin toimesta useissa rinnakkaisuunnittelua tukevissa toimissa. Aikaisemmin prototyyppisarjat ja niiden kappalemääräiset koot ovat olleet hyvin samantyyllisiä. Nyt prototyyppilaitteiden tarpeet kirjataan Confluenceen hyvissä ajoin ennen protosarjan aloitusta. Jokaisen projektisivuston alle on luotu prototyyppien tilaustaulukot eri protosarjoittain. Projektiin kuuluvat tiimit merkitsevät omat laitetarpeensa ja erityistoiveensa jo hyvissä ajoin ennen prototyyppien valmistuksen aloitusta. Näin saadaan ennakkoon määriteltäviä protosarjojen laitteiden kokonaismäärät ja voidaan valmistaa ainoastaan tarvittava määrä laitteita testejä varten. Mikäli prototyyppisiin tulee testejä varten tehdä osittaisia kokoonpanoja tai erityismuutoksia, on näistäkin tieto jo etukäteen. Tämä tieto vähentää turhaa työtä ja nopeuttaa koko protosarjan valmistumista ja testien aloitusta.

Ennen Pre-Proto, Proto-, 0-, ja MPRU-sarjoja käydään suunnittelijoiden kanssa läpi versiot valmistettavista laitteista. Eri mekaniikka rakenteista, elektroniikasta ja valmistusprosesseista voi olla useita erilaisia laiteversioita testattavaksi. Nämä asiat tulee käydä huolella läpi suunnittelijoiden kesken, jotta mahdollisimman moni testi voidaan yhdistää samoihin laitteisiin, kuitenkin siten, että testien jälkeiset tulokset ovat vertailukelpoisia. Laittevariaatioista voi seurata yhteen

protosarjaan useita eri build-versioita. Nämä eri build-versiot listataan omaan dokumenttiin Confluenceen. Listauksesta selviää käytetty BOM (Bill Of Material) ja mahdolliset osaversiot tai poikkeavuudet kokoonpanoprosessissa. Jokaisen valmistuneen laitteen pohjaanlaser merkitään kyseisen build-version mukainen tieto. Näin myöhemmässä vaiheessa, testien aikana tai testien jälkeen voidaan helposti tarkistaa, mikä tai millainen laite on ollut testattavana.

Kokoonpanotyökalut, tuotannonaikaiset testauslaitteet ja laaduntarkistuksessa käytettävät työkalut tilataan JIRA:n kautta omina työtilauksina. Työtilausten protosarjakohtainen tilanne ja kappalemääräinen tarve seurataan Confluencea hyödyntäen. Confluenceen on luotu sivusto, jonne kaikki kyseisen projektin laitteet ja työkalut ovat listattuna yhteen näkymään. Näkymästä nähdään kunkin työtilauksen tilanne JIRA:ssa olevan statuksen eli käsittelyvaiheen mukaisesti.

Protosarjojen aikana saadaan kokemusta ja näkemystä tarvittavista muutoksista niin laitteen mekaanisiin osiin, elektroniikkaan, kokoonpanotyökaluihin, testauksessa käytettäviin laitteisiin, testauksen ohjelmistoihin, kokoonpanoprosesseihin ja työhjeistukseen. Nämä palautteet kirjataan Confluenceen protosarjakohtaisena palautteena. Havainnot ja muutostarpeet jaetaan samanaikaisesti projektin suunnittelijoille ja projektin kulkuun päätöksien osalta vaikuttaville henkilöille. Lisäksi tieto jaetaan tarvittaville henkilöille tuotantotehtaalalle, jotta havainnot voidaan ottaa huomioon FMEA:ta laatiessa ja päivittäessä. Jokaiselle esille nousseelle asialle merkitään vastuuhenkilö, joka huolehtii, että asia on korjattuna seuraavaan sarjaan mennessä. Edellisen sarjan havainnot käydään vielä kertaalleen läpi tulevien sarjojen aikana, jotta saadaan varmistus, että onko korjaus ollut toimiva.

