



SPECIAL
INDUSTRIËLE
AUTOMATISERING

In 2012 rolt elke dag een F-35 van de productielijn

Vliegensvlug vervaardigen

De F-35 Lightning II, voorheen bekend onder de naam Joint Strike Fighter (JSF), moet nog dit jaar voor het eerst het luchtruim kiezen. Met een verwacht orderaantal van 5500 is de straaljager een echt massaproduct. Vliegtuigbouwer Lockheed Martin haalt alles uit de kast om de grootschalige fabricage te stroomlijnen en een hoog productietempo te garanderen. 'Een toestel per dag is zonder twijfel haalbaar.'

NEDERLAND EN DE F-35

Al vanaf een vroeg stadium is Nederland betrokken bij het F-35-programma. Het ministerie van Defensie ziet het toestel als opvolger van de F-16-gevechtsvliegtuigen, die de Koninklijke Luchtmacht sinds 1979 in dienst heeft. Ondanks de opknopbeurt die de toestellen in de jaren negentig hebben ondergaan, wil Defensie de F-16's de komende jaren om technische en operationele redenen vervangen. Reeds in 1996 liet het ministerie weten interesse te hebben in de F-35 Lightning II, toen nog Joint Strike Fighter (JSF) geheten. Vanaf 1997 is Nederland dan ook betrokken bij de Concept Demonstration Phase. Binnen deze fase zijn de operationele behoeften

vastgesteld en zijn demonstratietoestellen ontwikkeld. In 2002 besloot Nederland mee te werken aan de System Development Demonstration (SDD) Phase, die de feitelijke ontwikkeling van het toestel en de productie van 23 testvliegtuigen omvat. Om mee te mogen werken investeerde de overheid 800 miljoen dollar in het programma. Ook Groot-Brittannië, Italië, Turkije, Canada, Australië, Denemarken en Noorwegen leverden een bijdrage. De SDD-fase is begroot op 41,5 miljard dollar en loopt tot eind 2013. In ruil voor de investering kan het Nederlandse bedrijfsleven aan de ontwikkeling van de F-35 mee-

werken. Het kabinet heeft eind september besloten mee te doen aan de Production Sustainment and Follow-on Development (PSFD) Phase. Voor deze fase is, verspreid over een periode van veertig jaar, een aanvullende investering van 359 miljoen dollar (264 miljoen euro) noodzakelijk is. Zo'n zeventig bedrijven en instellingen in ons land zijn bij het project betrokken. Volgens het Netherlands Industrial Fighter Aircraft Replacement Platform (Nifarp), dat de belangen van de Nederlandse luchtvaartsector behartigt, hebben de ondernemingen al voor 700 miljoen dollar (516 miljoen euro) aan opdrachten ontvangen. Met name Stork, Dutch Aero en het

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) hebben veel en grote opdrachten gekregen. Stork ontwerpt en produceert onder meer de deuren voor het wapenruim en het landingsgestel. Ook is het bedrijf verantwoordelijk voor de ontwikkeling en de productie van de bekabeling in het toestel. Dutch Aero, het voormalige Philips Aerospace, werkt aan onderdelen voor de F136-straalmotor, die General Electric samen met Rolls-Royce ontwikkelt. Het NLR voerde reeds windtunnel-

proeven uit met schaalmodellen van de nieuwe straaljager en ontwerpt tevens ondersteunende grondsystemen. Deelname aan het F-35-programma levert de bedrijven niet alleen inkomsten op. Er vindt ook uitwisseling plaats van kennis en informatie tussen de verschillende partners, zo meent het Nifarp. Kees Mijnsbergen, die als projectleider van de bekabeling namens Stork in Fort Worth zit, bevestigt dit. 'Niet eerder in de geschiedenis heeft een Amerikaans bedrijf bij

een defensieproject de bekabeling in zijn geheel uitbesteed. Stork verzorgt zowel het ontwerp als de productie van de kabelbomen.' De bekabeling is volgens Mijnsbergen in vergelijking met andere opdrachten bijzonder. 'Het toestel is opgebouwd uit verschillende secties die op verscheidene locaties in de wereld worden ontworpen. De meeste projecten vallen binnen een sectie, maar dit geldt niet voor de bekabeling. De kabelbomen lopen door het hele toestel en zijn zodoende sectieoverschrijdend. Vanuit een ontwerpsoort brengt dit een enorme uitdaging met zich mee.'

starten met een katapult een grote belasting veroorzaakt', voegt Latham toe.

