

© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven, Technologicampus Oostende, Zeedijk 101, B-8400 Oostende, +32 50 40 59 00 of via e-mail iiw.oostende@kuleuven.be.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Optimalisatie van het assemblageproces van de fairings van de A350 naar maximale efficiëntie op gebied van kwaliteit, doorlooptijd en rentabiliteit

LeonhardMALFAIT

Promotoren: Pol Coudeville

Co-promotoren: Frank Vandepoel
Jimmy Mentens

Masterproef ingediend tot het behalen van
de graad van master of Science in de
industriële wetenschappen:
elektromechanicaluchtvaarttechnologie

Mededeling

Deze eindverhandeling was een examen. De tijdens de verdediging geformuleerde opmerkingen werden niet opgenomen.

Woord vooraf

Beste lezer,

Dank voor de interesse die u toont in mijn eindwerk. Het kostte me tijd en moeite, maar zonder de hulp van heel wat mensen was het mij niet gelukt.

Daarom zou ik graag enkele personen bedanken voor hun steun en belangrijke bijdrage ter realisatie van dit eindwerk.

De productie manager van SABCA Limburg N.V., Ing. Mentens Jimmy voor het positieve onthaal en om de mogelijkheid te bieden om mijn stage te doen bij SABCA Limburg N.V. Het was een aangename en leerrijke ervaring. Ook voor het budget dat beschikbaar gesteld werd om de werkcel en toebehoren te kunnen opstellen.

Mijn buitenpromotor ing. Vandepoel Frank die ondanks de grote werkdruk heel wat tijd vrijmaakte om het eindwerk in goede banen te leiden. Zijn praktische kennis van Lean- en 5S-methoden ter plaatse was onmisbaar. Hierbij wil ik hem extra bedanken voor de geïnvesteerde energie om mijn opdracht tot een goed einde te brengen.

Daarnaast wil ik de medewerkers van SABCA Limburg N.V. bedanken voor het overbrengen van hun kennis en het grote geduld bij het beantwoorden van mijn vragen en ook voor de collegiale sfeer waaronder het bedrijfscontact is verlopen. Hierbij in het bijzonder de medewerkers van de Assembly A350 XWB afdeling. Bij naam vernoem ik Matthys Dominique, Bollaerts Stefan, DiddenWout, VandekerkhofToon en Putzeijs Joop.

Mijn binnenpromotor dr. ing. Coudeville Pol voor de niet aflatende steun, de opvolging gedurende het hele jaar en voor het beantwoorden van al mijn vragen en de vele aanwijzingen die hij gegeven heeft.

In het bijzonder wil ik mijn ouders bedanken die mij de mogelijkheid gaven in alle comfort verder te studeren en voor hun morele en praktische support.

Leonhard Malfait

Abstract Nederlands

Het doel van deze masterproef is om een plan uit te werken om bij een maximale rentabiliteit, de doorlooptijd te verkorten en de efficiëntie te verhogen bij de assemblage(lijn) van fairings. Dit zijn omkappingen van de flap-systemen bij vliegtuigen.

Om dat te realiseren werd gebruik gemaakt van Lean methoden. Ook andere systemen, die later besproken zullen worden, werden gehanteerd. Er werden tijdsmetingen uitgevoerd van de productietijd van de fairings. Op basis van de resultaten van die metingen werden er oplossingen gezocht die met een kleine inspanning een grote tijdswinst opleverden in het productieproces. Naderhand werd het assemblageproces onder de loep genomen en mogelijke productiestappen vereenvoudigd of weggelaten. Daarna werd verder gezocht naar knelpunten buiten de assemblagelijne. Ook die knelpunten werden bestudeerd en vervolgens weggewerkt.

Na tal van zaken onderzocht en verbeterd te hebben, kon men een theoretische productietijdverkorting van bijna 30% voorleggen. Alhoewel het nog niet helemaal mogelijk is om effectief die resultaten in de praktijk te staven, kan men toch een realistisch eindresultaat benaderen.

Uit dit onderzoek en het productievoorstel zal een doorlooptijdverkorting volgen van bijna 30%. Met de aangebrachte veranderingen zal er dus sneller geproduceerd worden dan voorheen. Ook zaken die fabricagefouten veroorzaakten, werden in een beperkte mate verbeterd waardoor er minder uitval of herwerking is. Kortom de productiekosten werden sterk gereduceerd. Desondanks blijft er nog ruimte over voor verdere verbeteringen. Er kan nog meer opgeruimd worden in het productieproces, idem voor het onderhouden van de tot nu verrichte veranderingen. Lean is geen eenmalige handeling of remedie, maar een werkwijze en een gedachte.

De trefwoorden zijn: Lean, productietijd, doorlooptijdverkorting, uitval, herwerking, productiekosten.

English abstract

The purpose of this master thesis is to work out a plan in the assembly line of fairings, these are covers of the flap systems for aircraft, which shortens the turnaround time, increases efficiency and aims to maximize profitability.

This was achieved by using Lean methods. Also other systems, which will be discussed later, were used. Time measurements of the production time of the fairings were taken. Solutions, to create a big time gain with just a little effort in the manufacturing process, were sought on the basis of the results. Afterwards the assembly process was revised and possible production steps were simplified or omitted. Furthermore, other bottlenecks outside the assembly line were retrieved. These were also studied and possible solutions were proposed.

After lots of change and improvements, a production time gain of almost 30% was established. Although it was not yet possible to substantiate effective results, they can still be submitted theoretically.

This research and production proposal will cause a turnaround time reduction of almost 30%. The changes made will fasten the production process. Also things that cause manufacturing defects were improved to a limited extent thus reducing dropouts and rework. In short, the production cost was reduced substantially. Despite this result, further improvements can still be obtained. More cleanup in the production process is still needed, just as maintaining the changes carried out so far. Lean is not a single act or remedy, but a method and a thought.

The keywords are: Lean, production time, turnaround time reduction, failure, reworking, production costs.

Inhoud

1	Situering binnen het bedrijf.....	5
1.1	<i>SABCA Limburg N.V.</i>	5
1.2	<i>Fairing A350 XWB</i>	6
1.3	<i>Productieproces</i>	6
1.4	<i>Samenbouw- of assemblageproces</i>	11
1.5	<i>Assemblagehal voor de fairings van de A350 XWB</i>	14
2	Ontwikkeling.....	20
2.1	<i>Lean</i>	20
2.2	<i>Kaizen</i>	20
2.2.1	Definiëren (Define).....	21
2.2.2	Metten (Measure).....	22
2.2.3	Analyseren (Analyse).....	25
2.2.4	Verbeteren (Improve).....	28
2.2.5	Controleren (Control).....	44
2.3	<i>5S</i>	45
2.3.1	Vergaderingen.....	45
2.3.2	TrimJobs.....	47
2.3.3	All-in-one boor.....	49
2.3.4	Elektronische werkinstructies.....	49
2.4	<i>Andere veranderingen</i>	51
2.4.1	Externen betrekken in het productieproces.....	51
3	Resultaten.....	54
4	Besluiten.....	56
4.1	<i>Quad of aims</i>	56
4.2	<i>Werkcel</i>	56
4.3	<i>Kostprijs</i>	57
4.4	<i>Algemeen</i>	59
4.5	<i>Opmerkingen</i>	60
	Bibliografie.....	73

Bijlage I	1
1 Lean manufacturing	1
1.1 <i>Oorzaak ANALYSE</i>	1
1.2 <i>Flow creëren</i>	2
1.3 <i>Lean management</i>	2
1.4 <i>Waardestroom</i>	3
1.5 <i>Value Stream Mapping</i>	3
1.5.1 <i>VA or Value Added</i>	4
1.5.2 <i>BNVA or Business Not Value Added</i>	4
1.5.3 <i>NVA or Not Value Added</i>	4
2 Kaizen	5
3 SixSigma	7
3.1 <i>DMAIC</i>	7
4 Kwaliteitsmethode 5S	8
4.1 <i>Implementatie 5S</i>	8
5 Voorraadsystemen	9
5.1 <i>Kanban</i>	9
5.2 <i>Two-bin</i>	10
5.3 <i>FIFO (First In First Out)</i>	10
6 Productiesystemen	11
6.1 <i>Pull-productie</i>	11
6.2 <i>Push-productie</i>	12
Bijlage II	1

Figurenlijst

Figuur 1: SABCA Limburg N.V.	5
Figuur 2: Fairing A350 XWB.....	6
Figuur 3: Op de voorgrond een FIX, op de achtergrond een MOV.	6
Figuur 4: Prepreg opleg mal in cleanroom.....	8
Figuur 5: Vacuümmal	8
Figuur 6: Breather cloth.....	9
Figuur 7: Autoclaaf	9
Figuur 8: Fairing na het trimmen	10
Figuur 9: Afgewerkte MOV3 fairing	10
Figuur 10: FIX3 wordt geshimd in de controle JIG.....	11
Figuur 11: Monteren van Alu-onderdelen	12
Figuur 12: Sealant tube.....	12
Figuur 13: Pneumatisch sealant pistool met sealant tube.....	13
Figuur 14: Assemblagehal begin februari 2015	15
Figuur 15: Assemblagehal(linkerhoek)	16
Figuur 16: Assemblagehal(rechterhoek).....	16
Figuur 17: Alu-onderdelen.....	16
Figuur 18: Een deel van de alu-onderdelen zijn gemonteerd.....	16
Figuur 19: Doelstelling	21
Figuur 20: Productie uren per ShipSet naar ordernummer	22
Figuur 21: VSM MOV2 (niet volledig)	24
Figuur 22: Spaghetti diagram	24
Figuur 23: Taart-diagram tien langste bewerkingen.....	27
Figuur 24: Taart-diagram totale assemblageproces MOV3 fairing.....	27
Figuur 25: Oude Kanban fasteners	30

Figuur 27: Kanban fasteners achteraan	31
Figuur 26: Kanban fasteners vooraan	31
Figuur 28: Oude transportkaren met parts	31
Figuur 29: Oude Kanban bak parts	31
Figuur 30: Alu-Comp. onderdelen (fase 1)	32
Figuur 31: Alu-Alu onderdelen (fase 2).....	32
Figuur 32: Top cover.....	32
Figuur 33: Tailcone	33
Figuur 34: Eén van de drie seals van de MOV3 fairing	33
Figuur 35: Kanban rek parts.....	33
Figuur 36: Reinforcement panels aan het Kanban rek	33
Figuur 37: Ladekast Kanban consumables	34
Figuur 38: Kanban consumables bovenste lade.....	35
Figuur 39: Kanban consumables tweede lade.....	35
Figuur 40: Kanban consumables derde lade	35
Figuur 41: Kanban consumables vierde lade	35
Figuur 42: Kanban consumables vijfde lade.....	35
Figuur 43: Kanban consumables onderste lade	35
Figuur 44: Lay-out werkcel.....	37
Figuur 45: Attachen bevestigd aan werkbank.....	38
Figuur 46: Proefopstelling werkcel (vlinderkar zichtbaar onder het Kanban rek)	39
Figuur 47: Consumables in de werkcel	39
Figuur 48: Lay-out nieuwe assemblagehal.....	40
Figuur 49: Wachtzone TrimJobs nieuwe loods (3 fairings per vak).....	42
Figuur 50: Wachtzone assemblagehal A350 XWB.....	42
Figuur 51: Wachtzone Quality-afdeling	43
Figuur 52: FIX fairing aanduiding de te boren gaten.....	45

Figuur 53: Desbetreffende mal FIX fairing	45
Figuur 54: Linkerkant FIX fairing waar boring tekort	46
Figuur 55: Rechterkant FIX fairing waar boring tekort	46
Figuur 56: Fairing (MOV) op de mal in de trimmachine	47
Figuur 57: Onvoltooide boringen MOV fairing.....	48
Figuur 58: Assemblagehal A350 XWB midden februari 2015	51
Figuur 59: Assemblagehal A350 XWB midden maart 2015	52
Figuur 60: Assemblagetijd in uren van een MOV 3L fairing per ShipSet.....	54
Figuur 61: Assemblagetijd in uren van een MOV 3R fairing per ShipSet.....	54
Figuur 62: Totale assemblagetijd in uren per ShipSet	55

Bijlagen

Figuur 63: Kanban-systeem	9
Figuur 64: Two-bin systeem	10
Figuur 65: FIFO.....	10
Figuur 66: Pull-productie	11

Tabellenlijst

Tabel 1: Samenvatting VSM FIX2 & MOV2.....	26
Tabel 2: Theoretische tijdswinst assemblage MOV3 fairing	44
Tabel 3: Kostprijs werkcel	57
Tabel 4: Kostprijs ladekast	57
Tabel 5: VSM FIX2 schatting (deel1).....	63
Tabel 6: VSM FIX2 schatting (deel 2).....	64
Tabel 7: VSM FIX2 meting (maart 2015).....	65
Tabel 8: VSM MOV3 meting (februari 2015)	67
Tabel 9: Cumulatieve som van de verschillende bewerkingen van MOV3 fairing	69
Tabel 10: MOV3 fairing bewerkingen gegroepeerd	71

Lijst van gebruikte afkortingen

Alu-Alu	Aluminium-Aluminium
Alu-Comp.	Aluminium-Composiet
blz.	bladzijde
BNVA	Business Not Value Added
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer
bv.	bijvoorbeeld
DMAIC	Define Measure Analyse Improve Control
enz.	enzoverder
FIFO	First In First Out
FIX	FIXed
incl.	inclusief
i.p.v.	in plaats van
ISO	Internationale Organisatie voor Standaardisatie
JIT	Just In Time
MOV	MOVable
nl.	namelijk
NVA	Not Value Added
o.b.v.	op basis van
PE	Poly Ethyleen
PET	Poly Ethyleen Tereftalaat
RDR	Rejection and Deviation Report
t.b.v.	ten behoeve van
t.e.m.	tot en met
t.o.v.	ten opzichte van
VA	Value Added
VSM	Value Stream Mapping
XWB	eXtra Wide Body

Inleiding

Dit eindwerk zal de optimalisatie behandelen van een onderdeel van een productieproces. Meer specifiek belicht dit werk de optimalisaties in de assemblagelijns van de fairings van de A350 XWB.

Deze fairings worden vervaardigd bij SABCA Limburg N.V. te Lummen, België.

Als master elektromechanica-luchtvaarttechnologie student zocht ik een eindwerk met een luchtvaarttoepassing als leidraad. Veel luchtvaart gerelateerde bedrijven in Vlaanderen zijn er niet, maar SABCA Limburg was het eerste bedrijf dat mij een interessant antwoord aanbod deed.

Het voorstel toen – nu onderwerp van deze thesis is op twee manieren gerelateerd met mijn studierichting. Het heeft betrekking enerzijds opluchtvaarttechnologie, anderzijds ook met elektromechanica. Graag wilde ik ook iets bijleren over de werkmethodeken binnen een bedrijf. Het voorgestelde onderwerp kreeg mijn bijzondere aandacht omdat het die eigenschappen samen bevat. Daarnaast zag ik het als een grote uitdaging om niet een detail, maar een volledige productie efficiënter te laten verlopen.

Een ingenieur probeert steeds een overzicht te houden op het geheel zonder zich al te veel te concentreren op specifieke details. SABCA Limburg bood mij de kans om mij in praktijk te verdiepen in de Lean-methodeken. Lean kan toegepast worden aan de oppervlakte van een proces, maar ook zeer diep tot in de kern van de productie. Het is een uitstekend middel om processen te optimaliseren.

Ik mocht mij verdiepen in de optimalisatie van de organisatie van de praktische realisatie van een constructie. Op die manier met het ingenieurschap geconfronteerd worden vond ik aantrekkelijk, boeiend en ook wel aangenaam. Dankzij dit onderwerp mocht ik mee de verantwoordelijkheid dragen om de productie op een nog beter spoor te brengen, in overleg en in nauwe samenwerking met de medewerkers van het bedrijf.

Het eindwerk wordt ingedeeld in vier hoofdstukken, het eerste hoofdstuk (situering binnen het bedrijf) bespreekt de historiek van het bedrijf, het productieproces en accommodatie waar de fairings gemaakt worden.

Het tweede hoofdstuk (ontwikkeling) beschrijft waarom er nood is aan een productie optimalisatie, de doelstellingen en de manier van aanpakken.

In hoofdstuk drie en vier (resultaten en besluit) worden de resultaten geëvalueerd.

Tabellen en een verklarende woordenlijst vindt u achteraan deze thesis.

Het finale bijlagengedeelte bundelt de begrippen en de gereedschapslijst ter verduidelijking van de gebruikte vaktermen.

Onderzoeksvraag

Is het mogelijk om via analyse de assemblagelijin van de composiet fairing van de A350 XWB te optimaliseren?

Er zal een plan uitgewerkt worden om bij SABCA Limburg een assemblagelijin - productielijn fairings A350 - optimaal in te richten. Met optimaal wordt bedoeld het behalen van een maximale efficiëntie op gebied van kwaliteit, doorlooptijd en rentabiliteit.

Methodiek literatuurstudie

Voor het verwerven van de nodige informatie werden er verschillende wegen gevolgd. Eerst werd in de bibliotheek gezocht naar relevante naslagwerken over optimalisatie van een productieproces met de bedoeling om de nodige basiskennis op te doen. Dat leverde één boek op en twee eindwerken waarvan het boek en één eindwerk weerhouden werd. Het andere eindwerk werd bewaard onder bedrijfsgeheim. Het boek en het vrij beschikbare eindwerk werden uiteindelijk ook niet gebruikt omdat ze het onderwerp te oppervlakkig of te beperkt behandelden.

Daarnaast werden relevante artikels opgezocht in de tijdschriftenbeschikbaar in de bibliotheek (fysiek aanwezig en e-tijdschriften), in de Open Journals via 'Directory Open Access Journals' alsook in de databanken die toegankelijk zijn via de online Limo catalogus. Ook Google Scholar werd geraadpleegd. Omdat de werken die gevonden werden op Google Scholar steeds specifiek toegepast werden, zijn deze ook niet in aanmerking gekomen.

De tijdschriften werden geselecteerd op de aanwezigheid van de trefwoorden 'productieproces, lean manufacturing, Six Sigma, 5S, Integrale Kwaliteitszorg, composiet, Kanban, Deming, pareto, Ishikawa' in de titel van het tijdschrift. Dit leverde veertien tijdschriften op. De gebruikte trefwoorden voor het opzoeken van artikels in de geselecteerde tijdschriften waren 'productieproces, lean manufacturing, Six Sigma, 5S,...'. Als filter werd enkel in het veld 'Titel' gezocht, voorts mochten de artikels maximaal tien jaar oud zijn en moest het volledig artikel beschikbaar zijn en niet enkel het abstract. De trefwoorden werden afzonderlijk en gecombineerd met de 'AND' operator. Ook werd gebruik gemaakt van truncate technieken om variaties op de trefwoorden te gebruiken. Dit leverde negentien artikels. Daarvan werden er zeven weerhouden op basis van de relevantie van de titel.

De overblijvende artikels werden beoordeeld op basis van het abstract. Van zes artikels werd de volledige tekst doorgenomen. Het eindresultaat leverde vijf bruikbare artikels op.

Voor het zoeken van artikels werd via de online Limo-catalogus gebruik gemaakt van de 'Mechanical engineering' en 'Technology' databanken. Hierbij werd dezelfde strategie gevolgd als bij de tijdschriften.

Voor de technologische informatie werd beroepgedaan op online beschikbare informatie van leveranciers. De normen die niet in de bibliotheek beschikbaar waren werden via SABCA Limburg N.V. opgevraagd.

Ook op Google werden wetenschappelijke artikels opgezocht over het optimaliseren van een productieproces en lean manufacturing. Dit leverde betere resultaten op dan de Limo catalogus. Er werd gezocht op geprofessionaliseerde sites van bedrijven die zich in deze materie gespecialiseerd hebben.

(Lauwers A., s.d.)

1 Situering binnen het bedrijf

1.1 SABCA Limburg N.V.

SABCA werd opgericht in 1920 met als doel vliegtuigen te ontwerpen en vervaardigen in België. De fabriek werd gebouwd in Haren naast de luchthaven, in de buitenwijken van Brussel.



Figuur 1: SABCA Limburg N.V.

Na de Tweede Wereldoorlog werd SABCA een pionier in de meeste Belgische militaire vliegtuigproducties en upgradeprogramma's zoals de Hunter, F-84, F-104G, Dassault Mirage 5, Lockheed F-16, Agusta 109 Helikopter, etc... Vanwege deze grote vooruitgang en de vele contracten werd een nieuwe afdeling geopend in Charleroi. Daarnaast verwerfde het bedrijf ook expertise op het vlak van ruimtevaart. SABCA was een van de eerste deelnemers aan de Europese ruimtevaartprogramma's en produceert ondertussen al 40 jaar onderdelen van de Ariane en Vega-ruimtetuigen.

Op het vlak van de civiele luchtvaart kende SABCA een trage start met de productie van de Fokker 27/50-familie, de stuurvlakken van de Dassault Mercure en de VFW-614 en andere succesvolle projecten. In 1989 kende de civiele luchtvaartactiviteit een boost en werd het eerste risicovolle contract getekend met Airbus. Sindsdien is SABCA geselecteerd als partner voor alle nieuwe Airbus programma's zoals de A380, A400M en de nieuwe A350 XWB. SABCA ontwerpt en produceert ook metaal- en composietonderdelen voor Dassault en Gulfstream business jets.

