

# **Tuuliturbiinivaihteen hyväksymisprosessin kehittäminen**

Iiro Saariaho

Opinnäytetyö

Joulukuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

Tuotantotekniikka

Tekijä(t) Saariaho, liro	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2016
	Sivumäärä 63	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Tuuliturbiinivaihteen hyväksymisprosessin kehittäminen</b>		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Hannu Kivistö, Harri Peuranen		
Toimeksiantaja(t) Moventas Gears Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli jyväskyläläinen tuuliturbiinivaihtevalmistaja Moventas Gears Oy. Kasvavien laatuvaatimusten johdosta Moventas käynnisti keväällä 2016 laatu-projektin koskien uuden Herkules-tuuliturbiinivaihteen toimitusta. Laatuprojektin tarkoituksena oli kehittää Moventaksen laatu toimintaa sekä prosesseja ja jalkauttaa autoteollisuuden tuotanto-osan hyväksymisprosessin (PPAP) työkaluja tuotantoon. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja luoda osa asiakkaan asettamista PPAP-vaatimuksista Moventaksen kokoonpanossa. Varsinaisen kokoonpanon lisäksi projektialue kosketti vaihteen maalausta sekä loppuvarustelua.</p> <p>Laatuprojektin luonteen johdosta työ noudatti toiminta- ja kehittämistutkimuksen toteutusta. Projektin laatuseminaareissa määritettiin asiakkaan vaatimien laatu elementtien käyttö ja suunta, johon niitä tuli viedä. Aineistoa kerättiin kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmillä havainnoinnin, keskustelujen sekä dokumenttien avulla. PPAP:n sekä asiakkaan asettamien vaatimusten perusteella laatu työkaluista suunniteltiin ja laadittiin omaan toimintaan sopivia sovelluksia. Laatudokumentteja luotiin sekä nykyisille sarjavaihteelle PPLH-2900.2 ja laatu projektin Herkules-vaihteelle.</p> <p>Työn tuloksena syntyi tuotteen hyväksymisprosessin työkaluja, kuten kokoonpanoprosessin vuokaavio, prosessin vika- ja vaikutusanalyysi, ohjaussunnitelma sekä ensimmäisen tuotteen hyväksymiseen liittyvät dokumentit mittausraportti ja ulkonäön hyväksymisraportti. Herkules ei edennyt opinnäytetyön aikana vielä kokoonpanoon, joten joidenkin työkalujen laatiminen jäi yrityksen vastuulle työssä esitettyjen suunnitelmien perusteella.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )  laadunvarmistus, kokoonpano, hyväksymisprosessi, PPAP		
Muut tiedot		

Author(s) Saariaho, Iiro	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 63	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Wind turbine gearbox approval process development</b>		
Degree programme Mechanical Engineering and Production Engineering		
Supervisor(s) Hannu Kivistö, Harri Peuranen		
Assigned by Moventas Gears		
Abstract  <p>This bachelor's thesis was assigned by Moventas Gears, the Finnish manufacturer for wind turbine gearboxes. Due to increased quality requirements, Moventas launched a quality project in the spring of 2016 in relation to the delivery of new Herkules wind turbine gearbox. The goal of the project was to develop the quality management operations and implement elements from the production part approval process (PPAP) in production. The aim of the present thesis was to design and create PPAP quality documents for the customer, concerning gearbox assembly, painting and final assembly processes.</p> <p>Due to the nature of the quality project, the work was built along the guidelines of Action and Development research. The project involved quality seminars, where the use and direction of the PPAP-elements were defined. The data was collected with the methods of qualitative research through observation, conversations and documentation. Based on the requirements set by the PPAP and the customer, applications of quality tools were designed and implemented. Quality documents were created both for the current serial product PPLH-2900.2 and the Herkules-gearbox, which was the main object of the project.</p> <p>The work resulted in the establishment of documents for PPAP, for instance the assembly process flowchart, process failure mode and effect analysis, control plan and dimension results and appearance approval report for first piece qualification. The gearbox assembly did not start during the thesis process, so it remained as the company's responsibility to implement some of the tools based on the suggestions in the present work.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )  quality assurance, assembly, approval process, PPAP		
Miscellaneous		

## Sisältö

Termit ja lyhenteet.....	4
1 Johdanto.....	5
1.1 Opinnäytetyön tausta.....	5
1.2 Opinnäytetyön tavoite .....	6
2 Moventas Gears Oy .....	6
2.1 Tuotteet ja palvelut .....	6
2.2 Laatutoiminta .....	7
2.3 Tuuliturbiinivaihe .....	8
2.4 Tuuliturbiinivaihteen kokoonpanoprosessi.....	9
3 Tutkimusmenetelmä .....	10
3.1 Kehittämistutkimus .....	10
3.2 Tiedonkeruu .....	12
3.3 Sisältöanalyysi.....	13
4 Tuotanto-osan hyväksymisprosessi (PPAP).....	13
4.1 Tuotteen kehittynyt laatusuunnittelu (APQP) .....	14
4.2 PPAP-prosessin käynnistäminen .....	15
4.3 PPAP-vaatimukset .....	16
5 Opinnäytetyö osana yrityksen laatuprojektia .....	28
5.1 Laatuprojekti .....	28
5.2 Asiakasvaatimukset .....	31
6 PPAP-elementtien soveltaminen kokoonpanossa .....	32
6.1 Lähtötilanne.....	32
6.2 Toteutettavuustutkimus.....	32
6.3 Vika- ja vaikutusanalyysi.....	33
6.3.1 PFMEA PPLH-2900.2-vaihteelle.....	34
6.3.2 PMFEA Herkules-vaihteelle .....	37
6.4 Ohjaussuunnitelma.....	39

	2
6.4.1 MPP PPLH-2900.2-vaihteelle .....	40
6.4.2 Ohjaussuunnitelma Herkules-vaihteelle .....	41
6.5 Vuokaavio Herkules-vaihteelle .....	43
6.6 Ensimmäisen tuotteen kelpuus (FPQ).....	45
6.6.1 Vaihteen FPQ:n sisältö .....	45
6.6.2 Ulkonäön hyväksymisraportti (AAR).....	45
6.6.3 Mittaustulokset .....	46
6.7 Mittausvälineet .....	47
6.7.1 Mittausjärjestelmän analyysi (MSA).....	47
6.7.2 Kalibrointi.....	48
7 Pohdinta .....	49
Lähteet.....	52
Liitteet .....	54
Liite 1. PFMEA PPLH-2900.2 planeetankantajat ja momenttituki .....	54
Liite 2. PMFEA PPLH-2900.2 loppuvarustelu.....	56
Liite 3. Vikamuodon pisteytyksen arviointikriteerit .....	57
Liite 4. PFMEA Herkules maalaus ja lieröporras.....	58
Liite 5. MPP PPLH-2900.2 planeetankantajat ja momenttituki .....	60
Liite 6. Kokoonpanoprosessin vuokaavio Herkules .....	61
Liite 7. Ulkonäön hyväksymisraportti.....	62
Liite 8. Mittausraportti .....	63

## **Kuviot**

Kuvio 1 Globaali verkosto.....	7
Kuvio 2 Exceed-tuuliturbiinivaihe .....	9
Kuvio 3 Tuuliturbiinivaihteen kokoonpanoprosessi Moventaksella .....	10
Kuvio 4 Toteutettavuustutkimuksen yhteenveto .....	33

Kuvio 5 PPLH-2900.2-vaihteen PMFEA:n rakenne .....	35
Kuvio 6 Ote lieriövaihteen kokoonpanoraportista.....	42
Kuvio 7 Ote yleisestä vuokaavioformaattista .....	44
Kuvio 8 Ote PPLH-3000DS-vaihteen maalaus- ja korroosiosuojauspiirustuksesta .....	46
Kuvio 9 Ote PPLH-3000DS-vaihteen mittakuvasta .....	47

## **Taulukot**

Taulukko 1 Prosessitutkimusten hyväksymiskriteerit .....	25
Taulukko 2 Projektin etenemissuunnitelma .....	30
Taulukko 3 Projektin PPAP-vaatimukset .....	31

## Termit ja lyhenteet

APQP	Advanced Product Quality Planning, tuotteen kehittynyt laatusuunnittelu
AAR	Appearance Approval Report, ulkonäön hyväksymisraportti
DFMEA	Design Failure Mode and Effects Analysis, suunnittelun vika- ja vaikutusanalyysi
FAI	First article inspection, Ensimmäisen kappaleen tarkastus
FPQ	First piece qualification, Ensimmäisen kappaleen kelpuutus (Hotakainen 2016)
MPP	Manufacturing Process Plan, Tuotantoprosessin menetelmäkuvaus (Seppä 2016)
MSA	Measurement System Analysis, Mittausjärjestelmän analysointi
PSW	Part Submission Warrant, Tuotteen vakuusilmoitus (Fennane 2015, 5)
PFMEA	Process Failure Mode and Effects Analysis, Prosessin vika- ja vaikutusanalyysi
PPAP	Production part approval process, Tuotanto-osan hyväksymisprosessi
Spesifikaatio	Valmistusta tmv. koskeva määräys, normi; teknistä tuotetta koskeva tieto (Spesifikaatio n.d.)
TFC	Team feasibility commitment, Valmistettavuuslupaus tai -vakuus (Team Feasibility Commitment (TFC) n.d).
Validointi	(Prosessista) Perustuen objektiiviseen näyttöön prosessi pystyy tuottamaan jatkuvasti tuloksen tai tuote vastaa sille ennalta asetettuja vaatimuksia (Quality Management Systems - Process Validation Guidance 2004).
Verifiointi	Vahvistamista tutkimalla objektiivista näyttöä siitä, että määritellyt vaatimukset on täytetty (Quality Management Systems - Process Validation Guidance 2004).

# 1 Johdanto

Komponenttien pettäminen ja laadullinen heikkous tuuliturbiineissa on kallista korjata, erityisesti turbiinin asennuksen jälkeen. Vaihteisto on tuulivoimalassa vika-herkkä komponentti, joten laadunvarmistus koko tuotantoprosessin aikana on välttämätöntä. Modernilla tuuliturbiinilla voi olla 50 kertaa enemmän käyttötunteja kuin tavallisella henkilöautolla. Se altistuu äärimmäisille ilmasto-olosuhteille merellä, arktisilla alueilla sekä aavikoilla. Tuulivoimala on yksi suurimmista koneista massatuotannossa ja sen tulee toimia kaikissa ympäristöissä.

Tuulivoimateollisuudessa on suuria paineita optimoida teknologiaa sekä pienentää valmistuskustannuksia ja näin omalta osaltaan alentaa tuotetun sähkön hintaa. Kehitystä tapahtuu jatkuvasti ja standardisointi on yksi ratkaisuista alentaa kustannuksia. Se myös vahvistaa tuulienergian asemaa kustannustehokkaana ja uusiutuvana energiamuotona.

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Tuulivoimateollisuus soveltaa yhä kasvamassa määrin standardien ISO/TS 16949 ja VDA 6 vaatimuksia. Moventas Gears Oy allekirjoitti laatusopimuksen saksalaisen tuuliturbiinivalmistajan kanssa koskien uutta tuuliturbiinivaihdetta. Uuden asiakkaan myötä laatuvaatimukset Moventaksen toiminnassa tulevat kovenemaan asiakkaan spesifikaatioiden johdosta.

Keväällä 2016 yrityksessä käynnistettiin laatuprojekti koskien tuotantoa ja operatiivista toimintaa. Projektin tarkoituksena on kehittää omaa toimintaa ja auttaa jatkossa kehittämään kilpailukykyisempiä tuotteita. Nykyistä uusinta Exceed-vaihdetta voidaan pitää konstruktiiivisesti ja kilpailukykyisesti hyvänä tuotteena, mutta myös prosessit on saatava vastaamaan nykypäivän vaatimuksia. Viime vuosina Moventaksen laatutoiminta on jäänyt hieman paikoilleen, eivätkä nykyiset asiakkaat ole vaatineet toiminnalta laajaa laatudokumentaatiota.

Laatuprojektin tarkoitus on päivittää omaa laatujärjestelmää kattamaan kaikki asiakastarpeet. Tuulivoimateollisuuden mennessä kohti autoteollisuuden standardien vaatimusten sovellutuksia, joutuu myös Moventas päivittämään toimintatapojaan.



ISO/TS 16949:fi määrittelee tuotteen hyväksymisprosessin seuraavasti: ”Organisaation tulee noudattaa asiakkaan tunnustamaa tuotteiden ja valmistusprosessien hyväksymismenettelyä.” (ISO/TS 16949:fi 2009, 56). Laatuprojektin päällimmäisenä tarkoituksena voidaankin pitää tuotannon osan hyväksymisprosessin, PPAP:n, jalkauttamista ja soveltamista yrityksen toimintaan.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoite

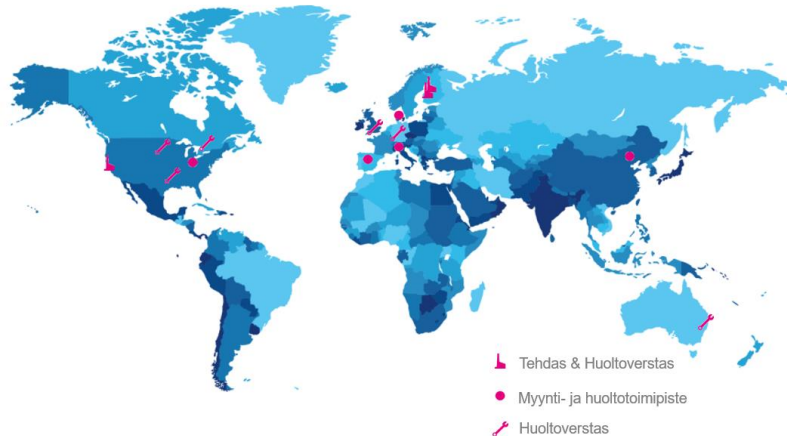
Laatuprojekti jakautui hankinnan, osavalmistuksen, kokoonpanon ja tuotekehityksen osalta omiin projektiryhmiinsä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on määritellä ja soveltaa PPAP:n asettamia vaatimuksia tuuliturbiinivaihteen kokoonpanossa. Työn tavoitteena oli suunnitella sekä toteuttaa asiakkaan vaatimia laatudokumentteja ja samalla kehittää Moventaksen laatutoimintaa.

## 2 Moventas Gears Oy

### 2.1 Tuotteet ja palvelut

Moventas Gears Oy on yksi johtavista tuulivoimaloiden vaihdelaatikoiden valmistajista maailmassa. Moventas keskittyy toiminnassaan maatuulivoimaan, mutta osamista löytyy myös merituuli- ja vuorovesivoimaloiden teknologiaan. Yritys tarjoaa myös laajat huoltopalvelut sekä omiin että muiden valmistajien vaihteisiin. Kenttä- ja verstashuoltojen lisäksi Moventas tarjoaa vaihteisiin CMA5-etävalvontaa. Moventas on suomalainen yhtiö ja toimii globaalisti seitsemässä eri maassa (ks. kuvio 1), pääpaikkanaan Jyväskylä. Nykyisin Moventas kuuluu skotlantilaiseen Clyde Blowers- teollisuusryhmään. Moventaksen teollisuusvaihte- ja tuulivoimavaihdelaatimukset jakautui vuonna 2015 yrityssaneerauksen päätyttyä omiksi liiketoiminnoikseen, ja teollisuusvaihdeliiketoiminta eriytettiin omaksi yhtiöksi, Santasalo Gears Oy:ksi. Yritys työllistää yli 500 ihmistä, joista noin 400 työskentelee Suomessa. Moventaksen edeltäjät, Metso Drives ja Valmet, ovat valmistaneet vaihteita jo 1940-luvulta asti antaen näin yli 75 vuoden kokemuksen teollisuusvaihteiden valmistamisesta. Yritys suunnitteli

ensimmäisen kW-luokan tuulivaihteen vuonna 1979 ja toimitti sen vuonna 1980. Historiansa aikana Moventas on toimittanut yli 14 000 vaihdelaatikkoa ja tuhansia vaihdehuoltoja. (Moventas yritysesittely 2015)



Kuvio 1 Globaali verkosto (Moventas yritysesittely 2015)

Työ toteutettiin Ikolan tehtaassa Jyväskylässä. Pinta-alaltaan 20 000m<sup>2</sup> tehdas on yksi moderneimmista hammasvaihdetehtaista ja huoltoverstaista maailmassa. Tehdas pitää sisällään karkaisimon, sisäosavalmistuksen sekä purku- ja kokoonpanohallit. Ikolan lisäksi Suomessa valmistuskapasiteettia on Karkkilassa, jossa toimii koteloverstaas, sekä Jyväskylän Rautpohjassa. Rautpohjassa sijaitsee Moventaksen vaihdeteknologia-keskus ja Ikolan tapaan komponenttivalmistusta sekä vaihteiden testauskapasiteettia.

## 2.2 Laatutoiminta

Moventas on tunnettu hyvästä laadustaan sekä suunnittelussa että valmistuksessa. Yritys on sertifioitu ISO 9001-, ISO 14001- sekä OHSAS 18000- standardien mukaisesti. Laatutoimintaa arvioidaan ISO 9001 vaatimusten mukaisesti, joka on päivitty-mässä vuoden 2015 versioon. Toiminnassa on huomioitu ISO/TS16949 vaatimukset liiketoiminnan niin vaatiessa, mutta sertifiointitasolla sitä ei ole tarkoitus toteuttaa. (Moventas yritysesittely 2015)

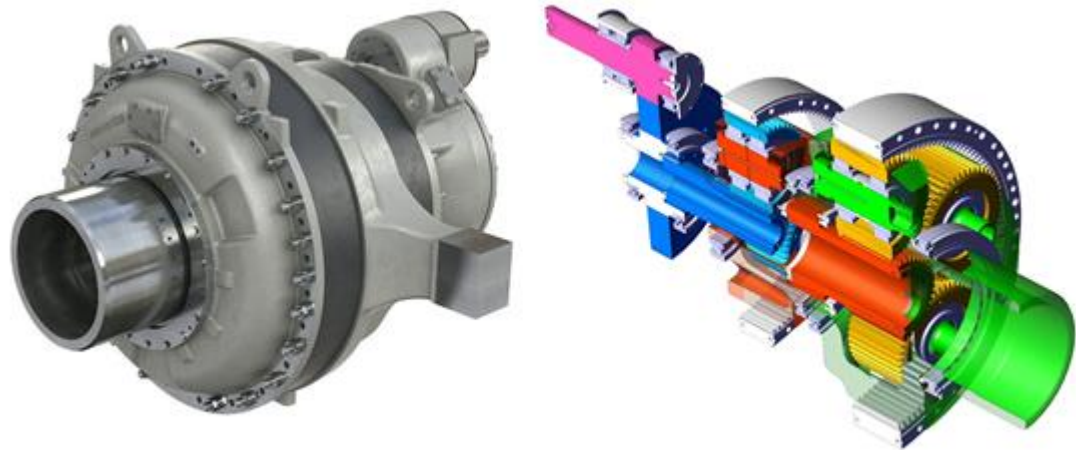
Suurin osa Moventaksen tuotetiedoista on varastoitu tuotteen elinkaaren hallintajär-jestelmään (PLM), jonka avulla varmistetaan myytyjen tuotteiden, komponenttien

sekä materiaalien jäljitettävyyttä. Valmistuksen aikana tuotetta valvotaan tiukoilla seurantakriteereillä. Vaihteen komponenttien materiaalin laatu sekä mittatarkkuus tarkastetaan ennen kokoonpanoa ja kaikki vaihteet testataan asiakkaan spesifikaation mukaisesti.

## 2.3 Tuuliturbiinivaihte

Tuuliturbiinin osat vaativat toimiakseen erilaisia pyörimisnopeuksia. Jotta generaattori pystyisi muuttamaan roottorin pyörimisenergian sähköksi, tulee pääakselin pyörimisnopeutta kasvattaa. Ongelman ratkaisemiseksi, pääakselin ja generaattorin välillä käytetään yleisesti vaihdelaatikkoa kasvattamaan pyörimisnopeutta halutun välityssuhteen mukaisesti. Isommat turbiinit pyörivät aerodynaamisten ja rakenteellisten syiden takia hitaammin, mutta generaattoreiden tulee pyöriä samantyyppisillä nopeuksilla, yleensä noin 1500 kierrosta minuutissa. Ylennysvaihte alentaa myös roottorien aikaansaaman pyörimisen suuren momentin generaattoria varten sopivaksi. (Manwell ym. 2002, 299) Turbiinien tehot vaihtelevat sadoista kilowateista useampaan megawattiin, näin ollen myös vaihteiden painot liikkuvat satojen kilojen ja kymmenien tonnien välillä.

Yleisimpänä vaihdemallina voidaan pitää planeettavaihdetta (ks. kuvio 2) suuren momentinsiirtokyvyn ja pienehkön koon takia. Vaihteet koostuvat yhdestä tai kahdesta planeettavaihteesta sekä yksi- tai kaksiportaisesta lieriöhammaspyörävaihteesta. Kyseinen Exceed-vaihte koostuu kahdesta planeettaportaasta, isosta ja pienestä, sekä lieriöportaasta. Roottorin pääakseli kiinnitetään ensimmäisen portaan planeettapyörän kantajan hitaaseen akseliin, jossa kantajaan asennetut viisi planeettapyörää pyörivät isoa kehäpyörää vasten. Myös toisessa planeettaportaassa kehäpyörä pysyy paikallaan, mutta planeettapyörrien määrä on kolme. Veto siirtyy pieneltä planeetan kantajalta lieriöportalle, jossa portaan akseliparin hammastuksella säädetään haluttu välityssuhde, jotta generaattoriin kiinnitetty nopea-akseli pyörii tarvittavalla nopeudella. Laakereita ja hammaskosketuksia voidellaan putkistojen ja suuttimien avulla painevoitellulla. Vaihteen ulkopuolelle asennetaan varusteita asiakkaan tarpeen mukaisesti, esimerkiksi voiteluöljyn lämmitin tai jäähdytin sekä vaihteen toimintaa mittaavia antureita.



Kuvio 2 Exceed-tuuliturbiinivaihte (Wind gear images. N.d.)