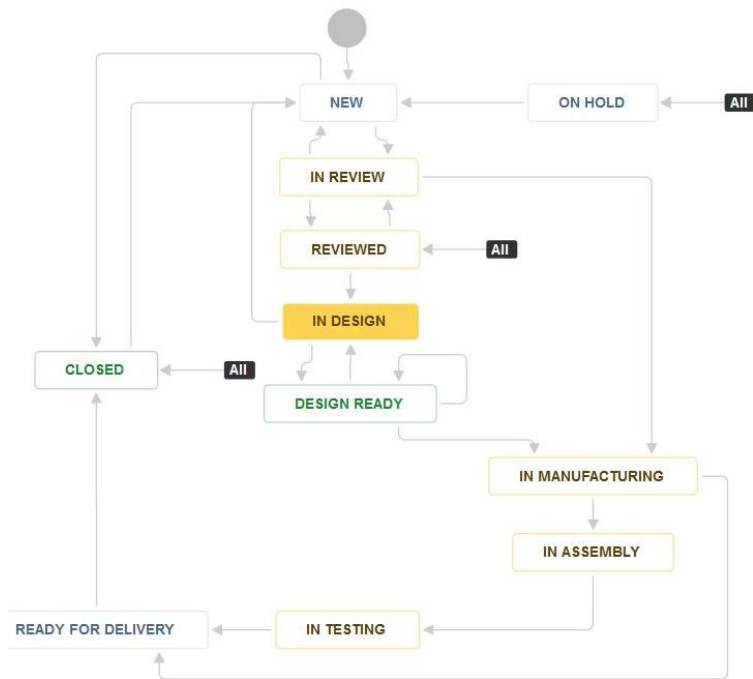
Confluencen käyttöönotolle on ollut vastustusta, osittain työkalun uutuuden takia, mutta myös vanhojen tottumuksien takia. Jatkossa olisi tärkeää, että tiimien sisällä otettaisiin käyttöön yhtenäiset käytännöt, jotta hyvälle ja tehokkaalle rinnakkaissuunnittelulle olisi paremmat lähtökohdat.

5.2.3 JIRA

JIRA-tehtävienhallintaohjelma on Polar Electro Oy:llä ollut käytössä yhtä kauan kuin Confluencekin. JIRA:n pääasiallinen käyttö on ohjelmistosuunnittelun tehtävienhallinta, mutta tuotekehityksessä sitä käytetään bugien eli virheiden, kuten ohjelmistovirheiden, elektroniikassa havaittujen vikojen ja testauksessa havaittujen mekaniikkavikojen raportointiin. Kokoonpanotyökalujen ja testauslaitteiden työtilaukset tehdään myös JIRA:n kautta.

Rinnakkaissuunnittelussa vikojen varhainen havaitseminen ja vian mahdollisimman tarkka kuvaus on tärkeää, jotta vian korjaamiseen voidaan nopeasti reagoida. JIRA:n kautta on nopea ja helppo tehdä ilmoitus havaitusta viasta ja sen voi suoraan ohjata suunnittelijalle, joka voi tehdä tarvittavan korjauksen. JIRA:sta voi myös hakea hakusanoilla samantyyllisiä vikoja aikaisemmista projekteista. Mikäli JIRA:ssa olevaan aikaisempaan ilmoitukseen on kirjattu korjaavat toimenpiteet, voi korjaukseen tarvittavat tiedot löytyä suoraan aikaisemmasta ilmoituksesta.

JIRA:n kautta tehdään myös työtilaukset kokoonpanotyökaluille ja testereille. Tilaukset laativat DFA Specialisti, NPI koordinaattorit tai testauslaboratorion testisuunnittelijat. Työtilaukseen tulisi kirjata mahdollisimman tarkat vaatimukset tilattavalle työkalulle tai testerille. Ennen suunnittelun aloitusta työtilauksen vastaanottajan tulisi käydä vielä työtilaus tilaajan kanssa läpi, jotta suunnittelijalla ja tilaajalla olisi yhtenäinen näkemys valmistuvasta työkalusta tai testeristä. Työtilaukselle on määritelty kuvassa 10 esitetty työkierto.



KUVA 10. Kokoonpanotyökalun suunnittelun työkierto

Työtilauksien käsittelyssä ja statuksen merkitsemisessä on vaihtelevat käytännöt. JIRA:n tehtävienhallinnan ominaisuuksista saataisiin suurin hyöty, jos työtilauksia käsiteltäisiin yhtenevin käytännöin. Tällä hetkellä työtilauksien statukset eivät aina vastaa todellista tilannetta. Lisäksi työtilauksien pohjalta tehdyt subtaskit eli alitehtävät sekoittavat työkalujen todellisen statuksen seuranta.