De verschillende eisen voor de start en de landing compliceren het ontwerptraject, vervolgt hij. 'Daar komt bij dat de Lightning II zowel andere vliegtuigen als gronddoelen moet kunnen aanvallen. Deze combinatie van taken brengt eveneens een heel pakket aan eisen met zich mee. Binnen het F-35-programma zorgt de nadruk op de massafabricage nog voor verdere complexiteit. Zeker wanneer de drie varianten met dezelfde productielijn moeten worden gebouwd.'

George Law, de hoofdingenieur van de F-35, weet als geen ander hoe complex het ontwerpproces was. 'En nog steeds is', corrigeert hij. 'Het ontwerp is eigenlijk nooit af, maar wordt gedurende de looptijd van het programma steeds verbeterd.' Law is vanaf het prille begin bij het programma betrokken en werkte in de jaren negentig aan de ontwikkeling van de drie demonstratiemodellen, die destijds onder de naam X-35 door het leven gingen. Voor zijn bijdrage aan het project

WARME LUCHT STROOMT DE AUTO IN WANNEER DE

chauffeur zijn portier opent voor een inspectie van de banden. De zon staat nog niet op zijn hoogste punt, maar het kwik is reeds boven de 40 °C gestegen. De autobanden moeten schoon zijn voor het rijden op het platform, legt hij uit. Rotzooi kan in een van de vliegtuigen of straalmotoren terecht komen en voor schade zorgen. Het asfalt is dan ook keurig schoon. Nergens is een vuiltje of kiezelkje te bekennen. Het militaire bewakingpersoneel op Naval Air Station Fort Worth Joint Reserve Base in de Amerikaanse staat Texas ziet streng toe op naleving van de regels. Met de maximaal toegestane snelheid van tien mijl per uur kruipt de auto over het zwarte asfalt, terwijl aan de linkerkant van het platform hangar na hangar voorbijrijdt. In de eerste dertien loodsen staan F-16's. De meeste zijn gloednieuw, anderen krijgen een onderhouds- of opknopbeurt. Op de militaire basis is namelijk niet alleen de luchtmacht gevestigd. Lockheed Martin produceert in Air Force Plant 4, dat onderdeel is van de basis, al jaren F-16's. In april leverde de fabrikant het 4300^e toestel en er staan nog tal van orders in de boeken.

Een overzicht van het gebruik van gemeenschappelijk, verwante en unieke onderdelen in de drie varianten.

Toch heeft de straaljager zijn langste tijd gehad. De laatste hangar van het rijtje huisvest het eerste exemplaar van de gedoodverfde opvolger: de F-35 Lightning II. Het toestel, dat voorheen onder de naam Joint Strike Fighter (JSF) door het leven ging, is begin juli met veel fanfare gepresenteerd.

In de loods is daar weinig meer van te merken. Het zijn lange dagen voor productietechnicus Kevin McGagin en zijn team. McGagin is verantwoordelijk voor de werkzaamheden aan de AA-1, het eerste exemplaar van de F-35 dat nog dit jaar zijn luchtdoop moet krijgen. 'Het zijn de laatste loodjes', vertelt hij tijdens zijn lunchpauze. 'Bij de grondproeven eerder dit jaar was het toestel voorzien van een aantal niet-gecertificeerde onderdelen die we nu vervangen. Daarna is het toestel gereed voor de eerste testvlucht. Alles past perfect, het is een soort bouw pakket. De hele productie en assemblage van de AA-1 is nagenoeg probleemloos verlopen, wat niet eerder vertoond is bij de vervaardiging van het eerste exemplaar van een gevechtsvliegtuig. Bijna alles liep op rolletjes.'