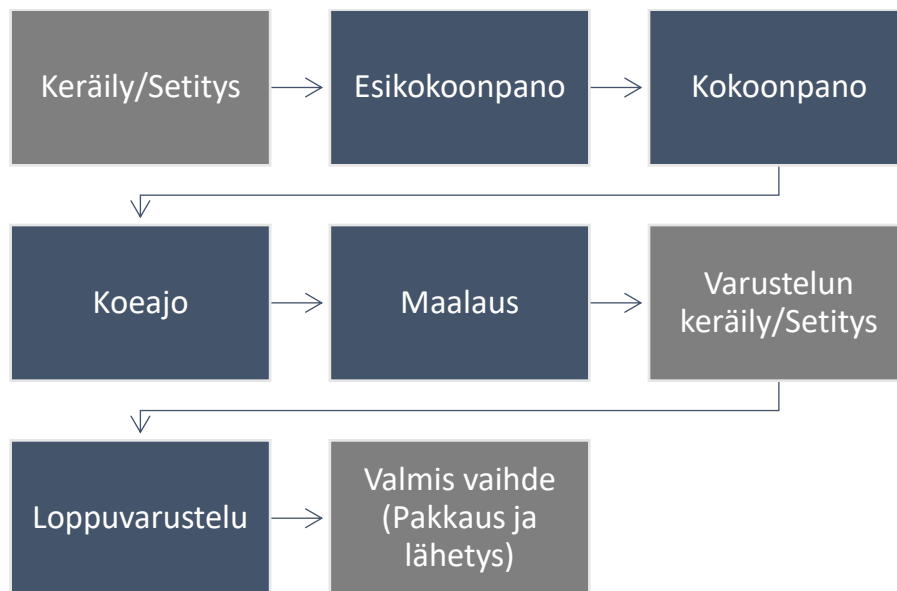
Vaihteiden suunnittelun kehitys kohdistuu kohti korkeaa momenttitiheyttä, etsimällä uusia materiaaleja ja valmistusteknologioita. Moventaksen nykyinen Exceed-mallisarja tarjoaa 3MW-luokassa 20% enemmän momenttitiheyttä (Nm/kg) 10% pienemällä koolla kuin esimerkiksi edellinen mallisarja. (Exeed Series n.d.)

## 2.4 Tuuliturbiinivaihteen kokoonpanoprosessi

Vaihteen kokoonpano (Ks. Kuvio 3.) koostuu varsinaisen kokoonpanon lisäksi mahdollisista esikokoonpanoista, koeajosta, maalauksesta ja loppuvarustelusta. Kun vaihte on kuormitettu tuotannosuunnittelussa ja talon ulkopuolelta saapuneet osat on tarkastettu, keräillään osat kokoonpanoa varten. Sarjavaihteen statuksen omaavilla vaihteilla mahdollisimman suuri osa osista tulee valmiina setteinä kokoonpanolinjalle. Se tarkoittaa sitä, että esimerkiksi laakerit kulkevat kokoonpanoon setityksen kautta, jossa ne puretaan kuljetuslaatikoista ja asetetaan muovisiin settilaatikoihin. Tämä nopeuttaa kokoonpanoprosessia ja vähentää puun sekä vastaavan lian kulkeutumisen kokoonpanohalliin.

Varsinainen kokoonpano voi koostua esikokoonpano tai valmisteluosuudesta, kuten esimerkiksi voiteluputkisarjan teosta sekä osa- ja pääkokoonpanovaiheista. Ennen pääkokoonpanoa tapahtuville osakokoonpanoille, kuten planeetankantajat, lieriöporras sekä momenttituki, on sarjavaihteilla määritelty yleisesti omat pesukoneet sekä

asennus- tai pyöritystelineet. Osakokoonpanot siirtyvät puskuripaikalta pääkokoonpanoon, joka tapahtuu yleensä ns. pääkokoonpanopukissa, jossa vaihdetta voidaan kääntää sekä nostaa ja laskea. Kokoonpantu vaihde siirretään testikenttään ja hyväksytyin koeajon jälkeen vaihde maalataan. Pintakäsittely tapahtuu ulkoistettuna Moventaksen tiloissa Ikolassa. Maalattu vaihde ajetaan ilmatyynykuljettimella varusteluhäkkiin, jossa asennetaan ja testataan lisävarusteet sekä suojataan maalaamattomat pinnat.



Kuvio 3 Tuuliturbiinivaihteen kokoonpanoprosessi Moventaksella

### 3 Tutkimusmenetelmä

#### 3.1 Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on yhdistelmä eri tutkimusmenetelmiä, jotka riippuvat kehittämiskohteen luonteesta. Kehittämistutkimus yhdistelee elementtejä kvalitatiivisesta ja kvantitatiivisista tutkimusmenetelmistä. Organisaatioissa tapahtuu jatkuvasti kehittämistyötä toiminnan parantamiseksi ja kehittämistutkimus on verrattavissa kyseiseen toimintaan. Kehittämistyötä tekee tutkimuksen siihen kohdistettu tutkimuksellinen ote. Kun kehittämistyö dokumentoidaan ja käytetään tieteellisiä menetelmiä, joiden

avulla luodaan uutta sekä luotettavaa tietoa, voidaan puhua tieteen luomisesta. Työelämässä kehittämistutkimuksen ja jatkuvan kehittämistyön kohteena voi olla mikä tahansa asia, johon pystytään vaikuttaa. Kohteen voi olla esimerkiksi prosessit, toiminnot, tuotteet, palvelut tai asiantilat. (Kananen 2012, 19,20,21)

Kehittämistutkimuksen vaiheiden määrittelystä on useita malleja, mutta perusajatus on niissä sama. Kehittämistutkimus ja toimintatutkimus noudattavat lähes identtistä etenemistä ja niiden ero on etupäässä akateeminen. Toimintatutkimus perustuu tutkijan rooliin kehittämistutkimuksen toimijan. Eräs vaiheistus kehittämis- ja toimintatutkimuksen etenemiseen:

1. Ongelman määrittely
2. Ongelman tutkiminen
3. Ongelman syiden ja seurausten analysointi
4. Ratkaisun esittäminen (interventio)
5. Ratkaisun testaaminen
6. Ratkaisun muokkaus testauksen pohjalta
7. Uuden ratkaisun testaaminen/kokeilu
8. Johtopäätökset

(Kananen 2012, 53)

Tutkimus alkaa nykytilan kartoituksella, jonka pyrkimyksenä on määritellä työn kohde eli ongelma. Jotta ongelma pystytään poistamaan, on intervention onnistumisen kannalta tärkeää ongelman riittävä määrittely ja vaikuttavien tekijöiden analysointi. Varsinaisen ongelman määrittely ja ratkaisumallien laatiminen vaativat usein tutkimusta, jonka tarve riippuu ongelmasta, tarpeellisesta tiedosta sekä sen saatavuudesta. Itse tutkimusaineisto on työn luonteesta riippuen kvalitatiivista tai kvantitatiivista. Kriittisintä muutoksen toteutuksen kannalta on se, kuinka tutkimuksen kohde määritellään ja muutetaan tutkimussykliksi, jonka avulla laaditaan tieto ongelman ratkaisemiseksi sekä muutossyklin läpiviemiseksi. Toimintatutkimuksessa tutkija on mukana muutosprosessin eli muutossyklin toteutuksessa. Kehittämistutkimus on suurempi kokonaisuus kuin perinteinen laadullinen ja määrällinen tutkimus. Perinteinen tutkimus selvittää ongelman syyt ja tarjoaa ratkaisua ongelmaan. Kehittämistutkimus sekä toimintatutkimus pyrkivät myös poistamaan ongelman. Toiminnan muutosprosessin suunnittelu, toteutus ja arviointi ovat usein tutkimussykliä vaativampia toteuttaa. (Kananen 2015, 41)

Laatuprojektin luonteen vuoksi työ sisältää elementtejä sekä kehittämistutkimuksen ja toimintatutkimuksen toteutuksesta. Tutkimusten ero on pieni, mutta molemmat tähtäävät työn aiheen mukaisesti muutokseen tai parannukseen. Työn aikana tekijä on ollut itse mukana kehittämiskohteen eli kokoonpanon toiminnassa työsuhteen muodossa sekä myös hieman ulkopuolisempana opinnäytetyön tekijän roolissa. Osassa laadituissa työkaluissa työn tekijä on tarjonnut oman ratkaisun laadittavaan työkaluun ja esimerkiksi vika- ja vaikutusanalyseissa tekijä on ollut mukana muutosten toteutuksessa. Ratkaisujen testaaminen ja muokkaaminen eivät ole olleet mahdollisia kaikissa toteutuksissa työn ja yrityksen laatuprojektin eriävien aikataulujen johdosta.

### 3.2 Tiedonkeruu

Kehittämistutkimuksen pääsääntöinen tutkimusaineisto on kvalitatiivista. Laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen aineisto koostuu sekundääriaineistosta eli olemassa olevista dokumenteista sekä primääriaineistosta, joka kerätään nimenomaista tutkimusta varten. Sekundääriaineisto muodostuu dokumenteista, kuvista tai muista tallenteista, jotka liittyvät kyseiseen ilmiöön. Primääriaineisto muodostuu havainnoinnin, haastattelujen ja kyselyjen avulla tuotetuista aineistoista. (Kananen 2015, 76.)

Projektissa aineiston keruu sekä ongelman määrittely alkoivat ensimmäisessä laatuseminaarissa, jossa projekti käynnistettiin. Yrityksen johtotason määrittellessä ongelma ja halutun muutoksen suunta, saadaan huomattavasti parempi kuva ongelmasta. Työn tieto ja vaikutteet perustuvat suuressa määrin laatuseminaareissa esitettyihin rajauksiin ja määritelmiin. Moventaksen laatuorganisaation asiantuntijat toivat seminaareissa oman viitekehýksensä ongelmaan sekä aineistoon. Näistä saadut havainnot määrittelivät PPAP-manuaalin ohella suuntaa, mihin PPAP-työkaluja tuli viedä. Kirjallisuus ja standardit tarjoavat ongelmaan liittyvää aineistoa, jota voidaan soveltaa oman osaamisen mukaan. Varsinainen toteutusvaihe ja sen suunnittelu kokoonpanossa sisälsi paljon dokumenttien sekä muiden tallenteiden tutkimista ja selvittelyä. Työkalujen toteutuksessa keskustelut ja havainnot laadintaan osallistuvien asiantuntijoiden kuten tuotetuen- ja laatuinsinöörin kanssa muodostivat suuren osan aineistosta. Vika- ja vaikutusanalyseissa sisältö muodostui yhdessä tuotannon työntekijöiden kanssa saaduista havainnoista ja keskusteluista.

### 3.3 Sisältöanalyysi

Kvalitatiivista aineistoa voidaan analysoida usealla eri tavalla, jotka jäävät tutkijan päätettäväksi. Kvantitatiiviseen eli määrälliseen tutkimukseen verrattuna laadullisen tutkimuksen aineisto ei ole niin analyysisidonnaista. Laadullinen tutkimus joustaa paljon käytettävien menetelmien suhteen, mikäli jokin analyysimenetelmä osoittautuu huonoksi, voidaan käyttää toista analyysimenetelmään. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa analyysimenetelmä päätetään jo ennen aineiston keruuta. Laadullisesta aineistoa voidaan analysoida monesta näkökulmasta ja näin myös tulkinnoissa voi olla suuria eroavaisuuksia. Tutkija erittelee tai luokittelee sisällön ja selvittää aineiston relevantin sisällön. (Kananen 2012, 116)

Muodostetun aineiston avulla laadittiin itse työkalujen rakennetta sekä niiden sisältöä. Kirjallisuus tarjoaa laadullisesti hyvää aineistoa ongelmaan ja pohjan sen kehittämiseen. Sisältö muodostuu kuitenkin pitkälti yrityksen sisällä havaituista asioista. Mitä alemmaksi yrityksen organisaatiossa mennään, sitä spesifimpää tietoa toiminnasta saadaan, jolloin tekijän harkinnan varaan jää tiedon luotettavuus sekä luokittelu ja miten sitä voidaan hyödyntää. Paikkansapitäväksi nähdyin aineiston avulla laadittiin työn tulokset, laatutyökalut, jonka lopullisen validoinnin suorittaa kuitenkin asiakas.

## 4 Tuotanto-osan hyväksymisprosessi (PPAP)

Nykypäivän kilpailuympäristössä yritykset käyttävät useita laatustandardeja ja niiden sovelluksia, kuten ISO, TS, VDA tai APQP. Kun yrityksen soveltavat toiminnassaan näitä standardeja, vaaditaan tiettyjä toimenpiteitä. Kaikille mainituille standardeille on yhteistä laajamittainen tekninen dokumentointi. PPAP (Production Approval Process) on yksi toimenpide laadunvarmistukselle, ja se on erityisesti autoteollisuuden standardimenetelmä tuotanto-osan hyväksymiseen. Sillä varmistetaan, että suunnittelutiedot ja spesifikaatiovaatimukset on täytetty johdonmukaisesti. Sitä voidaan pitää nykypäivänä välttämättömänä autoteollisuudessa sekä kasvavassa määrin myös muilla teollisuuden aloilla.



## 4.1 Tuotteen kehittynyt laatusuunnittelu (APQP)

Pohjois-Amerikan kolme suurinta autonvalmistajaa, Ford, General Motors ja Chrysler, perustivat 1980-luvulla yhteistyössä järjestön AIAG luomaan puitteet laadun parantamiseksi Pohjois-Amerikan autoteollisuudessa. Tuloksena syntyi APQP (Advanced Product Quality Planning), standardoitu viitekehys toimenpiteille ja tekniikoille kehittämään tuotetta ja prosesseja. Sen päällimmäinen tarkoitus on auttaa toimittajia suunnittelemaan tuote, joka tyydyttää asiakkaan vaatimukset ja odotukset. APQP tarjoaa useita työkaluja ja menetelmiä, joilla jokaisella on potentiaalinen arvo ja vaikutus, kun sitä käytetään oikeaan aikaan. APQP-manuaalin lisäksi sarjaan liittyviä päätyökaluja ja manuaaleja, joilla on suurin vaikutus tuotteen ja prosessin onnistumiseen, ovat FMEA-, SPC-, MSA- sekä PPAP-manuaali. Näiden viiden päätyökalun käyttö on välttämätöntä implementoitaessa ja auditoitaessa ISO/TS 16949 -standardia. (Advanced Product Quality Planning (APQP) n.d.)

APQP alkaa esisuunnittelulla ja valmistelulla ja koostuu viidestä päävaiheesta:

1. Plan and define / Suunnittelu ja määrittely
2. Product Design and Development / Tuotteen suunnittelu ja kehitys
3. Process Design and Development / Prosessin suunnittelu ja kehitys
4. Product and Process Validation / Tuotteen ja prosessin validointi
5. Feedback assessment and corrective action / Palautteen arviointi ja korjaavat toimenpiteet.

Ensimmäiset kolme vaihetta on omistettu esisuunnittelulle, tuotteen suunnittelulle sekä valmistusprosessin suunnittelulle. PPAP on osa APQP:n tuotteen ja prosessin verifiointia ja validointia. PPAP nostaa esille APQP:n aikana kerätyn näytön ja todisteet tuotteesta sekä prosessista ja ilmaisee onnistuneen APQP:n toteutuksen. APQP:n päätavoite kokonaisuudessaan on suunnitella tuote ja prosessi, joka täyttää kaikki asiakkaan asettamat tehtävät. Toinen osa tavoitetta on ennakoida mahdolliset ongelmat, ennen kuin ne pääsevät tapahtumaan, ja estää niiden joutuminen asiakkaan ongelmiksi. Vaikka PPAP:n lopullinen tavoite on sama, sen välitön tavoite on turvata asiakkaan hyväksyntä tuotannon aloittamiselle. (Advanced Product Quality Planning (APQP) N.d.)

APQP:tä sovelletaan taustansa takia autoteollisuudessa, mutta se on levinnyt huomattavassa määrin myös muille teollisuuden aloille. Tuuliturbiinivalmistajista esimerkiksi Vestas, Senvion, Suzlon sekä General Electric soveltavat toiminnassaan APQP:tä. Tuulivoimateollisuudella ei varsinaisesti ole vielä omaa standardisoitua menetelmää tuotteen ja prosessien kehittämiseen, vaan toiminnassa on sovellettu esimerkiksi juuri autoteollisuudesta tulleita elementtejä. Tulevaisuudessa tilanne voi olla kuitenkin toinen. Tanskassa aloitetussa projektissa APQP@Wind on vuosien 2015 ja 2018 välillä tarkoitus määrittää tuulivoimateollisuudelle oma standardi. Alan suurimmat toimijat, Siemensin, Vestaksen, LM wind powerin sekä KK Wind Solutions, aloittivat yhteistyön, jonka tarkoituksena on kehittää yhteinen APQP- sekä PPAP-standardi tuulivoimateollisuudelle. (Nedergaard Jacobsen 2015.)

#### 4.2 PPAP-prosessin käynnistäminen

PPAP vaaditaan yleisesti silloin, kun kyseessä on uusi osa tai suunnitellaan muutosta jo olemassa olevaan osaan tai prosessiin. On kuitenkin asiakkaasta kiinni, milloin PPAP tulee käynnistää. Toimittajalla on hyvä olla laatujärjestelmä, joka luo valmiiksi kaikki vaadittavat dokumentit riippumatta siitä, tuleeko dokumentteja toimittaa. Organisaation tulee saada hyväksyntä asiakkaan edustajalta seuraavissa tapauksissa:

1. uusi osa tai tuote (tietty tuote, väri tai materiaali jota ei ole ennen toimitettu kyseiselle asiakkaalle)
2. eroavaisuuksien korjaus edellisen hyväksymisprosessin kappaleesta
3. muutokset tuotteen piirustuksissa, spesifikaatioissa tai materiaalissa

Hyväksymisprosessia varten luodun valmistuserän koon tulee olla riittävä. Eräkoon tulee olla minimissään 300 peräkkäistä kappaletta 1-8 tuotantotunnin aikana, ellei asiakas ole määritellyt tiettyä määrää. Merkitsevä valmistuserä tulee valmistaa samoilla resursseilla kuin normaali tuotanto. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 3.)

### 4.3 PPAP-vaatimukset

PPAP-manuaali määrittelee 18 elementtiä, joita organisaation tulee noudattaa asiakkaan PPAP-vaatimusten lisäksi. Tuotanto-osien tulee PPAP-vaatimusten lisäksi noudattaa turvallisuutta ja lainsäädäntöä koskevat vaatimukset. Mikäli jotain tuotevaatimusta ei pystytä noudattamaan, yrityksen tulee dokumentoida ongelmanratkaisun menettely ja sopia asiakkaan kanssa korjaavista toimenpiteistä. Kaikkia elementtejä ei voi välttämättä soveltaa jokaiselle osalle. Esimerkiksi kaikilla osilla ei ole ulkonäkövaatimuksia tai värivaatimuksia. Elementit ovat:

1. Design Records (Suunnittelutiedot)
2. Authorized Engineering Change documents (Hyväksytyt muutosasiakirjat)
3. Customer Engineering Approval (Asiakkaan tekninen hyväksyntä)
4. Design Failure Mode and Effects Analysis (Suunnittelun vika- ja vaikutusanalyysi)
5. Process Flow Diagram(s) (Prosessikaavio)
6. Process Failure Mode and Effects Analysis (Prosessin vika- ja vaikutusanalyysi)
7. Control Plan (Ohjaussuunnitelma)
8. Measurement System Analysis Studies (Mittausjärjestelmän analyysi)
9. Dimensional Results (Mittaustulokset)
10. Records of Material / Performance Test Results (Materiaalin ja suorituskyvyn testitulokset)
11. Initial Process Studies (Alustavat prosessitutkimukset)
12. Qualified Laboratory Documentation (Hyväksytyyn laboratorion dokumentaatio)
13. Appearance Approval Report (Ulkonäön hyväksymisraportti)
14. Sample Production Parts (Näytekappaleet)
15. Master Sample (Alkuperäiskappale)
16. Checking Aids (Tarkastuksen apuvälineet)
17. Customer-Specific Requirements (Asiakasvaatimukset)
18. Part Submission Warrant (Tuotteen vakuusilmoitus). (Production Part Approval Process PPAP 2006, 4.)

#### **Suunnittelutiedot (Design Records)**

Yrityksen tulee hallinnoida suunnittelutietoja toimitettavasta osasta. Yksinkertaisimmillaan suunnittelutiedosto voi olla pelkkä piirustus toimitettavasta kappaleesta. Se saattaa olla asiakkaan toimittama, sillä asiakas saattaa suunnitella osan ja ymmärtää sen lopullisen tarkoituksen. Suunnittelutiedosto tulee kuitenkin toimittaa PPAP:n mukana, sillä näin asiakas varmistuu, että yritysten välillä on yhteisymmärrys toimitettavasta tuotteesta. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 4.)

Nykypäivänä suunnittelutiedostot ovat pitkälti elektronisessa formaatissa, kuten CAD/CAM-tiedostot, mutta ilman erityistä sopimusta toimittajan tulee tehdä fyysiset

kopiot tai tulosteet, joilla osoitetaan esimerkiksi kappaleen geometrinen mitoitus ja tolerointi. Olipa kyse tuotteesta, osasta tai komponentista, tuloksena tulee olla kaikista suunnittelutiedoista muodostettu yhdistetty tiedosto. Suunnittelutiedosto voi pitää sisällään esimerkiksi komponenttien piirustukset, kokoonpanopiirustukset ja osaluettelon. Pakollisena sisältönä valmistajan tulee toimittaa käytetyistä materiaaleista materiaalitodistus, jolla varmistetaan, että raportoitu data noudattaa asiakkaan asettamia materiaalispesifikaatioita. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 4.)

Yksittäinen suunnittelutiedosto voi viitata toiseen dokumenttiin muodostaen tiedostokokonaisuuden, ja yksittäinen suunnittelutiedosto voi esittää useampaa osa- tai kokoonpanokonfiguraatiota. Niin sanotuilla katalogiosilla suunnittelutiedosto voi koostua vain toiminnallisesta spesifikaatiosta tai viittauksesta viralliseen teollisuus-standardiin. Bulkkitavaran osalta suunnittelutiedosto voi sisältää raaka-aineen tunnistetietoja, jalostustoimenpiteitä, parametreja, lopputuotteen spesifikaatioita tai hyväksyntärajoja. Polymeeriset osat vaativat painokriteerien mukaan merkinnän joko ISO 11469- tai ISO1629 -standardin mukaisesti. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 4.)

### **Hyväksytyt muutosasiakirjat (Authorized Engineering Change documents)**

Hyväksytyjen muutosasiakirjojen tulee sisältää kaikki tiedot muutoksista, jotka eivät ole vielä suunnittelutiedoissa, mutta jotka on jo sisällytetty tuotteeseen, osaan tai työkaluihin. Muutosasiakirjat koskettavat yleensä niitä muutoksia, jotka toimittaja on pannut alulle. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 5.)

### **Asiakkaan tekninen hyväksyntä (Customer Engineering Approval)**

Asiakkaan spesifikaatioista riippuen, toimittajalta vaaditaan kirjallinen lausunto siitä, että asiakas on hyväksynyt kappaleet. Esimerkiksi toimittajan suunnittelemissa komponenteissa asiakas saattaa vaatia täydentäviä tietoja, jotta suunnittelutiedostot voidaan hyväksyä. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 5.)

## Suunnittelun vika- ja vaikutusanalyysi (Design Failure Mode and Effects Analysis)

DFMEA (Design Failure Mode and Effects Analysis) on sovellus vika- ja vaikutusanalyysin toimintaperiaatteesta ja se keskittyy tuotteen suunnitteluprosessiin. Sen päälinnäinen tarkoitus on auttaa ymmärtämään, missä suunniteltu tuote voi vikaantua. DFMEA auttaa suunnitteluorganisaatiota dokumentoimaan, mitä tuotteen vikaantumisesta tiedetään ja mahdollisesti epäillään. Näin ennen lopullisten piirustusten julkaisua, vikamuotoja pystytään vähentämään tai eliminoimaan kokonaan. Ihanteellisesti DFMEA aloitetaan uuden konseptin alkuvaiheessa, ja sen avulla seulotaan paras rakenne tuotteelle ja luodaan uusia vakaasti toimivia konsepteja. (Gaval & Balan 2014, 97.)