In 1992 zette SABCA een stap vooruit met de creatie van een dochtermaatschappij, SABCA Limburg N.V. Ze werd gespecialiseerd in de productie van high-tech composietonderdelen. SABCA Limburg heeft twee automatische tape-layers, twee grote spuitcabines, één geautomatiseerde trimmachine (een nieuwere machine is op komst), twee zeer grote autoclaven en één kleinere autoclaaf. Met deze toestellen en steeds ruimer wordende know-how kan de productie van integrated skins voor welvingkleppen en stabilisatievlakken gerealiseerd worden. In samenwerking met de afdeling in Brussel is SABCA Limburg ook verantwoordelijk voor de bouw van de fairings van de systemen van de welvingkleppen (Airbus A350-900 XWB).

Bij SABCA Limburg gebruiken ze actueel het besturingssysteem Windows 7 van Microsoft. Om voordrachten, verslagen en andere bedrijfstoepassingen te demonstreren wordt Microsoft Office 2010 ingezet. Binnen de verschillende afdelingen (zie '2.2 Afdelingen') wordt het programma SAP (Systemen, Applicaties en Producten) gehanteerd. Het bevat cruciale gegevens, applicaties en analytische tools om de efficiëntie van de bedrijfsprocessen te verhogen. Door het gebruik van SAP kan men de voorraad en de tussentijdse productiestappen volgen.

In de dochtermaatschappij werken er 135 werknemers.

(SABCA, 2010)

1.2 Fairing A350 XWB

Een fairing is een omkapping om een bepaalde structuur een gestroomlijnd oppervlak te geven en om de luchtweerstand te verminderen. De fairings die in deze thesis besproken worden, dienen als omkappingen van de flap-systemen bij vliegtuigen. Ze bevinden zich onderaan de vleugel (drie links en drie rechts).



Figuur 2: Fairing A350 XWB

Elke fairing bestaat uit twee afzonderlijke delen: een MOVable deel en een FIXed deel. Verder zal enkel de term MOV en FIX gebruikt worden. De twee delen werken samen aan het vliegtuig en zoals de naam reeds aangeeft, beweegt het ene deel en het ander blijft in zijn vaste positie.

Onder iedere vleugel bevinden er zich drie verschillende fairings, dus zes fairings per vliegtuig. De types worden beschreven als MOV2, 3 en 4 en FIX2, 3 en 4. Zes complete fairings (zes MOV's en zes FIX'en) samen noemt men ook een ShipSet. Er worden linkse en rechtse versies van de MOV's en de FIX'en vervaardigd. De gebruikte mallen (TrimJobs en controle JIG's) zijn echter universeel voor beide kanten. De FIX2 is identiek links en rechts.

(Airbus, 2013)



Figuur 3: Op de voorgrond een FIX, op de achtergrond een MOV.

1.3 Productieproces

In dit hoofdstuk wordt de bouw van de fairings beschreven.

De omkapping wordt volledig vervaardigd uit composietmateriaal, de inwendige systemen uit aluminium. De systemen worden met klinknagels (Aluminium en/of Titaan) aan de kappen bevestigd.

Men start met het kleven van een coating in een matrijs. De coating fungeert als barrière om het hars tegen te houden bij het proces in de autoclaaf (zie later). Eveneens dient het om een egaler oppervlak te verkrijgen zodat er minder filler moet aangebracht worden om de fairing af te werken. De coating wordt bewaard in een diepvriezer om het stollen van het geïncorporeerde hars tegen te gaan.

vervolgens kleeft men een copper mesh (koperen gaas) op plaatsen waar metaalstructuren worden aangebracht (binnenkant). De copper mesh garandeert de geleiding van statische ladingen rondom de fairing.

Nadat de copper mesh aangebracht werd, kleeft men de koolstofvezel prepregfiguren (op voorhand geweven carbonvezels met geïmpregneerde epoxylijm in A-stadium) op mekaar. Deze wordt net zoals de coating in een diepvries bewaard om het stollen (spontaan vernetten/uit Harden) van het hars tegen te gaan. De te kleven prepregfiguren



Figuur 4: Prepreg opleg mal in cleanroom

worden uitgesneden met een CNC-machine. Daarna worden ze met behulp van een koolstofvezel, universele matrijs en een wit potlood op de juiste plaats gekleefd. Later werden die matrijzen vervangen door laserprojectoren

Na enkele lagen prepreg (beschreven in de productiehandleiding) brengt men een plasticfolie (PE) met een dikke kleefgom aan op de matrijs. De kleefgom wordt rondom hard aangedrukt met een spatel om lekken uit te sluiten dus om een goed vacuüm te garanderen.

Daarna sluit men een vacuümpomp aan op de matrijs en door de druk van de omgeving wordt de prepreg 10 min stevig aangedrukt. Een extra voordeel van de vacuümtechniek is dat eventuele luchtballen tussen de prepreg of coating weggezogen worden. Luchtballen zijn nefast voor het vervaardigen van composietstructuren – ze beletten een uniforme krachtenoverbrenging.



Figuur 5: Vacuümmal

In de autoclaaf (zie later) zal de temperatuur fel stijgen en kunnen de luchtballen schade toebrengen binnenin de structuur. Die schade is niet waarneembaar met het blote oog. Als er zich loslatingen voordoen binnen het composiet kunnen krachten niet meer worden doorgegeven en kan ernstige schade (delaminatie) ontstaan.

Als de prepreg zijn eerste vacuümbehandeling heeft ondergaan, plaatst men vervolgens de core honingraatstructuur. De honingraat is vervaardigd uit aramidevezels in een hexagonale vorm en wordt geproduceerd door een extern bedrijf. Honingraatstructuren zijn beschikbaar in verschillende celgroottes en -hoogtes. Fijne celstructuren zijn beter voor sandwichmateriaal zoals in de fairings van de A350. Honingraat is ook beschikbaar in verschillende dichtheden. Hoge dichtheid is stijver en sterker dan lage dichtheid.

Als de honingraat op zijn plaats ligt, gaat men over tot het kleven van de binnenste laag prepreg. Opnieuw met dezelfde universele koolstofvezel universele matrijs en een wit potlood kleeft men de prepreg figuren.

Als de sandwich volledig opgebouwd is, plaatst men opnieuw de PE-kunststoffolie in combinatie met de kleefgom om vervolgens 15 min vacuüm te zuigen. Daarna is men zeker dat de sandwich dicht aangetrokken is en de honingraat goed tussen de prepreg gespannen is. Ook de lucht is opnieuw weggezogen uit het materiaal.



Figuur 6: Breather cloth

Boven dat alles komt een waterkerende folie evenals een rode PET folie. Breather cloth is aangebracht bovenop de afzuiggaatjes (aan de bovenkant van de matrijs) om te voorkomen dat de PE folie de gaatjes afdicht tijdens de afzuiging.

De matrijzen met prepreg en honingraat worden voor een laatste maal vacuüm gezogen waarna ze worden gegroepeerd om in de autoclaaf gebracht te worden.

De autoclaaf is een oven waarin temperatuur en druk instelbaar zijn. In een autoclaaf worden producten (hier de fairings in de matrijzen) uitgehard onder druk (3 bar) en temperatuur (+/- 180°C). Het product ligt hierbij in een enkelzijdige mal ingepakt onder een vacuümfolie, zoals hiervoor beschreven. Men beperkt de druk in de autoclaaf om beschadigingen van de honingraatstructuur te vermijden.



Figuur 7: Autoclaaf

Door de verhoogde druk, het vacuüm rond het product, bij een verhoogde temperatuur wordt een hoog vezelvolumegehalte en een laag gehalte aan luchtinsluitingen mogelijk. De hoge temperatuur maakt de toepassing van warm-hardende epoxy, mogelijk (bij prepreg al aanwezig in het vezelmateriaal). Voordelen hiervan zijn het werken met vooraf geïmpregneerde vezels die goede mechanische en thermische eigenschappen van het eindproduct vlotter realiseerbaar maken.

Het uithardingsproces wordt via temperatuur en druk gestuurd en verloopt daardoor gecontroleerd.

Voor de aanmaak van lucht- en ruimtevaartonderdelen wordt vooral gebruik gemaakt van de autoclaaf omdat die methodiek toelaat om hoogwaardige producten (met een hoog vezelvolumepercentage) in kleine series te vervaardigen.

De voordelen van deze techniek zijn:

- ten opzichte van handlamineren of spuiten zijn een hoger vezelvolumegehalte en een laag void gehalte (minder luchtinsluitingen) haalbaar.
- het lamineren met prepregs is een zeer schoon proces met weinig afval.
- de maatbeheersing is zeer goed.
- het proces laat complexe vormen toe, zoals het toepassen van ribben, sandwiches en kleine wanddiktes.

Van zodra de fairings de autoclaaf verlaten, worden ze uit de matrijzen gehaald en afzonderlijk op een kleinere kar geplaatst. Op die manier is het gemakkelijker om de fairings te verplaatsen doorheen de productieafdelingen.

Vooraleer men de fairings verder bewerkt, worden ze eerst geïnspecteerd op scheuren, barsten, dikte en luchtinsluitingen. Scheuren en barsten worden met het blote oog geverifieerd alsook door de fairing onder te dompelen in water. De dikte wordt opgemeten met behulp van ultrasoon geluid. De luchtinsluitingen worden opgespoord door middel van de hamertechniek (door te luisteren tijdens het kloppen, kan men aan het geluid horen waar er luchtinsluitingen zijn).

Nadat de fairing door de eerste kwaliteitscontrole geraakt is, worden ze getrimd. Dat houdt in dat het overtollige composiet wordt weggesneden en dat er gaten worden geboord voor verdere montage. Er wordt nu ook een tweede kwaliteitscontrole uitgevoerd.



Figuur 8: Fairing na het trimmen

Na goedkeuring plaatst men de fairing in de spuitcabine waar er een egalisatielaag wordt opgespoten.

Nadat de filler is aangebracht, gaat de fairing naar de assembly afdeling. Daar boort men, met behulp van matrijzen, de gaten waar de klinknagels of bouten moeten gemonteerd worden. Afhankelijk van de soort fairing is het binnenwerk verschillend. Als de Quality-dienst de fairing in de derde keuring accepteert, mag erovergegaan worden naar het monteren van de brackets (metalen onderdelen).

De vierde controle dient als nazicht van de plaatsing van de brackets, aarding kabel, sealant en seals.

Bij goedkeuring wordt een witte lak op de fairings aangebracht waarna ze hun eindcontrole verkrijgen en, mits goedkeuring, klaar zijn voor export.



Figuur 9: Afgewerkte MOV3 fairing

1.4 Samenbouw- of assemblageproces

De assemblage kan beschreven worden als een proces apart dat vooral bestaat uit handwerk. Het is een opeenvolging van veel verschillende stappen. In grote lijnen kan men de assemblage samenvatten in zeven grote groepen: schuren, shimmen, boren, verven, monteren, sealen en controleren.

Tijdens het assembleren maakt men gebruik van fasteners (bouten, moeren, klinknagels, vloten, nuts en spanbusjes), drills (drills, dreamers, reamers, pilotjes en microstops) en consumables (harsen, primer, verven, schilderborstels, sealant, enz. en de overige benodigde producten).

Hieronder volgt een korte chronologische opvolging van verschillende tussenstappen van

- Shimmen in rotatie JIG (met Hysol EA9394A/B)
- Droogtijd van 12u om de shim te laten uitharden(60 min in de oven bij 90°C)
- Bijwerken van de shim
- Demonteren van shim mallen
- Bijwerken van de shim
- Fairing in controle JIG plaatsen ter controle en om de springback te compenseren (de fairing moet een nominale breedte hebben en die wordt op voorhand ingesteld met een staaf tussen de twee wanden)
- Springback controleren
- Shimmen in JIG
- Shimmen P8 (een positie op de fairing waar een bracket tegen komt die afzonderlijk moet geshimd worden)



Figuur 10: FIX3 wordt geshimd in de controle JIG

- Start droogproces (12u)
- Logboek invullen (iedere fairing is voorzien van een logboek, daar komt bij iedere tussentijdse bewerking de datum van bewerken)
- Bijwerken van de shim
- Demonteren van P8-mal
- Plaats fairing terug in de rotatie JIG
- Bijwerken van de shim P8

een MOV3L.

- Plaats brackets met tijdelijke klemmen (attachen)
- Zet alle tijdelijke klemmen (attachen) vast
- Gaten boren, ruimen, verzinken & ontbramen
- De geleidende bouten markeren
- Massapunten vrijmaken op de brackets door de verf te verwijderen
- Controle van de geboorde gaten
- Brackets monteren (met PR 1782 C2)
- Plaatsen van brackets op de composiet schelp
- Installeren van de onderdelen met de nodige bouten

- Sealant mengen en aanbrengen (om corrosie tegen te gaan)
- Controle bouten & conductiviteit
- Sealen – verven
- Afsealen boutkoppen
(met PR 1782 B2)
Afharsen vormranden
(met Hysol 5052LY)
- Harsen rand van MOV +
Topcover + Binnenkant
P6-P7 + Kijkgaten/
access covers
- Harsen van eventuele vezel
loslating seals-gaten

Figuur 11: Monteren van Alu-onderdelen

- Verven fasteners (F69 Grey + F69 Blue)
- Massapunten voorzien van blauwe verf
- Andere punten voorzien van grijze verf
- Alu-onderdelen installeren (met PR 1782 C2)
- Sealant mengen en aanbrengen
- Monteren van Alu-onderdelen
(+ monteren reinforcement panel)
- Geleiding meten
- Sealant mengen en aanbrengen
- Afsealen boutkoppen (met PR 1782 B2)
- Aanbrengen primer op de rand (Met AVIOX CF
primer 37124)
- Start droogproces (60 min)

- Verven fasteners (met F69 Grijs + F69 Blauw)
- Massapunten voorzien van blauwe verf
- Andere punten voorzien van grijze verf
- Aanbrengen eindlaag op de rand (met AVIOX Finish 77702)
- Start droogproces

- Plaatsen van Topcover en Tailcone (Met PR 1782 B2)
- Tailcone & topcover afsealen + step dichtten met PR 1782 B2
- Primer aanbrengen.
- JIG-meting
 - o Controle van de diameters van de gaten
 - o Controle positie gaten
 - o Controle contour

- Monteren Seals & afwerking
- Sealant CA1000 (2803160) aanbrengen (1-component) op de bouten
- Verwijder uitgeperste sealant
- Algemene inspectie
 - o Rubber seals
 - o Fasteners: lengte&torque
 - o Sealant van de bouten
 - o Algemene controle oppervlakte
 - o Visuele inspectie
 - o Gewicht

Figuur 13: Pneumatisch sealant pistool met sealant tube

- Schilderen
- Primer 5014 PU blauw aanbrengen
- Primer Epoxy aanbrengen
- Toplaag aanbrengen
- Algemene inspectie
 - o Inspectie
 - o Check na het schilderen
 - o Gewicht
 - o Indien nodig kan er een RDR procedure (herwerking of herstelling) ingevoerd worden. Dat doet men als er niet voldaan wordt aan de kwaliteitseisen (bv. Een putje in de toplaag verf). De Quality afdeling beslist wanneer een RDR uitgevoerd zal worden, maar het is SABCA Brussel die beslist op welke manier de herstelling moet gebeuren.

- RDR Activiteiten Quality
 - o Inspectie RDR + controle volgblad
 - o RDR-nummers noteren op voorblad registratieformulier
 - o Administratie volgblad controleren
- Eindcontrole + vrijgave

Na elke hoofdstap wordt er geklokt. Dat houdt in dat de operator een bepaalde code (die op het volgblad van elke fairing staat) inscant nadat hij de processtap uitgevoerd heeft. Met dat systeem kan men gemakkelijk de productie opvolgen.

Figuur 14: Assemblagehal begin februari 2015



Figuur15: Assemblagehal(linkerhoek)



Figuur16: Assemblagehal(rechterhoek)

Het onderwerp van dit eindwerk situeert zich in de assemblage hall, waar de aluminium-onderdelen worden gemonteerd in de composietschelp ofwel de omkapping. Het geheel van de aluminiumonderdelen en de composietkap noemt men dus de fairing.

Op de vorige pagina (blz. 13) wordt een schets van de plattegrond van de assembly hall weergegeven (begin februari 2015). Naarmate de vorderingen tijdens het Lean en 5S-gebeuren, verandert de lay-out van de zaal regelmatig. Dat zal verder telkens in een aangepaste schetsweergegeven worden.



Figuur 17: Alu-onderdelen



Figuur 18: Een deel van de alu-onderdelen zijn gemonteerd

De assemblage hall meet ongeveer 20 bij 13 meter. Ze bevindt zich vrij centraal in het bedrijf. Er wordt voorzien om de hal binnen enkele maanden te verhuizen naar een loods aan de andere kant van het gangpad waar meer plaats ter beschikking is voor het uitvoeren van de nodige handelingen.

Er staan momenteel zes controle-JIG'S, zes rotatie-JIG'S en acht werkbanken. Verder staan er nog rekken en andere gereedschappen tegen de muur. De hall is uitgerust met drie persluchtaansluitingen, hoog hangende TI-verlichting en enkele stopcontacten (die zijn minder belangrijk want worden nauwelijks gebruikt). Er werken negen operatoren.

Tijdens de stageperiode werd er een kleine uitbreiding gerealiseerd omwille van plaatsgebrek. De assemblage hall heeft één open kant die uitloopt in het gangpad. Het gangpad is ongeveer 8 meter breed en staat aardig vol met fairings voor de assembly hall

en voor de Quality afdeling. Dat is tussenvoorraad die systematisch naar de samenbouw gaat. De Quality-afdeling ligt iets verderop (20m) van de assembly hall.

In de hall worden verschillende handelingen verricht. Er wordt geschuurd, geboord, geschilderd, geshimd (aanbrengen van een product die een recht vlak creëert om later de aluminium structuren op te monteren. Verder zal dit kortweg shim genoemd worden). Er worden klinknagels aangebracht en onderdelen vastgezet met bouten. Elke handeling vereist aangepast gereedschap. Er is geen afzuiging voorzien (bv. aan het plafond) om het fijne koolstofstof op te zuigen. De meeste gereedschappen zijn persluchttoestellen, waarmee het koolstof deels wordt weggeblazen. De operatoren beschikken er wel over speciale stofzuigers om schuurstof en koolstofstof op te zuigen.

Links staat een grote, lange tafel. Daarop staat een groot rek waarin zich boren, dreamers, reamers, enz. bevinden. Ook cleco's, attachen, mallen en de instructieboeken zijn er op te vinden. Aan de muur hangt een groot bord met de powertools. Iedereen in de hall gebruikt dezelfde powertools. Vooraan links staat een grote stofzuiger om koolstof en schuurstof op te zuigen (niet verplaatsbaar in de hele hall want de machine werkt op 380V en er is maar één aansluiting in de hall).

Achteraan staat een groot rek waar de nodige mallen voor het shimmen zich op bevinden. Meer naar rechts staan twee karren die circuleren om de brackets, seals, topcovers en tailcones te transporteren van het magazijn naar de assembly hall. De consumables kan men rechts terugvinden in de kasten. In de rechterhoek achteraan hangt de blusvoorziening en staat een werkbank.

Ten slotte is er nog de mengmachine, de opvolgborden en de bureau die zich rechts tegen de muur situeren.

Aan iedere rotatie-JIG werkt een operator. In begin februari werkten er zes operatoren, maar hun aantal werd vermeerderd. Men besliste om externen in te huren van een andere firma om het werk sneller te laten verlopen (zie later). De operatoren gebruiken samen het materiaal van vier tooltrolley's.

2 Ontwikkeling

2.1 Lean

Lean Manufacturing is een manier om een proces te verbeteren. Leankancyclus wordt toegepast. Womack & Jones onderscheidend daarbij de volgende vijf stappen:

1. **Identificeer** –per product of productfamilie - **wat de klant belangrijk vindt**.
2. Breng door middel van Value Stream Mapping (VSM) in kaart welke bedrijfsprocessen waarde toevoegen en welke niet. **Elimineer** daarna de volgende acht typen **verliezen**: overproductie, voorraden, fabricagefouten, fabricage-verstoringen, wachttijden, transport, zoeken en last-but-not-least: onbenut talent.
3. **Creëer Flow**: zorg dat materialen en halffabricaten gaan stromen door de fabriek. Stilstand leidt tot tussenvorraden en is dus verspilling!
4. **Creëer Pull**: maak de productievraag gestuurd. Iets maken wat een klant nog niet heeft besteld, is ook verspilling.
5. **Streef naar perfectie**, ga daarom steeds terug naar stap 1.

Bij Lean thinking draait alles om het reduceren van verspilling. Waarde toevoegen betekent alleen dingen doen waar de klant voor wil betalen. Alles wat daar niet onder valt moet zo veel mogelijk worden verwijderd uit de bedrijfsprocessen.

2.2 Kaizen

Kaizen¹ is een continue manier van proces verbeteren. Het komt op hetzelfde neer als Lean Manufacturing, maar met een andere manier van aanpakken. Tijdens de stageperiode werd de methode van Kaizen toegepast in het assemblageproces. DMAIC², ofwel **Define, Measure, Analyse, Improve & Control**.

¹ Zie bijlage I: 2Kaizen

² Zie bijlage I: 3SixSigma

2.2.1 Definiëren (Define)

Er werd gestart met een Kaizen bijeenkomst. Samen met twee operatoren, verschillende ingenieurs en mensen van het magazijn werd de methode DMAIC gevolgd.