Tulevaisuudessa JIRA:aa tulisi hyödyntää nykyistä laajemmin. Virheistä ja niiden korjauksista tulisi kirjata ylös opitut asiat. Mahdollisesti tulevaisuudessa vastaan tulevien samankaltaisten vikojen selvittely voisi nopeutua, kun aikaisempia vikoja voisi käyttää selvitystyön tukena. Lisäksi JIRA:aa voisi hyödyntää lessons learned eli projektin aikana opitun tai havaitun asian hyödyntämisessä tulevissa projekteissa.

5.3 FMEA:n tehokas hyödyntäminen

Tuotekohtaiset FMEA:t oli luotu jo aikaisemminkin, mutta lähes kaikki FMEA:n eteen tapahtunut työ oli tehty ainoastaan Polar Electron Kiinan tehtaan henkilöiden toimesta. Tehtaan kaukaisen sijainnin ja tuotekehityksen ja tuotannon välisen heikon tiedonjaon takia FMEA:n päivittäminen on ollut todella hankalaa ja

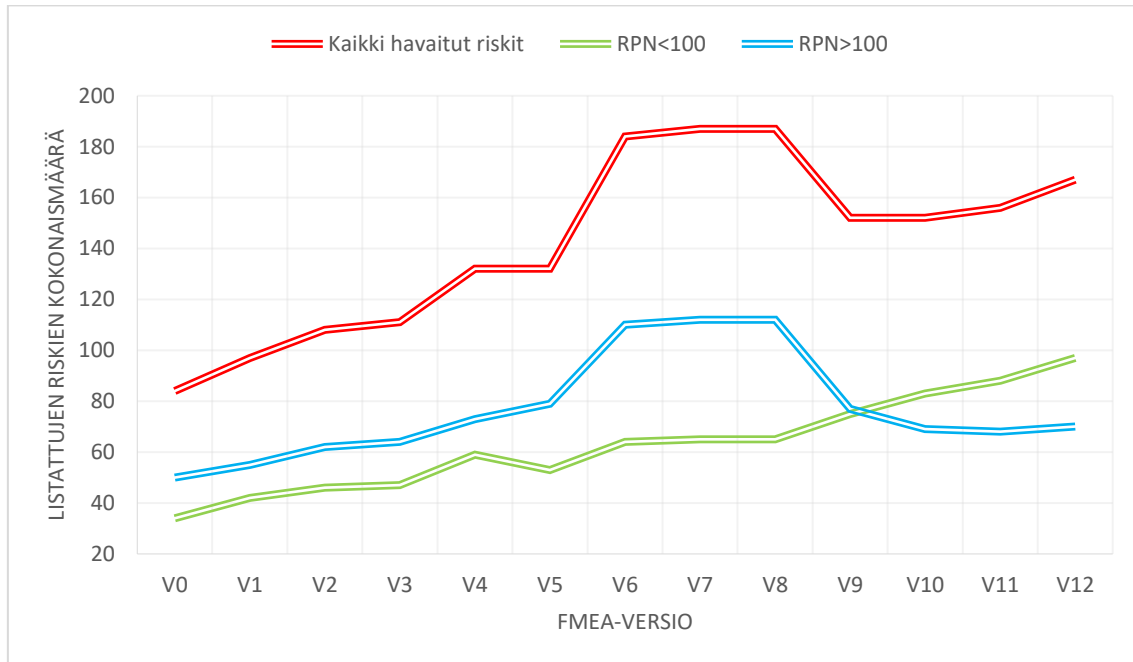
jopa turhaa, koska tieto ei ole tehokkaasti liikkunut tuotekehityksen ja tehtaan välillä.

Työn aikana tehtiin FMEA:n seurantaan ja päivittämiseen muutoksia siten, että FMEA sisällytettiin osaksi NPI-prosessia. NPI-prosessissa FMEA:n seurantavastuu on DFA Specialistilla. DFA Specialisti huolehtii, että tuotteen valmistavan tehtaan valmistuksesta vastaavilla henkilöillä on ajantasainen tieto tuotekehityksessä olevasta tuotteesta ja tuotteen kokoonpanoprosessista. DFA Specialisti arvioi ja käy läpi huomioita yhdessä tehtaan henkilöiden kanssa, kuten myös tuotekehitysprojektin suunnittelijoiden kanssa. Näin riskien arviointiin saadaan koostettua näkemykset valmistuksen ja suunnittelun eri näkökulmista. FMEA:ssa listattuihin riskeihin päästään reagoimaan jo hyvissä ajoin ennen kuin varsinaisella massatuotantotehtaalla on vielä valmistettu ensimmäistäkään tuotetta.