Suunnitteluorganisaation vastuulla on luoda tuotteesta suunnittelun vika- ja vaikutusanalyysi, joka noudattaa asiakkaan määrittelemiä vaatimuksia. Yksittäistä DFMEA:ta voidaan soveltaa samankaltaisille tuoteperheille tai materiaaleille. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 5.)

DFMEA on suunnitteluorganisaatiolle luotu analyttinen menetelmä, jolla pyritään varmistamaan se, että potentiaaliset vikamuodot ja niihin yhdistetyt syyt sekä mekanismit on huomioitu suunnitteluvaiheessa. Lopputuotteeseen liittyvät järjestelmät, osakokoonpanot ja komponentit tulee kaikki sisällyttää DFMEA:n arviointiin. (Potential failure mode and effects analysis FMEA 1995, 5)

DFMEA tukee suunnitteluprosessia pienentämällä vikaantumisen riskiä. Se:

- auttaa suunnittelun vaatimusten ja vaihtoehtoisten suunnitelmien objektiivisessa arvioinnissa
- auttaa luomaan ensimmäisen version valmistuksen ja kokoonpanon vaatimusten pohjalta
- parantaa potentiaalisten vikamuotojen ja niiden vaikutusten huomioimista suunnittelu- ja kehitysprosessissa
- auttaa kehittämään perusteellisia ja tehokkaita suunnittelu- ja kehitysohjelmia antamalla lisätietoa
- luo listan kriittisimmistä vikamuodoista asiakkaalle, jolloin niihin voidaan priorisoida suunnittelun ja testauksen kehitystoimenpiteitä
- luo avoimen formaatin, jolla suositellaan ja seurataan toimenpiteitä riskien pienentämiseksi
- luo tulevaisuudelle suosituksia auttamaan käytönaikaisten ongelmien analysointiin, arvioimaan suunnittelumuutoksia ja kehittämään kehittyneempiä versioita (Potential failure mode and effects analysis FMEA 1995, 5.)

DFMEA-prosessin aikana, vastuuhenkilön tulee sisällyttää aktiivisesti edustajia kaikilta osa-alueilta, joita analyysi koskee, kuten valmistus, kokoonpano sekä laatu. DFMEA on elävä dokumentti ja se tulisi käynnistää ennen konseptia tai sen viimeistelyvaiheessa. Dokumenttia tulee päivittää, kun esiintyy muutoksia tai saadaan lisätietoja kehitysprojektin eri vaiheiden aikana. Näin analyysin tulisi olla pohjimmiltaan valmis ennen kuin tuotannon piirustukset julkaistaan. (Potential failure mode and effects analysis FMEA 1995, 7)

### **Prosessikaavio (Process Flow Diagram)**

Prosessikaavio on kaavamainen esitys nykyisestä tai esitellystä prosessin kulusta. Se selkeyttää tuotteen valmistuksessa vaadittavia vaiheita. Sitä voidaan käyttää analysoimaan vaihtelun lähteitä koneissa, materiaalissa, menetelmissä ja työn tekijöissä valmistus tai kokoonpanoprosessin alusta loppuun. Sen avulla pystytään korostamaan vaihteluiden lähteitä prosessin aikana ja se auttaa analysoimaan koko prosessia yksittäisten vaiheiden sijasta. Vuokaavio auttaa keskittymään itse prosessiin, kun luodaan prosessin vika- ja vaikutusanalyysiä PFMEA:ta (Process Failure Mode and Effects Analysis) sekä suunnitellaan valvontasuunnitelmaa. (Advanced Product Quality Planning and Control Plan APQP 1995, 20)

Prosessikuvaus luodaan toimittajan omaan formaattiin ja sen tulee kuvata prosessin vaiheita sekä järjestystä selkeästi ja tarkoituksenmukaisesti. Samankaltaista tuoteperhettä voidaan kuvata samoilla prosessikuvauksilla, mikäli niiden väliset yhteiset ominaisuudet ollaan tarkasteltu. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 5.)

### **Prosessin vika- ja vaikutusanalyysi (Process Failure Mode and Effects Analysis)**

PFMEA on sovellutus vika- ja vaikutusanalyysin toimintaperiaatteesta, joka keskittyy tuotantoprosessin riskien arviointiin. PFMEA:n tarkoitus on löytää tuotteen prosessiin liittyvät vikamuodot, sekä määritellä potentiaalisten vikojen aiheuttamat vaikutukset asiakkaaseen. Sillä pyritään tunnistamaan potentiaaliset valmistus- tai kokoonpanoprosessien vikamuotojen syyt sekä tunnistamaan prosesseissa olevat muuttujat, joihin tulee keskittää kontrolli esiintymien minimoimiseksi tai havaitsemisen parantamiseksi. Valmis analyysi luo järjestellyn listan vikamuodoista, jonka avulla voidaan priorisoida korjaavien toimenpiteiden toteutusta. PFMEA dokumentoi toteutettaessa

myös valmistus- tai kokoonpanoprosessin tuloksia. (Potential failure mode and effects analysis FMEA 1995, 27.)

PFMEA on ja tulee olla elävä dokumentti, jota ylläpidetään tuotteen koko elinkaaren ajan. Se tulisi toteuttaa ennen tai toteutettavuustutkimuksen aikana. Analyysin tulee ottaa huomioon kaikki valmistustoimenpiteet yksittäisestä komponentista kokoonpanoihin. Esitutkimukset ja analyysit täysin tai osittain uudesta prosessista ennakoivat, ratkaisevat tai valvovat potentiaalisia häiriöitä prosessista suunniteltaessa uuden tuotteen tai mallin valmistusta. (Potential failure mode and effects analysis FMEA 1995, 27.)

PFMEA olettaa, että tuotteen suunnittelu täyttää tuotteelle asetetut vaatimukset ja ominaisuudet. Potentiaalisia vikamuotoja, jotka aiheutuvat suunnittelun virheistä, ei tarvitse ottaa huomioon analyysissä. Kyseiset virheet tulee lähtökohtaisesti olla huomioituna DMFEA:ssa. (Potential failure mode and effects analysis FMEA 1995, 29.)

PFMEA arvioi jokaista prosessin vaihetta käytetyn luokituksen mukaan ja pisteyttää mahdollisen vikaantumismuodon vakavuuden, esiintymisen sekä havaittavuuden mukaan asteikolla 1-10. Kertomalla nämä pisteet keskenään, saadaan riskiluku RPN (Risk Priority Number), jolla voidaan arvioida ja priorisoida vikaantumisen vakavuutta. Riskiluku toimii priorisointityökaluna korjaaville toimenpiteille. Korjaavien toimenpiteiden toteutuksen jälkeen tulee arvioida vikaantumismuodon riskiluku uudelleen.

### **Ohjaussuunnitelma (Control Plan)**

Ohjaussuunnitelma on dokumentti, joka määrittää kaikki prosessin hallintaan käytetyt menetelmät noudattaen asiakkaan asettamia vaatimuksia. Dokumentti kuvaa sitä, kuinka kriittisiä piirteitä (FMEA) kontrolloidaan, jotta päästään asiakkaan asettamiin odotuksiin. Se tulee käynnistää, kun implementoidaan uusia prosesseja tai prosessimuutoksia. Suunnitelma voidaan luoda tuoteperheille, mikäli niiden välinen yhtenäisyys on tarkasteltu. Ohjaussuunnitelma saattaa vaatia asiakkaan hyväksynnän. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 5.)

Julkaisua edeltävä ohjaussuunnitelma (Pre-launch Control Plan) on kuvaus dimensio-naalisista mitoista sekä materiaali- ja toiminnallista testeistä, jotka tapahtuvat prototyypivaiheen jälkeen ennen sarjatuotannon aloittamista. Suunnitelman tulee sisäl-

tää normaaliin prosessiin verrattuna lisävalvontaa, kunnes tuotantoprosessi on virallistettu. Sen tarkoitus on hallita potentiaaliset eroavuudet ennen tai esituotantovaiheen aikana. Menetelmiä voivat olla esimerkiksi tiheämmät ja tarkemmat tarkastukset prosessin aikana, tilastollinen arviointi tai lisätty auditointi. (Advanced Product Quality Planning and Control Plan APQP 1995,21.)

Tuotannon ohjaussuunnitelma on kirjallinen kuvaus siitä, kuinka systeemi kontrolloi osia ja prosesseja. Se on elävä dokumentti, jota tulee päivittää, kun tuotteen valmistuksen aikana huomataan vaikutuksia liian suuresta tai vähäisestä prosessin kontrolloinnista. Tuotannon ohjaussuunnitelma on looginen tarkenne julkaisua edeltävälle ohjaussuunnitelmalle. Massatuotanto tarjoaa valmistajalle mahdollisuuden evaluoida työtulosta, tarkastella ohjaussuunnitelman kelpoisuus ja suorittaa näin sopivat muutokset. (Advanced Product Quality Planning and Control Plan APQP 1995, 27.)

### **Mittausjärjestelmän analyysi (Measurement System Analysis)**

Mittausjärjestelmän analyysi (MSA) on tilastollinen työkalu, jolla määritellään, onko mittausjärjestelmä kyvykäs tarkkaan mittaukseen. Sen tarkoituksena on määrittää, kuinka paljon mittausvirhettä aiheutuu itse mittausprosessista. Tutkimukset tulisi käynnistää, kun kyseessä on uusi tai muokattu mittausprosessi, jotta varmistetaan tulosten luotettavuus. Menetelmiä uusille ja muokatuille mittaus- ja testilaitteille voivat olla esimerkiksi gage R&R, bias, lineaarisuus sekä stabiliteetti. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 6.)

### **Mittaustulokset (Dimensional Results)**

Mittaustulosten raportoinnilla toimittaja todistaa asiakkaalle, että piirustusten ja ohjaussuunnitelman vaatimat mittojen todentamiset ollaan suoritettu. Saadut tulokset osoittavat, että tuote noudattaa sille määritellyt vaatimukset. Mittaustulokset tulee raportoida jokaisesta uniikista valmistusprosessista, kuten solujen ja tuotantolinjojen tuotokset. Mittaukset tulee kirjata todellisina tuloksina: kaikki mitat (pois lukien referenssimitat), piirteet ja spesifikaatiot, jotka ovat määriteltä piirustuksissa ja ohjaussuunnitelmassa. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 6.)

Dokumentista tulee käydä ilmi sen luomispäivä, muutostaso sekä kaikki tekniset muutosasiakirjat, joita ei olla vielä sisällytetty valmistettuun kappaleeseen. Muutostasot, päivämäärä, organisaation nimi ja osanumero tulee aina merkitä mahdollisiin



lisädokumentteihin, kuten täydentävät tulospöytäkirjat, luonnokset, jäljennökset, poikkileikkaukset, koordinaattimittauskoneen mittaustulokset, geometriset mitoitus- ja toleroinnit tai muu dokumentti, joka on yhdistetty osapiirustuksen kanssa. Yksi mitattavista kappaleista tulisi identifioida alkuperäis- tai vertailukappaleeksi. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 6.)

### **Materiaalin ja suorituskyvyn testitulokset (Records of Material / Performance Test Results)**

Materiaalin ja suorituskyvyn testitulokset pitää sisällään yhteenvedon suunnittelutiedoissa tai ohjaussuunnitelmassa määritellyistä testeistä. Yhteenvedossa tulee käydä ilmi kaikki hyväksytyksi tai hylätyksi tunnistetut testitulokset. Dokumentti hyväksytään molemmilla osapuolilla, jotta nähdään että kaikki vaadittavat testit on suoritettu ja mahdollinen täydentävä testidata on esitelty. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 6.)

Materiaaleilta vaaditaan yleisesti testausta, kun niille on asetettu kemiallisia, fysikaalisia tai metallurgisia vaatimuksia. Tuotteissa, joihin kohdistuu asiakkaan kehittämiä materiaalispesifikaatioita ja asiakkaan hyväksymä toimittajalista, tulee toimittajan hankkia materiaalit tai palvelut kyseisellä listalla olevilta toimittajilta. Materiaaleihin kohdistuvien testituloksien tulee osoittaa ja sisältää:

- Testattavan kappaleen suunnittelutiedon muutostaso
- Jokainen tekninen muutosasiakirja, jota ei ole viety vielä suunnittelutietoihin
- Spesifikaation, jonka mukaan kappale on testattu, numero, päivämäärä ja muutostaso
- Päivämäärä, jolloin testi on suoritettu
- Testattavien kappaleiden lukumäärä
- Tulokset
- Materiaalin toimittajan nimi, sekä asiakkaan vaatimuksen mukaan asiakkaan määrittelemä toimittajan tai myyjän tunnus (Production Part Approval Process PPAP 2006, 7.)

Suorituskykyä mittaavat testit tulee suorittaa osille tai tuotannon materiaaleille, kun suorituskyky tai toiminnallinen vaatimus on määritelty suunnittelutiedoissa tai ohjaussuunnitelmassa. Suorituskykyä mittaavilla testituloksilla on samat vaatimukset kuin materiaaleilla. Molemmat testitulokset voidaan esittää toimittajan sopivaksi näkemällä tavalla. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 7.)

### Alustavat prosessitutkimukset (Initial Process Studies)

Alustavien prosessitutkimuksien tarkoitus on määrittää, pystyykö tuotantoprosessi tuottamaan asiakasvaatimusten mukaisen tuotteen. Tutkimukset keskittyvät prosessissa oleviin muuttujiin, eivät attribuuttidataan. Attribuuttidata, kuten asennusvirheet tai testausepäonnistuminen, on tärkeä ymmärtää, mutta kyseinen esitutkimus ei sitä käsittele. Jotta ymmärretään attribuuttidataa mittaavien piirteiden toimintakyky, vaatii se tiedon keräämistä pitemmältä aikajaksolta. Mikäli valtuutettu asiakkaan edustaja ei toisin määrittele, ei attribuuttidata ole hyväksyttävää PPAP esityksissä. Organisaation tulee suorittaa mittaussysteemin analysointi, jotta saadaan käsitys siitä, kuinka mittausvirhe vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 7.)

Alustavat prosessien kyvykkyyden ja toimintakyvyn testien hyväksymistasot tulee määrittää ennen kaikkien asiakkaan määrittelemien erityispiirteiden hyväksyttäväksi jättämistä. Organisaation tulee saada asiakkaalta hyväksyntä käytettävään indeksiin, jolla arvioidaan prosessien kyvykkyyttä ennen hyväksyttäväksi jättämistä. Mikäli erityispiirteitä ei ole tunnistettu, asiakkaalla on oikeus vaatia demonstraatiota prosessin kyvykkyydestä toisella ominaisuudella. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 7.)

Prosessin kyvykkyyttä ja toimintakykyä tulee mitata yleisesti  $C_{pk}$ :n sekä  $P_{pk}$ :n avulla. Muita sopivammaksi todettuja menetelmiä tietyille tuotteille tai prosesseille voidaan kyseisten menetelmien sijasta, mikäli ne on hyväksytyt etukäteen asiakkaan toimesta. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 7.)

$C_p$  on kyvykkyydsindeksi, joka vertaa prosessin kyvykkyyttä suurimpaan sallittuun vaihteluun, joka ilmastaan toleranssina. Indeksillä ilmaisee suuremman siitä, kuinka hyvin prosessi täyttää vaihtelevuuden vaatimukset.  $C_p$  voidaan laskea kaavalla 1.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL - LSL}{6(\bar{R}/d_2)} \quad (1)$$

$C_{pk}$  on kyvykkyydsindeksi, joka ottaa huomioon prosessin sijainnin sekä kyvykkyyden.  $C_{pk}$  ja  $C_p$  tulisi aina arvioida ja analysoida yhdessä. Mikäli  $C_p$  on huomattavasti suurempi kuin vastaava  $C_{pk}$ :n arvo, kertoo se mahdollisuudesta kehitykseen keskittämällä prosessia.  $C_{pk}$  voidaan laskea CPU:n tai CPL:n miniminä kaavalla 2.

$$CPU = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\sigma_c} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3(\bar{R}/d_2)} \text{ ja } CPL = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3(\bar{R}/d_2)} \quad (2)$$

$\sigma_c$  = osaryhmän variaatio,  $\bar{R}/d_2$  = luontainen prosessivariaatio, jossa  $\bar{R}$  on vaihteluvälin keskiarvo ja  $d_2$  on kerroin perustuen eräkokoon  $USL$  = Ylempi spesifikaatoraja,  $LSL$  = Alempi spesifikaatoraja  $\bar{\bar{X}}$  = Jakauman keskiarvo (Statistical Process Control (SPC) 2005, 131-132.)

$P_p$  on toimintakyvyn indeksi, joka vertaa prosessin toimintakykyä suurimpaan sallittuun vaihteluun, joka ilmaistaan toleranssina. Indeksillä ilmaisee suuren siitä, kuinka hyvin prosessi täyttää vaihtelevuuden vaatimukset.  $P_p$  voidaan laskea kaavalla 3.

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_p} = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (3)$$

$P_{pk}$  on toimintakyvyn indeksi, joka ottaa toimintakyvyn lisäksi huomioon sijainnin.  $P_{pk}$  ja  $P_p$  tulisi aina arvioida ja analysoida yhdessä. Mikäli  $C_p$  on huomattavasti suurempi kuin vastaava  $C_{pk}$ :n arvo, kertoo se mahdollisuudesta kehitykseen keskittämällä prosessia.  $P_{pk}$  voidaan laskea PPU:n tai PPL:n miniminä kaavalla 4.

$$PPU = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\sigma_p} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3s} \text{ ja } PPL = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\sigma_p} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3s} \quad (4)$$

$\sigma_p$  = Prosessin kokonaisvariaatio  $s$  = prosessin keskihajonta

$USL$  = Ylempi spesifikaatoraja,  $LSL$  = Alempi spesifikaatoraja

(Statistical Process Control (SPC) 2005, 131, 133.)

Alustavat prosessien tutkimukset ovat lyhytaikaisia, eivätkä ne ennusta ajan tai muuttujien vaikutusta ihmisissä, materiaaleissa, menetelmissä, välineissä, mittajärjestelmässä ja ympäristössä. On kuitenkin tärkeää kyseisissä lyhytaikaisissa tutkimuksissa kerätä ja analysoida dataa tuottamisjärjestyksessä käyttäen apuna ohjauskortteja. Ne ominaispiirteet, joita voidaan tutkia käyttäen X-R-korttia, lyhytaikainen tutkimus tulisi perustua vähintään 25 alaryhmään sisältäen vähintään 100 lukemaa peräkkäisistä kappaleista. Asiakkaan hyväksynnällä, alustavien prosessien tutkimusdatan vaatimukset voidaan korvata pitkäaikaisella historianmukaisella datalla perustuen samaan tai vastaavaan prosessiin. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 7.)

Alustavien prosessitutkimusten tulosten hyväksymiskriteerien täyttäminen on yksi asiakasvaatimuksista, joka johtaa hyväksytyyn PPAP-ehdotukseen. Toimintakyvyn ja kyvykkyyden indeksien hyväksymiseen käytetään tiettyjä hyväksymiskriteerejä (ks. taulukko 1.). Epävakaan prosessin hyväksyminen ja asiakkaan vaatimusten täyttäminen riippuvat epävakaisuuden aiheuttajasta. Yrityksen tulee tunnistaa, arvioida, ja mikäli mahdollista, eliminoida epävakautta aiheuttavat erikoissyyt ennen PPAP:in hyväksyttäväksi jättämistä. Yrityksen tulee ilmoittaa asiakkaalle, mikäli epävakasta prosessia esiintyy ja esittää suunnitelma korjaaville toimenpiteille. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 7.)

Taulukko 1 Prosessitutkimusten hyväksymiskriteerit (Production Part Approval Process PPAP 2006, 8.)

Tulokset	Tulkinta
Indeksi > 1.67	Prosessi täyttää tällä hetkellä hyväksymiskriteerit.
$1.33 \leq \text{Indeksi} \leq 1.67$	Prosessi on mahdollisesti hyväksyttävissä. Ota yhteys asiakkaan valtuutettuun edustajaan tutkimustulosten tarkastelua varten.
Indeksi < 1.33	Prosessi ei täytä tällä hetkellä hyväksymiskriteereitä. Ota yhteys asiakkaan valtuutettuun edustajaan tutkimustulosten tarkastelua varten.

### Hyväksytyn laboratorion dokumentaatio (Qualified Laboratory Documentation)

Hyväksytyn laboratorion dokumentaation tarkoitus on osoittaa asiakkaalle se, että toimittaja on käyttänyt hyväksyttyä laboratoriota tai testauslaitosta suorittaessa PPAP:in sisältämiä materiaaliin, toimintaan tai suorituskykyyn liittyvissä testeissä. Laboratorion hyväksyttämisperusteet asettaa asiakas, esimerkiksi ISO/IEC 17025 akkreditoitu testauslaboratorio. Hyväksytystä ulko- tai sisäpuolisesta laboratorion tulee olla olemassa dokumentaatio, joka osoittaa tilan pätevyyden suoritettaville mittauksille tai testeille. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 10.)

Mikäli toimittaja käyttää ulkoista laboratoriota, testitulokset voidaan toimittaa normaalissa laboratorion raportointiformaatissa. Raportoinnissa tulee käydä ilmi laboratorion nimi, testipäivämäärä sekä standardi, jonka mukaisesti testit ovat suoritettu. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 10.)

### **Ulkonäön hyväksymisraportti (Appearance Approval Report)**

Jokaiselle osalle tai sarjalle, jonka ulkonäölle suunnittelu on asettanut vaatimuksia, tulee tehdä ulkonäön hyväksymisraportti AAR. Toimenpide koskettaa yleisesti osia, joilla on vaatimuksia liittyen pinnan väriin, rakeisuuteen tai laatuun. Kun osa valmistuu hyväksytyksi, toimittaja kirjaa vaatimusten mukaiset tulokset raporttiin. Valmis AAR ja tuloksia edustava tuote tai osa toimitetaan asiakkaan määrittelemään sijaintiin tarkastelua varten. Hyväksytyt raportit tulee olla PSW:n (Part submission warrant) mukana hyväksyttäväksi jättämisen yhteydessä. AAR:n sisältö ja laajuus määritellään asiakasspesifikaatiossa. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 10.)

### **Näytekappaleet (Sample Production Parts)**

Toimittajan tulee tarjota asiakkaalle PPAP:iin käytetystä valmistuserästä näytekappaleita asiakkaan määrittelemän määrän mukaisesti. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 10.). Näyteosat toimitetaan yleensä asiakkaalle ulkonäöllistä tai toiminnallista arviointia varten. Osat tulee olla tunnistettavissa asianmukaisesti, asiakkaan määrittämällä tavalla

### **Alkuperäiskappale (Master Sample)**

Toimittajan tulee säilyttää tuotannosta alkuperäiskappale, johon myöhempiä kappaleita voidaan verrata. Sillä voidaan esimerkiksi kouluttaa työntekijöitä subjektiivisissa tarkastuksissa, kuten silmämääräisissä tarkastuksissa. Alkuperäiskappaleen tarkoitus on auttaa määritelmään tuotantostandardia erityisesti tapauksissa, jossa data on monitulkinnasta tai riittämätöntä. Tällöin on huomattavan vaikeaa luoda täydellinen kopia alkuperäiseen hyväksytyyn kappaleeseen verrattuna, ilman alkuperäiskappaleita. Alkuperäiskappale tulee säilyttää yhtä kauan kuin PPAP-dokumentteja, tai kunnes uusi alkuperäiskappale luodaan samalle osanumerolle asiakkaan hyväksynnästä. Suunnittelutiedot, ohjaussuunnitelma tai tarkastuskriteerit saattavat myös asettaa

vaatimuksia alkuperäiskappaleen olemassaololle. Jokaisesta tuotantoprosessista tulee luoda oma alkuperäiskappaleensa, ellei asiakas toisin määrittele. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 10.)