De eerste fase van het verbeterproces is 'Definiëren'. In die fase worden alle deelnemers van het evenement gebriefd over wat er zal gebeuren in het Kaizen project. De leider van het Kaizen gebeuren verklaart waar er naartoe gestreefd moet worden. De quad of aims

<i>The Purpose</i>	<i>Customer/Impact</i>
Decrease the number of performed hours with 30%. The current baseline is 65 hours.	Free up capacity to fulfill customer need dates. Increase the rate to 35\$/month. Improve profit margin on A350 assembly.
<i>The Deliverables</i>	<i>The Success Criteria</i>
<ol style="list-style-type: none"> Analyse current situation Work out improvement plan & action plan Start improvements 	Kanban system fully implemented Number of operator hours on fix reduced with 30% Number of operator hours on MOV reduced with 30%

Figuur 19: Doelstelling

wordt voorgedragen.

De doelstellingen van de Kaizen operatie zijn:

- Werkuren op zowel MOV als FIX met 30% naar beneden brengen
- Een volledig geïmplementeerd Kanban systeem

Het is de taak van de leider (een persoon met leidinggevende functie in het bedrijf of soms ook een BlackBelt) om het hele gebeuren in goede banen te leiden. Hij zal er voor zorgen dat er steeds in de juiste richting gewerkt wordt en dat er continu op de doelen wordt gefocust. Medewerkers motiveren is een bijzondere taak van de BlackBelt. Dit blijkt een zeer cruciale factor te zijn voor het slagen van het project.

De input van de operatoren op de werkvloer, die deelnemen aan het Kaizen project, is ook van heel groot belang. Zonder hen is het onmogelijk te weten hoe het proces effectief wordt uitgevoerd. Iemand die iets eigenhandig vervaardigt, weet beter wat er voor de productie nodig is dan iemand die alleen toekijkt hoe iets vervaardigd wordt.

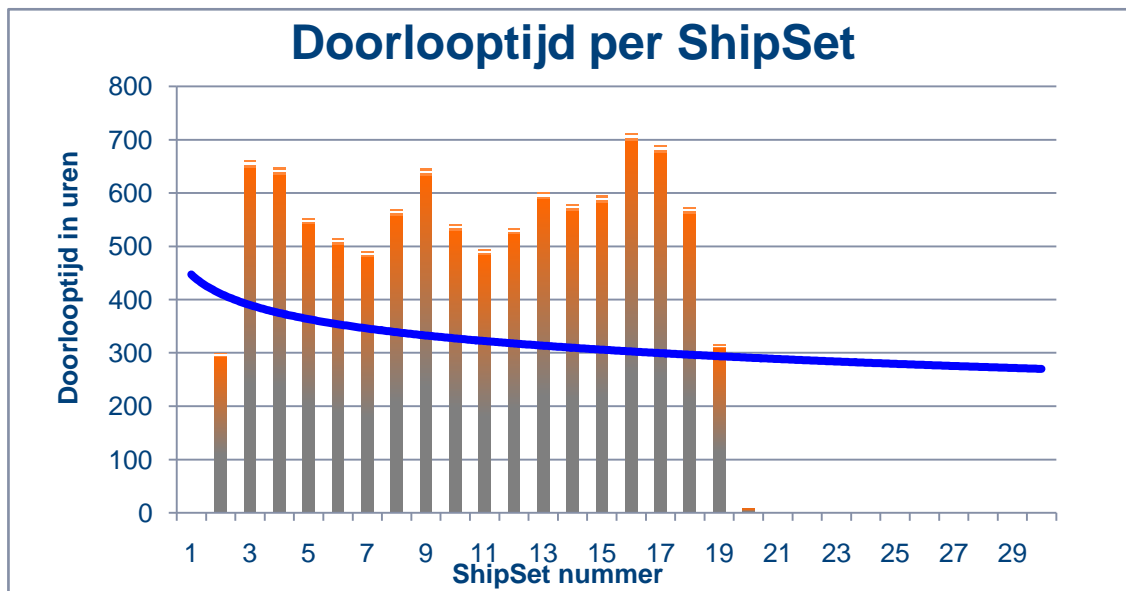
2.2.2 Meten (Measure)

De tweede fase van het Kaizen project is 'Meten'. In deze stap meet men de actuele vorderingsgraad.

Daarna overziet men de huidige stand van zaken. Men bekijkt de feiten op basis van grafieken en tabellen.

- Overeengekomen met de klant:
 - 3ShipSets/maand = 7werkdagen/ShipSet = 56uren/ShipSet
- Actuele cyclustijd (laatste 5 ShipSets: gemiddelde)
 - MOV: 75.9uren/fairing
 - FIX: 46.9uur/fairing
 - Totaal: 122.8uren x 6 (fairings) = 736.8uren/ShipSet (ShipSet 16)
- Doorlooptijd nu: 30dagen (gebaseerd op het clocking programma).

In het begin van het Kaizen gebeuren stond de productie 70 dagen achter op schema.



*Figuur 20: Productie uren per ShipSet naar ordernummer
(blauwe lijn beschrijft een natuurlijk dalende trend bij productie)*

Ondertussen is die achterstand voor een groot deel terug ingehaald.

De doorlooptijd van ShipSet 16 was uitzonderlijk, maar wel reëel. Men kan afleiden uit de grafiek dat het productieproces niet gestabiliseerd is. Dat kan veroorzaakt worden door bv: voorraad tekorten, nieuwe arbeiders (leerprocessen), JIG instabiliteit, beschikbaarheid of onbeschikbaarheid van materiaal, enz. De logaritmische blauwe lijn stelt een natuurlijke daling van de doorlooptijd voor.

Tweede meting: ShipSet 18

(incl. oventijden, opmerking: geen tussentijdse vertragingen)

- MOV2: 95 taken – 50.6 uren
- FIX2: 95 taken – 36.9 uren

Totaal: 87.5 uren x 6 = 525uur/ShipSet

Het grote verschil tussen deze twee tijden is te wijten aan het niet meer moeten uitvoeren van reparaties in de samenbouw omdat verschillende processen die problemen veroorzaakten, na ShipSet 17, opgelost werden.

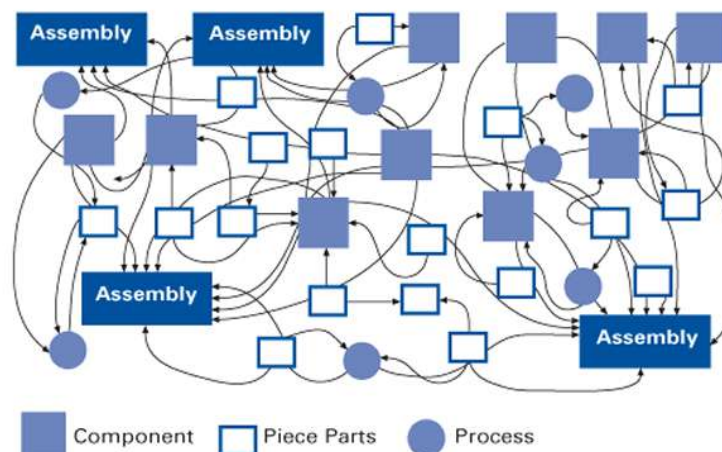
De meest overzichtelijke en accurate methode (en daarom ook meest gebruikte) om een productieproces op te meten wordt gerealiseerd met een VSM (Value Stream Map)³. Alle productiestappen worden met het Kaizen team chronologisch genoteerd op post-it briefjes.



Figuur 21: VSM MOV2 (niet volledig)

Daaronder schrijft men de tijd van iedere productiestap.

Na het opstellen van een VSM kan het soms ook interessant zijn om een spaghetti-diagram op te stellen. Met een spaghetti-diagram kan men de wandelafstand van een bepaalde operator visualiseren. Er wordt gestart met een geschaalde plattegrond op een groot stuk papier te tekenen (dus overeenkomstig met de grootte van de werkplaats en het aantal machines en rekken die per vierkante meter staan). Als de plattegrond op papier staat, wordt samen met de werknemer de lijst met handelingen (**VSM**: Value Stream Mapping) chronologisch overlopen. Bij iedere handeling vertelt de werknemer naar waar hij daarvoor hoeft te lopen. Alle verplaatsingen worden als een lijn op het blad gepend. Zo verkrijgt men een wirwar van lijnen getekend op de plattegrond. Een voorbeeld is hieronder te zien. Een dergelijk spaghetti-diagram werd ook tijdens de stage opgesteld. Men kan er uit besluiten dat de wandelafstand van de operator zeer groot is omwille van de afmetingen van de assembly hall en ook omdat de goederen verspreid liggen over de hele zaal.



Figuur 22: Spaghetti diagram

³Zie bijlage I: 1.5 Value Stream Mapping

2.2.3 Analyseren (Analyse)

Na het opstellen van alle assemblagestappen, vult men de benodigde tijd voordesbetreffende tussenstappen aan. Men maakt daarvan eerst een schatting (zie Tabel 5: VSM FIX2 schatting (deel1) en Tabel 6: VSM FIX2 schatting (deel 2)) om het later te kunnen vergelijken met actuele tijden na een effectieve tijdsmeting (zie tabel 7 op het einde van het vierde hoofdstuk, blz.53).

Nadat bij iedere productiestap de tijden in minuten is bijgeschreven, verdeelt men de stappen onder verschillende categorieën. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen toegevoegde waarde aan het product of verkwisting (waste). De waste is onderverdeeld in zeven (soms acht) typen:

- **Transport:** onnodige verplaatsing van iets, zoals een aanvraag voor een vacature die voor goedkeuring langs meerdere verschillende functionarissen moet.
- **Inventory:** voorraad, (werk wat niet af is), zoals ongelezen e-mails of klantcases in behandeling, of een “pool” met ongebruikte leaseauto’s.
- **Motion:** overbodige beweging, zoals informatie opzoeken of navragen. Bijv. overleggen met je collega hoe ook al weer om te gaan met een bepaalde situatie, omdat dit nergens is vastgelegd.
- **Waiting:** vertraging/wachten, bijvoorbeeld een medewerker die wacht aan de telefoon, of het wachten op verklaring van goed gedrag bij indiensttreding van een medewerker.
- **Overproduction:** meer aanbieden dan nodig, bijvoorbeeld overcapaciteit vanwege pieken in het werkaanbod, of alvast ‘voorwerk’ gaan doen terwijl een aanvraag nog niet compleet is.
- **Overprocessing:** meer doen dan wat de cliënt wil of dingen dubbel doen, zoals zaken buiten de afgesproken standaard dienstverlening oppakken, of dossiers zowel fysiek en elektronisch opslaan.
- **Defects:** fouten, zoals gegevens/mutaties die incorrect of onvolledig worden aangeleverd waardoor het verwerken niet in één keer kan plaatsvinden (zorgt voor herbewerking).
- **Skills:** te weinig gebruik maken van capaciteiten van medewerkers of het delegeren van taken naar medewerkers met onvoldoende opleiding

Iedere productiestap wordt overlopen om na te gaan of het een waste toepassing is of niet. Soms kan het zijn dat een proces niet kan ondergebracht worden bij toegevoegde waarde of bij verspilling, dan wordt het Business Not Value Added (**BNVA**)⁴. Na een analyse in Microsoft Office Excel bekomt men de tabel 1 op de volgende pagina.

⁴Zie bijlage I: 1.5.2BNVA or Business Not Value Added

Tabel 1: Samenvatting VSM FIX2 & MOV2

	Time [Hrs]		%		
	With	Without	Waste	BNVA	VA
Last Set Avg:	46.9				
Fixed Asis	36.9	27.4	53%	9%	38%
Fixed Ton	34.1	24.6	52%	7%	41%
Fixed Team	33.7	24.2	51%	7%	42%
Last Set Avg:	75.9				
Moveable Asis	50.6	45.6	52%	10%	39%
Moveable Ton	45.3	40.0	46%	4%	38%
Moveable Team	44.6	40.0	43%	5%	38%

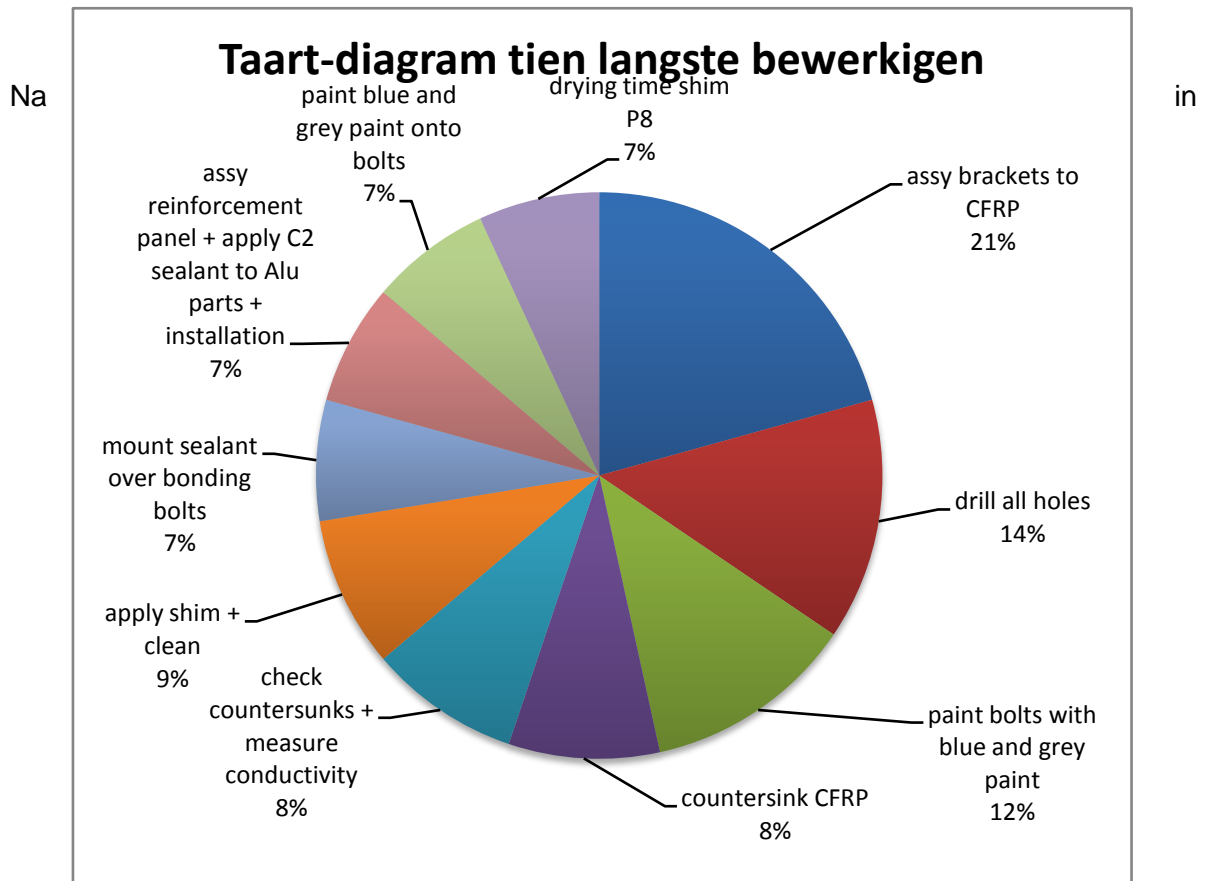
Uit tabel 1 valt af te leiden dat meer dan de helft van de productiehandelingen als Waste kan bestempeld worden. De BNVA bedraagt een klein tiende van de totale assemblagetijd. Dit alles leidt tot de vaststelling dat slechts 40% van de totale acties in het assemblageproces waarde toebrengt aan het product.

In tabel 1 kan men ook zien dat de werkelijke assemblagetijden groter zijn dan eerst gedacht. Dat bevestigt dat routine soms een effect creëert waarbij verkwisting als aanvaardbaar beschouwd wordt. Dat resulteert in een gevaarlijke situatie op de werkvloer nl. tot het accepteren dat iets maar half vooruit gaat.

2.2.3.1 MOV3 fairing

Los van het Kaizen event werd een VSM opgemeten van de MOV3 fairing. In specifiek dat type fairing omdat de assemblage van de MOV3 fairing het grootst aantal onderdelen en werkuren vereist. Het is belangrijk als er later veranderingen optreden om het verschil tussen voor en na te kunnen vergelijken. Er werd geen onderverdeling gemaakt tussen de zeven waste categorieën omdat die gelijklopend zijn als in tabel 5 en 6 (blz. 51 en 52) op het einde van dit hoofdstuk. De VSM van MOV3 fairing is terug te vinden achteraan hoofdstuk vier in tabel 8 (blz. 55).

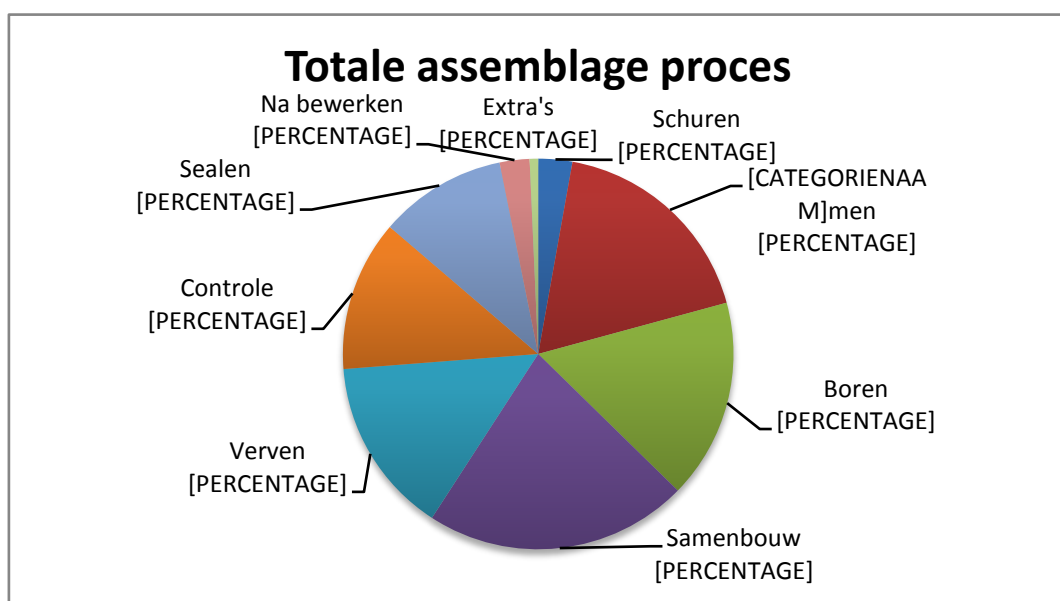
Intabel 9 (blz. 57) achteraan hoofdstuk vier kan men zien dat de bovenste tien bewerkingen tezamen goed zijn voor 51% van de totale assemblagetijd. Dit betekent dat aanpassingen maken in die tien stappen het snelst resultaat zal opleveren. Figuur 23 (blz. 23) stelt een taart-diagram voor van de tien langste bewerkingen. De droogtijd van de shim (7 %) maakt geen deel uit van de werktijd van de operator, maar wel van de doorlooptijd.



Figuur 23: Taart-diagram tien langste bewerkingen

kaart te hebben gebracht waaraan de helft van de assemblagetijd besteed wordt, werd er ook een analyse gemaakt van de bewerkingstappen van de VSM. Ze werden gegroepeerd (te zien in Tabel 10 achteraan hoofdstuk vier op blz. 59) in negen categorieën: schuren, shimmen, boren, samenbouw, verven, controleren, sealen, na bewerken en extra's.

Ook daarvan werd een taart-diagram opgesteld. Zie Figuur 24.



Figuur 24: Taart-diagram totale assemblageproces MOV3 fairing

2.2.4 Verbeteren (Improve)

Men kan al snel zien dat er veel overbodige acties plaatsvinden in het assemblageproces. Met de informatie uit de VSM kan men een voorstelling maken waar de grootste tijdsverliezen zich situeren. Op die punten zal eerst ingegrepen worden omdat verbeteringen op die punten het meeste winst zullen opleveren. Vooraleer effectief actie ondernomen wordt, gaan de betrokkenen samenzitten voor een brainstormsessie. Verschillende verbeterpunten worden door elke deelnemer opgeschreven op een groot bord. Er wordt niet gediscuteerd over de ideeën, alle inbreng kan nuttig zijn. Hieronder worden de ideeën opgesomd:

- Een werkcel-systeem om verplaatsingen en transport in het algemeen te reduceren (de meeste goederen liggen in handbereik).
- Aan de werkcel toegewezen rotatie JIG's.
- Aan iedere werkcel toegewezen controle JIG.
- Elektriciteit, vacuüm-/luchtleidingen, netwerkaansluitingen bovenaan iedere de werkcel.
- Kanban fasteners.
- Een voorraad stock van de parts of aluminium onderdelen.
- Aan de werkcel toegewezen handtools of gereedschappen en meetapparatuur (momentsleutels).
- Toegewezen gereedschapskasten (handtools).
- De drills in een Kanban systeem.
- Werktafel/werkbankper werkcel.
- Consumables in Kanban kast(sealants, paint, tape, MEK, Isopropanol, etc.).
- Vuilnisemmer voor elke werkcel.
- Laatste versie werkinstructies en Quality-documenten beschikbaar aan iedere werkcel.
- Klok om werkuren en Quality-registratie te klokken.
- Shim mallenvoor MOV/FIX fairings.
- Schoonmaak materiaal (borstel, vuilblik, enz.).
- Lokaal verwarmingssysteem of oven om sealant en verven sneller te harden.
- Frigo om gemengde consumables (harsen, verven, enz.) langer te kunnen bewaren.
- Aanpasbare verlichting.
- Foolproof systeem bij het invullen van het parts papierwerk (computer).
- Visueel overzicht van de productievoortgang (op scherm?).
- Kolomboor (gaten ruimen + verf verwijderen parts).
- Afzonderlijke werkkracht die controle JIG's aanpast (L-R) + spring-back gereedschap incl. apparaat.