Suurin työ tuotteen FMEA:ta laadittaessa on ensimmäisen analyysin laatiminen. Mahdollisten riskipaikkojen havaitseminen, riskien listaaminen ja niiden vakavuuden, havaittavuuden ja toistuvuuden arviointi sekä korjaavien toimenpiteiden sopiminen on paljon aikaa vievä vaihe. On kuitenkin ensisijaisen tärkeää löytää riskit varhaisessa vaiheessa ja saada korjaavat toimenpiteet käyntiin välittömästi. Myöhemmissä vaiheissa tehtävä FMEA:n päivitys ja läpikäyminen ja riskien uudelleen arviointi ja mahdollisten uusien riskien lisäys ei enää vaadi yhtä suurta työmäärää kuin aloitusvaiheessa.

FMEA:ssa listattujen kokoonpanossa mahdollisesti tapahtuvien riskien määrä tyypillisesti kasvaa tuotekehityksen alusta massatuotannon alkuun asti. Toisessa pilottiprojekteista alkuvaiheessa listattuja riskejä oli 84 joiden RPN-keskiarvo oli 136,6. Riskejä, joiden RPN-arvo oli yli 100, oli kaikkiaan 50. Mikäli riskin RPN oli yli 100, selviteltiin toimenpiteet, joilla riskiä saadaan vietyä alemmaksi. Massatuotannon alussa FMEA:sta oli tehty 12 päivitysversiota. Listattujen riskien kokonaismäärä vaihteli projektin tuotekehitysaikana tuotteeseen tehtyjen mekaniikka- ja elektroniikkaratkaisujen mukaan. Kuvassa 11 on esitetty tuotekehitysaikana havaittujen riskien kokonaismäärät ja RPN-arvojen kappalemääräinen muutos suhteessa riskien kokonaismäärään. Kuvasta 11 voi havaita, että korkeamman RPN-arvon riskien kokonaismäärä pieneni ja vastaavasti matalamman RPN-

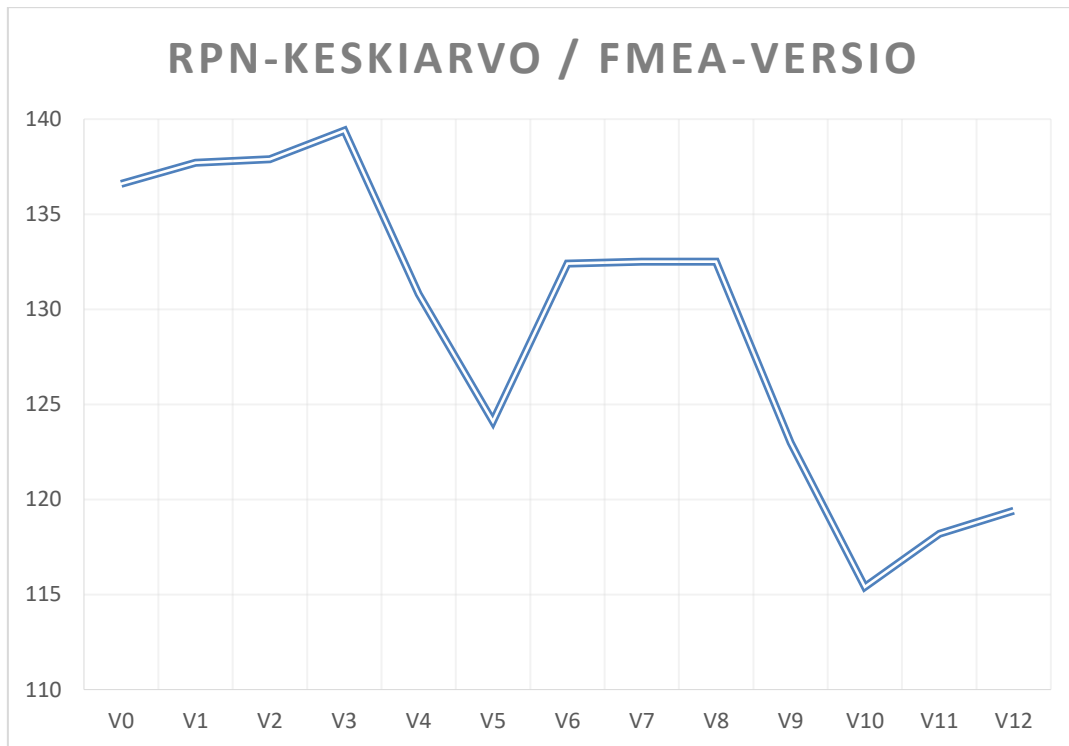
arvon riskien kokonaismäärä kasvoi massatuotannon alkua lähestyttäessä. Kuvan 11 keskialueella havaittava jyrkkä muutos riskien kappalemääräiseen pieneen johtui tuotteen merkittävästä design muutoksesta.