Alkuperäiskappale tulee pystyä identifioimaan alkuperäiskappaleeksi ja kappaleesta tulee käydä ilmi asiakkaan hyväksymispäivämäärä. Kappaleen koko, määrä tai muu ominaisuus saattaa aiheuttaa vaikeuksia alkuperäiskappaleen säilytyksessä, jolloin sille asetettuja vaatimuksia voidaan muokata tai luopua kokonaan asiakkaan kirjallisen hyväksynnän avulla. Monien bulkkitarvikkeiden ominaisuudet ovat luonnostaan ajasta riippuvaisia, jolloin mahdollinen alkuperäisnäyte voi koostua valmistustiedoista, testituloksista ja tärkeimpien valmistusaineiden analyysisertifikaatista. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 10.)

### **Tarkastuksen apuvälineet (Checking Aids)**

Toimittajan tulee esittää asiakkaan vaatimuksesta PPAP-ehdotuksen yhteydessä jokainen osa-spesifin kokoonpanon tai komponentin tarkastukseen käytetty apuväline. Tarkastuksen apuvälineitä voivat olla esimerkiksi erilaiset kiinnittimet ja erikoismitat. Dokumentti pitää sisällään kuvan apuvälineestä sekä kalibrointitiedot, sisältäen välineen mittaraportin. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 11.)

Toimittajan tulee todistaa, että välineen jokainen näkökohta täsmää osan mittavaatimukseen. Organisaation tulee dokumentoida kaikki tarkastusvälineeseen kohdistetut tekniset muutosasiakirjat. Toimittajan tulee tarjota apuvälineelle ennakkohuoltoa, niin kauan, kun osa määritellään aktiiviseksi. Bulkkimateriaalin kohdalla, välineisiin kohdistuvat vaatimukset tarkastellaan tapauskohtaisesti asiakkaan edustajan kanssa. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 11.)

### **Asiakasvaatimukset (Customer-Specific Requirements)**

Jokaisella asiakkaalla saattaa olla erityisvaatimuksia PPAP-vaatimusten lisänä. Toimittajalla tulee olla asiakirjat kaikkiin soveltuviin asiakasvaatimukseen, joilla osoitetaan niiden noudattaminen. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 11.) Asiakkaan asettamat erityisvaatimukset voivat liittyä esimerkiksi mittoihin ja mittaamiseen tai tuotteen pakkaamiseen. Usean OEM-autonvalmistajan asiakaskohtaisia vaatimuksia on listattuna IATF:n (International Automotive Task Force) verkkosivuilla.

## **Tuotteen vakuusilmoitus (Part Submission Warrant)**

Kun kaikki PPAP:n asettamat vaatimukset ovat saatettu loppuun, tulee toimittajan luoda vakuusilmoitus PSW, joka esittelee ja kokoaa laaditun PPAP-paketin. Jokaiselle osanumerolle tulee laatia erillinen PSW, ellei asiakkaan kanssa määritellä toisin. Yhtä asiakkaan osanumeroa vastaava PSW, voi koota saman tuotteen eri muutostasot, mikäli ne on kuvattu riittävällä tasolla ja PSW noudattaa asiakkaan projektin aikataulua. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 11.)

Mikäli tuotannon osan valmistuksessa on eroavaisuuksia, kuten eri muotti tai tuotantoprosessi esimerkiksi solu tai linja, tulee yrityksen laatia täysi mittaustulosten arviointi. Kyseiset variaatiot identifioidaan omassa kohdassa PSW:ssä tai toimitetaan PSW:n liitteenä. PSW:n mukana ilmoitetaan kappaleen paino kilogrammoina neljän desimaalin (0,0000) tarkkuudella, ellei asiakas ole ohjeistanu toisin. Ilmoitettu paino ei saa sisältää kuljetuksen suojuksia, materiaaleja tai apuvälineitä. Paino määritellään kymmenen satunnaisen kappaleen painon keskiarvosta. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 11.)

Yritys vahvistaa, että kaikki mittaus ja testitulokset täyttävät asiakkaan vaatimukset, ja että kaikki vaadittava PPAP-dokumentaatio on saatavilla. PSW voidaan toteuttaa eri tasoisena asteikolla 1-5 asiakkaan valtuuttaman edustajan mukaisesti. PSW:n tasolla 2, 3 ja 4 dokumentaatio toimitetaan mukana ja tasolla 5 dokumentaatio esitetään asiakkaan pyynnöstä. Yrityksen vastuussa oleva toimihenkilö hyväksyy PSW:n ja toimittaa yhteystiedot sen mukana. PSW voidaan toimittaa elektronisesti, riippuen asiakkaan kanssa sovitusta toimitustavasta. (Production Part Approval Process PPAP 2006, 11,19.)

## **5 Opinnäytetyö osana yrityksen laatuprojektia**

### **5.1 Laatuprojekti**

Keväällä 2016 allekirjoitetun laatusopimuksen myötä Moventaksella käynnistettiin laatuprojekti TQM - Getting organized. Uuden vaihdemallin, Herkules-projektin, myötä asiakkaan asettamat laatuvaatimukset kasvoivat huomattavassa määrin ja näin ollen omaa toimintaa oli pakko kehittää. Projektin asettajina ja ohjausryhmänä

toimivat operatiivisen puolen johtajat. Projekti jakautui toimintojen mukaan yhdeksään eri projektiryhmään ja näiden tukena toimivat fasilitaattorit/asiantuntijat antaen puitteet käytettäviin laatutekijöihin.

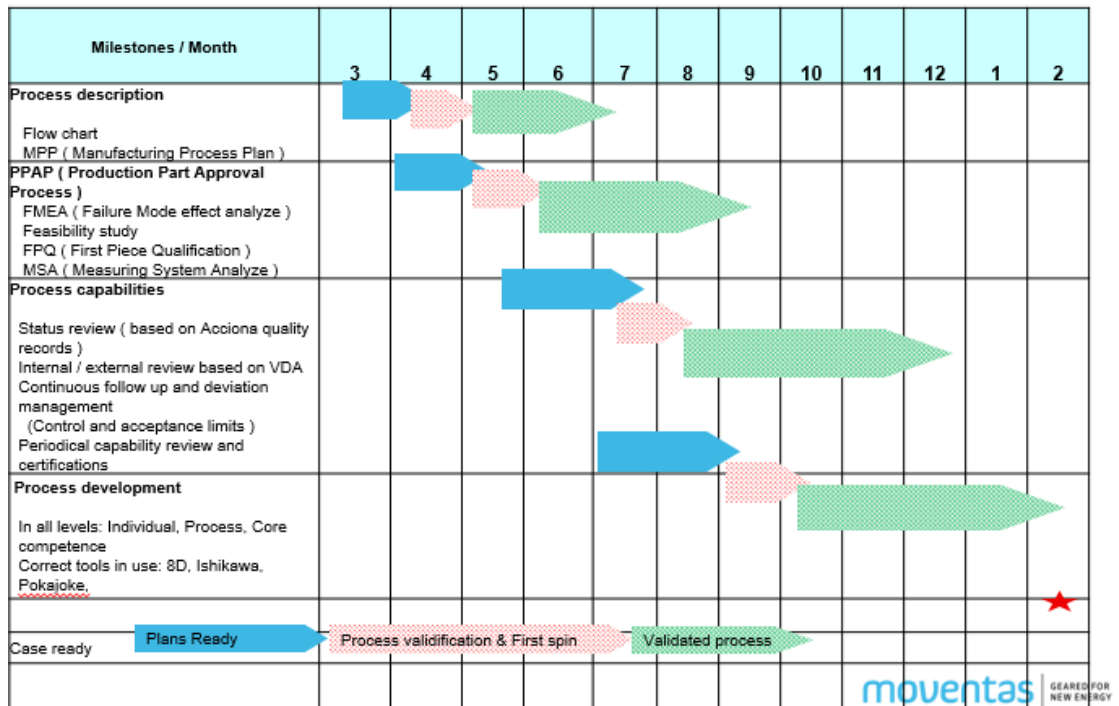
1. Procurement - Hankinta
2. Planet wheels – Planeettapyörät (Ikola osavalmistus)
3. Tooth rings – Rautpohja osavalmistus
4. Case hardening - Karkaisu
5. Assembly - Kokoonpano
6. Test run – Koe-ajo
7. R & D - Tuotekehitys
8. CAP /QMP – Toiminnanohjausjärjestelmän laatutoiminnot
9. Housings – Vaihdekotelot

Laatuprojektin tarkoituksena oli tuoda APQP- ja PPAP-elementtejä laajemmassa määrin Moventaksen toimintaan. Pääpaino projektissa oli, jonkin verran ryhmästä riippuen, harjoitella ja luoda pohja tulevien PPAP-laatutyökalujen käyttöön. Ideana oli luoda alkuun laatudokumentteja nykyiselle Exceed-sarjan PPLH-2900.2-vaihteelle harjoituksen vuoksi. Kyseinen asiakas ei vaadi Moventakselta Herkules-projektia vastaavaa hyväksymisprosessia, mutta näin haluttiin jalkauttaa laatutoimintaa projektiryhmien osastoille. Kun vastaavia dokumentteja luodaan valmiiksi ja toimintatapa sekä menetelmät ovat tuttuja, on niitä helppo soveltaa uudelle projektille. Yleinen ohjeistus projektin johdolta oli luoda dokumentaatio englanniksi.

Projekti aloitettiin laatuseminaarilla maaliskuussa, jossa esiteltiin projektin idea ja tarkoitus sekä pyrittiin saamaan yhteinen lähestyminen kokonaisuuteen ja työkaluihin. Fasilitaattorit esittelivät käytettäviä laatutyökaluja ja kuinka ne sopivat Moventaksen sekä asiakkaan tarpeisiin. Toinen vastaava laatuseminaari pidettiin kesäkuussa, jossa käytiin läpi eri projektiryhmien edistymistä sekä pyrittiin löytämään yhdessä ratkaisuja toteutuksessa nousseisiin ongelmiin. Jokainen projektiryhmä loi oman etenemissuunnitelman vastaamaan TQM-projektin suunnitelmaa ja asiasialttoa (Ks. Taulukko 2) sekä oman projektin toimintasuunnitelman. Projektiryhmien etenemistä seurattiin laatuprojektin projektipäällikön toimesta kahden viikon välein käydyssä yhteenvedossa yhdessä projektiryhmän oman projektipäällikön kanssa.



Taulukko 2 Projektin etenemissuunnitelma



Opinnäytetyö toteutettiin osana yrityksen laatuprojektia keskittyen kokoonpanon vastuualueisiin. Varsinainen nimetty kokoonpanon projektiryhmä sisälsi työn tekijän lisäksi verstaanpäällikön, esimiehet sekä tukevana osapuolena asiakaslaadusta vastaava laatuinsinööri. Suurin vastuu opinnäytetyön aikana laadituista dokumenteista jäi työn tekijälle ja muut jäsenet pyrkivät tukemaan toteutusta tarpeen sekä resursien mukaan.

Projektin toteutus hyytyi talotason toteutuksesta johtuen erinäisistä syistä ja kesän jälkeen toteutus tapahtui itsenäisesti projektiryhmien toimesta. Esimerkiksi tässä työssä laaditut dokumentit 2900.2-vaihteelle tapahtuivat lähtökohtaisesti kevään aikana ja Herkules-projektia varten kesän ja syksyn aikana. Syksyllä TQM-projektin tilannetta katselmoitiin ja tarkoituksen oli uudelleenorganisoida projektia sekä saattaa se loppuun loppuvuoden aikana. Projektin johdossa ja ryhmissä tapahtui hieman muutoksia ja esimerkiksi kokoonpano ja koeajo yhdistyivät yhtenäisemmäksi ryhmäksi.

## 5.2 Asiakasvaatimukset

Herkules-projektille asetetut PPAP-elementtien vaatimukset (Ks. Taulukko 3.) käsittävät 18 kohtaa. Kokoonpanon projektialueen voidaan katsoa koostuvan varsinaisesta kokoonpanoprosessista, maalauksesta sekä loppuvarustelusta. Vaikka koeajo kuuluu Ikolassa kokoonpanoverstaan toimintaan, kulkee se laatuprojektissa hieman omana ryhmänä. Näin ollen tärkeimmät asiakkaan asettamat PPAP-elementit, jotka koskettavat kokoonpanon laatuprojektia ovat vuokaavio, prosessin vika- ja vaikutusanalyysi, ohjaussuunnitelma, mittausjärjestelmän analyysi, tarkastusvälineet, mittaustulokset, ulkonäön hyväksymisraportti. PPAP-elementtien lisäksi asiakkaan omia vaatimuksia ovat valmistettavuuslupaus TFC (Team feasibility commitment) sekä ensimmäisen kappaleen tarkastus FAI (First article inspection). Kuten voidaan olettaa, PPAP:in vaatimuksia on mahdotonta noudattaa projektissa täysin manuaalimukaisesti, joten sitä sovelletaan asiakkaan hyväksymällä tavalla. Esimerkiksi jo pelkän eräkoon tulisi standardin mukaan olla 300 kpl ja prototyypivaihteiden valmistusmäärä on vain muutamia kappaleita. 0-sarjassa voidaan toteuttaa jo useampia elementtejä liittyen prosessien sekä mittausten kyvykkyyteen ja toimintakykyyn. Projektin aikana asiakkaan valtuuttama edustaja vieraili säännöllisin väliajoin tarkastamassa ja auttamassa viemään toimintaa haluttuun suuntaan.

Taulukko 3 Projektin PPAP-vaatimukset

PPAP- Scope for Hercules Project		Can be reviewed at Moventas	Will be shared	Made by: Jani Hotakainen Date: 13.4.2016
PPAP -Elements				Comments / Additional information
• PPAP 1: Design Records	X	X	Partly can be shared, component level document only for review	
• PPAP 2: Engineering Change History (need to be checked)		X		
• PPAP 3: TFC		X	Overview	
• PPAP 4: Design-FMEA	X			
• PPAP 5: Process Flow Chart		X		
• PPAP 6: Process-FMEA	X		Limited to most critical processes	
• PPAP 7: Process Control Plan		X		
• PPAP 8: Measurement System Analysis (MSA)	X		Scope needed to be defined	
• PPAP 9: Dimensional Report		X		
• PPAP 10.1: Material Report (Material- & Leistungstest) (3.1 Certificate)		X		
• PPAP 10.2: Performance Report (Capacity Analyze)	X			
• PPAP 11: Initial Process Studies (Cpk)	X		Preliminary Cpk study can be done 0-series phase	
• PPAP 12: Qualified Laboratory Documentation (3D, Hardness,....)		X		
• PPAP 13: Appearance Approval Report (External visual inspection like Painting, wiring, auxiliary)		X		
• PPAP 14: Sample Production Parts (FAI)		X		
• PPAP 15: Master Samples (e.g. for Painting as plate)			Not valid	
• PPAP 16: Checking Aids (List of Testing devices, Test rig, measuring devices etc.)		X	Limited to most critical measurements	
• PPAP 17: Customer Specific Requirements		X		
• PPAP 18: PSW – Part Submission Warrant		X		

## 6 PPAP-elementtien soveltaminen kokoonpanossa

Opinnäytetyön sekä projektin tärkein tavoite oli laatia asiakkaan vaatimia laatudokumentteja. Dokumenttien toteutus perustuu PPAP-manuaalin sekä asiakkaan asettamiin vaatimuksiin. PPAP-elementeistä laadittiin asiakkaan hyväksymiä sovelluksia, jotka pyrittiin sovittamaan omaan toimintaan. Työ päättyi ennen projektin saattamista loppuun, joten kaikkia PPAP-elementtejä ei voitu sisällyttää työhön. Toteutus koostuu erityisesti vaihteen kokoonpanoprosessin vika- ja vaikutusanalyyseistä, ohjaussuunnitelman, vuokaavion sekä ensimmäisen tuotteen hyväksymiseen liittyvien dokumenttien laadinnasta.

### 6.1 Lähtötilanne

Tiettyjä PPAP:n elementtejä ja työkaluja on käytetty aikaisemmin jo melko laajasti Moventaksella, esimerkiksi MPP ja vuokaaviot. Monet työkalut ovat kuitenkin jääneet varsin irrallisiksi, eivätkä ne ole muodostaneet varsinaista PPAP-kokonaisuutta.

PPAP:a on käytetty konseptina lähinnä hankinnan puolella uusille toimittajille, jotka toimittavat kriittisiä osia. Näille on käytetty kolmea pakollista elementtiä: Moventakseen ohjaussuunnitelmaa MPP (Manufacturing Process Plan), tuotenäytteitä sekä mittapöytäkirjoja.

Kokoonpanossa on sovellettu aikojen saatossa erilaisia työkaluja, mutta samoin erittäin irrallisesti ja suppeasti. Edelliset PFMEA:t löytyivät usean vuosien takaa ja toiminta onkin rajoittunut lähinnä DFMEA:han. Ensimmäisen tuotteen kelpuutusta FPQ:ta (First Piece Qualification) eli yhden vaihteen otosta piirustusten, tuoterakenteen sekä asiakkaan spesifikaation mukaisuudesta on toteutettu lähinnä asiakkaan pyynnöstä proto- tai 0-sarjan ensimmäiselle vaihteelle sekä luokituslaitoksen teknisen hyväksynnän yhteydessä.

### 6.2 Toteutettavuustutkimus

TFC:n sisältönä laadittiin toteutettavuustutkimus (Feasibility study). Toteutettavuuden analyysi on kokonaisuus, joka perustuu usean arvioinnin sarjaan. Sen tavoite on määrittellä, voidaanko suunniteltu tuote valmistaa, kokoonpanna, testata, pakata ja

kuljettaa pitäen kiinni samalla hyväksytyistä laatustandardeista. Jotta suunnitelma todistetaan toteuttamiskelpoiseksi, sen tulee kyetä suunniteltuihin valmistusvolyymeihin sekä aikatauluihin. Suunnitelman tulee täyttää tekniset vaatimukset, laatu- ja luotettavuuskriteerit, yksikkökustannukset sekä halutut ajoitukset. Lisäksi nykypäivän globaalien markkinoiden takia on tärkeää tuntea kohdemaan lähetykseen, pakkaukseen ja tullaukseen liittyvät vaatimukset, jotta vältetään toimituksen myöhästymiseltä. (Stamatis 1998, 75-76.)

Kun vaihteen layout sekä konsepti olivat saatavilla, suoritettiin karkea toteutettavuustutkimus (ks. kuvio 4.) koskien vaihteen kokoonpantavuutta, maalausta sekä logistiikkaa ja varastointia. Kokoonpanon osalta vaihde sisältää uusia rakenteita ja vaiheikkaa pääkokoonpanossa pidettiin sarjavalmistuksen kannalta hieman pitkänä. Maalausprosessin rajoitteet ja yksityiskohdat tulee käydä läpi tarkemmin alihankkijan kanssa. Vaihteen sidontavälineiden sekä sidontapisteiden määrittäminen tulee selvittää suunnittelun ja logistiikan toimesta. Kuljetuksen osalta tarkemmat rajoitteet tulee käydä läpi huolitsijan kanssa. Vaihde aiheuttaa suuren kokonsa takia useita haasteita, mutta toimenpiteiden avulla vaihde nähtiin olevan kokoonpantavissa. Mahdollisessa sarjatuotannossa komponenttien ja vaihteen käsittely, testaus sekä kokoonpano vaativat kuitenkin kehitystä sekä investointeja. Toimenpiteiden seurannan toteutuksen kannalta tutkimus jäi hieman vajavaiseksi. Tutkimuksen seuraava osio tulisi tehdä työ- ja kokoonpanopiirustusten julkaisun jälkeen.

Feasibility Questionary		Assembly, Gearbox	Test run, Gearbox	Painting, Gearbox	Logistics/Warehousing	Accessories installation	Disassembly
1	Feasible, Product can be produced as specified with no revisions.						
2	Feasible with exceptions						
3	Not Feasible, Design revision required to produce product within the specified requirements.						
<b>Step 1 Product layout and concept is available (NCI-gate 2)</b>							
1	Are machines limitations and recommended characters notified? (RTD)	yes	yes	no	no	yes	yes
2	Are recommended structures and features been used in design?	yes	yes	no	no	yes	yes
3	Are new structures and features recognized and listed?	yes	yes	no	yes	yes	yes
4	Are assembly & test-run costs evaluated?	no	no	no	no	no	no
5	Are delivery time and material availability evaluated?						
6	Can gearbox be assembled and tested in current process?	2	2	2	2	2	2
7	Are needed tools and equipment recognized and purchase needs approved? (material and manufacturing)	2		2	2	1	1
8	Is production & project schedule reviewed and synchronized?	1	1	1	2	2	2
		2	2	2	2	2	2

Kuvio 4 Toteutettavuustutkimuksen yhteenveto

### 6.3 Vika- ja vaikutusanalyysi

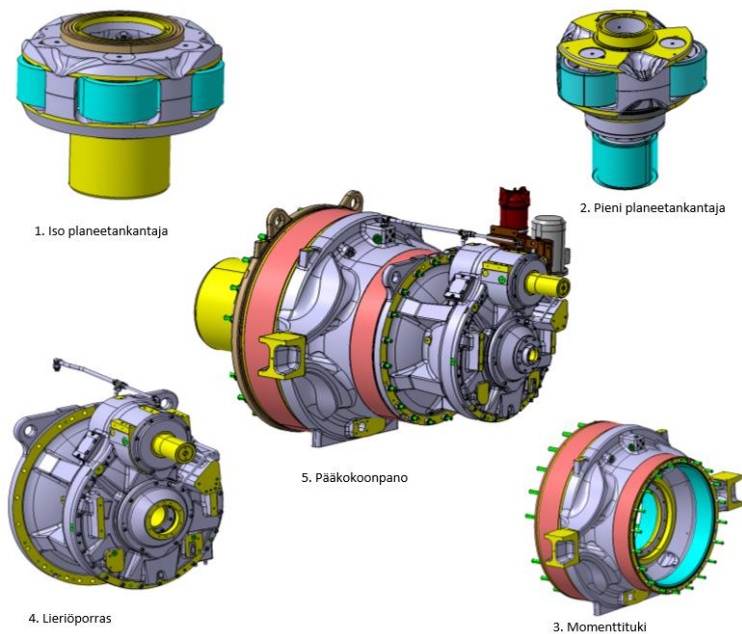
PMFEA suoritettiin kahdessa vaiheessa sekä PPLH-2900.2- että Herkules-vaihteelle. PFMEA on erittäin oleellinen työkalu, kun suunnitellaan uutta prosessia. Dokumenttia tulisi päivittää sitä mukaa, kun tuotteesta ja prosesseista saadaan uutta tietoa tai

havaitaan uusia vikaantumismuotoja. Laatuprojektissa käytetty prosessin vika- ja vaikutusanalyysin dokumenttipohja pitää sisällään Moventaksen oman hallinta- ja dokumenttitietojen lisäksi 13 kohtaa:

1. Main Workstation / Työpiste, osakokoonpano
2. Item Ref. / työvaiheeseen viittaava indeksi
3. Work step / työvaihe
4. Potential failure mode / mahdolliset virheet
5. Potential effects of failure / virheen seuraukset, vaikutukset
6. Potential causes, mechanism of failure / virheen aiheuttaja, perussy
7. Current controls / nykyiset tarkastusmenetelmät
8. Risk priority number (RPN) / riskiluku
9. Recommended preventive actions / suunnitellut ehkäisevät toimenpiteet
10. Responsibility / vastuu
11. Progress / edistyminen
12. Status / tilanne
13. Actions taken and results / suoritettut ehkäisevät toimenpiteet ja tulokset
14. RPN suoritettujen toimenpiteiden jälkeen.