Om enkele van voorgaande ideeën te realiseren is er een ontwerp nodig van een werkcel. Er wordt dan ook geconcludeerd dat er een werkcel dient ontworpen te worden op basis van bestaande attributen van werktuig catalogi. De werkcel zal een werkbank, verticale gereedschapswand, tooltrolley en twee Kanban rekken (fasteners en parts) bevatten. Later wordt hier nog een systeem voorzien om bakjes voor consumables aan te hangen. Het is de bedoeling om te starten met één werkcel, die te optimaliseren en ze dan later in zesvoud te kopiëren om ieder type fairing telkens in een aparte werkcel te kunnen assembleren.

Er wordt beslist om een model werkcel te ontwerpen voor de assemblage van de MOV3 fairing. Omdat, zoals eerder vermeld, de assemblage van deze fairing het grootst aantal onderdelen en werkuren vereist.

2.2.4.1 Gereedschapslijst

Een werkcel op maat ontwerpen vergt enig voorbereidend werk. Het is nodig om correct te weten welke gereedschappen, welke fasteners en welke consumables de operator gebruikt. Er werd begonnen met een bestaande, maar onvolledige lijst van de power- en handtools. De lijst werd overlopen op de werkvloer met verschillende operatoren en ingenieurs. Attributen die ontbraken werden aangevuld, dubbele werden naar enkelvoud gebracht en overbodige gereedschappen werden gewist. Later wordt ze aangevuld met de consumables en drills. Dat zijn alle gereedschappen die nodig zijn per werkcel (behalve de power tools, enkele zullen gemeenschappelijk gesteld worden in de assembly hall omdat ze volgens een tijdstudie niet frequent genoeg gebruikt worden om ze ter beschikking te stellen voor iedere operator. Ze zullen wel in tweevoud beschikbaar zijn). De gereedschapslijst is terug te vinden in Bijlage II.

2.2.4.2 Kanban fasteners

Vervolgens wordt er een nieuw Kanban systeem ontworpen voor de fasteners Het vorige systeem (Figuur 25) dat gehanteerd werd, werkte niet naar behoren. Het systeem was niet voldoende eenduidig om een volwaardig Two-Bin systeem te zijn. Er werden steeds fasteners uit de reserve voorraad genomen en er werd te slordig omgegaan met het sorteren van de fasteners.

Om een nieuw Kanban systeem te realiseren, is het verbruiksvolume vereist per fairing van elke fastener. Die informatie werd verkregen uit tabellen bij SABCA Limburg. Aan de hand van het volume van de grootste hoeveelheid werd een gepast kunststof bakje aangekocht om een Two-Bin⁵ systeem op te stellen. Ook werd er geïnformeerd naar de breedte van de rekken en de beschikbare bakjes om die twee in een ordelijke manier te combineren. De bakjes werden voor- en achteraan gelabeld met het type fastener. Achteraan het bakje zorgt het label voor de nuttige informatie t.b.v. de magazijnier die de bakjes dient op te halen, te vullen en terug te plaatsen. Meer bepaald: een foto van de fastener, het nummer van de plaats in het Kanban rek, het SAP-nummer, het typenummer, het aantal en het gewicht van dat aantal. Vooraan het bakje geeft een label het typenummer en het SAP-nummer weer, zodat de operator zonder moeite de juiste fastener vindt.



Figuur 25: Oude Kanban fasteners

De laden in de rekken worden schuin opgesteld. Als een leeg bakje uit het rek genomen wordt, schuift het tweede bakje van het Two-Bin systeem naar beneden met nieuwe goederen. De operator plaatst het lege bakje op een kar die de magazijnier (genaamd vlinder) iedere dag komt ophalen en aanvult. In tussentijd werkt de operator verder met het tweede bakje uit de Kanban. Op die manier wordt het assemblage proces niet gehinderd door vertraging omwille van tekorten van onderdelen. Het rek wordt voorzien van labels zodat ieder bakje een toegewezen plaats heeft in het rek.

⁵ Zie Bijlage I: 5.2 Two-bin



Figuur 26: Kanban fasteners vooraan



Figuur 27: Kanban fasteners achteraan

2.2.4.3 Kanban parts

Ook de parts dienen in een Two-Bin systeem aangevoerd te worden. In het huidige systeem worden de parts naar de assembly hall gebracht met behulp van een kar. Soms zitten de onderdelen nog in hun verpakking. Ook de tailcone (kunststof), het shearpanel (groot paneel), de seals en de aluminium strips (die niet in de kunststof bak kunnen) om de seals aan te bevestigen, werden op de kar gepositioneerd.



Figuur 28: Oude transportkaren met parts



Figuur 29: Oude Kanban bak parts

Vooraleer er een definitief besluit kangenomen worden, moet er eerst onderzoek verricht worden naar de verschillende fasen van het monteren van de onderdelen. De onderdelen worden in twee fasen geassembleerd. De eerste fase betreft de onderdelen die op de composiet schelp gemonteerd worden, en de tweede fase zijn de onderdelen die op de voorheen geplaatste aluminium onderdelen geplaatst worden. Het Two-Bin systeem wordt zo ontworpen dat de operatoren die volgorde kunnen blijven hanteren. Alle Alu-Composiet onderdelen en alle Alu-Alu onderdelen gaan in aparte bakken (één bak Alu-Comp. en één bak Alu-Alu). De beschikbare bakken in de catalogi werden overlopen om een passende opstelling te kunnen maken in de rekken.

Om een duidelijk en - in één oogopslag zichtbaar - overzicht te hebben van de volledigheid van de set zal er gewerkt worden met een schuimvorm waarin de vormen van de onderdelen uitgesneden zijn. Op de bodem van de bak wordt nog een schuimplaat gelegd om de onderdelen te beschermen tegen krassen. In iedere uitsnede wordt ook het partnummer gekleefd om een wederkerige bevestiging te krijgen en controle te kunnen uitvoeren bij het plaatsen van het onderdeel.

Het reinforcement panel wordt aan de zijkant van het rek gehangen aan een haak, omhuld met tape, die beschermt tegen krassen op het paneel. Bovenop het rek komt de top cover, het laatste component dat vermeld moest worden om de benoeming van de assembly onderdelen compleet te maken. Daaronder worden de seals en de strips gelegd, die in tweevoud naast mekaar komen in grote buizen. De tailcones plaatst men naast de seals. Om het Kanban-systeem van de seals en strips te verwezenlijken werd een systeem bedacht met kaarten voor en achter de buis. Door de kaart naar beneden te laten duidt men aan dat de buis gevuld is. Als de kaart bovenop de buis geplaatst wordt, dan ziet men dat de buis leeg is. De tailcones worden in tweevoud achter mekaar geplaatst. Op de twee onderste laden worden de bakken met de Alu-Comp. en Alu-Alu parts geplaatst. Dat alles wordt zoals eerder vermeld in een Two-Bin systeem uitgevoerd analoog als bij de fasteners. Als er een bak uitgenomen wordt, schuift de tweede naar beneden. De eerste bak wordt gevuld door de vlinder wanneer die leeg is. Aan de zijkant van het rek wordt een mapje gehangen waar het volgblad van de parts in terecht zal komen.

De rekken en bakken worden opnieuw voorzien van labels zodat ieder onderdeel een toegewezen plaats heeft in het rek.

Het uiteindelijke ontwerp is zichtbaar op Figuur 35: Kanban rek parts



Figuur 30: Alu-Comp. onderdelen (fase 1)



Figuur 31: Alu-Alu onderdelen (fase 2)



Figuur 32: Top cover



Figuur 33: Tailcone



Figuur 34: Eén van de drie seals van de MOV3 fairing



Figuur 35: Kanban rek parts



Figuur 36: Reinforcement panels aan het Kanban rek

2.2.4.4 Kanban consumables

De rest van de gebruiksgoederen ofwel de consumables moeten ook in een Kanban systeem georganiseerd worden. Net zoals bij de gereedschappen werd een lijst opgesteld welke goederen er effectief gebruikt worden bij de assemblage. Er was al een lijst beschikbaar, maar die was niet volledig en bevatte ook goederen van de G650 afdeling. Er werd een afzonderlijke lijst opgesteld voor de A350 afdeling.

Daarna werd de grootte van elk gebruiksgoed bepaald om later aangepaste Kanban bakjes te kunnen voorzien. Ook de gebruikshoeveelheid is hier opnieuw van belang. Deze parameter werd niet opgemeten, maar wel bepaald aan de hand van het gemiddeld verbruik per week. De consumables zijn goederen die niet vervallen of goederen die voor langere tijd gestockeerd kunnen worden. Het is dus een goed idee om steeds een grotere hoeveelheid goederen dan nodig op stock te hebben.

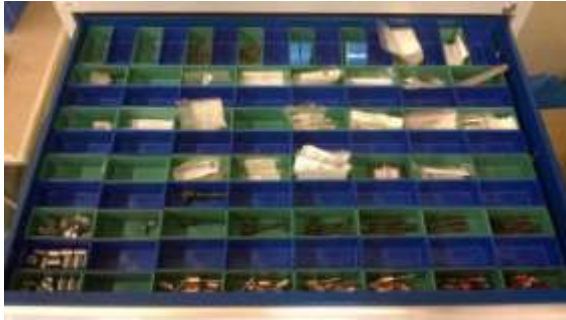


Figuur 37: Ladekast Kanban consumables

Na de voorgaande informatie verzameld te hebben, werd gezocht naar een gepaste kast om een Two-Bin systeem te organiseren. Nu werd er geopteerd voor een kast in plaats van een rek omdat er dikwijls gebruiksgoederen verdwijnen. Een kast kan gesloten worden, dat maakt een controlesysteem mogelijk van het gebruik. Er werd gekozen voor een ladekast met zes laden (twee met 100 mm hoogte, twee met 150 mm hoogte en twee met 200 mm hoogte). Met de binnen afmetingen van de ladekast gekend, werden er bakjes op maat besteld in twee kleuren: groen en blauw. De groene dienen voor grijpvoorraad, de blauwe voor stock. De operator dient telkens zijn benodigde goederen uit het groene bakje te nemen. Indien dat bakje leeg is, vult hij het bij met de goederen uit het blauwe, en zet het blauwe bakje dan op de transportkar voor de vlinder.

Wegens tijdsgebrek werden voor de bakjes nog geen labels ontworpen. Dat is een must in de toekomst omdat het bevoorradingsstelsel anders niet kan werken.

Op onderstaande foto's is de ladenindeling te zien. In de bovenste lade liggen de kleinste attributen (pilotjes, schuurborsteltjes, bits, enz.). In de tweede lade zijn de drills (reamers,reamers, boren, enz.) te vinden. In de derde lade worden schilderborstels, schuurpapiertjes, mesjes, enz. gestockeerd. In de vierde lade vindt men plakband, kurkjes, mondmasker filters en dergelijke. De onderste twee laden bevatten de grootste goederen zoals handschoenen, spatels, enkele vervangstukken, grote schuurvellen, enz. Er werd gezorgd voor een logische indeling van de laden zodat goederen gemakkelijk terug te vinden zijn. De handvaten om de laden te openen zijn voorzien van een papier waarop later een plaatsnummer kan komen om elk bakje een toegewezen plaats te geven, net zoals bij de Kanban rekken.



Figuur 41: Kanban consumables bovenste lade



Figuur 39: Kanban consumables tweede lade



Figuur 42: Kanban consumables derde lade



Figuur 40: Kanban consumables vierde lade



Figuur 38: Kanban consumables vijfde lade



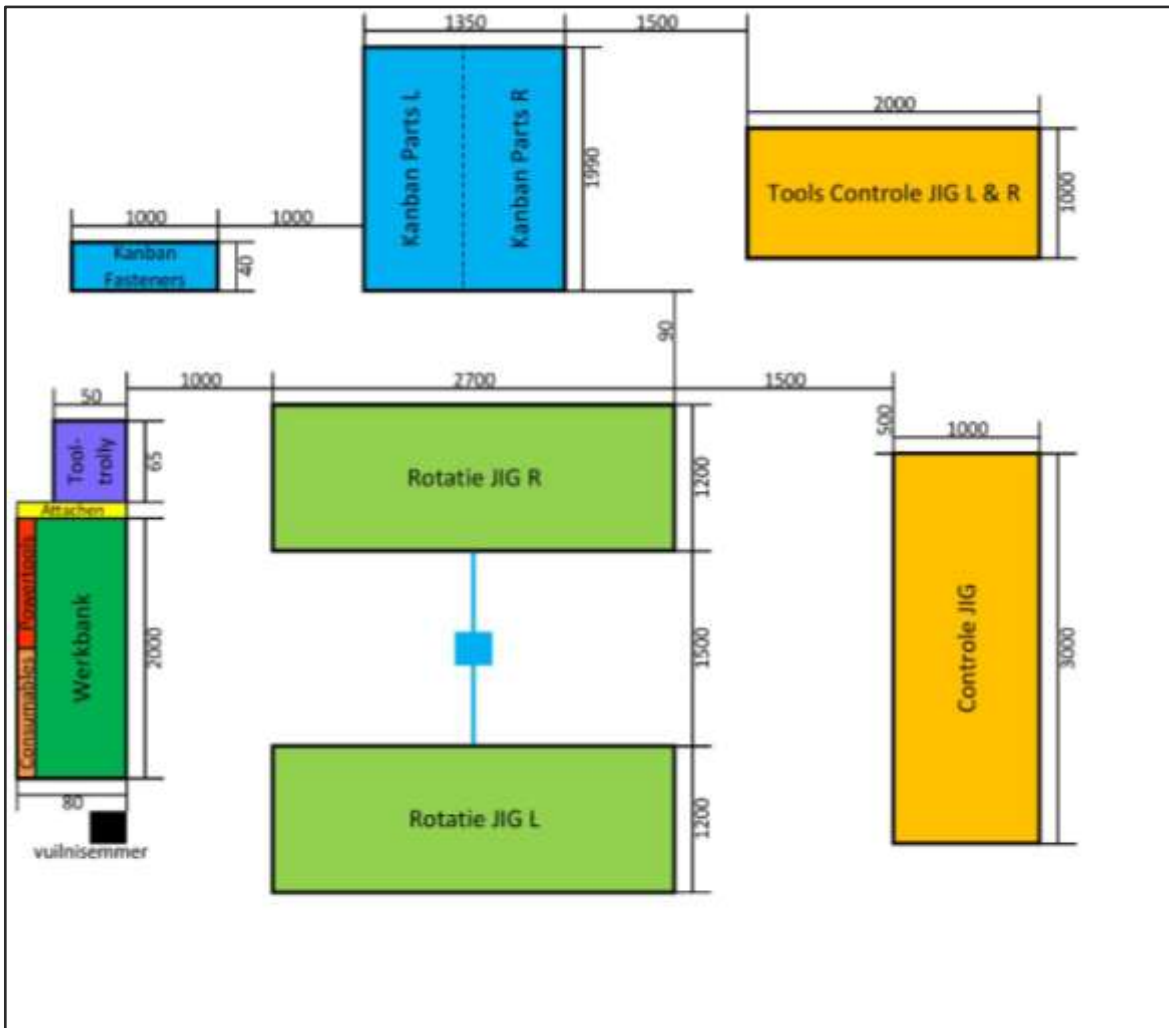
Figuur 43: Kanban consumables onderste lade

2.2.4.5 Werkcel lay-out

Nu de Kanban Two-Bin systemen gerealiseerd zijn, kan men het ontwerp van de werkcel bepalen. Hierbij is het de bedoeling dat de onderdelen van de werkcel (werkbank, Tooltrolley, vuilnisemmer, Kanban fasteners, Kanban parts, rotatie JIG's, controle JIG en mallen voor de controle JIG) in een logische volgorde opgesteld worden. De Kanban onderdelen moeten binnen handbereik staan. Ook kan er rekening gehouden worden met rechts – of linkshandig zijn van de operator. De werkcel, die gedemonstreerd wordt in Figuur 44 (blz.31), is een voorbeeld voor rechtshandigen. Bij een linkshandige cel wordt de tooltrolley, Kanban fasteners, Kanban parts en de tools voor de controle JIG van boven naar onder verplaatst. Men maakt als het ware een spiegelbeeld. Echter zal er enkel gewerkt worden met het rechtshandig model.

De werkcel heeft een werkbank met daaraan een verticale wand. Rechts aan de verticale wand worden enkele powertools gehangen die regelmatig gebruikt worden. Die werktuigen kan men terugvinden in de gereedschapslijst (Bijlage II). Aan de linkerkant van de verticale wand worden enkele consumables gehangen die frequent gebruikt worden (Figuur 47, blz 32). In een optimaal gebruik van de werkcel kan de vlinder de consumables in de werkcel aanvullen.

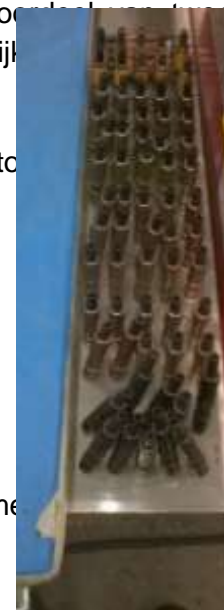
Figuur 44: Lay-out werkcel



De werkcel telt twee rotatie JIG's. Vroeger was dat maar één. Het voordeel van twee rotatie JIG's is dat als de ene fairing moet drogen (na shim operaties), de operator kan verder werken aan de andere. Twee rotatie JIG's per werkcel verkleint ook de oppervlakte van de opstelling, er zijn geen twaalf werkcellen nodig. Een derde voordeel van twee rotatie JIG's in één werkcel is dat het werken in een ploegsysteem mogelijk is. Op die manier verkort de doorlooptijd van het assemblage proces.

De tooltrolley kan opgeborgen worden onder de werkbank. Als de operator de werkcel haalt hij de tooltrolley van onder de werkbank, opent het slot en plaats de bak met parts uit het rek op de tooltrolley. Door de bak met parts op de tooltrolley te plaatsen wint men plaats op de werkbank (waar men vroeger de onderdelen op uitstalde). Aan de andere kant van de werkbank is een vuilnisemmer opgesteld.

Aan de rechter kant van de werkbank wordt een plaat bevestigd met gaten van verschillende diameters. In de gaten komen... Zie Figuur 45.



Figuur 45: Attachen bevestigd aan werkbank

Onder de werkbank is een stopcontact voorzien. De werkcel wordt in optimale omstandigheden en indien de infrastructuur het toelaat, voorzien van een afzuiginstallatie (aan het plafond) en een perslucht aansluiting (in lichtblauw weergegeven). Boven de werkbank wordt extra verlichting voorzien naast die van de zaal zelf.

Ook de mallen om de Controle JIG om te bouwen (van links naar rechts en omgekeerd) worden in de werkcel op een rek gestockeerd.

De werkcel meet 8,5 m bij 7,5 m.



Figuur 46: Proefopstelling werkcel (vlinderkar zichtbaar onder het Kanban rek)



Figuur 47: Consumables in de werkcel

De toekomstgerichte assemblagehal is te zien in Figuur 48, blz. 33. De totale grootte van de zaalindeling meet 25,3 m bij 31,5 m. Er zijn zes werkcellen in opgesteld (voor ieder type één cel, waar er al dan niet een linkse en een rechtse versie in worden geassembleerd).

De lichtblauwe vakken stellen een voorraadsysteem voor. Zoals de eerder vernoemde Kanban-systemen in de werkcellen, wachtzone en Kanban consumables (onderaan), de lichtgroene een rotatie JIG. De controle JIG's worden in donkergeel voorgesteld alsook de matten om ze in te stellen. De werkbanken worden in het donkergroen gemarkeerd. Powertools zijn gedemonstreerd in rood en de Consumables in lichtbruin. Onderaan wordt het mengtoestel afgebeeld in het geel, stofzuiger in het donkergrijs en andere gereedschappen (kuisgerei, vodden, momentsleutels,...) in het lichtgrijs.

De lichtblauwe en lichtgele zones stellen gangpaden voor. De lichtblauwe voor de zone waar de vlinder de nieuwe goederen in de Kanban rekken plaatst (lichtblauwe, kromme pijlen), de lichtgele zone om te manoeuvreren met de fairings in de rotatie JIG's. De donkerblauwe pijlen stellen de bewegingszin voor van de rotatieframes. De groene, kromme pijlen stellen de afgewerkte fairings voor die uit de controle JIG's komen.

Links (figuur 48) in het lichtblauw wordt de wachtzone voorgesteld van de assemblage(zie 6.1 Pull-productie). Links onderaan wordt een werkbank en twee rotatie JIG's voorgesteld. In die cel wordt enkel schilderwerk verricht zodat de operator in de cel verder kan assembleren en zich niet hoeft bezig te houden met schilderen. Ook de verf wordt gemengd door de schilders.

Rechts onderaan kan een kolomboor opgesteld worden met afzuiging. Die dient om de verf op bepaalde plaatsen van de parts te verwijderen om geleiding mogelijk te maken. Rechts daarvan wordt een ijskast geplaatst om sealant en verver langer te kunnen bewaren.