MASSAPRODUCT

Het is allerminst een toevalstreffer dat de productie van het eerste exemplaar in vergelijking met voorgaande toestellen zo gesmeerd is verlopen. Lockheed Martin spaart met het oog op de enorme productieaantallen kosten noch moeite om de F-35 zo eenvoudig en efficiënt mogelijk te fabriceren. De landen die aan het programma deelnemen, willen in eerste instantie 3153 kisten aanschaffen. Met de verkoop aan andere landen en vervolgoorders kan dit aantal oplopen tot 5500, zo becijfert de vliegtuigbouwer. De F-35 is een waar massaproduct. De fabricage daarvan veronderstelt een andere benadering van de productie dan in de militaire vliegtuigbouw gebruikelijk is. Niet langer staat alleen de kwaliteit van het eindproduct centraal, zoals veelal in de defensiesector het geval is, ook het fabricageproces zelf speelt een belangrijke rol.

Om de voordelen van schaalgrootte te benutten heeft Lockheed Martin bijna alle traditionele opvattingen over vliegtuigbouw overboord moeten zetten. De inspanningen van de Amerikaanse fabrikant richten zich met name op het omlaag brengen van de arbeidskosten. Arbeid vormt na-



Het NLR voerde windtunnelproeven uit met een schaalmodel van de F-35.

melijk een van de grootste kostenposten binnen het project. Om dat te bereiken streeft de vliegtuigbouwer allereerst naar een reductie van het aantal onderdelen in het vliegtuig zelf, wat de arbeidsintensieve assemblage vereenvoudigt. Daarnaast moeten slimme logistiek, speciaal gereedschap en automatisering het werk gemakkelijker maken en arbeidskrachten sparen.

VARIANTEN

De F-35 komt in drie varianten op de markt, omdat de straaljager niet alleen als vervanger van de F-16 geldt. Het toestel volgt ook de gevechtsvliegtuigen F/A-18 Hornet, AV-8B Harrier en A-10 Thunderbolt op. 'Hierdoor neemt het potentiële productieaantal uiteraard toe, wat het programma ten goede komt', vertelt James Latham, directeur internationale betrekkingen van het F-35-programma. 'Maar omdat deze vliegtuigen verschillende eigenschappen en functies hebben, is het noodzakelijk een aantal varianten van de Lightning II te maken. Deze uitvoeringen onderscheiden zich voornamelijk wat betreft het opstijgen en landen.' Variant A van de F-35 staat ook wel bekend als Conventional Takeoff and Landing (CTOL). Dit toestel geldt als opvolger van de F-16 en heeft vergelijkbare start- en landeigenschappen. De F-35B Stovl, wat staat voor Short Takeoff Vertical Landing, heeft een relatief korte startbaan nodig en kan verticaal landen. Het derde type, de F-35C Carrier Version (CV), is voorzien van een vanghaak voor het landen op een vliegdekschip. 'Ook zijn bepaalde onderdelen van de F-35C CV zwaarder uitgevoerd, omdat het



	F-35A Conventional Takeoff and Landing	F-35B Short Takeoff and Landing	F-35C Carrier Version
Hoogte (m)	4,6	4,6	4,6
Lengte (m)	15,7	15,6	15,7
Spanwijdte (m)	10,7	10,7	13,7
Massa leeg (kg)	12 020	13 600	13 600
Massa maximum (kg)	27 215	27 215	27 215
Brandstof (kg)	8165	5897	8618
Max.snelheid (mach-km/h)	1,6-1930	1,6-1930	1,6-1930
Bereik (km)	2222	1667	2593
Stuwkracht maximum (kN)	178	178	178
Stuwkracht verticaal (kN)		176,6	