KUVA 11. FMEA:ssa listattujen riskien määrät

Enimmillään havaittujen riskien kokonaismäärä oli 187. Viimeisimmässä FMEA-versiossa listattuja riskejä oli kaikkiaan 167, joiden RPN-keskiarvo oli 119,4. Riskejä, joiden RPN-arvo oli yli 100, oli 70. Niiden 70 riskin RPN-keskiarvo oli 173,8. Suurin osa riskeistä oli jo pienellä RPN-arvolla massatuotannon alussa, jolloin ne olivat hyväksyttävällä tasolla ja vaativat ainoastaan seuranta. Tehtävissä olevat toimenpiteet riskien pienentämiseksi oli jo tehty. Edelleen olemassa olevat korkeamman RPN:n riskit vaativat tarkkaa seuranta. Vaikka kaikkia riskejä ei saatu poistettua, saatiin riskien toteutumista kuitenkin pienennettyä. FMEA:ssa käytetty riskien asteikko oli 1 - 1 000. Kuvassa 12 on esitetty FMEA-versioittain kaikkien listattujen riskien versiokohtaiset RPN-keskiarvot. Kuvasta 12 voi havaita, että RPN-keskiarvo on pienentynyt keskivaiheen ja lopun pientä nousua lukuun ottamatta. Suuressa osassa eri kokoonpanovaiheita on ihminen tekemässä kokoonpanoa ja satunnaisia virheitä on hankala täysin poistaa. Työohjeiden tarkennetuilla ohjeistuksilla, kokoonpantavien osien suunnittelulla paremmin asemoitavaksi, kokoonpanotyökaluihin tehdyillä korjaavilla muutoksilla sekä tuotannon

testauksella kokoonpanoprosessissa mahdollisesti tapahtuvia virheiden riskiä saatiin pienennettyä huomattavasti.



KUVA 12. FMEA:ssa listattujen riskien RPN-keskiarvot

Riskien listauksessa FMEA-listaukseen hyväksi todettu toimintatapa on ennakoon laatia lista havaituista riskeistä kokoonpanovaiheissa NPI-koordinaattorien ja DFA Specialistin laatimana. Riskit pyrittiin havaitsemaan tuotteen 3D-mallista käännetyn JT-tiedoston pohjalta. JT-lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Jupiter Tessellation, joka on ISO-standardisoitu 3D-dataformaatti. JT-tiedostoa voidaan käyttää ja käsitellä Teamcenterin liitännäisohjelmalla, Visualization Professionalilla. Ohjelmalla 3D-malli puretaan osiin ja simuloidaan kokoonpano osalta suunnitellun kokoonpanojärjestyksen mukaisesti. Jokaisesta kokoonpanon vaiheesta otetaan kuvakaappaus ja kerrotaan menetelmä, jota kokoonpanossa käytetään. Yksittäisistä kuvista saadaan Visualization Professionalilla muodostettua video, jolla on helppo esittää kokoonpano osineen ja eri työvaiheineen. Videon perusteella on helppo havaita mahdolliset riskit asennettävien osien ja kokoonpanon eri vaiheiden välillä.

FMEA:ssa havaittujen riskien toteutumista seurattiin eri protosarjoissa. Protosarjojen aikana kerätyn palautteen ja viallisten laitteiden analysoinnin perusteella saatiin todellinen tilannearvio etukäteen arvioitujen riskien vakavuudesta, todennäköisyydestä ja havaittavuudesta. Näiden tulosten perusteella laadittiin päivitetty FMEA. Mikäli protosarjojen aikana havaittiin ennestään tunnistamaton riski, lisättiin riski FMEA-listaan mukaan. Riskille tehtiin arviot vakavuudesta, todennäköisyydestä ja havaittavuudesta sekä sovittiin vastuuhenkilö, joka huolehti tarvittavat korjaukset seuraavaan protosarjaan riskin pienentämiseksi.

6 POHDINTA

Insinööriyön aiheena oli rinnakkaissuunnitteluprosessin kehittäminen. Työn tilaajana oli Polar Electro Oy. Rinnakkaissuunnitteluprosessin ja nykyisten toimintatapojen kehittäminen Polar Electro Oy:llä oli aiheena todella mielenkiintoinen. Insinööriyön sain tehdä työskennellen samalla yrityksessä.