Als laatste item in de nieuwe assemblagehal is een bureel en een volgbord voorgesteld in het oranje. Het bureel wordt voorzien van een telefoon en een computer. De wachtzone staat dicht bij het bureel zodat er steeds een goed en snel overzicht bestaat op de productievoortgang. In het bureel bevindt zich de 'piloot'. Hij coördineert de assemblagehal en zorgt dat de operatoren steeds kunnen verder werken aan de fairing zonder dat er materiaaltekort optreedt. Hij maakt sealant op voorhand (zodat de operatoren dat niet meer hoeven te doen) en zet de potjes in de ijskast. Verder transporteert hij de geassembleerde fairings naar de Quality afdeling voor controle en naar de paint booth om ze hun top verflaag te geven. Verder houdt hij in het oog dat de voorraden correct aangevuld blijven. Ook het papierwerk is een onderdeel van zijn taak.

In geval van ziekte van een operator kan men beroep doen op het twee-ploegensysteem. Indien dat geen oplossing biedt, is dat niet zo erg omdat er een gemiddelde ziekteperiode verrekend werd in de capaciteit van de productie.

2.2.4.7 Pull-systeem

De visie van de productie wordt veranderd van push naar pull⁶. Bij een pull systeem is iedere afdeling in het productieproces klant en/of leverancier van de volgende of voorgaande afdeling. De klant bepaalt dus wanneer er geproduceerd zal worden. Dat noemt men een pull-signaal. In de assemblagehall wordt dat verwezenlijkt met het wachtzone-systeem. Als er een leeg vak ontstaat in de wachtzone zal de piloot op de werkvloer van de assemblage een signaal geven naar de voorgaande afdeling om een fairing te plaatsen in de wachtzone. De productie wordt dus gepulld vanuit de assemblage.

Er werden tijdens de stageperiode wachtzones gecreëerd bij de TrimJobs (in de nieuwe loods waar binnenkort de nieuwe trimmachine wordt geplaatst), bij de assemblage A350 XWB-afdeling en bij de Quality-afdeling. Ook bij de Paint booth werden de mogelijkheden onderzocht voor een wachtzone, maar daar was helaas niet voldoende ruimte beschikbaar. Er werd afgesproken dat de fairings worden gepusht naar de Paint booth i.p.v. ze te pullen. Van zodra er tijd is zal men de fairings behandelen in de Paint booth.



Figuur 49: Wachtzone TrimJobs nieuwe loods (3 fairings per vak)



Figuur 50: Wachtzone assemblagehal A350 XWB



⁶ Zie Bijlage I: 6Productiesystemen

Figuur 51: Wachzone Quality-afdeling

2.2.5 Controleren (Control)

De laatste stap in het Kaizen proces is 'Controleren' (DMAIC). Nu worden de verbeteringen terug opgemeten om de verschillen af te wegen tegen de voorgaande meting. Er zal opnieuw een VSM ingevuld worden. Omdat de werkcel nog niet operationeel is, zal er een theoretische benadering gemaakt worden van de VSM. Tabel 2 beschrijft de bewerkingen waar er een tijdswinst gemaakt wordt en hoeveel die tijdswinst bedraagt.

Tabel 2: Theoretische tijdswinst assemblage MOV3 fairing

Nr	Bewerking	Tijd voor (min)	Tijd na (min)	Opmerking
1	Get metal parts/metalen onderdelen halen	5	1	Kanban parts
2	Transport to oven/transporteren naar oven	2x10	0	Taak piloot
4	Afstellen springback controle JIG	30	10	JIG wordt op voorhand afgesteld
6	Bouten zoeken	90	2	Kanban fasteners
7	Sealant mixen	50	2	Frigo assemblagehal + taak piloot
9	Torque bouten controleren	15	0	Twee rotatie JIG's
10	Verf mengen	10	0	Schilderhoek in assemblagehal
11	Bouten schilderen met blauw en grijze verf	210	5	(verplaatsing) naar schilderhoek
12	Geleiding en verzinkingen controleren	40	0	Twee rotatie JIG's
13	Torque bouten controleren	10	0	Twee rotatie JIG's
14	Verf mengen	5	0	Schilderhoek
15	Primer aanbrengen op randen en topcover	60	5	(verplaatsing) naar schilderhoek
16	Transport naar oven	10	0	Schilderhoek
17	Fairing terug halen van oven	10	0	Schilderhoek
18	Blauwe en grijze verf mengen	10	0	Schilderhoek
19	Bouten met blauwe en grijze verf schilderen	120	0	Schilderhoek
20	Transport naar paint booth	5	0	Schilderhoek
21	Verf toplaag mengen	5	0	Schilderhoek
22	Transport van paint booth	5	0	Schilderhoek
23	Verf toplaag aanbrengen op de randen	20	0	Schilderhoek
24	Mallen controle JIG opstellen	8	0	JIG wordt op voorhand ingesteld
27	Verplaatsen naar weegschaal	5	0	Taak piloot
28	Wegen	1	0	Taak piloot
29	Op schilderkar plaatsen	10	0	Taak piloot
30	Papierwerk	5	0	Taak piloot
31	Transport naar paint booth	5	0	Taak piloot
	Totaal	764	25	12,4 uur

Uit tabel 2 kan men zien dat er een theoretische tijdswinst in de doorlooptijd bekomen wordt van 12,4 uren. Dat is 21,7% minder dan het totaal op dit ogenblik (57,2 uren). Vooral de schilderhoek is een groot voordeel (9,5 uren tijdswinst). De operatoren kunnen verder werken aan de andere fairing in hun werkcel terwijl de fairing geschilderd wordt in de schilderhoek.

2.3 5S

5S⁷ is een Japans gegeven die in het algemeen staat voor opruimen. De '5' duidt op vijf woorden die beginnen met een 'S'. In dit onderdeel van het eindwerk zullen er enkele verbeteringen aangehaald worden die niet onder Kaizen vermeld kunnen worden.

2.3.1 Vergaderingen

In vergaderingen tijdens de stage werden verschillende verbeterpunten besproken. Hieronder worden enkele punten aangehaald.

2.3.1.1 Boormal FIX

Tijdens het assemblageproces moeten de operatoren drie extra gaten boren langs de rand van de fairing. Dat gebeurt met een boormal. Men plaatst de mal op de fairing waarbij men kan boren door 3 nauwkeurig bepaalde gaten. Dat proces vergt twee operatoren. Eén om de mal vast te houden en één om te boren. De totale tijd van die actie is ongeveer 7 minuten.

Als men even een rekening maakt:

7 minuten x 2 operatoren = 14 minuten

14 minuten x 6 fairings per ShipSet = 84 minuten

±3 ShipSets per maand (18 fairings in totaal) =>252 minuten (of 4,2 uren)/maand

1 operator kost het bedrijf 35 euro per uur x 4,2 uren = **147 euro/maand**

Die betrekkelijk simpele actie brengt een grote kost met zich mee. Het zou interessant zijn om die boorbewerking in de trimmachine (TrimJobs) te integreren.



Figuur 52: FIX fairing aanduiding de te boren gaten

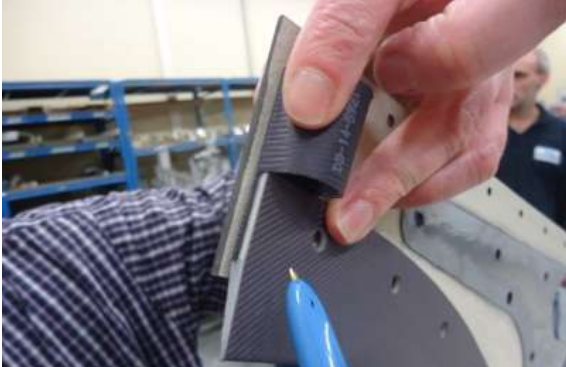


Figuur 53: Desbetreffende mal FIX fairing

⁷ Zie Bijlage I: 4Kwaliteitsmethode 5S

2.3.1.2 Seals FIX

Een volgende opmerking is dat er in de seals van de FIX fairings vier gaten te weinig geboord zijn. Ook hier een analoog scenario van de kostprijs als bij de boormallen, zie 2.3.1.1 Boormal FIX. Om dit op te lossen moet men zich wenden naar SABCA Brussel die de parts levert van de fairings.



Figuur 54: Linkerkant FIX fairing waar boring tekort



Figuur 55: Rechterkant FIX fairing waar boring tekort

2.3.1.3 Versoepeling RDR

Om herstellingen te kunnen uitvoeren moet SABCA Limburg communiceren met SABCA Brussel. Daar komt geregeld vertraging tussen (tot weken). Voor SABCA Limburg kan dat een probleem vormen om op tijd te leveren.

Tijdens een vergadering werd de RDR-procedure aangehaald en uitvoerig bediscuteerd. Verschillende meningen kwamen aan bod, maar uiteindelijk werd een globaal akkoord bereikt. Indien het gaat over een kleine herstelling (laagje verf, opschuren, enz.) zal er een interne RDR-procedure gestart worden, zonder SABCA Brussel er bij te betrekken. Die methode zal de doorlooptijd naar beneden brengen voor sommige fairings.

Er wordt een lijst opgesteld van de mogelijk uitvoerbare taken met een oplossingsmethode.

2.3.1.4 Parts

De parts worden aangekocht van een extern bedrijf door SABCA Brussel. Daar worden de volgnummers aangebracht vooraleer men de onderdelen naar SABCA Limburg stuurt. De parts komen toe in een grote kist (1 m bij 2 m) allemaal door mekaar. Het is de bedoeling dat de onderdelen in sets toekomen (bv. MOV3L, FIX4R, enz.), maar af en toe kan het zijn dat een of enkele onderdelen ontbreken. Dan moet dat gemeld worden aan SABCA Brussel en zit daar terug enkele dagen vertraging op. Het zou beter zijn moesten de onderdelen rechtstreeks bij SABCA Limburg toekomen van het extern bedrijf. Dat zou het gelobby en de meeste vertragingen wegwerken. Tenzij SABCA Brussel de onderdelen correct kan leveren zonder tekorten. Dan vergt het administratief gezien minder werk om de levering verder door SABCA Brussel te laten uitvoeren.

2.3.1.5 Massapunten

Tijdens het vliegen ontstaan er vaak elektrische ladingen die zich opstapelen op de wand van het vliegtuig. Ook bij de fairings is dat het geval. Voorheen werd al gesproken over het koperen gaas dat wordt aangebracht in de Cleanroom. Ook tijdens de assemblage wordt er op verschillende punten van de aluminium onderdelen getest op geleiding. Tijdens het assembleren moet de operator op aangeduide oppervlakten verf verwijderen zodat twee die tegen mekaar worden gemonteerd contact zouden maken. De tijd om alle nodige oppervlakten van de onderdelen van een MOV3 fairing vrij van verf te maken bedraagt 35 minuten. Die bewerking zou men kunnen vermijden indien de onderdelen zouden toekomen in een staat dat onmiddellijke montage mogelijk maakt. Ook ontbramen is een soortgelijk voorval die een reductie in werktijd van 20 minuten zou kunnen opleveren.

2.3.2 TrimJobs

2.3.2.1 Pneumatische steun

Vooraleer de fairings geassembleerd worden plaatst men ze op een mal in de trimmachine (de machine draagt de naam JOBS, vandaar TrimJobs). De machine opereert volautomatisch bij het frezen van de kijkgaten, contouren en boren van de boringen. Ook in die sequentie wordt het proces uitgevoerd.

De mal bestaat uit een stalen kader met op bepaalde plaatsen geïnstalleerde zuigers (groene cirkel op Figuur 56). Voordat de machine begint te trimmen wordt de kraan van de vacuümleiding opengedraaid zodat de fairing tegen de zuigers wordt gezogen. De zuigers worden op die bepaalde punten geplaatst zodat de mal universeel wordt voor linkse en rechtste fairings. Aan de contouren van de fairing worden plaatjes gelamineerd (met een gat in). In dat gat wordt een bout gedraaid tijdens het trimproces om de contouren vast te houden tijdens het frezen van de kijkgaten.



Figuur 56: Fairing (MOV) op de mal in de trimmachine

Als laatste worden de boringen uitgevoerd. Dat zijn er meer dan 100 per fairing. De meeste boringen bevinden zich langs de rand van de fairing. Daar doet zich meestal het probleem voordat de boor van de machine dikwijls niet volledig doorheen de composiet gaat. De boringen zijn zeer precies gepositioneerd, dat is cruciaal voor het assemblageproces. De gaten worden niet onmiddellijk op de nominale diameter geboord omdat er zich regelmatig fiberbreak-out voordoet. Dat zijn koolstofvezels die worden losgetrokken uit het epoxy. Indien er zich fiber break-out voordoet in een kleine boring kan die later geruimd worden met de hand, wat veel minder kans heeft op fiber break-out.

Echter als er geen gat is, kan er ook niet geruimd worden op een precieze plaats. Bij nadere inspectie zag men dat de fairing gemakkelijk doorbuigt op bepaalde plaatsten. Dat komt omdat de stijfheid van de koolstofvezelschelp daalt doordat er eerst kijkgaten in gefreesd worden en ook omdat de plaatjes aan de randen voor de boring worden afgesneden.



Figuur 57: Onvoltooide boringen MOV fairing

Een mogelijke oplossing zou zijn om een zuiger te plaatsen achter het kijkgat. De zuiger moet uit- en inschuiven tot een vooraf ingestelde waarde door middel van de vacuüm zuigkracht. Op die manier wordt de mal terug universeel voor linkse en rechtse fairings. Of het kan ook simpeler door een vaste zuiger op de mal te bevestigen. Dit vergt een minuut om de steun te bevestigen, wat nog altijd minder is dan de gewonnen tijd uit het assemblageproces. Dan rest enkel nog de sequentie van het trimproces aan te passen: eerst de boringen, dan de contouren en finaal de kijkgaten.

Het uitwerken van een dergelijke oplossing vergt een onderzoek en mogelijkheid tot uitvoeren en testen. Gezien de tijdslimieten en het zich niet in de assemblagehal bevinden van het probleem zal er hier niet verder op het probleem in gegaan worden. Het probleem doet zich regelmatig voor, maar men kan er een oplossing voor vinden in de assemblagehal. Het zou enkel interessant zijn om het probleem weg te werken om tijd te besparen tijdens de assemblage.

2.3.3 All-in-one boor

Er bestaan elektrische boor- en vijsmachines die verschillende bewerkingen in één beweging kunnen uitvoeren. Dergelijke boormachine kan bijvoorbeeld boren en verzinken in één beweging op het juiste toerental om fiber break-out te vermijden. Dat zou 120 minuten bewerkingstijd kunnen reduceren (150 minuten – 30 minuten, kleine marge voor eventuele plaatsing van de opstelling of fout bij het boren of verzinken) per fairing. In euro uitgedrukt betekent dat een besparing van 2520 euro/maand (enkel voor de MOV fairingsen aangenomen dat er 3 ShipSets/maand worden geleverd).

Met hetzelfde toestel kan men ook bouten indraaien en aanspannen op een vooraf ingestelde torque-waarde. Dat zorgt er voor dat de tijd om de bouten te controleren drastisch daalt. Een tijdsbesparing van 30 minuten per fairing is realistisch. Datanaloog als hierboven omgezet in euro betekent een besparing van 630 euro/maand (enkel MOV fairings en aangenomen dat er 3 ShipSets/maand worden geleverd). Dergelijke machine heeft een grote kostprijs, maar het valt te overwegen om ze aan te schaffen.

2.3.4 Elektronische werkinstructies

De werkinstructies worden verdeeld in mappen per type fairing op de werkvloer. Telkens er een wijziging doorgevoerd wordt van Airbus of intern in SABCA Limburg N.V., wordt er een nieuwe werkinstructie afgedrukt. Met een elektronische werkinstructie zouden die afdrukken niet meer nodig zijn, wat resulteert in minder fouten als gevolg van het gebruik maken van de oude werkinstructies daar waar er intussen al nieuwe zijn.

Een dergelijk systeem zou verwezenlijkt kunnen worden door een tablet of scherm aan de verticale wand van de werkcel te bevestigen. Daarop wordt telkens de uit te voeren handeling gedemonstreerd met de nodige info. De operator hoeft enkel het scherm aan te raken om naar de volgende (of vorige) bewerking te gaan. Bij wijzigingen in de werkinstructies kan het scherm knippen of feller oplichten om de verandering duidelijk te maken aan de operator.

Er zijn echter ook moeilijkheden verbonden met dat systeem. Vooraleerst wordt er gewerkt in een vuile omgeving (koolstofstof, sealant, shim, enz.). Er zal dus een bescherming rond het scherm moeten komen zodat er geen vuil bij de elektronica of op het scherm terecht komt.

De tablet of computer (indien er geopteerd wordt voor een scherm) zal de nodige software moeten hebben om een werkinstructie te kunnen tonen (Microsoft Office PowerPoint of andere). Ook een netwerk is vereist (draadloos of via kabel) om de instructies door te sturen.

Een totale kostprijs is moeilijk te bepalen. Een draadloze optie zal het goedkoopst zijn omdat er al een draadloos netwerk voorzien is in de assemblagehal. Een gewone tablet kan men al kopen voor 800 euro (basisversie). Nog een beschermhoes en folie om er rond te doen kost ongeveer 100 euro. Een digitale werkinstructie opstellen is een grote eenmalige kost, verdere aanpassingen zullen veel minder tijd vergen. Men rekent een week om de werk instructie te digitaliseren. Totale kostprijs: $(800 + 100) \times 6 + (8 \times 5 \times 35) = 6800$ euro. Het monteren en de software is niet inbegrepen in de totale prijs. Een werkinstructie wordt ongeveer drie keer per jaar aangepast. Hierbij moeten arbeiders

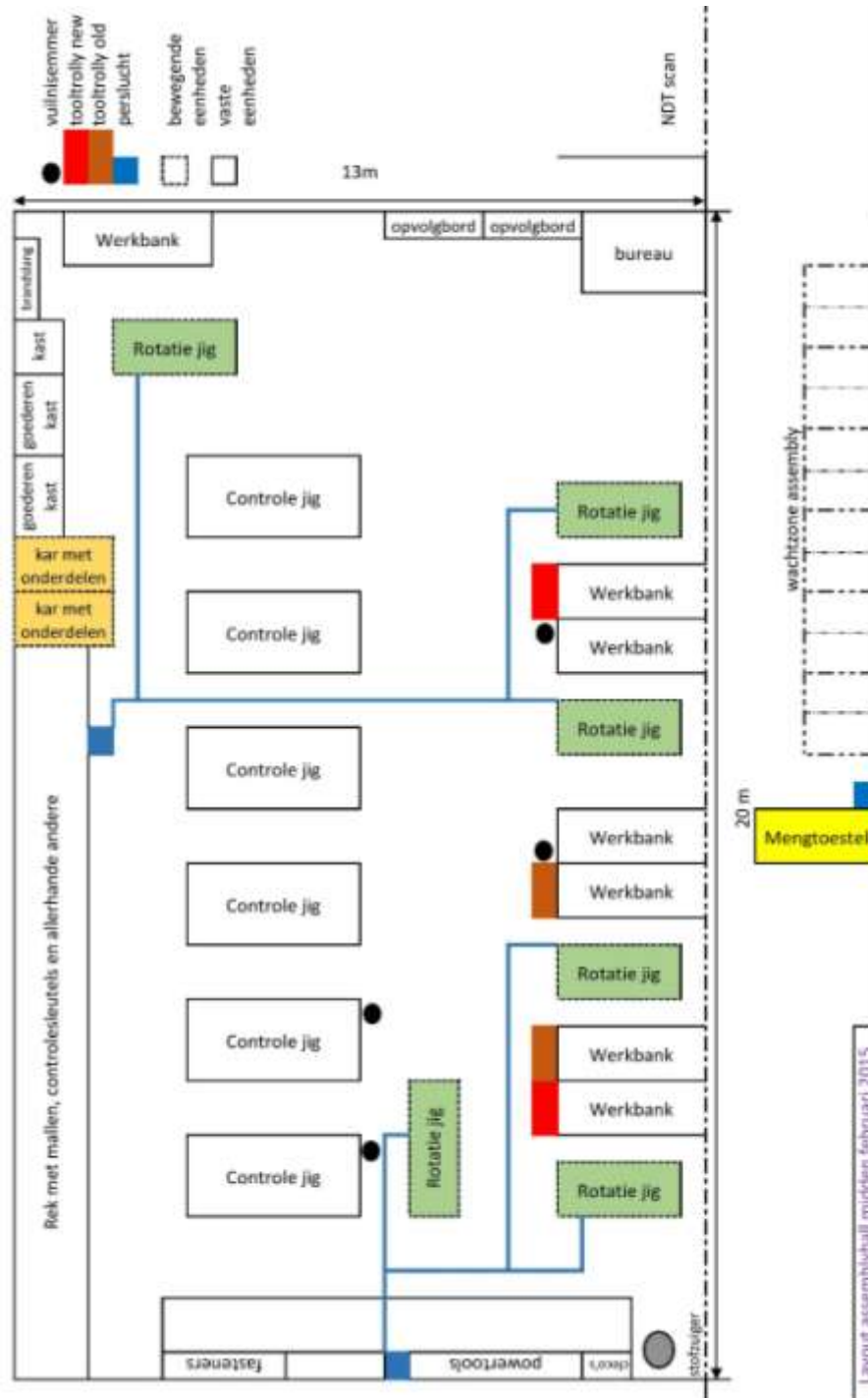
ingelicht worden, rekening gehouden worden met de tijd om de instructies af te drukken, enz. Een werktijdverkorting van 22,5 uren / jaar $((30 \times 14 + 30) / 60)$. Of omgerekend 800 euro / jaar (met papier en inkt).