GEVECHTSVLIEGTUIG MET GEWICHTSPROBLEEM

Na de luchtdoop van het eerste exemplaar van de F-35 Lightning II, die nog dit jaar moet plaatsvinden, duurt het bijna anderhalf jaar voor het tweede toestel het luchtruim kiest. Die eerste testvlucht moet in het voorjaar van 2008 plaatsvinden. Reden voor deze lange periode van relatieve rust is het gewichtsprobleem waarmee de Stovl-variant (Short Take-off Vertical Landing) van de F-35 kampte. Eind 2003 bleek dat dit toestel veel zwaarder was dan voorzien. Om deze reden formeerde Lock-

heed Martin het vijfhonderd man tellende Stovl Weight Attack Team, dat het ontwerp grondig onder handen nam. De grootste aanpassing in het ontwerp heeft betrekking op de wijze waarop de secties van het toestel met elkaar worden verbonden. 'De herziening van de verbindingen tussen de rompsecties heeft echter ook invloed op de bovenzijde van de vleugel', vertelt productie-technicus Kevin McGagin. 'Het originele ontwerp voorzorg in een vleugeluid uit één stuk. Verschillende machines en gereedschap-

pen zijn op de afmetingen van de huid gedimensioneerd. De enorme freesbank aan het begin van de productiehal is hier een voorbeeld van. Maar de F-35 AA-1 is het eerste en tevens enige exemplaar dat met een vleugeluid uit een stuk zal vliegen. In verband met de herziene sectieverbinding is besloten de huid uit zeven stukken op te bouwen. Dit is een meer conventionele benadering, maar het bleek een betere oplossing. Alleen deze aanpassing heeft een gewichtsbesparing van ruim 180 kg opgeleverd.' Het Stovl Weight Attack Team hield ook het

ontwerp van de Integrated Power Package (IPP) tegen het licht. De IPP, die uit een kleine gasturbine en een generator bestaat, levert elektriciteit en start de hoofdmotor van het vliegtuig. Hoewel de installatie relatief complex is en reeds veel tijd in de optimalisatie was gestopt, wist het team de massa toch nog met 57 kg te reduceren. 'Een andere gewichtsafname is behaald door twee in plaats van een neuswieldeur te gebruiken', vervolgt McGagin. 'Een deur genereert in geopende toestand tijdens de vlucht veel luchtweerstand. Doordat in het oude ontwerp slechts een deur zat, resulteerde deze weerstand in een asymmetrische belasting

van het toestel, vergelijkbaar met een zijwind van 46 km/h. De verticale staartvlakken moeten deze belasting opvangen. Met twee deuren in het toestel is de luchtweerstand iets groter, maar treedt er een symmetrische belasting op. Hierdoor is een kleiner oppervlak van de staartvlakken voldoende. Dat leidt tot een gewichtsbesparing van zo'n 10 kg. Dit lijkt een kleine winst, maar elke reductie helpt.' Het team slaagde erin de massa van het vliegtuig met 1369 kg terug te brengen, zo'n tien procent van het totale gewicht. De wijzigingen in het ontwerp van de Stovl-variant hebben ook gevolgen voor de andere twee

typen van de F-35. Volgens Lockheed Martin hebben de werkzaamheden van het Stovl Weight Attack Team een positief effect. De revisie heeft niet alleen de massa van de straaljager beperkt, maar heeft ook andere verbeteringen opgeleverd. McGagin: 'Doordat de vleugeluid niet langer uit een stuk bestaat, is de bereikbaarheid van de straalmotor voor onderhoud sterk verbeterd. In het oude ontwerp was de bovenzijde onbereikbaar, zodat verwijdering van de straalmotor uit het vliegtuig noodzakelijk zou zijn. Nu zijn werkzaamheden aan de motor mogelijk door eenvoudigweg een vleugelpaneel te verwijderen.'



Werknemers van Lockheed Martin leggen de laatste hand aan het eerste exemplaar van de F-35 Lightning II.

DETAILONTWERPEN

Het productieproces als complicerende factor komt pas echt in beeld bij het maken van de detailontwerpen, weet Law. 'Steeds heeft een vraag centraal gestaan: moet het anders en zo ja, waarom? We streven immers naar de ontwikkeling van drie varianten die zo veel mogelijk op elkaar lijken. Als de verschillen groot zijn, komen er eigenlijk drie compleet nieuwe toestellen tot stand.' De implicaties spreken voor zich. Sterk van elkaar verschillende straaljagers zijn niet met dezelfde productielijn en hetzelfde gereedschap te maken.