Työssä esiteltiin tuotteen kokoonpanosuunnittelun ja -prosessin kuvaaminen, FMEA:n implementointi tuotekehitysprojektiin ja olemassa olevien ohjelmistotyökalujen hyödyntäminen järjestelmällisesti. Työssä selviteltiin nykyisten toimintatapojen tehostamista tehokkaamman rinnakkaissuunnittelun aikaansaamiseksi.

Työ alkoi tutustumisella kirjallisuuteen rinnakkaissuunnittelun aiheista. Kirjallisuutta aiheen tueksi löytyi paljon ja aiheita joutui rajaamaan, kuitenkin jättämättä mitään oleellisen tärkeää asiaa työstä pois. Kirjallisuuteen ja aiheisiin tutuessa sain käsityksen, miten suuri merkitys varhaisella ongelmiin reagoineilla oikeasti on hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Työskennellessäni opinnäytetyön aikana yrityksessä ja olemalla mukana tuotekehitysprojekteissa sain hyvän käytännönvaikutelman lukemani teorian tueksi. Käytännössä päästiin kokeilemaan, millä toimilla rinnakkaissuunnittelussa tarvittavaa tiedonjakoa pystyi parantamaan. Työskentelyn ohessa painopiste insinööriyön valmistumisesta siirtyi rinnakkaissuunnittelun kehittämiseen työpaikalla. Tämän seurauksena insinööriyön valmistuminen viivästyi suunnitellusta.

Kolmen vuoden aikana rinnakkaissuunnittelun kehittäminen eteni työpaikalla eri tiimien ja suunnittelijoiden kanssa yhdessä miettien ja kokeillen eri toimintatapoja tiedon tallentamiseen ja jakamiseen eri tiimien välillä. Työn tarkoituksessa mainittu suunnitelma erillisten kokoonpanosuunnittelun ja rinnakkaissuunnitteluprosessin kuvaamisesta päätettiin toteuttaa niin, että ne sisällytettiin tiimien omiin prosesseihin eikä niistä tehty erillistä kuvausta. Kyse on selkeästi tiimien välisestä yhteistyöstä ja rinnakkaissuunnittelun toimenpiteet täytyy olla kaikissa tuotekehityksen prosesseissa huomioituna ja sisäänrakennettuna. FMEA implementoitiin tuotekehitysprojektiin G-etapeittain.

Olemassa olevien ohjelmistojen hyödyntäminen toteutui osittain. Confluencen ja JIRA:n käyttöä on tehostettu ja sen avulla on jo saatu osoitettua selkeitä hyötyjä tuotekehitysprojektin sisäiseen tiedonjakoon. Käyttöä edelleen kehittämällä ja tehostamalla on selkeitä parannuksia rinnakkaissuunnitteluun saavutettavissa vielä jatkossakin. Confluenceen laaditulla protosarjakohtaisella kokoonpanotyökalulistauksella tehostettiin kokoonpanotyökalujen oikeanaikaista valmistumista. Listaa käytiin läpi eri osa-alueiden suunnittelijoiden kanssa noin kahden viikon välein. Listan läpikäyminen yhdessä eri osa-alueiden suunnittelijoiden kanssa tehosti niin mekaniikkaosien kuin kokoonpanotyökalujen ja varsinaisen kokoonpanoprosessienkin kokoonpantavuuden rinnakkaissuunnittelua.

Confluenceen laadittiin protosarjakohtainen tilauslista määrittelyineen valmistettavista prototyypeistä. Tilauslistan perusteella prototyypisarjojen kokoa saatiin mitoitettua tarkemmin todellisiin testilaitetarpeisiin. Protosarjoissa valmistettavien laitteiden eri versioista laadittiin versio- eli build-listaukset. Build-listasta suunnittelijat ja testaajat pääsivät tarkistamaan, mikä ja millainen laite oli heidän tarpeeseensa sopiva tai millainen heillä oleva laite oli kokoonpanoltaan.