2.4 Andere veranderingen

Tijdens de stageperiode werden er ook veranderingen aangebracht die niet onder Lean, 5S of Kaizen kunnen ondergebracht worden. Deze worden hieronder besproken.

2.4.1 Externen betrekken in het productieproces

Er werden externen aanvaard op jaarcontract om fairings te assembleren. Meer arbeiders die hetzelfde werk verrichten verkort de doorlooptijd. Omdat de assemblagehal niet voorzien is op een dubbel aantal operatoren werd er een uitbreiding gemaakt naar het gangpad toe. Kort daarna werd nog plaats gemaakt om de test werkcel te positioneren.



Figuur 58: Assemblagehal A350 XWB midden februari 2015

Op Figuur 59 (blz. 43) is rechtsboven de test werkcel te zien. Het bureel werd opgeschoven naar links. Onderaan links is de ladekast voor de consumables te zien.

In het gangpad werd de wachtzone in de breedte geplaatst. Daardoor verliest ze haar praktische eigenschap omdat het moeilijker wordt om te zien of er een fairing ontbreekt en ook om een fairing achteraan uit te halen. Er werden twee werkbanken en vier rotatie JIG's extra opgesteld.

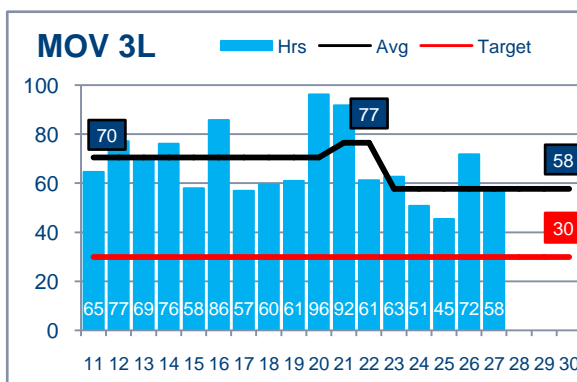
3 Resultaten

Op onderstaande grafieken ziet men de assemblagetijden voor de MOV3L en MOV3R fairings per ShipSet. Tijdens de eerste week van de stage werd ShipSet 21 afgehandeld. Kort daarna ziet men de assemblagetijd van de fairings dalen. Dat is te verklaren aan de hand van de veranderingen die in die periode verwezenlijk zijn. Soms kan het gebeuren dat er een herwerking nodig is van een bepaalde fout (RDR procedure). Dan verhoogt de assemblagetijd wat te zien is bij ShipSet 26 (MOV3L) en 27 (MOV3R). De schommelingen in de assemblage uren zijn te verklarendoordat het project zich nog in opstartfase bevindt, waardoor het nog niet stabiel verloopt. Bij ShipSet 20 en 21 werd een nieuwe configuratie ingevoerd wat duidelijk te zien is bij de MOV3L, die het eerst werd behandeld. Daarna heeft met dezelfde aanpassingen gedaan aan de MOV3R, waar het al een stuk vlotter verliep. De uitschieter bij ShipSet 26 MOV3L is te wijten aan een nieuwe arbeider die voor het eerst dat type fairing assembleerde. Dezelfde verklaring voor de uitschieter van ShipSet 27 bij de MOV3R.

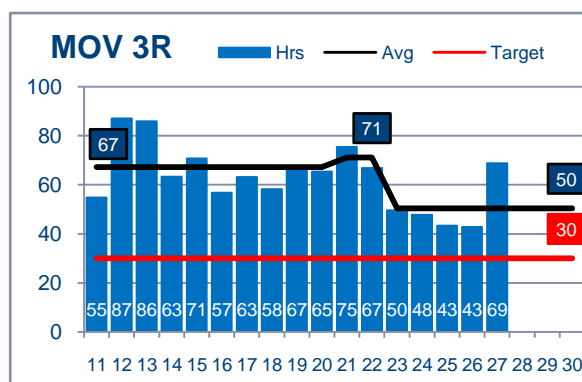
De zwarte lijn stelt het gemiddelde voor van de MOV3L of R fairings van 11 t.e.m. 20, 21 t.e.m. 22 en 23 t.e.m. 27.

De rode lijn stelt de 'Target' voor of het punt waar naartoe gestreefd wordt: een fairing moet kunnen afgewerkt worden in 30 uren. Met het systeem van de werkcel en de nieuwe assemblagehal wordt de assemblagetijd gereduceerd tot 44,8 uren. Dat kan nog meer gereduceerd worden met de all-in-one boormachine (42,8 uren) en vijsmachine (42,3 uren) (2.3.3 all-in-one boor).

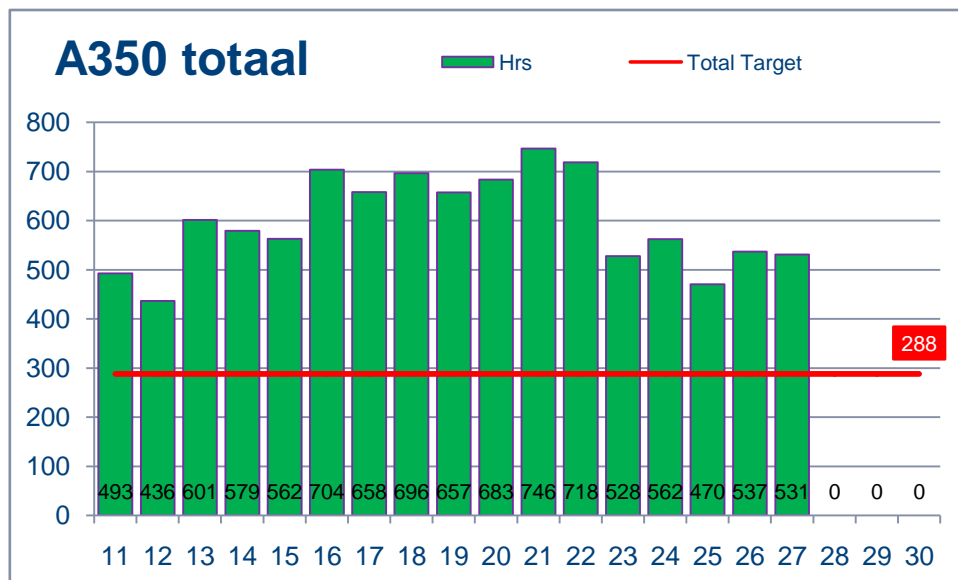
Een volgende stap kan zijn het assemblageproces onder de loep nemen en daarin een opschoning te maken (5S),bv. om gelijkaardige bewerkingen doorheen het assemblageproces te groeperen, wat transport en beweging reduceert. Een ander voorbeeld kan zijn om niet alle bouten te sealen, maar enkel diegene die mogelijks in contact met water kunnen komen. Daarvoor moet overlegd worden met Airbus.



Figuur 60: Assemblagetijd in uren van een MOV 3L fairing per ShipSet



Figuur 61: Assemblagetijd in uren van een MOV 3R fairing per ShipSet



Figuur 62: Totale assemblagetijd in uren per ShipSet

Alhoewel de totale assemblagetijd nog niet tot bij de streefwaarde geraakt, is er toch al een dalende trend te zien vanaf ShipSet 22. Zoals eerder vermeld is dat te verklaren aan de hand van de sedert dien ingevoerde veranderingen.

De assemblagetijd van ShipSet 11 tot 16 is een stuk lager dan die van ShipSet 16 tot 22. Dat is te verklaren doordat er extra bewerkingen bij gekomen zijn vanaf ShipSet 16.

Ook kan men stellen dat de assemblagetijd van ShipSet 11 t.e.m. 15 ver afwijkt van een constante. Hieruit kan men afleiden dat het assemblageproces niet gestabiliseerd verliep en dat er te veel herwerkingen nodig waren.

4 Besluiten

4.1 Quad of aims

Terug blikkend op de quad of aims kan men besluiten dat het Kanban systeem volledig uitgewerkt is en dat er geen problemen zouden mogen opduiken bij het tekort komen aan goederen. Daarbij wordt verondersteld dat de goederen op tijd in SABCA Limburg toekomen.

De werktijd verkorting van de operatoren bedraagt 9,1 % (zie 4.2 Werkcel). Dat is minder dan de vooropgestelde doelstelling van 30 %. Echter door verder het 5S-schema te onderhouden, kan er na loop van tijd nog meer werktijdverkorting verkregen worden.

De doorlooptijd van het assemblageproces van een MOV3 fairing kan gereduceerd worden met meer dan 27,8 % (zie 4.2 Werkcel). Dat wil zeggen dat men bijna 30 % sneller produceert, of in uren uitgedrukt 15,9 uren tijdsinstaan kan maken. Het is dus mogelijk om een MOV3 fairing te assembleren in één werkweek. Als men drie ShipSets per maand moet afleveren, zal men een twee-ploegensysteem moeten invoeren om aan de vraag te kunnen voldoen, indien men het werkcelsysteem en voorgestelde assemblagehal wil implementeren in de productie.

4.2 Werkcel

Er kunnen weinig besluiten getrokken worden uit het functioneren van de werkcel mits deze nog niet operationeel getest werd. Uit een economisch standpunt gezien, zijn de theoretische tijdsinstaan verkregen met het werkcelsysteem vrij realistisch en groter dan eerst gedacht.

Ook kunnen er kosten bespaard worden in het assemblageproces door aangepast materiaal te gebruiken en door vooorbewerkte en/of foutloze onderdelen te leveren aan de assemblagehal of werkcel.

De werkuren van een MOV3 fairing kunnen in theorie dalen van 57,2 uren naar 54,5 uren (gele items in tabel 2 blz. 36). Dat is een reductie van 4,7 %. Met een all-in-one boor kan dat nog verder gereduceerd worden naar 52,5 werkuren, of een reductie van 8,2 %. Zelfs nog meer als men de aluminium onderdelen kan leveren aan de assemblagehal met vrijgemaakte massapunten en ontbraamd, wat resulteert in 52,0 werkuren of een reductie van 9,1 %.

De doorlooptijd van het assemblageproces van een MOV3 fairing kan in theorie 21,7 % gereduceerd worden (van 57,2 uren naar 44,8 uren of 12,4 uren verschil) met het werkcelsysteem. Met een all-in-one boor, aangepaste onderdelen, aangepaste RDR-procedure, enz. kan er nog meer dan 3,5 uren gereduceerd worden of in procent uitgedrukt >27,8 %.

4.3 Kostprijs

4.3.1.1 Werkcel

De totale kostprijs van een werkcel wordt in volgende tabel berekend.

Tabel 3: Kostprijs werkcel

Omschrijving	Aantal nodig	Prijs (totaal)
Magazijnbakken van polyethyleen 167x105xH82 blauw (VE:48)	44 nodig	€42,81
Magazijnbakken van polyethyleen 237x144xH123 blauw (VE:38)	8 nodig	€16,19
Grijpvoorraadstelling recht H2000xL1000xD400 (rek fasteners)	1 nodig	€183,00
Grijpvoorraadstelling schuin H2000xL1300xD1600 (rek parts)	2 nodig	€648,00
Stapelbak Euro (VE:2st)	4 nodig	€387,60
Werktafel in hoogte verstelbaar 2000x800	1 nodig	€434,00
Systeem-standaardset (4stuks) (lampmontage)	1 nodig	€317,50
Perforatiewand 1000x450	2 nodig	€261,40
Bak- en inhangrail 100cm	1 nodig	€60,10
Loop-montagerail 200cm	1 nodig	€65,30
Verlichtingslijst	1 nodig	€379,00
Totaal		€2.794,90

Om een assemblagehal te kunnen opstellen met zes werkcellen zal het net iets minder kosten dan $6 \times 2.794,90 \text{ euro} = 16.769,40 \text{ euro}$ (enkel voor de werkcellen). De MOV3 werkcel heeft de meeste verschillende fasteners nodig, bij de andere werkcellen zullen er minder bakjes nodig zijn in de Kanban van de fasteners wat de totale prijs een beetje naar beneden brengt.

Wetende dat men bijna 25% (theoretisch) sneller produceert, valt deze investering te overwegen.

4.3.1.2 Ladekast

De kostprijs van de ladekast wordt in onderstaande tabel berekend.

Tabel 4: Kostprijs ladekast

Omschrijving	Aantal nodig	Prijs (totaal)
Inzetbakjes polystyrol 49x99xH40 groen (VE:50st)	1 nodig	€37,20
Inzetbakjes polystyrol 49x99xH40 blauw (VE:50st)	1 nodig	€37,20
Inzetbakjes polystyrol 99x99xH90 groen (VE:50st)	1 nodig	€55,50
Inzetbakjes polystyrol 99x99xH90 blauw (VE:50st)	1 nodig	€55,50
Inzetbakjes polystyrol 198x99xH90 groen (VE:50st)	1 nodig	€104,60
Inzetbakjes polystyrol 198x99xH90 blauw (VE:50st)	1 nodig	€104,60
Quipo ladekast B600xL900xH1000	1 nodig	€546,00
Magazijnbak van polyethyleen (VE:25st)	4 nodig	€151,20
Totaal		€1.091,80

De ladekast die al aangekocht is en maar één eenheid vereist in de assemblagehal kost in zijn geheel, met bakjes in de laden, 1.091,80 euro. Net zoals bij de werkcel is de winst in euro verkregen door de tijdswinst met de ladekast af te wegen tegenover de kostprijs van de opstelling. De investering valt te overwegen.

4.4 Algemeen

Algemeen kan men besluiten dat de verwezenlijkte zaken niet alleen van toepassing kunnen zijn op de MOV3 fairing, maar dat ze voor ieder type fairing hun vruchten kunnen afwerpen. Indien bij ieder type fairing een doorlooptijd reductie van 27,8 % kan verwezenlijkt worden, daalt de gemiddelde assemblagetijd van 526 uren naar 380 uren ofwel 146 uren minder.

Indien men de bespaarde werkuren filtert uit de doorlooptijd (tabel 2, gele markeringen) en deze gelijkstelt voor ieder type fairing, bespaart men 6.552 euro/maand (5,2 werkuren (zie 4.2 Werkcel) x 12 fairings x 3 ShipSets/maand x 35 euro). De schilders worden niet opgenomen in de berekening.

De werkcel kost 16.769,40 euro x 6 werkcellen = 100.616,40 euro. Daarbij komt de kostprijs van de ladekast, wat het totaal brengt op 101.708,20 euro (ijskast en kolomboor niet meegerekend). Deelt men dat bedrag door de winst van de gereduceerde werkuren, dan kan men besluiten dat de investering van het materiaal terug gewonnen wordt na vijftien en een halve maand.

4.5 Opmerkingen

Het zou mogelijk zijn om twee operatoren tegelijkertijd te laten werken in dezelfde werkcel. Dan is het ploegensysteem niet meer vereist. Om dat te verwezenlijken moet er nagegaan worden of de operatoren gereedschappen en plaats genoeg hebben in het voorgestelde ontwerp van de werkcel. Men kan echter wel zorgen voor een tweede werkbank, tweede tooltrolley en tweede tablet voor de werkinstructies van de het ander type fairing. Dat zou er voor zorgen de operatoren niet in mekaars werkgebied moeten lopen. Om dat grafisch voor te stellen kan terug een spaghetti-diagram opgemaakt worden. De lay-out van de werkcel zal aangepast moeten worden om de parts en de fasteners gemeenschappelijk op te stellen.

De volgende stap om het productieproces te optimaliseren, is een studie maken van de assemblagelijnen specifiek gericht naar handelingen aan de fairings. Welke handelingen er vereenvoudigd kunnen worden of eventueel gereduceerd kunnen worden. Enkele voorbeelden:

- de nutstrip en de seals geleverd met de gaten reeds op de nominale diameter. Zonder dat men bij SABCA Limburg de gaten nog hoeft te ruimen.
- bij de parts hetzelfde verhaal als met de nutstrips en de seals. Er voor zorgen dat die geleverd worden aan SABCA Limburg met de gaten reeds op de nominale diameter.
- de controle van de verzinkingsdiepte, gat diameter en torque check kunnen laten uitvoeren door de operator zelf i.p.v. een andere bevoegde operator.
- de boor-processen en de bewerkingen met fasteners zodanig optimaliseren (elektronisch gestuurd maken) zodat enkel nog steekproeven op diameter, diepte en torque nodig zijn.
- een VSM opmeten nadat al de opgesomde wijzigingen zijn doorgevoerd om de effectieve tijdswinst te kunnen bepalen.

Tabellen

A350 ASSEMBLY	Estimated Time [Mins]	COMMENT	WASTE							BNVA	VA
			T	I	M	W	O	O	D		
Quality deliver shell to parking lot	2				2						
Clocking	4				4						
Sub assembly of two brackets with titanium plates	120		36								84
Clocking	2				2						
Install into rotating trolley	2		2								
Get brackets from trolley	2		1		1						
Mark out shimmed areas using brackets	10		5		5						
Get shim block for P1 banding from shelving	2		1		1						
Use shim block to mark out area on shell	2		2								
Grinding shim areas	30		5								25
Install orks into holes	10		9		1						
Taping brackets with teflon tape	10		9		1						
Apply primer & release	10		9		1						
Obtain & mix liquid shim	10		9		1						
Apply shim to banding area on shim block	5										5
Clean & squeeze out	5						5				
Take shell to oven	2		2								
Drying time in oven 20 mins	90				90						
Take back to Assy area	2		2								
Grind shim inside the access hole on the banding	15		4		1						10
Get bracket from jig from shelving	2		1		1						
Set up the jig to fairing contour P1	5		4		1						
Locate fairing in jig	10		10								
Assemble axes for P1 & P5 aluminium parts	10		9		1						
Install P1 banding temporarily	5	Fixed only	4		1						
Install P1 onto banding temporarily & install P2-P5	15		15								
Measure shimming thickness	10						10				
Remove P1-P5 brackets	10		10								
Put teflon tape on all brackets	30		29		1						
Place drills & shimming spacers	10		10								
Put primer on shell & release on teflon tape	15		8		2						5
Apply liquid shim	30		5								25
Assemble brackets in jig	20		20								
Clean up the squeeze out	30						30				
Cure for 24 hours+	240	NB cannot move jig				240					
Clocking	2				2						
Drill brackets in jig	60		10		10						40
Disassemble brackets	15		15								
Remove tape & deburr	15		5				10				
Remove fairing from jig & put into rotating trolley	5		5								
Clocking	2				2						
Grind shim	30		5								25
Clocking	2				2						
Countersink holes & drill holes for seals	120		30		10						80
Clocking	2				2						
Cut off bars on fairing & smooth edge	30		5								25
Obtain & mix resin for edge sealing	5		4		1						
Apply resin to edges	10	Done & end of shift?									10

Tabel 5: VSM FIX2 schatting (deel1)

Tabel 7: VSM FIX2 meting (maart 2015)

Nr	Assembly FIX Fairing	Time
1	Quality deliver shell to parking lot	5
2	clocking	2
3	Sub assembly of two brackets with titanium plates	60
4	clocking	2
5	Install into a rotating trolley	5
6	Get brackets from trolley	2
7	Mark out shimmed areas using brackets	10
8	Get shimblock for P1 landing from shelving	5
9	Use shimblock to mark out area on shell	5
10	Grinding shim areas	20
11	Install corks into holes	10
12	Taping of brackets with Teflon tape	20
13	Apply Primer & Ranlease	10
14	Obtain & mix liquid shim	10
15	Apply shim to landing area on shim block	5
16	Clean squeeze out	10
17	Take shell to oven	5
18	<i>Drying time in oven</i>	120
19	Take back to Assy area	5
20	Grind shim inside the access hole on the landing	15
21	Get bracket from jig from shelving	5
22	Set up the jig to fairing contour P1	15
23	Locate fairing in jig	10
24	Assemble axles for P1 - P5 aluminium parts	2
25	Install P1 landing temporarily	2
26	Install P1 onto landing temporarily & install P2-P5	10
27	Measure shimming thickness	15
28	Remove P1-P5 brackets	20
29	Put teflon tape on all brackets	20
30	Place drills as shimming spacers	20
31	Put primer on shell and ranlease on teflon tape	15
32	Apply liquid shim	20
33	Assemble brackets in jig	40
34	Clean up the squeeze out	20
35	<i>Cure for 4 hours+</i>	240
36	clocking	2
37	Drill brackets in jig	60
38	Disassemble brackets	20
39	Remove tape & deburr	20
40	Remove fairing from jig and put into rotating trolley	5
41	clocking	2
42	Grind shim	20
43	clocking	2
44	Countersink holes & drill holes for seals	90
45	clocking	2
46	Cut off ears on fairing & smooth edge	15
47	Obtain & mix resin for edge sealing	5
48	Apply resin to edges	5
49	<i>Drying time in oven</i>	60
50	Quality check holes on Al brackets & shim thickness	30
51	clocking	2
52	Remove paint on brackets for bonding	20
53	Alodine application	10
54	Obtain bolts / fasteners	20
55	clocking	2
56	Obtain & mix PR 1782C2 sealant	10
57	Install bolts / assemble	120
58	Quality check conductivity and torque checks	60