### 6.3.1 PFMEA PPLH-2900.2-vaihteelle

Laatuprojektin toteutus aloitettiin PFMEA:n laatimisella nykyiselle Exceed-sarjavaihteelle PPLH-2900.2 (ks. Kuvio 5). Vaihte oli edennyt tuotannossa sarjatuotantoon, joten valmistusmäärä oli toteutushetkellä jo useita kappaleita ja näin ollen myös prosessissa nousseita riskejä oli helpompi nostaa esille. PFMEA suoritettiin erikseen jokaiselle osakokoonpanolle (ks. liite 1. ja kuvio 5) sekä loppuvarustellulle (ks. liite 2). Koko kokoonpanoprosessi seurattiin alusta loppuun, jolloin saatiin mahdollisimman laaja kuva mahdollisista riskeistä prosessissa. Riskien arviointikierrokselle pyrittiin saamaan itse kokoonpanoa suorittavan asentajan lisäksi mukaan osallistuja laadun ja suunnittelun puolelta. Potentiaalisia vikamuotoja kerättiin melko vapaassa muodossa ja tärkeintä oli saada kokoonpanijan näkemys mahdollisista riskeistä. Havaitut vikamuodot kirjattiin ylös PFMEA-pohjaan ja pisteytettiin. Vikamuodon riskin ehkäisemiseksi laadittiin toimenpiteitä mahdollisuuksien mukaan. 2900.2-vaihte ei ollut projektin pääkohde ja dokumenttiin ei kohdistu minkäänlaisia asiakasvaatimuksia. Kaikki toimintaa ja laatua kehittävä työ on kuitenkin yrityksen kannalta hyödyllistä.



Kuvio 5 PPLH-2900.2-vaihteen PMFEA:n rakenne

PPLH-2900.2 on monella tapaa sekä konstruktioiltaan että kokoonpantavuudeltaan erilainen vaihde kuin sitä edeltävä mallisarja. Vikamuotoja ja riskejä arvioitaessa, pyrittiin nostamaan esille juuri uusia prosessista ja tuotteesta johtuvia vikaantumismuotoja, joita ei ole mahdollisesti aikaisemmin omassa toiminnassa kohdattu. Vaihderakentamiseen ja osakokoonpanoihin liittyviä yleisiä ja hyvin tiedossa olevia riskejä kirjattiin vasta myöhemmässä vaiheessa. PMFEA:n toteutus aloitettiin lopputulosta ajatellen hieman epäjohdonmukaisessa järjestyksessä, ilman että kaikkia prosessissa olevia komponentteja olisi tunnistettu. Vuokaavion tai vastaavanlaisen prosessikuvausten olisi ollut hyvä johdattaa PMFEA:n toteutusta alusta alkaen. Vikamuotoja kirjattiin hajanaisesti ja vasta yhdistettäessä osakokoonpanojen vika- ja vaikutusanalyysit kokonaiseksi vaihteen kokoonpanon PFMEA:ksi, otettiin kyseisen vaihteen työohjeissa käytetyt työvaiheet ja niiden indeksoinnit dokumenttien yhdistäväksi tekijäksi.

Riskiluvun määrittelyssä tulisi käyttää hyväksi tilastollista dataa ja kokemuksia. Esimerkiksi reklamaatioista, kenttä- tai tehdashuoltojen havainnoista sekä sisäisistä laatu- tai toimintavirheistä on mahdollista saada paljon tietoa ja todenmukaisuutta FMEA:n pisteytykseen. 2900.2-vaihteen osalta pisteytyskierroksiin oli vaikeaa saada henkilöresursseja, ja pisteyttäminen jäi pitkälti työn tekijän varaan. Pisteyttäminen perustui riskien arviointikierroksilla nousseisiin ajatuksiin sekä omakohtaisiin kokemuksiin,

mutta myös reklamaatioista ja prosessihäiriöistä kerättyä materiaalia voitiin hyödyntää jossain määrin. Epäselvissä tilanteissa vikamuodot pyrittiin arvioimaan suuriksi, jotta tietämättömiltä riskeiltä vältyttäisiin. Vikamuotojen arviointi vaatii tietämystä ja kokemusta vaihteen toiminnasta. Samanlainen vikamuoto vaihteen eri osassa on jo pelkästään huollettavuuden kannalta erilainen. Esimerkiksi vaihteen lieriöportaalla tapahtuvat vikaantumiset voidaan mahdollisesti huoltaa tolpassa, mutta planeetta- portailla tapahtuvat vikaantumiset vaativat usein koko vaihteen poistamisen naselista eli ns. konehuoneesta.

Pisteytyksen jälkeen tulisi määritellä riskille ehkäiseviä toimenpiteitä ja niille vastuuhenkilö. Varsinkin korkean riskiluvun omaaville vikamuodoille on tärkeää laatia toimintasuunnitelma riskin tai vikamuodon estämiseksi ja jonkinlainen kontrolli toimenpiteiden tarkkailemiseksi. Rakenteeseen ja kokoonpanokuvaan liittyvissä riskeissä korjaaviin toimenpiteisiin liittyen otettiin suora yhteys suunnitteluun. Suuri osa riskeistä liittyy ohjeistukseen, mutta vaikka esimerkiksi kokoonpano-ohjetta päivitettäisiin kyseisen ongelman kohdalta, ei asentaja välttämättä käytä ohjetta tehdessä sarjavaihdetta. Tärkeintä olisi, että kokoonpanokuva olisi ajan tasalla, sillä se loppujen lopuksi ohjaa suoritettavaa kokoonpanoa. Moni mahdollinen riski liittyy puutteellisiin kokoonpanopiirustuksiin, jotka korjattiin yksinkertaisella piirustuksen päivityksellä. Mikäli kokoonpanokuvasta julkaistaan uusi revisio, tulee päivitetyn kuvan päätyä myös kokoonpanopisteelle. Riskien arviointikierroksella asentajat kertoivat suunnittelijalle myös prosessiin liittymättömiä riskejä, mikäli suunnittelija oli osallisena kierroksella, ja näin muutoksia voitiin panna eteenpäin mahdollisuuksien mukaan erittäin nopealla aikataululla. Työlaitteisiin ja apuvälineisiin, jotka aiheuttavat henkilövaaraa tai korkean riskiluvun, laadittiin parannuksia melko yksinkertaisilla investoinneilla. Esimerkiksi riski planeetankantajien laakerien vaurioitumiseen asennuksen yhteydessä pieneni huomattavassa määrin uusien nostolaitteiden avulla. Kierroksella nousi myös esille paljon toimittajien valmistus- ja toimintatavasta aiheutuvia riskejä. PMFEA:n osalta kyse ei ole ehkä normaalista tuotantotilanteesta, mutta kyseisiä riskejä kirjattiin kuitenkin ylös tietoisuuden parantamiseksi. Toimittajista aiheutuvat laatupoikkeamat kulkevat laatupalautteena toimittajalle, mutta prosessi vaatii sen, että asentaja myös kirjaa laatupalautteen kyseisestä tuotteesta. Suoritetut toimenpiteet eivät

päätyneet PFMEA-dokumenttiin, mutta jatkoa ajatellen myös niiden päivittyminen on hyvä kirjata dokumenttiin.

### 6.3.2 PMFEA Herkules-vaihteelle

Herkules-projektille laadittu PFMEA (ks. liite 5.) aloitettiin prosessin vaiheiden tunnistamisella. Kokoonpanon työvaiheistusta ja vaihteen kokoonpantavuutta käytiin yhdessä läpi tuotannon sekä suunnittelun kanssa useampaan otteeseen, kun kokoonpanoihin tuli suunnittelusta päivitystä. Työvaiheet indeksoitiin kokoonpanojärjestyksen mukaisesti ja PPLH-2900.2-vaihteen PFMEA:han verrattuna mukaan otettiin myös maalaus ja koeajo, jotta vaihteen kokoonpanoprosessin riskit on kartoitettu kokonaan alusta loppuun:

1. Planeetankantaja 1. porras
2. Planeetankantaja 2. porras
3. Momenttituki
4. Välikartio
5. Lieriöporras
6. Pääkokoonpano
7. Maalaus
8. Koeajo
9. Loppuvarustelu

Riskien ja virheiden arviointia suoritettiin usealla eri tapaamiskerralla ja osallisiksi tapaamisiin otettiin mukaan henkilöitä eri prosessin vaiheesta, kuten maalaus ja koeajo, sillä riskien arviointi ei koskenut enää pelkästään varsinaista kokoonpanoa ja näin ollen tarvittiin lisää tietämystä kyseiseltä osa-alueelta. Vaikka vaihde on kooltaan ja teholtaan 2900.2-vaihdetta huomattavasti isompi ja sisältää yhden osakokoonpanon enemmän, pystyttiin prosessissa olevien yhtäläisyyksien johdosta käyttämään hyväksi paljon 2900.2:n kokoonpanoprosessin mahdollisia virheitä.

PMFEA:ta lähdettiin rakentamaan järjestyksessä osakokoonpano ja työvaihe kerrallaan saatavilla olevien materiaalien, kuten vaihteen layout-kuvan avulla. Planeetankantajien osalta kokoonpanoprosessi on usein samankaltainen ja eroavaisuutta 2900.2-vaihteeseen oli lähinnä voitelun osalta. Voiteluun ja suuttimiin liittyviä riskejä pystyttiin eliminoimaan muuttamalla rakennetta ja menetelmää. Momenttituen ja välikartion osalta prosessi nähtiin melko rutiininomaiseksi, eikä merkittäviä riskejä esiintynyt. Lieriöporras ja pääkokoonpano sisältävät vaihteen toiminnan kannalta



kriittisiä työvaiheita kuten osien sovittamista sekä laakerivälysten mittausta. Työvaihetta varten tehdyillä mittalaitteilla sekä työvälineiden avulla riskit saadaan hallituksi ja mahdollinen virhe pyritään huomaamaan viimeistään esimerkiksi koeajossa tapahtuvissa mittauksissa. Isoimmat ongelmat koituvat niistä virheistä, joita ei kokoonpanoprosessin aikana huomata. Esimerkiksi pääkokoonpanossa tapahtuvan 1.portaan planeetankantajan asennuksen yhteydessä löydettiin erittäin suuri riski liittyen roottorin puolen laakerin voiteluputkeen. Havainnon jälkeen voiteluputki poistettiin ja suutin integrointiin planeetankantajaan. Kyseinen vikamuoto korostaa PMFEA:n toteuttamisen tärkeyttä. Mahdollinen vikaantuminen voi aiheuttaa paljon tuhoa, ja voidaan ajatella, että jo yhden tärkeän vikamuodon löytäminen maksaa itsensä takaisin suhteutettuna analyysiin käytettyyn aikaan.

Vaihteen maalaus tapahtuu alihankkijan toimesta Ikolon pintakäsittelylaitoksessa. Alihankkijalla ei ollut varsinaisesti aikaisempaa kokemusta kyseisestä laatudokumentoinnista, joten riskien ja virheiden arviointia käytiin yhdessä läpi. Maalausprosessi on melko riippumaton vaihdetyypistä ja noudattaa lähes aina samaa kaavaa. Suurimmat riskit nähtiin olevan vaihteen pesuvaiheessa, jolloin pesusuojiin ja ohjeistuksiin liittyvää toimintaa tulee parantaa. Maalaus sisältää automaatiota sekä mittauksia, jolloin virheiden kontrollointi nähtiin olevan hyvällä tasolla. Herkuleksen maalaus tapahtuu alustavasti normaalista prosessista poiketen vasta koeajon jälkeen tietyistä asiakkaan asettamista vaatimuksista johtuen.

Turbiinin suuren tehon takia Ikolan 3.8 MW testikenttä ei riitä vaihteen koeajoon ja vaihde testataan Rautpohjan teknologiakeskuksessa. Myöskään koeajo ei tapahdu aivan normaalin kokoonpanoprosessin mukaisesti ja mikäli vaihdetta aletaan valmistaa sarjatuotteena, vaatisi se investointia testauskapasiteettiin. PMFEA:n osalta koeajon riskiarviointi suoritettiin melko yleisellä tasolla. Suurimmat vikaantumisen riskit aiheutuvat siitä, mikäli vaihteessa on koeajon aikana partikkeleita tai puutteellinen voitelu. Koeajo-ohjelma ja asiakkaan spesifikaatiot ohjaavat prosessia melko tarkasti, eikä toteutusta lähdetty erittelemään testauksessa ja mittauksessa anturitasolle.

Vaihteen varustelun sisältö ei ollut työn tekohetkellä vielä täysin selvä. Suoritettavien sähköasennusten sisältö ja vaatimukset jäivät vastaavan suunnittelijan vastuulle. Riskejä kartoitettiin melko yleisellä tasolla ja protovaihteissa varustelu tarkentuikin yleensä vasta itse tekohetkellä. Monet vikamuodot, jotka aiheuttavat esimerkiksi

asiakasreklamaation, johtuvat puuttuvista osista tai visuaalisista poikkeamista.

Vaikka varustelua ohjaakin jo erityyppiset tarkastuslistat ja ohjeistukset, on korjaava toimenpide tarkentaa ja kehittää olemassa olevia ohjeita jatkuvasti.

PFMEA:lle asetetut tavoitteet asiakkaan taholta oli päästä 80/20-suhteeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että 80 prosenttia prosessin vikamuodoista olisi tunnistettu suunnitteluvaiheessa ja loput 20 prosenttia prototyypin kokoonpanovaiheessa. Havaituille vikamuodoille, joiden riskiluvuksi muodostui yli 120 (Punainen), tuli laatia toimintasuunnitelma riskin pienentämiseksi. Toteutuksen aikana PFMEA-pohjaan tuotiin asiakkaan toimesta myös kaksi uutta elementtiä: onko poka-yoke-menetelmää käytetty virheen estämiseksi sekä kriittisten CC (Critical Characteristics) tai erityispiirteiden SC (Special Characteristics) tunnistaminen. Poka yoke-järjestelmä pyrkii kohti nollavirhettä sekä estämään virheet automaattisesti. PMFEA-dokumentaatio toteutettiin koeajoa lukuun ottamatta suomeksi, jotta sitä pystyttiin käsittelemään tarpeeksi laajalla tasolla eri osapuolien kanssa. Vaikka PFMEA ei ole asiakkaalle toimitettava dokumentti, tulee siitä luoda englanniksi jonkintasoinen tiivistelmä esittelemisen helpottamiseksi.

## 6.4 Ohjaussuunnitelma

Yleisesti prosessin vaiheet avataan vuokaaviosta kriteeritaulukoksi ohjaussuunnitelmalla, joka on yhdenmukainen ISO/TS 16949-standardin kanssa. Projektissa, sekä Moventaksella yleisesti, käytetään MPP:tä (Manufacturing Process Control Plan). Ohjaussuunnitelma on hieman laatupainotteisempi suunnitelma kuin MPP, joka keskittyy tuotantoprosessin työvaiheiden kuvaamiseen.

Prosessikuvauksen tarkoituksena on varmistaa, että tuotteen vaatimukset toteutuvat ja ne todennetaan. Tavoitteena on, että prosessin kriittiset piirteet tunnistetaan, kuvataan ja toteutetaan aina samalla tavalla. MPP on kuvaus siitä, mitä tuotantoprosessissa tulee tehdä osien tai kokoonpanojen tekemiseksi, tarkastamiseksi, korjaamiseksi tai kunnossapidämiseksi. Kuvaus sisältää työvaiheet sekä niiden järjestyksen, standardiprosessit, henkilöresurssit ja vastuut, joita vaaditaan työvaiheiden tekemiseen. Suunnitelma kokoaa yhteen dokumentit kuten työpiirustukset sekä ohjeistukset, jotka auttavat tai ovat vaadittu työvaiheen suorittamisessa. (Seppä 2016)

#### 6.4.1 MPP PPLH-2900.2-vaihteelle

MPP laadittiin PPLH-2900.2-vaihteelle kokoonpanon (Ks. Liite 5.) sekä loppuvarustelun osalta. Itse dokumenttipohja oli valmiiksi saatavilla ja myös aikaisemmin käytössä ollut. MPP-pohja pitää sisällään hallinta- ja dokumenttitietojen lisäksi 12 prosessin hallintaan liittyvää kohtaa:

1. Työvaiheen indeksi
2. Työvaihe
3. Kriittiset osaparametrit
4. Kriteerit, ohjeet ja vaatimukset
5. Mitattavat kohdat
6. Mittausmenetelmät
7. Tarkastustiheys
8. Toiminta poikkeamatilanteessa
9. Vastuuhenkilö
10. Tallennuspaikka
11. Tallenteet
12. Kone/Toimittaja

MPP:n laatiminen aloitettiin listaamalla PMFEA:n mukaiset indeksoidut työvaiheet taulukoksi MPP-pohjaan. Laadintavaihe koostui pitkälti erilaisten dokumenttien yhdistelystä ja selvittelystä. Työvaiheen kriittiset osaparametrit muodostuivat osaksi PFMEA:ssa nousseista riskeistä sekä työohjeessa eritellyistä aliprosesseista. Työvaihetta ohjaavat kriteerit ja ohjeistukset koostuvat suurimmaksi osaksi työohjeesta ja kokoonpanopiirustuksesta. Kaikkia kokoonpanopiirustuksessa olevia vaatimuksia, toleransseja tai muita vastaavia arvoja ei lähdetty kuitenkaan avaamaan dokumenttiin. Ohjedokumentti sisällytettiin kuitenkin mahdollisuuksien mukaan linkkinä MPP:hen, jolloin tarkastelu on huomattavasti nopeampaa kuin etsiä ohjetta tietojärjestelmästä. Laadinnan aikana huomattiin myös tarve yleisohjeille, jotka ohjeistavat esimerkiksi yleisellä tasolla visuaalista tarkastusta. Mitattaviin ja tarkastettaviin kohtiin kerättiin vaihteen komponenttiraporteissa ja tarkastuslistoissa määritellyt kohdat. Tallenteen paikka verkkolevyllä linkitettiin myös dokumenttiin. Toiminta poikkeamatilanteessa jäi hieman vähäiselle ideoinnille, ja yleisesti isoimmassa poikkeamatapauksissa ensimmäinen toimenpide on ottaa yhteys työnjohtoon tai laatuosastoon.

#### 6.4.2 Ohjaussuunnitelma Herkules-vaihteelle

2900.2-vaihteelle laaditun ohjaussuunnitelman ongelmaksi voi helposti muodostua se, että dokumentti jää kertaluontoiseksi dokumentiksi. MPP:n tavoitteena on luoda omaan toimintaan tehty toimiva työkalu. Se tulisi tehdä tuotantoa varten käyttöön, eikä pelkästään auditoinnin dokumentiksi. Moventaksen volyyymeilla dokumenttien haasteena on se, että mikäli dokumenttia ei jalkauteta jollain tasolla tuotantoon, vaan se jää laatudokumentiksi tietojärjestelmään, ei siitä tule koskaan päivittyvää dokumenttia. Rajallisten resurssien myötä dokumenttien muoto tulee järkeistä omaa toimintaa ajatellen. Prosessin oletetaan päivittyvän ja kehittyvän jatkuvasti, joten myös dokumenttien tulee päivittyä mukana.

Herkuleksen osalta ohjaussuunnitelmalle lähdettiin soveltamaan hieman erilaista toteutusta. Moventaksella vaihteen osakokoonpanojen tekemistä ohjaa vahvasti komponenttiraportti, johon kirjataan esimerkiksi nimikkeiden yksilötietoja ja suoritettavia mittauksia kokoonpanon aikana. Varsinaiset kriteerit, ohjeet ja vaatimukset tulevat kokoonpanopiirustuksesta ja mahdollisesta työohjeesta. Herkuleksen ohjaussuunnitelmasta haluttiin rakentaa omaan toimintaan sopiva malli, joten tuloksena muodostui työohjeen, MPP:n sekä komponenttiraportin välinen yhdistelmä.

Osakokoonpanoille ja pääkokoonpanolle muodostettiin Excel-pohjainen kokonaisuus, jonka välilehdet pitää sisällään komponenttiraportin, kokoonpanojen kokoonpanoraportit sekä kokoonpanon yleisohjeet. Kokoonpanoraportti (ks. Kuvio 6.) ohjaa kokoonpanoprosessia työohjeen omaisesti ja jäljitettävyyden kannalta tarvittavat tiedot kirjautuvat komponenttiraporttiin, josta laaditaan asiakkaan haluama tuloste. Kokoonpanoraportti noudattaa myös muissakin dokumenteissa käytettyjä indeksointiteja, jolloin dokumentit ovat yhdenmukaiset. Lisänä työvaiheille on annettu alaindeksejä antamaan lisäohjeistusta koskien kyseistä työvaihetta. Asiakkaan ja ohjassuunnitelman suunnalta raporttiin tuotiin vaatimuksia ja ohjeistuksia, jotka tuli olla määriteltynä raportissa. Esimerkiksi työvaihe joka sisältää kriittisen liitoksen tai lukituksen, raportti määrittää sille osanumeron, nimen tai koon, kappalemäärän, kiristysmomentin, työkalun ja mahdollisesti työkalussa olevan tunnuksen. Lisäksi nykyiseen toimintaan verrattuna prosessin aikana tapahtuvia työvaiheiden kuittauksia tuli lisätä. Ko-

koonpanot jaksotettiin raportissa sopiviin kokonaisuksiin, jonka lopussa raporttiin tulee kirjata kyseisen työvaiheen kokoonpanijan allekirjoitus sekä päivämäärä. Vaihe sisältää paljon sovitteiden sekä välysten mittausta, joten raporttiin muodostettiin las-kureita helpottamaan kokoonpanon aikana tapahtuvaa toimintaa. Kokonaisuutena raportti on järkevä taso, mihin prototyyppejä varten laadittu dokumentaatio kannattaa viedä. Ennen kuin vaihe saa sarjavaihteen statuksen, ei kannata käynnistää erillistä prosessia työohjeiden laatimiselle. Kokoonpanoraportin sisälle voidaan sisällyttää ohjeistavia kuvia tarpeen mukaan.