'Een enorme winst is te behalen op de luchtvaartelektronica en de straalmotor die binnen een gevechtsvliegtuig een grote kostenpost voor hun rekening nemen', stelt Law. De drie varianten maken dan ook gebruik van dezelfde avionica en motor. Er zijn overigens wel twee typen motoren voor de F-35 ontwikkeld. Pratt & Whitney levert de F135 en General Electric bouwt samen met Rolls-Royce de F136. 'Voor het toestel maakt het echter niet uit welke motor wordt ingebouwd', geeft de hoofdingenieur aan. 'De aansluitingen zijn exact hetzelfde en ook de aansturing is identiek. Het gereedschap voor de montage van de motoren is eveneens helemaal gelijk.'

Bij de start van het programma ging het ontwerpteam uit van meer identieke onderdelen in de drie varianten dan uiteindelijk het geval is. Law: 'Bezien vanuit de prestaties van de vliegtuigen bleek een groter percentage afwijkende componenten noodzakelijk. Veelal is het verschil beperkt: een onderdeel is bijvoorbeeld iets dikker of langer. Dit zorgt weliswaar voor een stijging van de kosten, maar die toename is beperkt. Voor het productieproces maakt een kleine variatie niet heel veel uit. Het onderdeel is dan nog te vervaardigen met dezelfde machines en gereedschappen.'

Het streven naar veel identieke componenten resulteert in sommige gevallen echter in een suboptimale oplossing. De

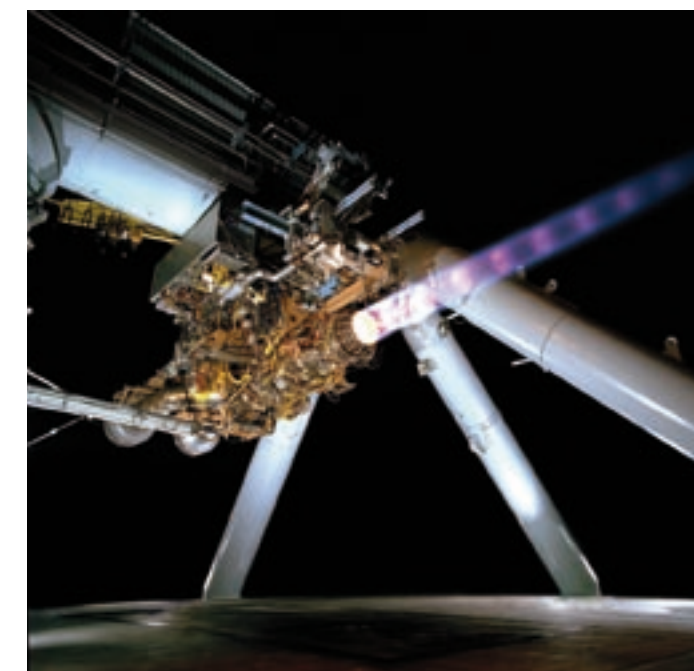
ontwikkeling van drie varianten in combinatie met veel nadruk op de fabricage leidt tot concessies in het ontwerp. Een voorbeeld is de Integrated Power Package (IPP), een kleine gasturbine die zich aan de achterzijde onder de straalmotor bevindt. De IPP heeft als taak de motor te starten. Ook genereert het apparaat elektriciteit. Vanwege de complexiteit en de compactheid van het ontwerp is het een relatief kostbaar systeem. Afgelopen zomer bleek dat de F-35C Carrier Version meer vermogen nodig heeft, wat een vergroting van de IPP vereist. Toen is besloten de grotere gasturbine ook voor de twee andere varianten te gebruiken. Deze toestellen vliegen straks dus met een iets zwaarder systeem dan strikt noodzakelijk is. De productie van verschillende IPP's zou echter veel kostbaarder zijn.