Protosarjoista laadittiin palautelistaus Confluenceen sarjan valmistumisen aikana. Palaute oli jaettu eri osa-alueisiin, jotta erilliset havainnot olivat helposti osoitettavissa oikeille suunnittelutiimeille tai henkilöille. Palaute sisälsi korjaustarpeet työhohjeisiin ja kokoonpanoprosesseihin, mekaniikkaosiin, kokoonpanossa käytettäviin työkaluihin sekä palautteen FMEA:ssa esille nousseiden riskien korjauksien toimivuudesta protosarjan ajalta. Aikaisemmin listatut palautteet otettiin huomioon asioina mukaan seuraavan protosarjan palautteeseen. Näin saatiin kirjattua tieto tehdyistä muutoksista, korjauksista ja niiden vaikutuksista. Mikäli muutokset ja korjaukset olivat toimivia, kirjattiin havainto korjatuksi. Vastavasti jos aikaisempi havainto edelleen vaati toimia muutoksien ja korjauksien jälkeen, jätettiin havainto avoimeksi lisämuutoksia tai korjauksia varten. Palautteesta oli apua myös FMEA-päivityksissä riskien tilannearvioinnissa. Listasta voitiin todeta, onko jokin riski saatu korjattua ennen riskin toteutumista, onko riski toteutunut tai jäänyt aikaisemmin täysin huomaamatta.

Rinnakkaissuunnitteluprosessin kehittämisen aikana saadun palautteen perusteella tiedon kulku on nopeutunut ja tallennetun tiedon löytyminen on helpottunut. Etenkin tuotannossa tuotteen kokoonpanoa ja valmistusta valvovilla on ollut parempi näkemys tuotantoon tulevasta tuotteesta jo hyvin varhaisessa vaiheessa. Heidän kommenttinsa ja toiveensa tuotteeseen tai kokoonpanotyökaluihin tehtävistä muutoksista päästiin toteuttamaan jo varhaisessa vaiheessa.

Tuotteiden parempi valmius tuotantoon on jo havaittu tuotannon laatukulujen pienentymisenä. Pilottiprojektien laatukulut kolmen ensimmäisen tuotantokuukauden aikana ovat olleet 50 - 70 % pienempiä aikaisempiin tuotteisiin verrattuna. Organisaation arvioiden mukaan yksi merkittävimmistä tekijöistä on ollut rinnakkaissuunnittelun ja FMEA:n systemaattinen toteutus. Toimintaa edelleen tehostamalla ja kehittämällä on mahdollista saavuttaa vielä parempia tuloksia rinnakkaissuunnittelussa.

LÄHTEET

1. Keitä olemme. 2019. Polar Electro. Saatavissa: https://www.polar.com/fi/tieto/polarista/keita_olemme Hakupäivä 28.3.2019.
2. Belmonte, Joe. 2012. Design for Manufacturability (DFM). Design for Assembly (DFA). SMTA. Guadalajara Mexico. Durham, New Hampshire USA. Saatavissa: http://www.les-electroniciens.com/sites/default/files/cours/smta-gdl_smta-gdl_dfm_presentation_2012-07.pdf Hakupäivä 16.12.2018.
3. Hietikko, Esa. 2015. Tuotekehitystoiminta. Helsinki: BoD – Books on Demand.
4. Stark, John. DFA and DFM. Saatavissa: www.johnstark.com/fwdx.html Hakupäivä 7.3.2017.
5. Purves Neil. 2002. Education and training in Electronic Design Realisation. DfA checklist and Good Practice Guide. Saatavissa: http://www.mtarr.co.uk/courses/ami4813_dfx/restricted/resources/4813_DfA_checklist.pdf Hakupäivä 7.3.2017.
6. DFM and DFA software. 2018. Design IV. Saatavissa: <http://www.d4ma.co.uk/> Hakupäivä 28.3.2019.
7. Juusti, Riikka 2016. Lääkintälaitteen tuotannon testausprojekti ja sen mekaanisen ratkaisun suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605127569> Hakupäivä 28.3.2019.
8. Design for “X” (DFX is for Excellence). 2016. Creative mechanism. Saatavissa: <https://www.creativemechanisms.com/blog/design-for-x-dfx> Hakupäivä 28.3.2019.
9. Huhtala, Petri – Pulkkinen, Antti. 2009. Tuotettavuuden kehittäminen – Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.