5.10.3	Lukituslaipan asennus. Kiinnitysruuvien kiristys momenttiin.	Osa nro Part No.	Nimi/Koko Name/Size	Kpl Pcs	Kiristysmom. Tightening torque	Työkalu Tool	Työkalun tunnus Tool id.No.
		1403	M16x60-8.8	20	180 Nm	Pieni painelleväänin Small pneumatic wrench	
5.10.4	Yksilönumeron kirjaus.	Yksilönumerot / Serial numbers					
5.11	Planeetankantajan kartiolaakereiden aksiaalivällyksen mittaus.	Laakerivalmistaja Brg manufacturer	SKF				
		Minimi	0,114	mm			
		Maksimi	0,382	mm			
		Mittaus 1 Measure 1	Mittaus 2 Measure 2	Mittaus 3 Measure 3	Mittaus 4 Measure 4	Mittaus 5 Measure 5	Mittaus 6 Measure 6
	2.Portaan planeetankantajan kartiolaakereiden aksiaalivällyys					Mittausten keskiarvo Measuring average	

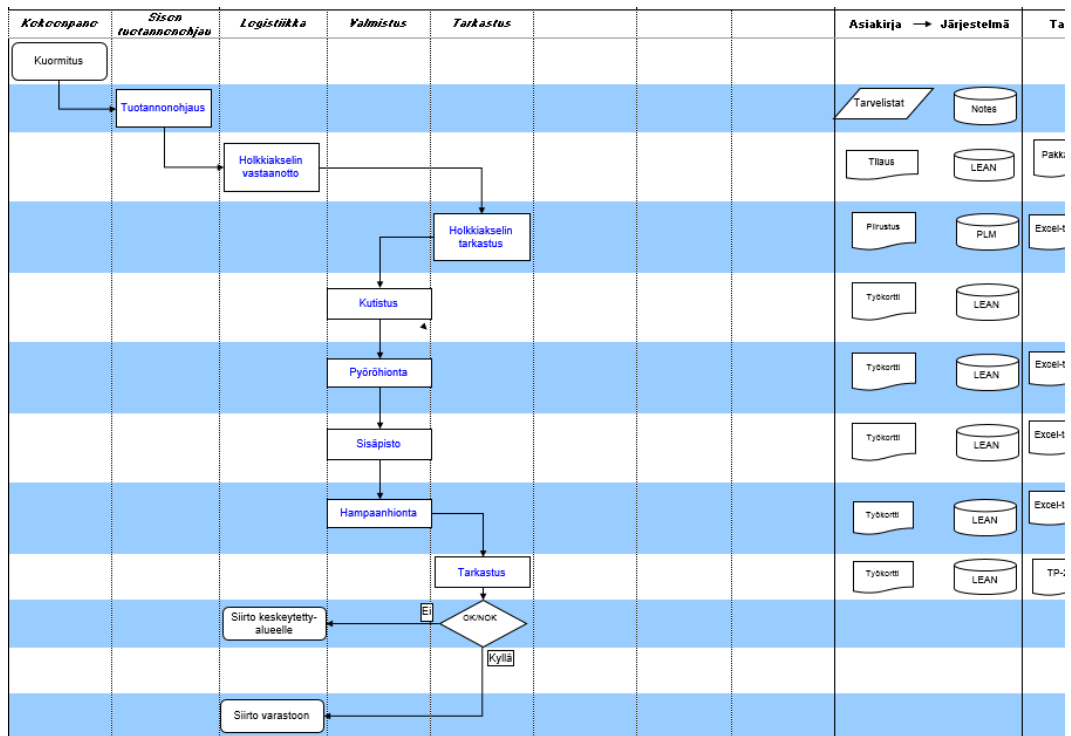
Kuvio 6 Ote lieriövaihteen kokoonpanoraportista

Maalauksen osalta toteutus oli myös saman tyyppinen Excel-tiedosto, sisältäen maalauksraportin, maaluspöytäkirjan sekä maalauksen yleisohjeen. Maalauksraportti pitää sisällään esimerkiksi maalauksen- ja pesusuojiin erittelyä sekä olosuhteiden ja kalvonpaksuuden mittauksen määrittelyä. Sarjavaihteille on maalauksen osalta luotu yleensä kuvalliset suojaus- ja maalauksohjeet. Raportti vaatiikin jonkinlaista kuvallista ohjeistusta ainakin mittauskohtien määrittelyyn sekä suojaamiseen liittyen. Suojat eivät ole aina standardoituja ja vaihdekohtaisia, joten usein käytetäänkin kelmusta ja teippausta. Raportissa mitattavia kohtia on määritelty melko laajasti. Prototyypivaihteilla esimerkiksi pohjamaalauksen mittaaminen on perusteltua, mutta sarjavaihteella toiminta on perustunut yleensä kokonaiskalvonpaksuuden määrittelyyn. Maalauksen dokumentaatiossa on paljon kehitettävää ja raportin toimivuus sekä jatkojalostuksen kohteet nousevat esiin vasta käytön aikana.

Tarkastuslistat, mittaukset ja kuittauksat ohjaavat loppuvarustelua, joten looginen ratkaisu on luoda myös varustelun osalta edellisten toteutusten tyylinen kokoonpano- ja tarkastusraportti. Kuten myös PMFEA:n osalta, varustelun sisältö ei ollut avain täysin varmistunut, joten dokumentin toteutus jäi vielä vaiheeseen. Vanhat mekaanisen varustelun sekä sähkö tarkastusten pöytäkirjat on kuitenkin helppo muokata ja yhdistää vastaavanlaiseksi raportiksi. Vaihe sisältää paljon maadoituksia, joten esimerkiksi niiden asennukseen, raportti vaatii kuvallista lisäohjeistusta.

## 6.5 Vuokaavio Herkules-vaihteelle

Vuokaavion laatiminen tapahtuu yleensä ennen PFMEA:n sekä valvontasuunnitelman luomista, jolloin toiminta keskittyy itse prosessiin. Projektissa vuokaavio laadittiin vasta kyseisten dokumenttien jälkeen, vaikka prosessin vaiheet olivat hyvinkin tiedossa. Ongelmana oli löytää sopiva formaatti kuvaamaan vaihteen koko kokoonpanoprosessia, jolloin toteutusta lykättiin eteenpäin. Vanha formaatti (ks. kuvio 7.) sisältää myös ulkopuoliset prosessit ja aputoiminnot kuvattuna standardi symbolien avulla. Se toimii esimerkiksi osavalmistuksen puolella pohjana hyvin, mutta koko vaihteen kokoonpanoprosessin kuvaukseen se on melko raskas toteuttaa ja tällöin myös sen luettavuus kärsii.



Kuvio 7 Ote yleisestä vuokaavioformaatista

Asiakkaan valtuutetun edustajan kanssa käytyjen keskustelujen avulla, vuokaavio (ks. liite 6) toteutettiin melko yksinkertaisena, niin että koko vaihteen kokoonpanoprosessi on kuvattu samalla sivulla. Tärkeimpänä asiana vuokaaviossa oli ottaa huomioon PFMEA:ssa määritetyt CC/SC-erityispiirteet. Nämä kohdat muodostuvat prosessin aikana tehtävistä tarkastuksista, jotka määrittelevät sen, voidaanko prosessissa siirtyä seuraavaan vaiheeseen. Esimerkiksi laakereille tehtävän aksiaalivällyksen tarkastuksen tulee olla hyväksytty tai toimitaan poikkeamasuunnitelman mukaisesti. Vuokaavion päävaiheet on indeksoitu muun dokumentaation mukaisesti ja tarkistettava erityispiirre on indeksoitu MPP/kokoonpanoraportti-dokumentin alaindeksin mukaisesti. Työvaihetta ohjaavat dokumentit, kuten työohje, työpiirustus sekä osaluettelo, liitettiin dokumenttinumerona päävaiheen symbolin sisälle.

## 6.6 Ensimmäisen tuotteen kelpuutus (FPQ)

### 6.6.1 Vaihteen FPQ:n sisältö

Ensimmäisen kappaleen tarkastuksen osalta käytetään pitkälti nykyistä formaattia ensimmäisen tuotteen kelpuutukseen eli FPQ:ta. Moventaksella uudelle vaihteelle sovelletun FPQ:n tarkoituksena on varmistaa yhden vaihteen otoksella, että vaihde on piirustuksen, tuoterakenteen sekä asiakkaan spesifikaation mukainen. FPQ on ollut aina riippuvainen asiakkaasta, eikä Moventaksella ole ollut sellaista standardipakettia FPQ:lle, jota olisi voitu tarjota asiakkaalle ja jolla näyttää, mikä on yrityksen normaali tapa toimia. FPQ:n tuloksen perusteella päätetään yleensä se, voidaanko sarjatuotanto aloittaa. Vaihteen kattava FPQ pitää sisällään:

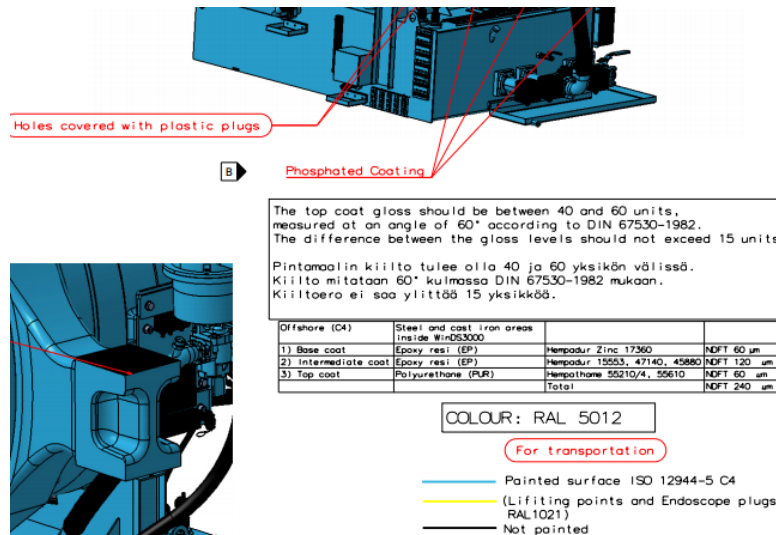
- komponenttiraportin ja tuotannon aikaiset mittaukset
- komponenttikohtaiset mittaukset
- vaihteen koeajomittaukset
- vaihteen liityntämitat
- asennettavat liittimet, anturit tai muut vastaavat varusteet
- loppuvarustelun tarkastukset ja sähköiset mittaukset

Vaihteen komponenttiraportin pohjalta kerätään kaikki saatavilla olevat mittaus- ja yksilötiedot. Esimerkiksi nopean akselin osalta kerätään Barkhausen mittaukset, hampaan piirrot, T-mitat, materiaalitodistus sekä karkaisun kovuusraportti. Koeajosta tehdään asiakkaan kanssa sovitun mukainen asiakasraportti sisältäen esimerkiksi mittauksia ja tarkastuksia värähtelystä, äänestä, lämpötiloista, paineista sekä hammaskosketuksista. (Hotakainen 2016.)

### 6.6.2 Ulkonäön hyväksymisraportti (AAR)

Nykyinen FPQ-formaatti tukee melko hyvin PPAP-elementtejä, mutta ulkonäöllisiin seikkoihin se ei ota minkäänlaista kantaa. Vaihteen ulkonäköön liittyvät vaatimukset koskettavat yleensä maalausta sekä myös loppuvarustelussa suoritettavia toimenpiteitä. Vaihteelle asetettu korroosiosuojaluokka määrittelee käytettävän maalausjärjestelmän sekä näin ollen vaaditun kalvonpaksuuden. Ulkonäön todentaminen tuuliturbiinivaihteella tapahtuu järkevimmällä tavalla tarkastamalla maalauksen riittävyys sekä maalaamattomien pintojen mahdollinen korroosiosuojaus.





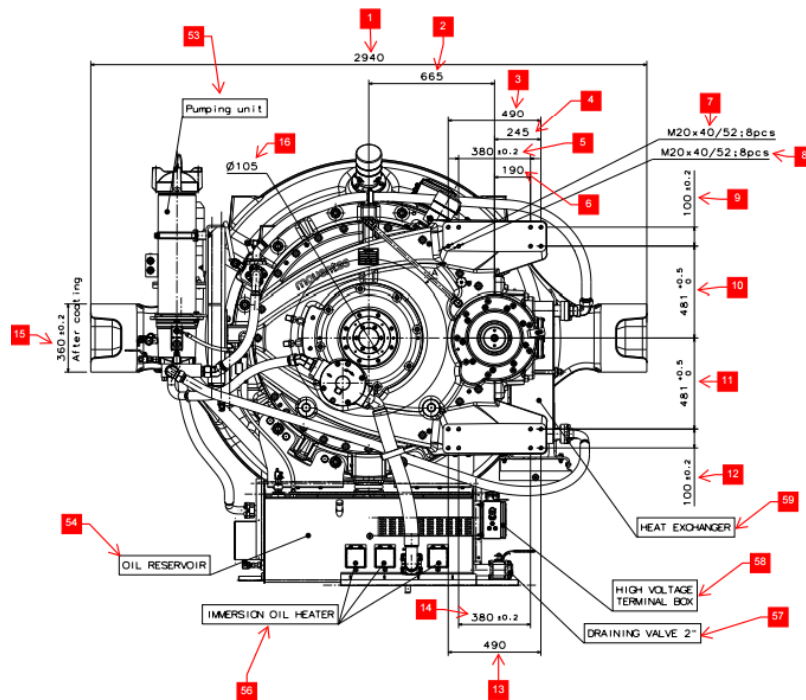
Kuvio 8 Ote PPLH-3000DS-vaihteen maalaus- ja korroosiosuojuspiirustuksesta

PPLH-3000DS-vaihteelle laaditun maalaus- ja korroosiosuojuspiirustuksen (ks. Kuvio 8.) pohjalta laadittiin AAR-pohja (ks. liite 7.) ulkonäön piirteiden tarkastukseen. Vaihteelle oli asetettu vaatimuksia maalikerrosten paksuuteen sekä pintamaalin kiiltoon. Maalauksen lisäksi piirustuksessa oli määriteltynä maalaamattomien pintojen suojaus sekä mahdollinen suoja-aine. Herkuleksen piirustukseen tulisi tuoda vastaavien vaatimusten lisäksi numeroidut kohdat, josta kalvonpaksuudet mitataan. Alihankkijan pyynnöstä mittauspisteiden tulisi olla loogisessa järjestyksessä, jolloin niiden tuominen digitaalisesta mittalaitteesta on helpompaa. AAR-pohja liitettiin maalauksen MPP-dokumenttiin maalauspöytäkirjaksi, mutta suoritettavien mittausten määrä tulee miettiä uudelleen, mikäli vaihdetta aletaan valmistaa sarjassa. Pohjaan määriteltiin 20-mittausta pohja-, väli- ja pintakerrokselle sekä kiillolle, mutta normaalitilanteessa riittää yleensä pelkän kokonaiskalvonpaksuuden määrittäminen.

### 6.6.3 Mittaustulokset

PPLH-3000DS-vaihteen pohjalta laadittiin myös malli vaihteen mittojen todentamiseen. Liityntämittojen lisäksi myös varusteet, kaapelit sekä vastaavat asennukset tulisi todentaa. Varustelulla on myös ulkonäöllisiä ominaisuuksia, mutta niiden todentaminen päätettiin ottaa kyseiseen dokumenttiin. Vaihteen mittakuvassa (ks. kuvio 9) määritellyt mitat sekä varusteet numeroitiin ja liitettiin laadittuun pöytäkirjaan (liite

8.). Suunnittelun vastuulle jää luoda Herkuleksesta vastaava mittakuva, jossa olennaiset mitat ja varusteet ovat merkittyinä ja numeroituina. Tuotanto käy protovaihteesta läpi kaikki numeroidut piirteet, ja näin todennetaan, että vaihde on mitoiltaan oikea. Myös tietyt varusteet ja asennukset, kuten liittimet olisi, hyvä käydä karkeasti läpi koon osalta eikä pelkästään visuaalisesti. Esimerkiksi jotain tiettyä liittintä ei välttämättä käytetä kuin vasta asiakkaalla, joten mikäli se on kooltaan väärä, aiheuttaa se turhaa työtä kaikille osapuolille.



Kuvio 9 Ote PPLH-3000DS-vaihteen mittakuvasta

## 6.7 Mittausvälineet

### 6.7.1 Mittausjärjestelmän analyysi (MSA)

MSA tulisi käynnistää, kun kyseessä on uusi tai muokattu mittausprosessi, jotta varmistetaan tulosten luotettavuus. Projektin osalta MSA jäi melko pienelle huomiolle kokoonpanossa ja järjestelmän kyvykkyydellä on isompi rooli osavalmistuksen puolella. Herkuleksen kokoonpano sisältää osittain uusia ja muokattuja testilaitteita, jo-

ten esimerkiksi jonkintasoinen R&R-testi olisi perusteltua. Esimerkiksi 2900.2-vaiheen pienen kantajan kartiolaakeripaketin sovituksessa havaittiin, että tietyt tulokset olivat yliedustettuina, mutta R&R jäi vielä toistaiseksi tekemättä. Herkuleksen sekä myös yleisesti kokoonpanon toiminnassa tulisi määritellä mittausten ja mittavälineiden tarkoituksenmukaisuus sekä onko testit kriittisiä mittavälineelle vai mittaajalle. MSA tulee olla oma toteutus kokoonpanossa ja tuotteen kriittisten laatutekijöiden, CTQ (Critical To Quality), mittaus on arvioitava.

### 6.7.2 Kalibrointi

Kalibroinnin piiriin tulisi kuulua kaikki mittausvälineet, joilla todennetaan asiakastuotteen ominaisuuksia. Mittausvälineet hankitaan niin, että ne saadaan ennen käyttöönottoa kalibroinnin piiriin. Kalibroittavat mittavälineet on yksilömerkitty, luetteloitu ja merkattu seuraavaa kalibroitavuutta ja kuukautta kertovalla tarralla. Tämän merkinnän avulla käyttäjä tietää onko kalibrointi voimassa. Kalibrointi ei tarkoita kuitenkaan sitä, että mittaväline näyttää koko kalibroituvälän oikein. Kalibrointi pyrkii huolehtimaan yrityksen päänormaaleiden jäljitettävyydestä kansainvälisiin normaaleihin saakka.

Ollennaiset työvälineet, kuten momenttityökalut, sekä mittalaitteet, joilla mitataan asiakkaalle todennettavia mittoja tai suureita, tulisi saada kalibroinnin ja seurannan piiriin. Mittalaitteiden seurannan tilanne on Moventaksella melko hyvä ja myös työkalujen tilannetta on pyritty parantamaan. Kaikki kokoonpanossa käytetyt momenttivaimet kartoitettiin ja pyrittiin saamaan kalibroinnin piiriin. Uusi MPP-kokoonpanoraportti määrittelee kriittisimmissä lukituksissa käytettävän työkalun sekä työkalun tunnuksen. Näin ollen myös esimerkiksi hydraulisten ja akkukäyttöisten vääntimien mahdollinen identifiointi ja seuranta tulisi määritellä. Yhteinen järjestelmä sekä mittalaitteille että työkaluille olisi hallinnan kannalta ideaalinen vaihtoehto.

## 7 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa asiakkaan vaatimia PPAP-dokumentteja Herkules-vaihteelle ja näin kehittää samalla kokoonpanon laatu-toimintaa. Vaihe ei työn aikana edennyt vielä kokoonpanovaiheeseen, mutta dokumentit, joiden tuli olla valmiina ennen kokoonpanon aloittamista, saatiin valmiiksi tarvittavalla laajuudella. PFMEA, vuokaavio sekä ohjaussuunnitelma ovat dokumentteja, jotka voidaan saada sisällöllisesti melko valmiiksi ennen varsinaista kokoonpanoa. Muiden laatudokumenttien osalta työ jäi vain dokumenttien suunnittelemiseksi ja varsinainen toteutus tapahtuu prototyyppien kokoonpanoprosessin aikana.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi laatudokumentteja, joiden avulla asiakas näkee, että Moventas pystyy valmistamaan tuotteen sekä täyttämään sille asetetut laatuvaatimukset. Vaikka dokumenttien ensisijainen tarkoitus on vakuuttaa asiakas tuotannon aloittamisesta, on niiden avulla luotu myös perusta oman toiminnan kehittämiseksi. Tulosten avulla on voitu kehittää sekä tuotetta että kokoonpanoprosessia. Vaikka kaikki laaditut dokumentit ovat tärkeitä tuotteen hyväksymisprosessissa, voidaan työn päätulokseksi kuitenkin nostaa PPLH-2900.2- ja Herkules-vaihteelle laaditut prosessin vika- ja vaikutusanalyysit. Analyysit ovat määrällisesti ja myös ajallisesti työn isoimmat kokonaisuudet eikä vastaavan laajuisia analyysejä muiden vaihdemallien kokoonpanoprosessista ole aikaisemmin tehty. Hyväksymisprosessin avulla ongelmat ja kehitystarpeet tunnistetaan ajoissa, joka hyödyttää molempia osapuolia.

Projektin toteutus oli monella tapaa haastava. Vaikka alussa projektia toteutettiin yhdessä yritystasolla, oli silti laatuinsinööreillä ja verstasesimiehillä hieman rajatusti mahdollisuuksia ja aikaa syventyä projektiin. Näin ollen esimerkiksi PPLH-2900.2-vaihteelle laaditut dokumentit jäivät pitkälti kokonaan työn tekijän vastuulle. Varsinaisten PPAP-dokumenttien laatiminen Herkules-projektiin ei edennyt myöskään ai- van toivotusti ja toteutus venyi syksylle. Herkuleksen dokumentteja laadittiin melko verstaskohtaisesti, eikä tietoa muiden ryhmien toiminnasta ja yhteisestä lähestymistavasta ollut. Asiakkaan asettamien aikataulujen lähestyessä dokumentit saatiin kuitenkin toteutettua tarvittavalla tasolla.

Työn tulosten luotettavuus perustuu laatudokumentteihin laadittuun sisältöön. PPAP-manuaali tarjoaa laadullisesti hyvän ja luotettavan pohjan dokumenttien rakentamiseen. Tulosten laatimisessa ja analysoinnissa on ollut mukana toimintoihin liittyviä henkilöitä riittävän laajuuden ja luotettavuuden varmistamiseksi. Kun puhutaan asiakkaalle annettavista tai näytettävistä dokumenteista, tulee niiden sisältö olla mahdollisimman luotettavaa. Vaikka asiakas antaa lopussa hyväksynnän dokumenttien sisältöön, on toimittajan edun kannalta hyödyllistä näyttää asiakkaalle, että tietämys ja ammattitaito ovat kunnossa. Tuuliturbiinivalmistajalla ei varmasti ole niin hyvää tietämystä vaihderakentamiseen kuin vaihdetoimittajalla. Vaikka dokumentin rakenteeseen tai ulkoasuun olisi asiakkaalla huomautettavaa, on kuitenkin tärkeämpää, että sen sisältö on paikkansapitävää.