59	clocking	2
60	Obtain & mix sealant PR1782B2	10
61	Sealing conductivity bolts & landing	25
62	Move to oven	10
63	<i>Drying time in oven</i>	60
64	Bring back to Assy area	10
65	Obtain & mix paint	10
66	Apply paint to bolts & apply primer to edges	40
67	Move to oven	10
68	<i>Drying time in oven</i>	60
69	Bring back to Assy area	10
70	Put fairing into Jig	5
71	Quality check contour in tolerance + steps/gaps	50
72	Take fairing out of jig	5
73	Put fairing into rotating trolley	5
74	Obtain & mix top coat from Paint shop	10
75	Apply top coat	25
76	Take to oven	10
77	<i>Drying time in oven</i>	35
78	Bring back to Assy area	10
79	clocking	2
80	Obtain seals from store	10
81	Apply sealant CA1000 onto bolts	20
82	Install and cut seals to length	80
83	clean squeeze out	10
84	Install P1 bolt & nut	0
85	general visual inspection	45
86	rework if required	60
87	move to weighing scale	5
88	weighing	5
89	loading onto paint trolley	2
90	paperwork	10
91	transport to paint booth	5
92	clocking	2
93	Touch up	0
	Total (min)	2020
	Total (hrs)	33,7

Tabel 8: VSM MOV3 meting (februari 2015)

Nr	Assembly MOV3 Fairing	Time
1	Delivery of Fairings by Quality	2
2	clocking	2
3	load the fairing in to the jig	2
4	get metal parts	5
5	Mark grinding area's (9)	15
6	grind areas	45
7	fill holes with cork+ cut	15
8	tape bracket teflon	30
9	clean area then add primer + release	15
10	mixing shim	5
11	apply shim + clean	150
12	transport to oven	10
13	<i>drying time shim</i>	120
14	removal of shim tooling	15
15	grinding shim	60
16	setup in jig for correct springback	30
17	primer + release on P8	5
18	mixing shim P8	5
19	Shim + Clean squeeze out P8	15
20	<i>drying time shim P8</i>	120
21	remove P8 tooling from jig	10
22	remove fairing from jig	2
23	transport to rotation jig	2
24	insert fairing into rotation frame	2
25	grinding shim	30
26	drill cork	2
27	clocking	2
28	place brackets with temporary fasteners	30
29	setup of springback	30
30	tighten temporary fasteners	5
31	marking area's of brackets onto CFRP	5
32	drill all holes	240
33	loosen brackets	15
34	setup countersink tool	5
35	countersink CFRP	150
36	deburr all alu parts	20
37	take drawings + mark conductivity bolts	15
38	remove paint for connectivity	30
39	alodine conductivity holes	15
40	check hole	30
41	clocking	2
42	search for bolts	90
43	assy brackets to CFRP	360
44	mix sealant for ready assembly	50
45	check countersunks + measure conductivity	150
46	torque check bolts	15
47	clocking	2
48	mixing PR 1782B2	5
49	mount sealant over bonding bolts	120
50	mixing resin	5
51	add resin on the CFRP edges	15
52	mixing paint (blue + grey)	10
53	paint bolts with blue and grey paint	210
54	clocking	2
55	mixing C2	5
56	assy reinforcement panel + apply C2 sealant to Alu parts + installation	120
57	clean squeeze out	30
58	measuring conductivity + countersink	40

59	torque check bolts	10
60	clocking	2
61	mixing sealant B2 for conductivity bolts	5
62	place sealant onto conductivity points	90
63	preparing paint mix at paint booth	5
64	primer edges mov. + topcover	60
65	move fairing to oven	10
66	drying time oven	30
67	get fairing back from oven	10
68	mix blue + grey paint	10
69	paint blue and grey paint onto bolts	120
70	transport to paint booth	5
71	mix topcoat	5
72	transport from paint booth	5
73	topcoat on edges	20
74	clocking	2
75	assy topcover	45
76	assy tailcone	10
77	setup jig + move fairing in jig	10
78	inspection: external + internal	50
79	transport into rotation frame	2
80	clocking	2
81	fit seals + cut seals to length	45
82	apply sealant CA1000 onto bolts	60
83	place seals	40
84	clean squeeze out	5
85	fill step with sealant PR182B2	30
86	general visual inspection	120
87	rework if required	60
88	move to weighing scale	5
89	weighing	1
90	loading onto paint trolley	10
91	paperwork	5
92	transport to paint booth	5
93	clocking	2
94	Touch up	0
	Total (min)	3433
	Total (hrs)	57,2

Tabel 9: Cumulatieve som van de verschillende bewerkingen van MOV3 fairing

Row Labels	Tijd in min	%	Cum. %
assy brackets to CFRP	360	10,6%	11%
drill all holes	240	7,1%	18%
paint bolts with blue and grey paint	210	6,2%	24%
countersink CFRP	150	4,4%	28%
check countersunks + measure conductivity	150	4,4%	33%
apply shim + clean	150	4,4%	37%
mount sealant over bonding bolts	120	3,5%	41%
assy reinforcement panel + apply C2 sealant to Alu parts + installation	120	3,5%	44%
paint blue and grey paint onto bolts	120	3,5%	48%
drying time shim P8	120	3,5%	51%
general visual inspection	120	3,5%	55%
drying time shim	120	3,5%	58%
place sealant onto conductivity points	90	2,6%	61%
search for bolts	90	2,6%	63%
grinding shim	90	2,6%	66%
primer edges mov. + topcover	60	1,8%	68%
rework if required	60	1,8%	70%
apply sealant CA1000 onto bolts	60	1,8%	71%
mix sealant for ready assembly	50	1,5%	73%
inspection: external + internal	50	1,5%	74%
assy topcover	45	1,3%	76%
grind areas	45	1,3%	77%
fit seals + cut seals to length	45	1,3%	78%
measuring conductivity + countersink	40	1,2%	79%
place seals	40	1,2%	81%
clean squeeze out	35	1,0%	82%
fill step with sealant PR182B2	30	0,9%	83%
tape bracket teflon	30	0,9%	83%
setup in jig for correct springback	30	0,9%	84%
setup of springback	30	0,9%	85%
check hole	30	0,9%	86%
remove paint for connectivity	30	0,9%	87%
place brackets with temporary fasteners	30	0,9%	88%
torque check bolts	25	0,7%	89%
deburr all alu parts	20	0,6%	89%
topcoat on edges	20	0,6%	90%
Clocking	18	0,5%	90%
alodine conductivity holes	15	0,4%	91%
take drawings + mark conductivity bolts	15	0,4%	91%
Shim + Clean squeeze out P8	15	0,4%	92%
fill holes with cork+ cut	15	0,4%	92%
removal of shim tooling	15	0,4%	93%

loosen brackets	15	0,4%	93%
clean area then add primer + release	15	0,4%	93%
Mark grinding area's (9)	15	0,4%	94%
add resin on the CFRP edges	15	0,4%	94%
assy tailcone	10	0,3%	95%
mixing paint (blue + grey)	10	0,3%	95%
get fairing back from oven	10	0,3%	95%
mix blue + grey paint	10	0,3%	95%
setup jig + move fairing in jig	10	0,3%	96%
loading onto paint trolley	10	0,3%	96%
move fairing to oven	10	0,3%	96%
transport to paint booth	10	0,3%	97%
remove P8 tooling from jig	10	0,3%	97%
transport to oven	10	0,3%	97%
mixing shim P8	5	0,1%	97%
move to weighing scale	5	0,1%	98%
paperwork	5	0,1%	98%
transport from paint booth	5	0,1%	98%
preparing paint mix at paint booth	5	0,1%	98%
marking area's of brackets onto CFRP	5	0,1%	98%
mix topcoat	5	0,1%	98%
setup countersink tool	5	0,1%	98%
tighten temporary fasteners	5	0,1%	99%
mixing sealant B2 for conductivity bolts	5	0,1%	99%
get metal parts	5	0,1%	99%
primer + release on P8	5	0,1%	99%
mixing shim	5	0,1%	99%
mixing PR 1782B2	5	0,1%	99%
mixing resin	5	0,1%	99%
mixing C2	5	0,1%	100%
remove fairing from jig	2	0,1%	100%
Delivery of Fairings by Quality	2	0,1%	100%
insert fairing into rotation frame	2	0,1%	100%
load the fairing in to the jig	2	0,1%	100%
transport to rotation jig	2	0,1%	100%
drill cork	2	0,1%	100%
transport into rotation frame	2	0,1%	100%
weighing	1	0,0%	100%
install fasteners Alu - CFRP + brackets		0,0%	100%
Grand Total	3403		100%

Tabel 10: MOV3 fairing bewerkingen gegroepeerd

Nr	Bewerking	Tijd min	Tijd uur	%
	Grind	95	1,6	2,8
4	get metal parts	5		
5	Mark grinding area's (9)	15		
6	grind areas	45		
25	grinding shim	30		
	Shim	611	10,2	17,6
7	fill holes with cork + cut	15		
8	tape bracket teflon	30		
9	clean area then add primer + release	15		
10	mixing shim	5		
11	apply shim + clean	150		
12	transport to oven	10		
13	drying time shim	120		
14	removal of shim tooling	15		
15	grinding shim	60		
16	setup in jig for correct springback	30		
17	primer + release on P8	5		
18	mixing shim P8	5		
19	Shim + Clean squeeze out P8	15		
20	drying time shim P8	120		
21	remove P8 tooling from jig	10		
22	remove fairing from jig	2		
23	transport to rotation jig	2		
24	insert fairing into rotation frame	2		
	Drill holes (CFRP + Alu parts, deburr and remove paint)	562	9,4	16,4
26	drill cork	2		
28	place brackets with temporary fasteners	30		
29	setup of springback	30		
30	tighten temporary fasteners	5		
31	marking area's of brackets onto CFRP	5		
32	drill all holes	240		
33	loosen brackets	15		
34	setup countersink tool	5		
35	countersink CFRP	150		
36	deburr all alu parts	20		
37	take drawings + mark conductivity bolts	15		
38	remove paint for connectivity	30		
39	alodine conductivity holes	15		
	Assembly	745	12,4	21,7
42	search for bolts	90		
43	assy brackets to CFRP	120		
45	install fasteners Alu - CFRP + brackets	240		
46	clean squeeze out	5		
58	assy reinforcement panel + apply C2 sealant to Alu parts + installation	120		
59	clean squeeze out	30		
	Topcover + Tailcone			
76	assy topcover	45		
77	assy tailcone	10		
	Seals			
82	fit seals + cut seals to length	45		
84	place seals	40		
85	clean squeeze out	5		
	Paint	495	8,3	14,5
52	mixing resin	5		
53	add resin on the CFRP edges	15		

54	mixing paint (blue + grey)	10		
55	paint bolts with blue and grey paint	210		
57	mixing C2	5		
65	preparing paint mix at paint booth	5		
66	primer edges mov. + topcover	60		
67	move fairing to oven	10		
68	get fairing back from oven	10		
69	mix blue + grey paint	10		
70	paint blue and grey paint onto bolts	120		
71	transport to paint booth	5		
72	mix topcoat	5		
73	transport from paint booth	5		
74	topcoat on edges	20		
	Checking	427	7,1	12,4
40	check hole	30		
47	check countersunks + measure conductivity	150		
48	torque check bolts	15		
60	measuring conductivity + countersink	40		
61	torque check bolts	10		
78	setup jig + move fairing in jig	10		
79	inspection: external + internal	50		
80	transport into rotation frame	2		
87	general visual inspection	120		
	Sealant	360	6,0	10,8
44	mix sealant for ready assembly	50		
50	mixing PR 1782B2	5		
51	mount sealant over bonding bolts	120		
63	mixing sealant B2 for conductivity bolts	5		
64	place sealant onto conductivity points	90		
83	apply sealant CA1000 onto bolts	60		
86	fill step with sealant PR182B2	30		
	Afterwork (rework, weighing, transport paintbooth,...)	86	1,4	2,4
88	rework if required	60		
89	move to weighing scale	5		
90	weighing	1		
91	loading onto paint trolley	10		
92	paperwork	5		
93	transport to paint booth	5		
	Extra's	22	0,4	0,7
1	Delivery of Fairings by Quality	2		
2	clocking	2		
3	load the fairing in to the jig	2		
27	clocking	2		
41	clocking	2		
49	clocking	2		
56	clocking	2		
62	clocking	2		
75	clocking	2		
81	clocking	2		
94	clocking	2		
	Totaal		57,2	100

Bibliografie

- ADJUSTINTIME. (2015, april). *ADJUSTINTIME*. Opgehaald van VA-BNVA-NVA: <http://www.adjustintime.nl/capaciteit-va-bnva-nva/>
- Airbus. (2013). *AIRBUS S.A.S.* Opgeroepen op april 10, 2015, van AIRBUS S.A.S.: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/photogallery/big/800x600_1371196006_A350_XWB_MSN1_wing_detail.jpg
- Ede, C. v. (2013, mei 17). *leanmanufacturing*. Opgeroepen op november 2014, van procesverbeteren: <http://www.procesverbeteren.nl/LEAN/leanmanufacturing.php>
- Lauwers A. (s.d.). *Het schrijven van een abstract*. Opgehaald van Oostende: KU Leuven, technologiecampus Oostende.: https://cygnus.cc.kuleuven.be/bbcswebdav/pid-13282909-dt-content-rid-31181704_2/courses/B-KUL-B5019U-1415/Eindredactie_masterproef_KULeuven_Technologiecampus_Oostende.pdf
- leanENT. (2015, april). *leanENT*. Opgehaald van Two-bin: <http://www.leanent.nl/two-bin>
- leanENT. (2015, april). *leanENT*. Opgehaald van Pull-productie: <http://www.leanent.nl/pull-productie>
- leanENT. (2015, april). *leanENT*. Opgehaald van Push-productie: <http://www.leanent.nl/push-productie>
- leanENT. (2015, april). *leanENT*. Opgehaald van FIFO: <http://www.leanent.nl/fifo>
- LeanENT. (2015, april). *leanent*. Opgehaald van kanban-systeem: <http://www.leanent.nl/kanban-systeem>
- Patagonia. (2014, november). *Lean-5S*. Opgehaald van Patagonia-bv: <http://www.patagonia-bv.com/kwaliteitsmanagementsystemen/lean-5s/>
- Patagonia. (2015, april). *kaizen*. Opgehaald van Patagonia-bv: <http://www.patagonia-bv.com/kwaliteitsmanagementsystemen/kaizen/>
- SABCA. (2010). *History*. Opgeroepen op april 3, 2015, van About SABCA, History: <http://www.sabca.be/pages/0120/History.en.php>
- van Ede, C. (2015, april). *Procesverbeteren*. Opgehaald van SixSigma: <http://www.procesverbeteren.nl/SixSigma/SixSigma.php>

Verklarende woordenlijst

- Attach: een attribuut dat vaak gebruikt wordt in de luchtvaartindustrie. Men kan er structuren tijdelijk mee vastmaken. Men positioneert de structuren door attachen in overeenkomstige gaten te positioneren. Attachen kunnen verkregen worden in verschillende diameters. Men schroeft één voor één een attach uit en vervangt ze door een bout of klinknagel.
- Bracket: aluminium onderdeel of aluminium part.
- Breather cloth: een dun, uittrekbaar, niet geweven polyestervezel mat met hoge vezeldichtheid. Het vormt zich gemakkelijk rond de contouren van het werkstuk. Het is specifiek ontworpen om het vacuüm te geleiden van de afzuigkoppeling naar het einde van het werkstuk en om het hars gelijkmatig uit te strijken door de druk van de atmosfeer.
- CFRP: afkorting van Carbon Fiber Reinforced Polymer. Hiercomposietschelp genoemd.
- Cleco: klemmen om structuren voorlopig vast te zetten. Cleco's zijn voorzien van een veer waardoor ze automatisch opspannen.
- Filler: vulmiddel om het oppervlak te egaliseren.
- JIG: er wordt gebruik gemaakt van een rotatie JIG en een controle JIG. Een rotatie JIG is een aluminium frame op wielen waarin een composietschelp kan gelegd worden en die gebruikt wordt bij de montage van de onderdelen. Een controle JIG is een geijkt stalen frame waarin een fairing gelegd wordt om op precieze plaatsen een bewerking te kunnen uitvoeren.
- P8: elk aluminium onderdeel dat gemonteerd wordt in de composietschelp heeft een nummer. P8 is daar één van. Men moet de oppervlakte waar het P8 onderdeel gemonteerd wordt met een mal shimmen in de controle JIG omdat het te complex is in de rotatie JIG.
- Paint booth: de schilderafdeling in SABCA Limburg. Men heeft er een schuurcabine en een schildercabine ter beschikking.
- Prepreg: een geweven mat uit bv. koolstofvezel of glasvezel dat geïmpregneerd werd met epoxyhars. De matten worden bewaard in een diepvriezer om stollen van het hars tegen te gaan. In de autoclaaf wordt het hars vloeibaarder en kan het egaal uitlopen tussen de vezels.
- RDR: Rejection and Deviation Report. Bij SABCA Limburg gebruikt men de term RDR om als er een herwerking of hertelling dient te gebeuren aan een fairing. Elk type herstelling heeft een andere procedure die men bijgevolg RDR-procedure noemt.
- Seal: een afdichting die hoofdzakelijk vervaardigd is uit rubber.
- Sealant: product waarmee verschillende structuren afgedicht kunnen worden om corrosie tegen te gaan. Er wordt sealant gebruikt tussen de shim en de aluminium structuren en achteraf om de boutenkoppen af te dichten.
- Shim: aanbrengen van een product dateen recht vlak creëert om later metalen structuren op te monteren. In het assemblageproces gebruikt men Hysol EA9394A/B.
- Squeeze out: bij het monteren van de aluminium onderdelen wordt er sealant tussen de twee oppervlakken aangebracht om de dichting te garanderen. Tijdens het aanspannen van de bouten kan er sealant uit geperst worden. Dat noemt men de squeeze out.
- Tailcone: Engelse benaming voor een staartkegel. De staartkegel is vervaardigd uit kunststof en wordt achteraan op de fairing gemonteerd.

- Topcover: de topcover is een afdekkap vervaardigd uit koolstofcomposiet en wordt bovenop een MOV fairing gemonteerd.

Bijlagen

Bijlage I

Verklarende begrippen

1 Lean manufacturing

Het doel van Lean manufacturing is de 'waarde stroom' binnen bedrijven zo groot mogelijk te maken. Het is dan ook de bedoeling dat de toegevoegde waarde aan producten en/of diensten maximaal wordt. Daartoe wordt de doorstroming verbeterd, en worden de volgende zeven categorieën van verspilling opgespoord waarnaarmogelijk verwijderd uit de bedrijfsprocessen: overproductie, voorraden, fabricage fouten, fabricage verstoreningen, wachttijden, transporten onnodige beweging. Onder dat laatste valt ook het zoeken naar materialen of hulpmiddelen op de werkplek.

Bij het creëren van flow en het maximaliseren van de waarde toevoeging wordt (naar keuze) gebruik gemaakt van diverse (vaak veeloudere) productieconcepten, die in de twintigste eeuw zijn ontwikkeld. Hieronder worden de belangrijkste weergegeven. Hierbij wordt steeds aangegeven wat de relatie is tot Lean. De genoemde begrippen zijn typerend voor Lean, maar worden ook binnen andere procesverbeteringsmethodes toegepast.

1.1 Oorzaak ANALYSE

1. Value stream mapping (VSM).
Hierbij worden stromen van materialen en informatie gevisualiseerd. De bedoeling is om in kaart te brengen op welk moment waarde wordt toegevoegd aan producten en/of diensten en op welk moment niet. De laatste groep zijn dan ook verspillingen die je mogelijk wilt uit een proces kunt verwijderen.
Het Spaghetti Diagram is een aanvulling op VSM, hierbij wordt in kaart gebracht welke (vaak inefficiënte) route een product aflegt.
2. Kaizen: het continue stappenwijs verbeteren van de waarde stroom richting klant.

1.2 Flow creëren

1. Just-in-time (JIT) productie. Geef taandata alleen wordt geproduceerd als er daadwerkelijk een bestelling is geplaatst. Dit voorkomt overproductie en dus voorraden.
2. One Piece Flow: het maken en verplaatsen van één stuk (half) fabricaat tegelijk.
3. Flow manufacturing: hierbij worden alle machines zoveel mogelijk op volgorde van de productbewerking geplaatst. Het doel is om materialen (half) fabricaten in een continue en gelijkmatige stroom door de fabriek te laten bewegen. Hierdoor neemt de wachttijd af, en neemt de wachttijd af.
4. Cellular manufacturing: Productiemethoden waarbij in een 'productie cel' alles aanwezig is (mensen, materialen, machines) om een bepaald product of categorie van producten (productfamilie) te vervaardigen. In zekere zin een alternatief voor flow manufacturing. Productie in cellen blijkt vaak een goede oplossing in bedrijven die klant specifiek produceren.

1.3 Lean management

1. Lean Transformatie: in échte Lean-ondernemingen is alles gefocust op het stimuleren en helpen van mensen, om samen steeds betere bedrijfsresultaten te bereiken. Om zo 'omgeving te creëren' is een diepgaande transformatie nodig. Verspillingen reduceren met tools zoals Value Stream Mapping is slechts de helft van de zaak, de andere helft is Lean management.
2. Goto the Gemba. Gemba is het Japanse woord voor 'plaats waar het gebeurt', dit is de werkvloer! Lean managers moeten daarom hun werkvloer zo frequent mogelijk bezoeken (Go and See, Grasp the Situation) om te kijken welke problemen er zijn, welke verbeteringen mogelijk zijn, en hoe zij hun medewerkers kunnen helpen om zo goed mogelijk hun werk te doen.
3. Visual Manufacturing: overzichtelijke inrichting van de werkvloer, zodat iedereen in één oogopslag het (productie) proces kan overzien: welke processen functioneren zoals bedoeld en welke niet, welke voorraden zijn zoals bedoeld en welke niet. Medewerkers en managers kunnen daardoor zelf (tijdig) ingrijpen als er afwijkingen optreden. Dit reduceert het aantal fouten, en geeft focus aan verbeterinitiatieven. Eén van de tools binnen Visual Management is de Andon, dit is een (licht) signaal dat aangeeft dat er op een bepaald werkstation een probleem is.