10. Ulrich & Eppinger. Monialainen tuotekehitys. Saatavissa: <https://lekananke.wikispaces.com/Monialainen+tuotekehitys> Hakupäivä 9.3.2017.
11. Wheelwright, Steven C. – Clark, Kim B. 1992. Creating project plans to focus product development. Saatavissa: <https://hbr.org/1992/03/creating-project-plans-to-focus-product-development> Hakupäivä 28.3.2019.
12. Wiley, John & Sons. 2012. Failure mode and effects analysis (FMEA). Saatavissa: http://www.effectivefmeas.com/uploads/Failure_Mode_and_Effects_Analysis_FMEA_for_publication.pdf Hakupäivä 28.3.2019.
13. Klubityö. FMEA:n soveltaminen riskien hallinnassa. 2016. Laatu keskus. Saatavilla: http://www.laatu keskus.fi/sites/default/files/bm-klubityo_2016_pohjanmaa1_fmea.pdf Hakupäivä 18.4.2017.
14. Teamcenter. 2017. Ideal PLM. Saatavissa: <https://ideal.fi/uPage/Teamcenter> Hakupäivä 28.3.2019.
15. Lempiäinen, Juhani – Savolainen, Jari. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.
16. Airila, Mauri – Ekman, Kalevi – Hautala, Pekka – Kivioja, Seppo – Kleimola, Matti – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Niemi, Erkki – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari – Salonen, Pekka – Verho, Arto – Vilenius, Matti – Välimaa, Veikko. 1995. Koneenosien suunnittelu. Juva: WSOY.
17. New Product Introduction (NPI). 2015. Quality-One International. Saatavissa: <https://quality-one.com/npi/> Hakupäivä 28.3.2019.
18. Stienstra, David. Introduction to Design for (Cost Effective) Assembly and Manufacturing. Rose-Hulman Institute of Technology. Indiana USA. Saatavissa: <http://me.gatech.edu/files/capstone/L071ME4182DFA> Hakupäivä 9.5.2019.
19. DFM / DFA. Design for Manufacturing / Assembly. 2015. Quality-One International. Saatavissa: <https://quality-one.com/dfm-dfa/> Hakupäivä 15.5.2019.

YLEINEN TUOTEKEHITYSPROSESSI. VAIHEET JA ESIMERKKEJÄ TEHTÄVISTÄ LIITE 1
(9, s. 48)

	Tuotteiston suunnittelu	Konseptin kehitys	Järjestelmätason suunnittelu	Yksityiskohtaisen suunnittelu	Testaus ja säätö	Tuotannon ylös ajo
Markkinointi	Mahdollisuuksien artikulointi Markkinasegmenttien määrittely	Markkinasegmenttien määrittely Johtavien käyttäjien tunnistaminen Kilpailijoiden tunnistaminen	Tuoteperheen ja -optioiden määrittely	Markkinointisuunnitelman laadinta	Myynti ja esittelymateriaalin tuottaminen Kenttätestauksen edistäminen	Varhaisen tuotannon kiinnitys avainasiakkaiden avulla
Suunnittelu	Tuotearkkitehtuurin ja -platformin valinta Uusien teknologioiden arviointi	Tuotekonseptin tuotettavuuden tutkiminen Muotoilukonseptien kehittäminen Prototyypin rakentaminen ja testaus	Vaihtoehtoisten tuotearkkitehtuurien generointi Osajärjestelmien ja rajapintojen suunnittelu Muotoilun kehittäminen	Osien geometrioiden määrittäminen Materiaalien valinta Toleranssien määrittäminen Muotoilun viimeistely	Luotettavuuden, keston ja suorituskyvyn testaaminen Viranomaishyväksyntöjen hankkiminen Suunnittelu- muutosten toteutus	Varhaisen tuotoksen arviointi
Tuotanto	Tuotannon rajoitteiden tunnistaminen Päättäminen hankintastrategiasta	Valmistuskustannusten arviointi Tuotannon tuotettavuuden arviointi	Avainkomponenttien toimittajien tunnistaminen Osto/oma valmistus analyysi Loppukokoonpanon järjestelyn määrittely	Osavalmistusprosessien määrittäminen Työvälinesuunnittelu Laadunvarmistusprosessien määrittely Erikoistyövälineiden hankintojen aloitus	Toimittajien tuotannon ylös ajon edistäminen Osavalmistus- ja kokoonpanoprosessien hioaminen Työntekijöiden koulutus Laadunvarmistuksen tarkentaminen	Koko tuotantojärjestelmän toiminnan käynnistys
Muut	Tutkimus: Saatavilla olevien teknologioiden esittely Johto: Resurssien kohdistaminen	Talous: Taloudellisten analyysien tukeminen Laki: Patenttitalteen selvitys	Talous: Osto/oma valmistusanalyysien tekeminen Huolto: Huoltoon vaikuttavien seikkojen tunnistaminen		Myynti: Myyntisuunnitelman laadinta	