PPAP:n sisältö oli alussa hieman epäselvä ja projektin sisältö sekä asiakkaan vaatimukset olivat tiedossa monelle vain yleisellä tasolla. Yhteistä Moventas-formaattia PPAP:iin olisi hyvä tuoda paremmin esille, jotta epäselvyyksiltä ja eriäviltä toteutuksilta vältyttäisiin. Projektin osittain laantuessa yritystasolla, kokoonpanon osalta lähdettiin soveltamaan täysin omaan toimintaan sopivia ja näköisiä työkaluja. Mahdollista seuraavaa PPAP:ia soveltavaa vaihdeprojektia ajatellen selkeä menettely ja pohjat laatudokumenttien käyttöön olisi hyvä sopia yhteisesti. Esimerkiksi prosesseja voidaan kuvata usealla eri tavalla ja Moventaksen ohjaussuunnitelma saattaa aiheuttaa hämmennystä työntekijöissä ja asiakkaassa: puhutaanko ja käytetäänkö standardin mukaista ohjasuunnitelmaa Control Plan vai omaa työkalua MPP? Tärkeintä olisi kuitenkin se, että toimintaa pystyttäisiin ohjaamaan PPAP-työkalujen avulla. Vastaavan tyyppisten projektien määrä kasvaa varmasti jatkossa, jolloin laatujärjestelmän pitää tarpeen mukaan luoda lähes automaattisesti vaaditut dokumentit ja niiden tulee olla kirjattuna selkeästi tuotekehitysprojektin vaiheisiin ja uuden- sekä vanhan tuotteen täytäntöönpanoprosessiin.

On selvää, että Moventaksen valmistusvolyymeilla ei voida soveltaa täysin yhtenäisesti PPAP:n asettamia vaatimuksia ja tietyt työkalut toimivat paremmin esimerkiksi osavalmistuksen ominaisuuksilla ja volyymeillä kuin kokoonpanossa. Tulevaisuudessa mahdollinen tuulivoimateollisuuden oma APQP/PPAP-standardi saattaa tarjota paljon apua vaatimusten soveltamiseen. Lisäksi olisi hyvä toteuttaa mahdollisuuksien

mukaan vertailukehittämistä eli Benchmarking-toimintaa esimerkiksi autoteollisuuden kanssa toimiviin yrityksiin ja tuoda sieltä ratkaisuja PPAP-prosessiin, työkalujen laatumiseen ja ylläpitoon.

Jotta laadituista dokumenteista ei muodostuisi kertaluontoisia, on tärkeää muodostaa rutiini dokumenttien päivittämiseen sekä ratkaista niiden tallennusmuoto. Projektin aikana laadittuja dokumentteja voidaan pitää ensimmäisinä revisioina, joihin ei vielä sisällytetty muutoshistoriaa. Ensimmäinen toimenpide on hieman dokumentista riippuen tarkastella sen yksilöintinumero sekä laatia dokumentille muutoshistoria, jotta muutosten seuranta ja toimeenpano ovat helpompaa. Laatutoiminnan on pysyttävä jatkuvana, ja dokumenttien päivitystarve tulee käydä läpi tietyin väliajoin. Päivittämisen tarve voi tulla esille esimerkiksi verstaiden viikoittaisissa laatupalaverissa, jossa käydään läpi asiakasreklamaatioita sekä sisäisiä laatupalautteita, tai esimerkiksi pidemmän aikavälin kerätyn datan johdosta. Jotta dokumenttien hallinta ja päivittäminen on mahdollista järkevällä tasolla, tulee niiden lopulliseen tallennusmuotoon keksiä ratkaisu. Projektin aikana käytetty kansio SharePoint-järjestelmässä ei ole muotona välttämättä paras mahdollinen. Tallennus on järkevintä ratkaista verstaiden näkökulmasta, ja mikäli verstaat haluavat hallita dokumentteja itsenäisesti, on se dokumenttien päivittämisen kannalta paras ratkaisu. Järjestelmien kehitys ja ratkaisujen testaaminen vaativat kuitenkin tietoteknistä apua ja myös siihen ovat resurssit melko rajalliset.

Työn tulokset tarjoavat yritykselle laatuprojektin sisällön lisäksi myös pohjaa ja ideaa seuraavaan vaihdeprojektiin, jossa tuotteen hyväksymisprosessille on asetettu vastaavanlaisia vaatimuksia. Tuotteen hyväksymisprosessi on tulevaisuudessa varmasti yhä merkittävämpi vaihe vaihteen valmistusprosessissa, mutta se tulee ottaa positiivisena asiana eikä rasitteena. Siihen tulee varata tarpeeksi aikaa sekä resursseja, ja hyvällä ohjauksella sekä aktiivisella toiminnalla siitä saadaan tehokas sekä hyödyllinen prosessi. Toimintatapoja on kehitettävä jatkuvasti ja olisi ideaalista, että muutoksen aiheuttaja ei tulisi aina asiakkaan painostuksesta. Vaikka hintakilpailu on kovaa, on elintärkeää keskittyä laatuun ja sen varmistukseen. Täytyy muistaa, että tuuliturbiinin huoltaminen ei ole sijainnin takia ilmaista ja kustannukset nousevat entisestään, mikäli esimerkiksi vaihde joudutaan nostamaan kokonaan pois huollon tai rikkoutumien johdosta.

## Lähteet

Advanced Product Quality Planning (APQP). N.d. Koulutusmateriaali. Viitattu 27.10.2016. <http://quality-one.com/apqp/>

Advanced Product Quality Planning and Control Plan APQP. 1995. Reference manual.2.ed. Chrysler Corporation, Ford Motor Company ja General Motors Corporation

Exceed series. N.d. Markkinointimateriaali. Moventas Gears Oy. Viitattu 27.10.2016. [http://www.moventas.com/images/files/Exceed\\_Series.pdf](http://www.moventas.com/images/files/Exceed_Series.pdf)

Fennane, M. 2015. Kappaleen laadunvarmistus tuotannossa. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikka, modernit tuotantojärjestelmät ja tuotantotalous. Viitattu 27.10.2016. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91802/Mehdi\\_Fennane.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91802/Mehdi_Fennane.pdf?sequence=1)

Gaval, R. Balan, P. 2014. Application of DFMEA in Metal to Plastic Replacements in Automotive Industry. International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering, 2, 3, 97-101. Viitattu 7.11.2016. [http://www.academia.edu/9549437/Application\\_of\\_DFMEA\\_in\\_Metal\\_to\\_Plastic\\_Replacements\\_in\\_Automotive\\_Industry](http://www.academia.edu/9549437/Application_of_DFMEA_in_Metal_to_Plastic_Replacements_in_Automotive_Industry)

Hotakainen, J. 2016. FPQ. Moventas, sisäinen koulutusmateriaali.

ISO/TS 16949. 2009. Quality management systems - Particular requirements for the application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations. 3. ed. IATF.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja.

Manwell, J.F. McGrowan, J.G. Rogers A.L. 2002. Wind Energy Explained – Theory, Design and Application. John Wiley & Sons Ltd. Viitattu 7.11.2016. <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=540969bccf57d77a3f8b468e&assetKey=AS%3A273593131307009%401442241097036>

Moventas yritysesittely. 2015. Powerpoint-esitys. Moventas Gears Oy. Moventas Gears Oy:n intranet.

Nedergaard Jacobsen, K. 2015. Advanced Product Quality Planning (APQP). – a way of reducing the Levelized Cost of Energy (LCOE). Danish Wind Industry Association. Viitattu 27.10.2016. <http://www.windenergydenmark.dk/Files/Images/Wind-Energy-Denmark-2015/Presentations/APQP-full-session.pdf>

Potential failure mode and effects analysis FMEA. 1995. Reference manual. 2.ed. Chrysler Corporation, Ford Motor Company ja General Motors Corporation.

Production Part Approval Process PPAP. 2006. Reference manual. 4.ed. Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company ja General Motors Corporation.

Quality Management Systems - Process Validation Guidance. 2004. 2.ed. The Global Harmonization Task Force. Viitattu 27.10.2016

<http://www.imdrf.org/docs/ghtf/final/sg3/technical-docs/ghtf-sg3-n99-10-2004-qms-process-guidance-04010.pdf>

Seppä, J. 2016. MPP. Moventas sisäinen koulutusmateriaali.

Spesifikaatio. N.d. Wikisanakirja. Viitattu 27.10.2016.

<https://fi.wiktionary.org/wiki/spesifikaatio>

Stamatis, D.H. 1998. Advanced Quality Planning. A Commonsense Guide to AQP and APQP. New York: Quality Resources.

Statistical Process Control. SPC. 2005. Reference manual. 2.ed. Chrysler Corporation, Ford Motor Company ja General Motors Corporation.

Team Feasibility Commitment (TFC). N.d. Valmistuksen termejä. Viitattu 27.10.2016.

[http://www.manufacturingterms.com/Team\\_Feasibility\\_Commitment.html](http://www.manufacturingterms.com/Team_Feasibility_Commitment.html)

Wind gear images. N.d. Kuvia median käyttöön. Moventas Gears Oy. Viitattu 27.10.2016. <http://moventas.com/about-us/media-center/wind-gear-images/>





2.1	Planeettapyörien pesu ja laakerointi	RN-laakerin rullan kolhiminen käännön aikana	Laakerivaurio	Piirustus vaatii tyyppimerkinnän ulospäin	Visuaalinen	6	3	5	90
		Planeettapyörillä eri hiontaloukka	Kuormitus ei ole tasaainen	Huolimattomuus	Visuaalinen	6	3	2	36
2.2	Kantajan ja aurinkoakselin pesu	Aurinkoakselin hampaiden kolhiminen	Hammasvaurio	Yksi nostokissa, aurinkoakseli saappu lavalla	Kolahduksen aiheuttama ääni / visuaalinen	8	2	4	64
2.3	Suuttimien, tulppien ja renkaan asennus	Aluslevyn öljyreikä väärässä asennossa	Puutteellinen voitelu	Huolimattomuus, Aluslevyn voi asentaa väärään asentoon		4	3	7	84
2.4	Planeettapyörien asennus	Pyörä kolahtaa kantajaan sisäännyönnön yhteydessä	Hammasvaurio, särö	Telineen väärä asemointi	Kolahduksen aiheuttama ääni / visuaalinen	8	3	4	96
			Metallilastuja/maalia irtaavaa kantajasta	Telineen väärä asemointi	Visuaalinen	6	3	3	54
2.5	Akselitappien asennus	Akselitapin pidätinruuvi/tulppa jää löysälle	PIRu irtoaa	Suojaöljy kierrelukitteessa, hento kiristys		8	4	6	192
2.5		Kondenssivesi tynetyistä tapeista	Ruostetta	Villeä kantaja	Visuaalinen	6	4	3	72
2.6	Ylälaakerin ja aurinkoakselin asennus	Laakeri asennetaan vinoissa	Laakeria joudutaan lyömään voimalla massavasarella	Nostaminen liinoilla		7	5	7	245
2.7	Lukitusrenkaan ja alalaakerin asennus	Välirenkaat eivät ole samaa paria	Eri välirenkaat eivät sovi aina keskenään	Huolimattomuus settyksen tai asennuksen aikana		5	3	2	30
		Laakeri ei mene pohjaan / jää vinoon	Laakerin vaurioituminen	Asennusmenetelmä / Tarkastus	Visuaalinen	8	4	5	160
2.8	Kantajan suojaus ja viimeistely								0

3.1	Kehäpyörien pesu ja nosto puskurin	Riski kehän kääntämisessä	Työtaturma	Kehävalmistus toimittaa väärinpäin	Tiedustellaan kehäverstaalta	9	4	2	72
3.1		Kehän hampaiden kolhiminen	Hammasvaurio	Huolimaton nosto/ muovipalat	Muovipalat välissä, Visuaalinen	7	4	6	168
3.1		Vaarallinen nosto	Työtaturma	M24-nostokierre osassa liian lyhyt		9	5	4	180
3.2	Momenttituen pesu	Epätasainen nosto	Työtaturma	Nostaminen liinoilla		9	5	4	180
3.3	Tiivistelaipan asennus	Vasellia kiertäisiin o-renkaiden asennuksessa	Kierrelukite ei toimi	Vasellin levitys pensselillä		4	9	3	108
3.3		Tiivistelaipan asennus väärin	Öljysuutin jää piiloon	Laipan voi asentaa väärään asentoon	Visuaalinen	7	3	3	63
3.3		Tiivistelaippa ei ole pohjassa	Öljy pääsee laipan alta	O-rengas ei ole paikallaan, liian pieni	Visuaalinen/ tunto	6	3	3	54
3.4	Momenttituen asennus kääntölaitteeseen	Momenttituki jää kiinnittämättä kääntölaitteeseen	Työtaturma	Huolimattomuus	Visuaalinen	9	3	2	54
3.5	Pienen kehäpyörän asennus	Kehäpyörä ja momenttituki eivät mene vastakkain	Vuoto	O-rengas ei ole asennettu oikein	Visuaalinen	5	2	3	30
3.6	Sokkien ja vaarjien asennus pieneen kehään								0
3.7	Lohkon asennus ja momenttituen kääntö	Kääntölaitteen työskentelytaso ei pysy ylä-asennossa	Työtaturma	Vika työskentelytason lukituksessa		9	5	2	90
3.8	Ison kehäpyörän asennus	Kehäpyörä ja momenttituki eivät mene vastakkain	Vuoto	O-rengas ei ole asennettu oikein	Visuaalinen	5	2	3	30
3.9	Suuttimien, sokkien ja vaarjien asennus								0
3.10	Kehien voitelun asennus ja merkkausvärjäys	Pienen kehän voiteluputki väärässä asennossa	Puutteellinen voitelu	Ei ohjeistusta		3	6	7	126
3.10		Kehien merkkausvärjäys väärästä paikasta	Hammasosketusta ei voida tarkistaa	Tietämättömyys		6	3	4	72
3.11	Nosto valmiiden kappaleiden pisteeseen	Vaarjien vaurioituminen laskissa momenttitukea		Ei laskuteltua/huolimaton lasku		2	3	3	18

## Liite 2. PMFEA PPLH-2900.2 loppuvarustelu

Item Ref.	Work step	Mahdolliset virheet / Potential failure mode	Virheen seuraukset, vaikutukset / Potential effect(s) of failure	Virheen aiheuttaja, perusyy / Potential cause(s), mechanism(s) of failure	Nykyiset tarkastus-, suunnittelumenetelmät Current Controls				
					Luokitus / rating				
					A1	A2	A3	RPN	
1.2	Visuaalinen tarkastus	Tarkastusluokun tasopinnan ja tiivisteen välissä kosteutta	Tasopinta ruostuu	Kosteutta pääsee pintojen väliin	Ei avata koeajon jälkeen	2	3	2	12
1.4	Reikien poraus	Kaapelikiinnikkeen reikä porattu läpi	Öljyvuoto	Ei standardimenetelmää reikien poraamiseen, puutteellinen tieto aineenvahvuudesta	Visuaalinen	4	3	3	36
1.4		Porauslastuja jää vaihteen koloihin, erityisesti kehämomentiossa	Lastut ruostuvat, visuaalinen häiriö	Huolimattomuus	Visuaalinen	3	7	6	126
1.6	Akseleiden suojaus	Puuttellinen ruostesuojaus	Akselin ruostuminen	Huolimattomuus	Visuaalinen	3	3	4	36
1.7	Voiteluyksikön asennus	Voiteluyksikkö kiinnitetty ilman kontaktilaattaa	Suojamaadoitus puuttuu, tapaturmavaara	Huolimattomuus	Sähkö tarkastus	10	2	3	60
1.8	Kaapelointi	Kytentävirhe	Toimintahäiriö	Huolimattomuus		8	2	2	32
1.9	Antureiden kytkentä	Kytentävirhe	Toimintahäiriö	Huolimattomuus	Sähkö tarkastus	8	2	2	32
1.14	Öljysäiliön asennus	Alapaljeen linjavirhe yli 5mm	Elinikä heikkenee	Putken asento, muut mittamuuttujat	Visuaalinen	4	6	3	72
		Yläpaljeen ja lieriökotelon linjavirhe	Vuoto	Lierion poistoreiän sijainti	Raportti OK/NOK	4	6	4	96
		Öljysäiliön jalka ottaa kiinni M30 mutterin	Värinä	Lian ahdas mitoitus		3	3	3	27
		Naarmuja säiliön maalipintaan asennuksen yhteydessä	Ruostetta mikäli ei paikkamaalata	Säiliöt saapuvat huonoilla lavoilla, asennus ei tapahdu suorassa		3	3	3	27
1.16	Letkut, anturit ja kaapelit	Sumpun anturi vaurioituu letkun kiristyksen yhteydessä	Anturi ei toimi	Väärä asennusjärjestys	Sähkö tarkastus	4	3	3	36
1.17	Tarkastus ja testit, valmis varustelu	Työturvallisuusriski sähkömittauksen aikana	Henkilövaara	Vaihteeseen ei saa koskea mittauksen aikana, aluetta ei saa eristettyä	Varoitustarra	9	2	3	54

## Liite 3. Vikamuodon pisteytyksen arviointikriteerit

Severity Table	
Rating	Severity of Effect
10	Safety issue and/or non-compliance with government regulation without warning.
9	Safety issue and/or non-compliance with government regulation with warning.
8	Loss of primary function.
7	Reduction of primary function.
6	Loss of comfort/convenience function.
5	Reduction of comfort/convenience function.
4	Returnable appearance and/or noise issue noticed by most customers.
3	Non-returnable appearance and/or noise issue noticed by customers.
2	Non-returnable appearance and/or noise issue rarely noticed by customers.
1	No discernable effect.
10	Virhe aiheuttaa vakavan työtaturman tai kuoleman
9	Virhe aiheuttaa lievän tapaturman
8	Virhe aiheuttaa vaihteen vakavan vaurioitumisen (turbiinin operointi pysähtyy välittömästi)
7	Virhe aiheuttaa vaihteen vaurioitumisen (turbiini täytyy ajaa alas)
6	Virhe aiheuttaa vaurion joka alentaa turbiinin käytettävyyttä ja toimintatehoa
5	Virhe alentaa vaihteen elinikää merkittävästi ja aiheuttaa tarpeen aikaistetulle huollolle
4	Virhe alentaa vaihteen elinikää ja voi aiheuttaa tarpeen aikaistetulle huollolle
3	Kosmeettinen haitta, ei merkittävää vaikutusta vaihteen toimintaan
2	Pieni kosmeettinen haitta, ei vaikutusta vaihteen toimintaan
1	Virheellä ei ole merkitystä

Occurrence table		Detection table						
Rating		Rating	Likelihood of Detection	Inspection With Gauge 100% control automatic	Inspection With Gauge 100% control non automatic	Inspection With Gauge SPC	Visual Inspection With standard	Visual Inspection Without standard
10	100 %	10	No chance					
9	50 %	9	Very remote chance					Difficult to detect
8	20 %	8	Remote chance.					Moderate to detect
7	10 %	7	Very low chance			R&R <30	Difficult to detect	Easy to detect
6	5 %	6	Low chance			R&R <20	Moderate to detect	
5	2 %	5	Moderate chance		R&R <30	R&R <10	Easy to detect	
4	1 %	4	Moderately high chance		R&R <20			
3	0,5 %	3	High chance	R&R <30	R&R <10			
2	0,1 %	2	Very high chance	R&R <20				
1	<0,1%	1	Almost certain	R&R <10 or Poka yoke				