1.4 Waardestroom

Eén van de basisprincipes van Lean is daarom het streven naar een zo slank mogelijke lijn die een 'stroom' van producten genereert.

Die 'waardestroom' is geen bruisende bergbeek, het is de bedoeling:

- dat alle materialen zorustig en gestaag mogelijk door de fabriek stromen, van de ene waarden toevoegende bewerking naar de andere.
- dat hectiek wordt vermeden en/of dat mensen die met het zweet op het voorhoofd problemen oplossen.

1.5 Value Stream Mapping

Bij lean manufacturing worden zoals gezegd alleen bedrijfsprocessen waarvoor een klant wil betalen, als nuttig gezien. Alle overige activiteiten zijn feitelijk verspilling, en moeten dus zoveel mogelijk worden ingeperkt.

Om dat voor elkaar te krijgen worden de producten eerst onderverdeeld in 'families'. Vervolgens wordt per productfamilie een waardestroom ontworpen. Daarna wordt die waardestroom steeds verder verbeterd in de richting van een One Piece Flow, nagenoeg het ideale waarbij er geheel geen tussenvoorraden meer zijn.

Value stream mapping is één van de belangrijkste Lean gereedschappen om inzicht te krijgen in huidige en toekomstige waardenstromen. Men maakt daarbij een flowdiagram van de keten van bedrijfsprocessen die nodig is om tot de eindproducten te komen. Dat flowdiagram kan bestaan uit blokken en pijlen. Vaak wordt het echter minder formeel aangepakt, en bestaat de Value Stream Map bijvoorbeeld uit post-it briefjes op een muur.

Steeds wordt aangegeven hoeveel tijd er daadwerkelijk waardewordt toegevoegd aan de producten, en hoeveel tijd wordt besteed aan andere zaken zoals wachten en transport. Als men dat doet, is het overigens heel normaal als men vaststelt dat minder dan 1% van de doorlooptijd wordt besteed aan waarden toevoeging!

Het doel van lean manufacturing is nu, om dat meer waardepercentage op te krikken. Dit kan bijvoorbeeld:

- door de voorraden tussen de werkstations te verkleinen,
- door het werkkritme van de werkstations beter op elkaar af te stemmen, en
- door de verschillende bewerkingen zoveel mogelijk in lijn op te stellen. In het ideale geval komen de grondstoffen aan de ene kant de fabriek binnen, en verlaten de eindproducten de hal aan de andere zijde.

(Ede, lean manufacturing, 2013)

1.5.1 VA or Value Added

Dit is het werk dat in het opzicht van de klant waarde toevoegend is. Het is werk waarvoor de klant wil bijdragen/betalen. Het gaat over het werk dat direct verbonden is met de belangen van de klant en waaraan de klant de 'waar-voor-zijn-geld' beschrijving aan geeft.

1.5.2 BNVA or Business Not Value Added

Dit is het werk dat noodzakelijk is voor het bedrijf maar niet voor de klant. Daartoe behoren wetten (boekhouding, salarisadministratie, veiligheidsbeleid, enz.) of de activiteiten nodig bij het instandhouden van de organisatie (werkoverleg, medezeggenschap).

1.5.3 NVA or Not Value Added

Dit is verspilling, het voegt geen waarde toe en is niet noodzakelijk voor de organisatie. Hier komende zeven verspillingen (TIMWOOD) omde hoek kijken.

Samenvatting: VAmoet zo groot mogelijk worden, ten koste van BNVA en NVA.

BNVAgaat men terug brengen tot het aanvaardbare minimum en dat wordt zo slim mogelijk georganiseerd om zo min mogelijk verlies in die sector te verkrijgen.

NVAleert men zien en vervolgens met vasthoudendheid, creativiteit, intelligentie zal men de NV tot het absolute minimum reduceren.

(ADJUSTINTIME, 2015)

2 Kaizen

Kaizen is Japans en betekent letterlijk 'continu verbeteren'. Dat wordt gerealiseerd door procesverbetering van producten of diensten te leveren, waardoor zowel de klanttevredenheid als het rendement stijgt. Met Kaizen kan men faalkosten drastisch verminderen.

Een voorbeeld:

'Als je boodschappen hebt gedaan en je bent de boter vergeten, moet je terug. Dat kost ongeveer € 0,25 benzine (afstand 1 km, € 2,50 per liter), plus twee keer 5 minuten rijden met de auto tegen een uurtarief van € 50,= en 10 minuten in de winkel en in de rij staan, is € 16,67. Afschrijving van de auto € 0,08 (autowaarde € 20.000, afschrijven over 5 jaar). Totaal kost dit pakje boter dus € 16,75 extra, ten opzicht van de situatie waarin we het niet vergeten waren. In plaats van € 3,= (normale verkoopwaarde) kost het nu bijna 600% meer. Bovendien is die persoon ongeveer 20 minuten niet productief geweest. Er is alleen maar een fout hersteld.'

(Patagonia, 2015)

Ditzelfde geldt voor het zoeken naar gereedschap, het stopzetten van de productie, het afhandelen van klachten, het repareren van tussen of eindproducten, verkeerde facturen, het vast lopen van pc's, etc. Dat noemt men de verborgen fabriek. Juran toonde aan dat tijd beter kon besteed worden aan het maken van een boodschappenlijstje, dan aan het herstellen van fouten. Dat laatste is vele malen duurder, dan het eerste.

Kaizen managementmodel voor continue kwaliteitsverbetering

Kaizen is een managementmodel dat gebruikt kan worden om dit soort fouten te voorkomen die de interne fabriek voeden. De kosten voor de productie moeten zo laag mogelijk zijn. Daartoe moet de productie continu aangepast en verbeterd worden.

Het begint bij de eisen en wensen van de klant. De klanteisen bepalen de productspecificaties. Continue verbetering is nodig om te voldoen aan de eisen van de klant. Anders gaat die naar de concurrent. Vervolgens worden die specificaties tegen zo laag mogelijke kosten gerealiseerd. Men noemt dit klantgerichtheid, klanttevredenheid of klantbinding, allemaal begrippen met dezelfde betekenis. Het doel is kwaliteitsverbetering, want dan zijn de kosten het laagst. Deze eisen worden al dan niet beschreven in een contract tussen producent en klant.

Hierbij wordt duidelijk het onderscheid benadrukt tussen continu verbeteren en innovatie. Een innovatie leidt tot het gebruik van geheel nieuwe materialen of technieken, die nog nooit eerder zijn toegepast. Het gaat om baanbrekend werk, dat leidt tot geheel nieuwe werkmethoden of nieuwe toepassingen.

Verbeteren gaat met kleine stapjes: elke dag een probleem oplossen, elke dag ervoor zorgen dat 's avonds de organisatie net iets beter functioneert dan de ochtend ervoor. Dat is het leidmotief, dat is Kaizen: continu verbeteren.

Veranderen = verbeteren

Verbeteren begint met meten en analyseren. Het betreft handelingen en acties waarbij niet de hele organisatie betrokken hoeft te worden. Verbeteren is niet iets dat men op de achtergrond kan doen, zonder anderen te betrekken. Helaas, zo werkt het niet.

Implementeren door alleen meten en analyseren is niet voldoende. Daarmee is nog niets veranderd (want verbeteren = veranderen). Verbeteren lukt alleen met de steun van alle medewerkers.

Echter, voordat verbeteren aan de orde is, zal eerst het procesmanagement op orde moeten zijn. Zolang nog gedacht wordt in afdelingen, hiërarchie en instructies, zal het procesmanagement niet van de grond komen en daarmee zal iedere vorm van verbeteren mislukken.

De statistici en technici gaven ons de sleutels tot het ontwikkelen van nieuwe denkwijzen om organisatieprocessen te meten en te analyseren. Vervolgens moesten we iets aanvangen met al die wetenschap en zo ontstonden er vervolgens verbetermechanismen. Sommigen zijn zelfs tot filosofie verheven, zoals Kaizen.

Goede verbetermechanismen worden gedreven door een gebrek aan middelen. De economische schaarste zorgt ervoor, dat we niet zomaar ongebreideld nieuwe spullen kunnen kopen of andere diensten kunnen inhuren. Bovendien, en dat is wat tegenstrijdig, leidt een nieuwe machine vaak helemaal niet tot een beter eindproduct of een hogere productie. Vaak ontstaan er veel kostelijke kinderziektes, moeten processen herontworpen worden, nieuwe functies, opleiden van mensen, grotere voorraden of nieuwe afspraken met leveranciers. De kosten gaan sneller omhoog dan men meestal verwacht. Allemaal kosten die moeilijker meetbaar zijn, maar die wel degelijk betaald worden. Dat allemaal is op korte termijn, op lange termijn blijkt het toch effectiever te zijn.

Men moet zorgvuldig omgaan met de instrumenten, machines en medewerkers, die men heeft en ze zo goed mogelijk inzetten voor de klant.

(Patagonia, 2015)

3 SixSigma

3.1 DMAIC

DMAIC, wat staat voor Definieer, Meet, Analyseer, verbeter (Improve) en Controleer, is de cyclische projectmanagementmethode die wordt gebruikt om kwaliteitskenmerken van producten of bedrijfsprocessen te verbeteren. Liefst tot een graad van perfectie van 6σ , maar in de praktijk is een kwaliteitsverbetering van 90% per DMAIC-cyclus al heel mooi.

- 1 In de definitie-fase wordt vastgelegd wat de bedrijfsfilosofie is, wie de klanten zijn en wat die mogen verwachten.
- 2 In de meet-fase wordt bepaald hoe (per kwaliteitskenmerk) zal worden gemeten en hoe die verwachtingen worden waargemaakt. Hierbij worden de parameters en de bijbehorende streefwaarden geselecteerd, die de klant als critical to quality (CTQ) ervaart.
- 3 Daarna volgt de analyse-fase, waarbij wordt gezocht wat de oorzaken zijn van het optreden van defecten, en wat mogelijke oplossingen daarvoor zijn.
- 4 In de improve-fase worden de best passende oplossingen, in overleg met de proceseigenaar, geïmplementeerd.
- 5 In de control-fase worden maatregelen getroffen om te zorgen dat niet kan worden teruggevallen naar de oude (slechtere) situatie.

(van Ede, 2015)

4 Kwaliteitsmethode 5S

Tijdverliezen door zoeken, ver uit elkaar liggen van gereedschap, onduidelijke instructies, tikfouten, verlies van materialen door slordig beheer, moet worden voorkomen. 5S is een methode om dat te bereiken. Deze kwaliteitsmethode leidt tot:

- Kostenreductie
- Kwaliteitsverbetering
- Vergroting van veiligheid
- Verkorting van doorlooptijd
- Verbetering van motivatie
- Een propere, ergonomische, en aangename werkplek

4.1 Implementatie 5S

5S begint met iedere handeling op de werkplek uiterst kritisch te bekijken. Alle handelingen die geen waarde toevoegen, moeten worden geëlimineerd. Iedere seconde wachttijd, iedere gram afval, iedere tussenvoorraad, wachttijd of fout, hoe klein ook, moet worden verwijderd. Wat geen waarde toevoegt, maar wel aanwezig is, kost geld, tijd, energie en/of motivatie.

5S is een Japanse term en staat voor:

1. **Scheiden (Seiri)**: Scheid noodzakelijke en overbodige zaken. Maak duidelijk zichtbaar wat teveel aanwezig is
2. **Sorteren (Seiton)**: Sorteer op logische wijze wat na Seiri overblijft. Werk inefficiënties weg. Maak de werkplek opstelling zodanig dat er snel gewerkt kan worden (logische volgorde).
3. **Schoonmaken (Seiso)**: Houd machines en werkomgeving schoon. Controleer afwijkingen snel en voorkom slijtage, lekkages en onveilige situaties.
4. **Systematiseren (Seiketsu)**: Herhaal stap 1 tot 3 continu en doe zoals het hoort. Het is de bedoeling dat de ontwikkelde schema's een gewoonte worden.
5. **Standaardiseren (Shitsuke)**: Er ontstaat zelfdiscipline, bewustwording en trots. De werkplek is continu in goede conditie. De manier van leven is een nieuwe norm.

Bovenstaande beschrijving is natuurlijk een heel korte handleiding en alleen bedoeld om u een indicatie te geven. In werkelijkheid is er iets meer voor nodig, maar het blijft een vrij eenvoudige methode om toe te passen.

(Patagonia, Lean-5S, 2014)

5 Voorraadssystemen

5.1 Kanban

Een Kanban systeem zorgt ervoor, dat voorraden worden aangevuld op basis van verbruik. Dat gebeurt met een signaal gevende manier om aan te duiden dat er een aanvulling nodig is (bv. met Kanban-kaarten, maar ook verschillende andere systemen zijn mogelijk). Kanban is de Japanse term voor signaal.

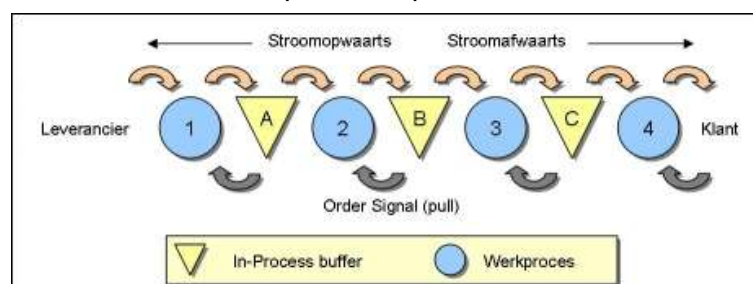
Het Kanban systeem zorgt voor productie op basis van het verbruik. Een proces moet een aantal producten produceren op basis van de klantvraag. Er zijn hiervoor onderdelen nodig. Deze worden uit de voorraad onttrokken. Wanneer de voorraad tot een bepaald punt is gedaald, wordt er een signaal gegeven aan het proces stroomopwaarts om de voorraad weer bij te vullen.

Er zijn een aantal regels waar een Kanban pullproductie⁸ systeem aan moet voldoen:

- Processen stroomafwaarts onttrekken precies het benodigde aantal onderdelen uit de buffers stroomopwaarts. Het aantal wat onttrokken kan worden, hangt af van het aantal Kanbans (= aantal signaalkaarten in omloop).
- Elke processtep produceert het aantal onderdelen wat op de Kanban vermeld staat. Dat gebeurt in de volgorde waarin de Kanbans liggen (vaak first-in-first-out)⁹.
- Een Kanban is vrijwel altijd gekoppeld aan een mandje, kar, container, bak of iets dergelijks. Geen Kanban betekent geen productie.
- Alleen defectvrije onderdelen mogen geleverd worden. Indien er defecten optreden, dient de oorzaak onmiddellijk opgelost te worden.
- Het productieproces moet gestroomlijnd worden om de productie te balanceren. Variatie in de vraag wordt opgevangen door het aantal Kanbans aan te passen.

Voorbeeld:

Zie de figuur hieronder. Proces 4 haalt onderdelen uit buffer C. Wanneer de voorraad tot een bepaald niveau is gedaald, wordt er een signaal afgegeven aan proces 3 (bv. met een Kanban kaart). Buffer C moet weer aangevuld worden met het aantal dat op de Kanban kaart vermeld staat. Dat werkt stroomopwaarts op dezelfde manier door.



Figuur 63: Kanban-systeem

(LeanENT, 2015)

⁸ Zie bijlage I, 6.1 Pull-productie

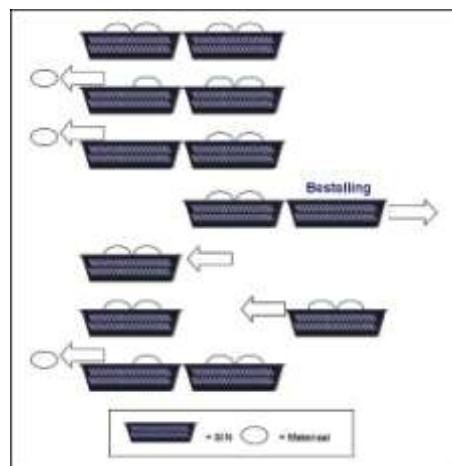
⁹ Zie bijlage I: 5.3 FIFO

5.2 Two-bin

Two-bin is een pull-productie systeem. De voorraad per onderdeel of artikel is verdeeld over twee bakken. Eén ervan is grijpvoorraad (meestal het bakje dichtstbij), de andere reservevoorraad (het bakje er achter). Men neemt eerst alleen uit de grijpvoorraad. Op het moment dat de bak met grijpvoorraad leeg is, moet deze weer gevuld worden. Een lege bak betekent bestellen. De bak wordt weer gevuld met een vast aantal onderdelen. De reservevoorraad wordt dan de nieuwe grijpvoorraad. De bak die in tussentijd gevuld is, wordt de nieuwe reservevoorraad.

Het voordeel van Two-bin is dat het bestelpunt duidelijk is vastgelegd. Dat is ieder mogelijk moment dat de bak met grijpvoorraad leeg is. Hier hoeft amper op gepland te worden. Een lege bak is het teken dat er weer besteld moet worden (als de bak met grijpvoorraad voldoende aantal onderdelen bevat zodat de tijd van bestellen overbrugd kan worden).

Het Two-bin principe wordt hieronder weergegeven:



Figuur 64: Two-bin systeem

(leanENT, 2015)

5.3 FIFO (First In First Out)

FIFO staat voor: First-in-First-out. Bij dit principe geldt: het onderdeel dat als eerste een proces in gaat, komt er ook als eerste uit.

Dit principe is noodzakelijk voor een pullsysteem. Door FIFO op de werkvloer duidelijk te maken, wordt gebruik gemaakt van bijvoorbeeld een geveerde FIFO baan tussen processtappen. Onderdelen blijven hierdoor in dezelfde volgorde zoals ze toekomen. Er wordt soms een maximum aan een FIFO baan toegekend. Hierdoor wordt de maximale buffer voor een processtap vastgelegd.



Figuur 65: FIFO

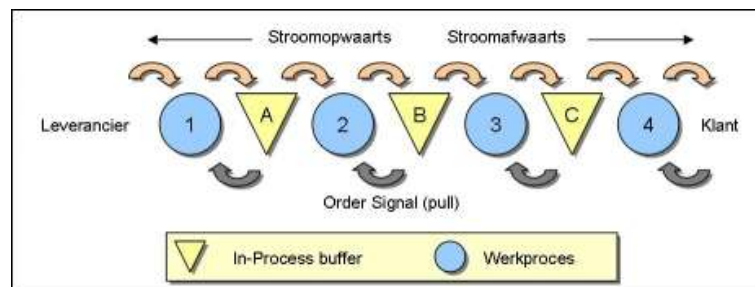
(leanENT, 2015)

6 Productiesystemen

6.1 Pull-productie

Bij 'pull-productie' worden alle activiteiten binnen een organisatie gestuurd door de behoeften en wensen van de klant. De klant bepaalt wanneer er hoeveel producten (of diensten) geleverd moeten worden, en volgens welke specificaties.

Wanneer er intern of extern een product of dienst besteld wordt, wordt er een 'pull-sigitaal' gegenereerd. Dit zet de gehele keten in werking.



Figuur 66: Pull-productie

De klant vraagt om een aantal producten. Dit is een 'pull-sigitaal' (grijze pijl). In het voorbeeld hierboven haalt processtep 4 het benodigde aantal onderdelen om de eindproducten te fabriceren uit zijn voorraadbuffer.

De beweging die door de klantvraag in gang wordt gezet, werkt door in de gehele keten. De beweging uit buffer 4 zorgt voor beweging uit buffer 3 enzovoort. De schematische voorstelling doet vermoeden dat er altijd een buffer moet zijn. Dit is echter niet het geval. Wanneer alles precies op tijd wordt geleverd en er dus geen wachttijden zijn, ontstaan er geen buffers (het just-in-time principe, JIT= de procestijden op mekaar afstemmen dat er geen wachttijden ontstaan).

(leanENT, 2015)

6.2 Push-productie

Deze manier van produceren is het tegengestelde van de pull-productie, nl. het produceren van producten op basis van de te verwachten vraag. De producten worden ongeacht de productiesnelheid en werkvoorraad van de volgende processtappen doorgeschoven. Orders worden direct na ontvangst vrijgegeven en in productie genomen.

Vaak worden productieafdelingen ingepland om lokaal efficiënt te produceren. Door hoge productietijden worden producten vaak in grote groepen geproduceerd. Vaak leidt dit tot hoge tussenvorraden. De doorlooptijd wordt daarmee ook langer.

Bij push-productie ontstaat vaak geen continue stroom. Dit is een wezenlijk verschil met pull-productie. Hierdoor ontstaat er geen afstemming tussen afdelingen waardoor de voorraad en de doorlooptijd toenemen. Een ander groot nadeel van push-productie is het feit dat eventuele overcapaciteit op verschillende plaatsen in het proces niet meer zichtbaar is. Alles en iedereen lijkt druk bezet. Ongecontroleerde ordervrijgave leidt veelal tot grote opstoppingen in processen en dientengevolge tot verlaging van de productiviteit.

(leanENT, 2015)

Bijlage II

Gereedschapslijst