## Liite 4. PFMEA Herkules maalaus ja lieröporras

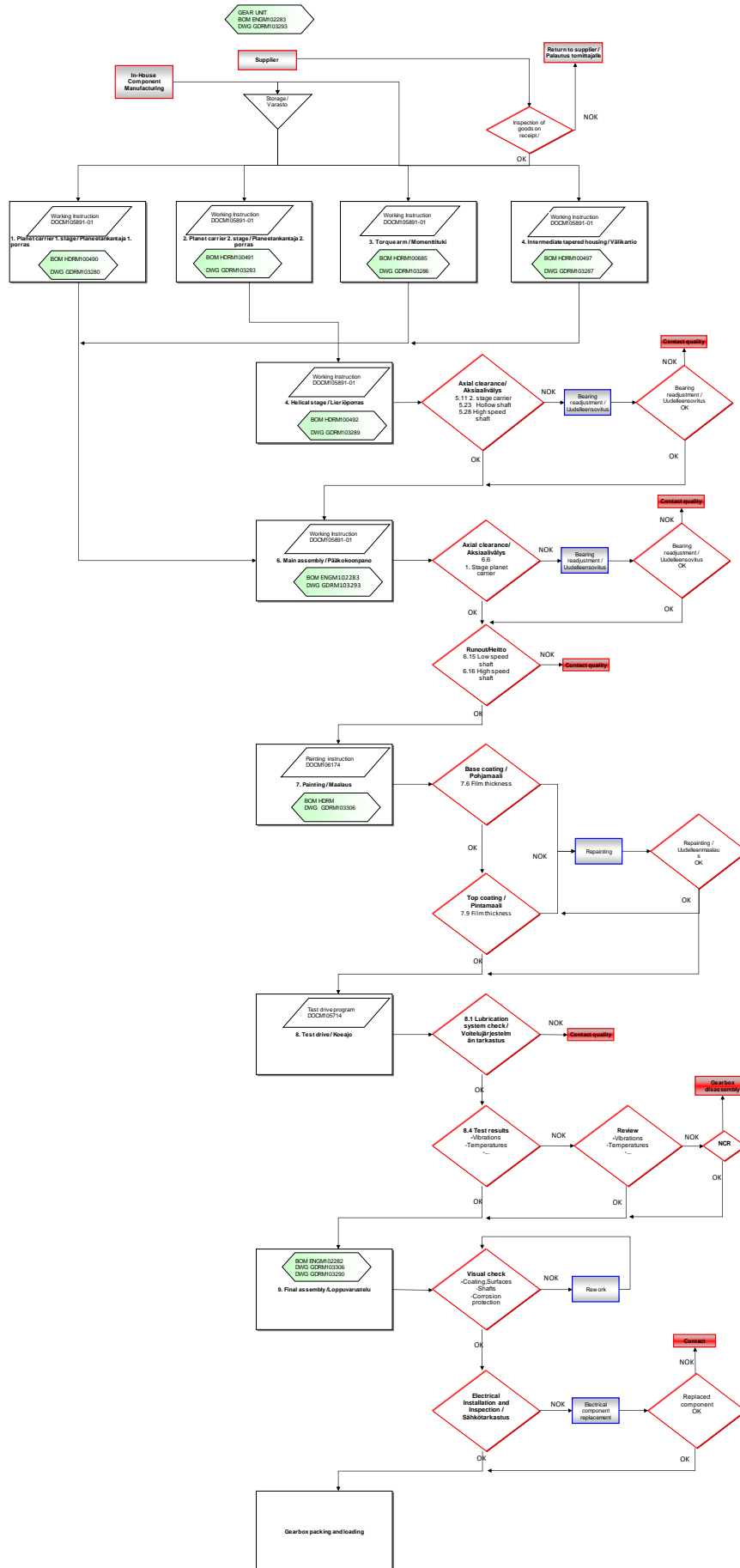
5.1		Akselien pesu	Nopea-akseli kaatuu pesussa	Vaurio akseliin	Huolimattomuus/tietämättömyys	Visuaalinen	8	4	1	32
5.2		Kotelon pesu	Kannen kolhiminen laskiessa ritilälle	Patti liitospintaan, vuotoriski	Huolimaton lasku	Hiomakivellä tarkastus	5	3	4	60
5.3		Nopean tuulen puolen kartiolaakerin ulkokoolin asennus	Kooli ei asemoidu oikein	Virheellinen aksiaalivällys	Menetelmävirhe	Visuaalisella,	8	3	2	48
5.4		Voitelurenkaan asennus	O-rengas irtoaa uralta	Puutteellinen voitelu	Asennusmenetelmä	Painemittaus	7	6	3	126
5.5	5.6	Voiteluputkiston asennus kanteen, Voiteluputkiston asennus koteloon	Voiteluputken liitos jää löysälle	Lititiin vuotoa, Puutteellinen voitelu	Huolimattomuus	Visuaalinen, painemittaus, laakerin lämpötilamittaus	8	3	3	72
			Väärä suutin	Puutteellinen voitelu	Huolimattomuus	Visuaalinen, painemittaus, laakerin lämpötilamittaus	5	3	3	45
5.7		Kotelon ja pienen kantajan siirto kokoonpanopisteelle	Pronssisen voitelurenkaan vaurioituminen asennuksen yhteydessä	Puutteellinen voitelu	Asennusmenetelmä	Painemittaus	7	6	3	126
5.8		Pienen kantajan kartiolaakerien asennus	Laakeri asennetaan vinossa, Laakeria joudutaan lyömään voimalla massavasarella	Laakerin vaurioituminen	Nostomenetelmä		7	4	6	168
			Laakeri ei asemoidu oikein	Laakerin vaurioituminen	Huolimaton asennus	Visuaalinen	7	5	4	140
5.11	CC	Pienen kantajan kartiolaakerin aksiaalivällyksen mittaus	Laakeri ei asemoidu oikein	Laakerin vaurioituminen	Huolimaton asennus	Visuaalinen	7	5	3	105
5.12		Nopean tuulen puolen kartiolaakerin asennus	Laakeri ei asemoidu oikein	Laakerin vaurioituminen	Huolimaton asennus	Visuaalinen	7	5	3	105
5.13		Holkkiakselin laakerointi (Tuulen puolen)	Laakeri ei asemoidu oikein	Laakerin vaurioituminen	Huolimaton asennus	Visuaalinen	7	5	3	105
5.14		Aurinkoakselin asennus	Lukitusrenkaan ruuvi kiristetty väärään momenttiin	Ruuvi irtoaa / katkeaa	Kiristysmenetelmä		8	3	6	144
5.15		Holkkiakselin asennus koteloon	Varmaton lasku	Naarmu hampaaseen	Palkoituusvirhe, huolimattomuus	Visuaalinen	6	2	3	36
5.16		Pumpun käyttöakselin laakerointi	Laakeri ei asemoidu oikein	Laakerin vaurioituminen	Huolimaton asennus	Visuaalinen	7	5	3	105
5.18		Kannen asennus	O-rengas irtoaa uralta	Öljyvuoto	Asennusmenetelmä, O-rengasta ei ole rasvattu		5	2	3	30
5.19		Kotelon ja kannen välisen putken kiristys	Liitos jää kiristämättä	Puutteellinen voitelu	Huolimattomuus	Painemittaus	8	3	3	72
5.21		Holkkiakselin kartiolaakerien asennus	Laakerit eivät asemoidu oikein	Laakerin vaurioituminen	Asennuspalat puuttuvat holkkipyörän alta		7	5	3	105
5.22		Laakerikannen sovitus	Shim-renkaan mittavirhe	Liikaa/liian vähän puristusta	Syvyystyöntömitta ei ole tukeva, silta liian lyhyt		6	3	5	90
5.23	CC	Holkkiakselin aksiaalivällyksen mittaus	Holkkiakselin aksiaalivällys toleranssialueen ulkopuolella	Laakerin palaminen	Mittavirhe osissa	Tarkastus mittakellolla	7	5	2	70
			Virheellinen aksiaalivällys	Laakerin vaurioituminen	Virheellinen mittaustapa		6	5	3	90
5.24		Nopean gen. puolen laakerin asennus	Laakeri ei asemoidu oikein	Liikaa vällystä, Laakerin vaurioituminen	Huolimaton kiristys	Napautus pohjaan, KMT-mutteri	7	5	3	105
5.25	CC	Nopean aksiaalivällyksen mittaus	Nopean aksiaalivällys toleranssialueen ulkopuolella	Laakerin palaminen	Mittavirhe, liian pieni tehdasvällys	Tarkastus mittalaitteella	7	5	2	70
5.26		Sisäkoolin irroitus (gen.)	Vierintäpintojen naarmuuntuminen	Laakerin eliniän aleneminen	Menetelmävirhe	Visuaalinen	5	5	3	75
5.28		Laakeroinnin uudelleenkasaus	Laakeri ei asemoidu oikein	Laakerin vaurioituminen	Huolimaton asennus		7	5	3	105
5.29	CC	Aksiaalivällyksen varmistus	Virheellinen aksiaalivällys	Laakerin vaurioituminen	Virheellinen mittaustapa		6	5	3	90
5.30		Heittorenkaan ja kannen asennus	Heittorenkaan väärä asemointi	Vuoto	Huolimaton asennus		4	2	3	24
5.31		Mekaanisen pumpun asennus	Tasotiviste puutteellinen annostelu	Vuoto	Menetelmävirhe	Visuaalinen, koeajo	4	2	3	24
5.32		Vilmeisteily ja suojaus	Öljylasin pohjamaali irtoaa	Ulkonäkö/ruoste	Spraymaalauksen lieriövaiheessa		3	6	4	72

Vaihteen pesu	Vaihte nostetaan väärällä nostovalineella	Tapaturma	Ei tiedetä vaihteen nostopisteitä tai massaa		10	2	8	160
	Tarkastusluukku, tulppa tms. jäänyt auki, pesuvettä vaihteen sisälle	Vaihteen purku	Huolimattomuus	Visuaalinen	7	5	4	140
	Puuttuva pesusuoja	Vaihteen purku	Huolimattomuus suojuuksessa/ asennuksessa	Visuaalinen	7	5	4	140
	Puutteellinen suojaus	Vaihteen purku	Puutteellinen suojausväline	Visuaalinen	7	5	4	140
	Vuotava pesusuoja	Vaihteen purku/puulaus	Puutteellinen suojausväline		7	5	4	140
Vaihteen pesu	Puutteellinen pesu	Uudelleenmaalaus / heikentynyt tartunta	Pesunesteen kunto, vaihtovälit	Pesuveden seuranta	6	2	2	24
	Puutteellinen pesu	Uudelleenmaalaus / heikentynyt tartunta	Väärä pesuohjelma	Perehdytys	6	2	6	72
Vaihteen kuivaus	Vesijäämiä vaihteen pinnalla	Ruosteen poisto / Uudelleenmaalaus	Menetelmävirhe		6	2	2	24
Vaihteen tarkastus	Puutteellinen tarkastus	Vika pääsee eteenpäin prosessissa	Tarkastusta ei ole suoritettu / suoritettu puutteellisesti	Visuaalinen, ohjeistus	7	3	5	105
Vaihteen maalaussuojaus	Puutteellinen maalaussuojaus	Väärä kohta maalattu, maalinpoisto / korjaus asiakkaalla	Puutteellinen ohjeistus		6	3	4	72
	Vanhentunut maalaussuoja	Väärä kohta maalattu, maalinpoisto / korjaus asiakkaalla	Suojien kunnossapito tekemättä	Visuaalinen	6	3	4	72
Olosuhdemittaus 1	Liian korkea kastepiste	Kosteus tiivistyy vaihteen pinnalle, maalin tarttuvuus	Mittausvirhe		3	2	2	12
Pohjamaalaus	Maali ei kuivu	Pitkä maalin kuivausaika	Väärä sekoitussuhde	Automaattisekoitus virtausmittauksella	3	4	2	24
	Maali ei kuivu	Maalinpoisto	Kovete loppu	Automaattisekoitus virtausmittauksella	3	4	2	24
	Maalaus tapahtuu väärällä maalilla	Maalausjärjestelmä väärin	Ohjeistus	Maalausohje	3	3	2	18
Kuivaus	Liian lyhyt aika	Liutin ei haihdu, Maali ei kuivu	Menetelmävirhe	Automaatiohjelma	3	4	2	24
	Alhainen kuivauslämpötila	Liutin ei haihdu, Maali ei kuivu	Menetelmävirhe	Automaatiohjelma	3	4	2	24
Olosuhdemittaus 2	Liian korkea kastepiste	Kosteus tiivistyy vaihteen pinnalle, maalin tarttuvuus	Mittausvirhe	Olosuhdemittaus	3	2	2	12
Pintamaalaus	Maali ei kuivu	Pitkä maalin kuivausaika	Väärä sekoitussuhde	Automaattisekoitus	3	4	2	24
	Maali ei kuivu	Maalinpoisto	Kovete loppu	Automaattisekoitus virtausmittauksella	3	4	2	24
	Maalaus tapahtuu väärällä maalilla	Maalausjärjestelmä väärin	Ohjeistus	Maalausohje	3	3	2	18
Kuivaus	Liian lyhyt aika	Maali ei kuivu, altistaa pinnan vaurioille	Menetelmävirhe	Automaatiohjelma	3	4	2	24
	Alhainen kuivauslämpötila	Liutin ei haihdu, Maali ei kuivu	Menetelmävirhe	Automaatiohjelma	3	4	2	24
Maalustarkastus	Kalvonpaksuuden mittausvirhe	Korroosionestokyky huononee	Menetelmävirhe	Tarkastusohje	5	4	3	60
Maalaussuojien poisto	Vaihteen kriittinen maalaamaton pinta vaurioituu poistaessa suojaa	Korjaushiontaa, purku	Menetelmävirhe / työkalut	Visuaalinen	6	4	2	48
	Paikkamaalaus unohtuu	Maalaamaton pinta ruostuu	Havaittavuus / ohjeistus	Visuaalinen	3	5	4	60
Vaihteen luovutus	Puutteellinen dokumentointi	Vaihte toimitetaan puutteellisin tiedoin	Menetelmävirhe					0

## Liite 5. MPP PPLH-2900.2 planeetankantajat ja momenttituki


	<i>Process Phase Työvaihe</i>	<b>Critical sub-process/features</b>	<b>Criteria, instruction and specification</b>	<b>Features to check and measure</b>	<b>Measuring method</b>
<b>Index</b>		<i>Kriittiset osaparametrit</i>	<i>Kriteerit, ohjeet ja vaatimukset</i>	<i>Mitattavat kohdat</i>	<i>Mittausmenetelmä</i>
<b>1.0</b>	<b>Ison kantajan kokoonpano</b>		<a href="#">WG JKL ASY 129</a> GDRM100288		
1.1	Planeettapyörien pesu ja laakerointi	Pyörien tarkastus, laakereiden paritus	<a href="#">WG JKL ASY 129</a>	Hiontaluokka, yksilötiedot	Visuaalinen
1.2	Kantajan kääntö, pesu ja nosto asennustelineeseen	Visuaalinen tarkastus	<a href="#">Valujen vastaanottotarkastus</a>	Valuivat, ruostevat	Visuaalinen
1.3	Voiteluputkien ja tulppien asennus	Voiteluputkien suunta ja asento, kartiotulpan asennus	<a href="#">WG JKL ASY 129</a>	Kartiotulppien lastut	Visuaalinen
1.4	Planeettapyörien asennus	Planeettapyörän sisääntyöntö, yksilötietojen kirjaus	<a href="#">WG JKL ASY 129</a>	Kolhut ja irronut maali, valmistaja, yksilönumero	Visuaalinen
1.5	Akselitappien asennus	Tappien lukitus ja pohjaus	<a href="#">WG JKL ASY 129</a>	Kantajan lämpötila, tappien öljykanavat, tappien pohjaus,	Visuaalinen
1.6	Ylälaakerin asennus ja pyörien merkkausvärjäys	Laakerin asennus suorassa	<a href="#">WG JKL ASY 129</a>	Laakerin lämpötila, valmistaja, yksilönumero	Induktiolämmitin
1.7	Alalaakerin asennus	Välirenkaan asennus	<a href="#">WG JKL ASY 129</a>	Laakerin lämpötila, valmistaja, yksilönumero	Induktiolämmitin
1.8	Kantajan suojaus ja viimeistely	Lopputarkastus	<a href="#">WG JKL ASY 129</a>		Visuaalinen
<b>2.0</b>	<b>Pienen kantajan kokoonpano</b>		<a href="#">WG JKL ASY 128</a> GDRM100287		
2.1	Planeettapyörien pesu ja laakerointi	Pyörien tarkastus, laakereiden paritus	<a href="#">WG JKL ASY 128</a>	Hiontaluokka, yksilötiedot	Visuaalinen
2.2	Kantajan ja aurinkoakselin pesu	Visuaalinen tarkastus	<a href="#">Valujen vastaanottotarkastus</a>	Valuivat, ruostevat	Visuaalinen
2.3	Suuttimien, tulppien ja laipan asennus	Laipan asennus, kartiotulpan lastunpoisto	<a href="#">WG JKL ASY 128</a>	Laipan asento, suuttimien asento	Visuaalinen
2.4	Planeettapyörien asennus	Planeettapyörän sisääntyöntö, yksilötietojen kirjaus	<a href="#">WG JKL ASY 128</a>	Kolhut ja irronut maali, valmistaja, yksilönumero	Visuaalinen
2.5	Akselitappien asennus	Tappien lukitus	<a href="#">WG JKL ASY 128</a>	Kantajan lämpötila, tappien öljykanavat, tappien pohjaus,	Visuaalinen
2.6	Ylälaakerin ja aurinkoakselin asennus	Yksilötietojen kirjaus, laakerin asennus suorassa	<a href="#">WG JKL ASY 128</a>	Laakerin lämpötila, valmistaja, yksilönumero	Induktiolämmitin
2.7	Lukitusrenkaan ja alalaakerin asennus	Kantajan lasku laakerille	<a href="#">WG JKL ASY 128</a>	Laakerin lämpötila, valmistaja, yksilönumero, laakeri pohjassa	Induktiolämmitin, Rakotulkki
2.8	Kantajan suojaus ja viimeistely		<a href="#">WG JKL ASY 128</a>		
<b>3.0</b>	<b>Momenttituen kokoonpano</b>		<a href="#">WG JKL ASY 130</a> GDRM101516		
3.1	Kehäpyörien pesu ja nosto puskuriin	Visuaalinen tarkastus, muovinpalojen käyttö	<a href="#">WG JKL ASY 130</a>	Kolhut, lastut	Visuaalinen
3.2	Momenttituen pesu	Visuaalinen tarkastus	<a href="#">WG JKL ASY 130</a>	Kolhut, lastut, öljykanavat	Visuaalinen
3.3	Tiivistelaipan asennus	O-renkaiden rasvaus	Vaseliini pääsy kierteisiin estettävä	Tiivistelaippa pohjassa, o-renkaat paikoillaan, suutinreiän asento	Visuaalinen, rakotulkki
3.4	Momenttituen asennus kääntölaitteeseen	Momenttituen kiinnitys	Työturvallisuus		
3.5	Pienen kehäpyörän asennus	Liitospintojen tarkastus, kehäpyöräliitos	<a href="#">WG JKL ASY 130</a>	Liitos pohjassa	Rakotulkki
3.6	Sokkien ja vaarujen asennus pieneen kehään		Vaamaruuvit yksilömerkintä ylöspäin		
3.7	Lohkon asennus ja momenttituen kääntö		<a href="#">WG JKL ASY 130</a>		
3.8	Ison kehäpyörän asennus	Liitospintojen tarkastus, kehäpyöräliitos	<a href="#">WG JKL ASY 130</a>	Suuttimen asento, liitos pohjassa	Visuaalinen, rakotulkki
3.9	Suuttimien, sokkien ja vaarujen asennus		Vaamaruuvit yksilömerkintä ylöspäin		
3.10	Kehien voitelun asennus ja merkkausvärjäys	Merkattavat hampaat	<a href="#">WG JKL ASY 130</a>	Voiteluputken asento	Visuaalinen
3.11	Nosto valmiiden kappaleiden pisteeseen		<a href="#">WG JKL ASY 130</a>	Lopputarkastus	Visuaalinen

Liite 6. Kokoonpanoprosessin vuokaavio Herkules





Liite 7. Ulkonäön hyväksymisraportti

		Document name: Appearance approval report / FPG	Document number	Rev.
		Gear type:	Gearbox serial number:	Rev.
Drawing number:	Painting system: ISO 12944-5 C4	Created by		
Component name:	Colour:	Checked by	-	-
		Approved by	-	-
		Revised	-	-

Coating evaluation		ISO 2178 & 2808		Actual	OK	NOK	Remarks/Deviation
Drawing position	Measurement type	Nominal	Tolerance				
			Upper Lower				
Base coat: Hempdur Zinc 17360							
1	Coating thickness meter	60 µm					
2	Coating thickness meter	60 µm					
3	Coating thickness meter	60 µm					
4	Coating thickness meter	60 µm					
5	Coating thickness meter	60 µm					
6	Coating thickness meter	60 µm					
7	Coating thickness meter	60 µm					
8	Coating thickness meter	60 µm					
9	Coating thickness meter	60 µm					
10	Coating thickness meter	60 µm					
11	Coating thickness meter	60 µm					
12	Coating thickness meter	60 µm					
13	Coating thickness meter	60 µm					
14	Coating thickness meter	60 µm					
15	Coating thickness meter	60 µm					
16	Coating thickness meter	60 µm					
17	Coating thickness meter	60 µm					
18	Coating thickness meter	60 µm					
19	Coating thickness meter	60 µm					
20	Coating thickness meter	60 µm					
Average							
Intermediate coat Hempdur 15553, 47 and 4500							
1	Coating thickness meter	120 µm					
2	Coating thickness meter	120 µm					
3	Coating thickness meter	120 µm					
4	Coating thickness meter	120 µm					
5	Coating thickness meter	120 µm					
6	Coating thickness meter	120 µm					
7	Coating thickness meter	120 µm					
8	Coating thickness meter	120 µm					
9	Coating thickness meter	120 µm					
10	Coating thickness meter	120 µm					
11	Coating thickness meter	120 µm					
12	Coating thickness meter	120 µm					
13	Coating thickness meter	120 µm					
14	Coating thickness meter	120 µm					
15	Coating thickness meter	120 µm					
16	Coating thickness meter	120 µm					
17	Coating thickness meter	120 µm					
18	Coating thickness meter	120 µm					
19	Coating thickness meter	120 µm					
20	Coating thickness meter	120 µm					
Average							
Top coat Hempthane 55210/4, 55610							
1	Coating thickness meter	60 µm					
2	Coating thickness meter	60 µm					
3	Coating thickness meter	60 µm					
4	Coating thickness meter	60 µm					
5	Coating thickness meter	60 µm					
6	Coating thickness meter	60 µm					
7	Coating thickness meter	60 µm					
8	Coating thickness meter	60 µm					
9	Coating thickness meter	60 µm					
10	Coating thickness meter	60 µm					
11	Coating thickness meter	60 µm					
12	Coating thickness meter	60 µm					
13	Coating thickness meter	60 µm					
14	Coating thickness meter	60 µm					
15	Coating thickness meter	60 µm					
16	Coating thickness meter	60 µm					
17	Coating thickness meter	60 µm					
18	Coating thickness meter	60 µm					
19	Coating thickness meter	60 µm					
20	Coating thickness meter	60 µm					
Average							
Total NDFT 240 µm							
Top coat gloss At an angle of 60° according to DIN67530-1882							Gloss level difference max 15 units
1	Glossmeter		40	60			
2	Glossmeter		40	60			
3	Glossmeter		40	60			
4	Glossmeter		40	60			
5	Glossmeter		40	60			
6	Glossmeter		40	60			
7	Glossmeter		40	60			
8	Glossmeter		40	60			
9	Glossmeter		40	60			
10	Glossmeter		40	60			
11	Glossmeter		40	60			
12	Glossmeter		40	60			
13	Glossmeter		40	60			
14	Glossmeter		40	60			
15	Glossmeter		40	60			
16	Glossmeter		40	60			
17	Glossmeter		40	60			
18	Glossmeter		40	60			
19	Glossmeter		40	60			
20	Glossmeter		40	60			


  

Drawing position	Corrosion protection	OK	NOK	Remarks/deviation
Torque arm	Tectyl purpose WD 506			
Torque arm	Phosphated coating			
Lifting points	RAL 1021			
Brake plain	Tectyl purpose WD 506			
High speed shaft	Perigol 100+ Zerust plastic and plug			
Protective pipe	Perigol 100			
Protective pipe	Phosphated coating			
Planet carrier	Tectyl purpose WD 506			

Date: \_\_\_\_\_ Inspected by: \_\_\_\_\_

## Liite 8. Mittausraportti

		Document name: Dimension report / FPQ		Document number		Rev. -			
		Gear type: PPLH-3000DS		Gearbox serial number: 62160		Rev. -			
		Drawing number: GDRM100928		Created by		30.5.2016		I. Saariaho	
		Component name: ENGM100386		Checked by		-		-	
				Approved by		-		-	
		Revised		-		-			

Drawing position	Measurement type	Nominal	Tolerance		Actual	OK	NOK	remarks/deviation
			Upper	Lower				
1		2940	-	-				
2		665	-	-				
3		490	-	-				
4		245	-	-				
5		380	+0.2	-0.2				
6		190	-	-				
7		M20x40/52	-	-				8pcs
8		M20x40/52	-	-				8pcs
9		100	+0.2	-0.2				
10		481	+0.5	0				
11		481	+0.5	0				
12		100	+0.2	-0.2				
13		490	-	-				
14		380	+0.2	-0.2				After coating
15		360	+0.2	-0.2				
16		Ø105	-	-				
17		Ø665F8	+0.205	+0.080				
18		Ø1120	+0.1	0				
19		18	-	-				
20		6	-	-				
21		Ø230	-	-				
22		Ø165h7	0	-0.040				
23		20°	-	-				
24		M20x50	-	-				2pcs
25		Ø630	-	-				
26		45°	-	-				
27		M8x45	-	-				Depth 25
28		Ø200	-	-				
29		10°	-	-				
30		Ø785	-	-				
31		Ø1000	-	-				
32		12.86°	-	-				
33		19.29°	-	-				
34		12.86°	-	-				
35		25.71°	-	-				
36		M48	-	-				28pcs equally spaced
37		M48	-	-				14pcs equally spaced
38		M12	-	-				Depth 30/40 11pcs
39		30°	-	-				
40		Ø410	-	-				
41		13	-	-				
42		70	-	-				
43		M12	-	-				4pcs depth 20
44		2390	-	-				
45		2285	-	-				
46		988	-	-				
47		47	-	-				
48		240	-	-				
49		Ø260	-	-				
50		120	-	-				
51		105	-	-				
52		Ø150h6	0	-0.025				
Drawing position	Accessory		OK	NOK	Remarks/deviation			
53	Pumping unit							
54	Oil reservoir							
56	Immersion oil heater							
57	Draining valve 2"							
58	High voltage terminal box							
59	Heat exchanger							
60	Center of gravity							
61	CMU3 measuring unit							
62	Oil cleanliness sensor system							
63	G 1 1/2 water inlet							
64	G 1 1/2 water outlet							
65	Low voltage terminal box							

Date:	Inspected by:
-------	---------------