SAMENVOEGEN

Drie modellen met veel identieke componenten vormen echter nog geen garantie voor eenvoudige fabricage en assemblage. Met name in het ineenzetten gaan veel manuren zitten met evenredig hoge kosten. De oplossing van Lockheed Martin is even eenvoudig als effectief: verklein het aantal onderdelen. Dat betekent concreet dat verschillende componenten worden samengevoegd tot een onderdeel. 'Het samenvoegen tot een grotere component gaat doorgaans gepaard met een toename van de productiekosten per onderdeel', vertelt hoofdingenieur George Law. 'Deze kostenstijging hangt onder meer samen met de grote en kostbare machines die voor de vervaardiging noodzakelijk zijn en met een groter materiaalverlies. Toch weegt de stijging op tegen de reductie van de arbeidskosten.'

Bij de verkleining van het aantal onderdelen speelt de opkomst van composietmaterialen een belangrijke rol. De verwerking van composieten is nog steeds relatief duur, maar door de ontwikkeling van nieuwe technieken dalen de kosten de laatste jaren sterk. Met name voor grote componenten met een complexe vorm gelden vezelversterkte kunststoffen als een aantrekkelijk alternatief. Het hele toestel bestaat voor zo'n 40% uit composieten.

Het resultaat mag er zijn. In vergelijking met de F-22 Raptor, de superieure onderscheppingsjager die eveneens door Lockheed Martin wordt gebouwd en alleen bestemd is voor de Amerikaanse luchtmacht, is het aantal onderdelen in de F-35 zeventien maal kleiner. De assemblage moet zodoende veel minder manuren kosten en de doorlooptijd zal aanzienlijk korter zijn. 'Het toestel is ontworpen voor productie', aldus Law.



De F135-straalmotor van Pratt & Whitney tijdens een statische test. Maximaal levert de motor een stuwkracht van 178 kN.

De assemblagehal van Air Force Plant 4 ondergaat een ingrijpende verbouwing. De F-16, die nu nog veel ruimte in beslag neemt (zie bovenste afbeelding), maakt plaats voor de F-35. De productie van het middenstuk van de F-22 onderscheppingsjager blijft.

ontving hij in 2002 de Aircraft Design Award van het American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) 'Voorafgaand aan het daadwerkelijke ontwerpproces is voor elke variant in een configuratietekening de uitwendige geometrie weergegeven', legt hij uit. 'Ook is voor de Stovl-variant een grof ontwerp gemaakt van de interne structuur en de plaatsing van subsystemen. Vervolgens is bekeken of en hoe dat ontwerp te vertalen is naar de andere twee varianten. Uiteraard volgen uit deze vertaalslag nieuwe inzichten, waardoor het originele ontwerp weer verandert. Het is zodoende een sterk iteratief proces. Na dit proces is een detailontwerp voor de Stovl-variant uitgewerkt, dat wederom de basis vormde voor de andere twee uitvoeringen.'

'Elke dag moet een toestel van de lijn rollen', zegt Edward Linhart, vicepresident productie bij Lockheed Martin, terwijl hij door de reusachtige hal direct naast de kantoren van de vliegtuigfabrikant loopt. De hal, waar de eindassemblage van de F-35 plaatsvindt, is duidelijk zijn werkterrein. In het 1617 m lange gebouw werken honderden mensen aan het ineenzetten van F-16's en secties van de F-22 Raptor. De witte vloer is brandschoon. Abrupt stopt Linhart als hij ergens een slijtplek in de verlaag ziet. 'Die vloer is hier toch net opnieuw geveerd?', vraagt hij aan een werknemer, die bevestigend antwoordt. 'Vreemd. Ik denk dat ze gewoon te hard werken.'

Er wordt inderdaad hard gewerkt, want de hal ondergaat een grootschalige transformatie. 'Dit was het kloppende hart van de F-16-productie', vertelt Linhart. 'Tijdens het piekjaar 1987 zijn hier 284 toestellen gemaakt.' De F-16's zijn nu naar het achterste deel van de ruimte verplaatst om ruimte te maken voor hun opvolger.

De hal is nog lang niet gereed voor massafabricage van de F-35, maar Linhart twijfelt niet aan de haalbaarheid van het hoge productietempo. 'Met behulp van speciale computerprogramma's is het hele proces tot in detail in kaart gebracht.'

'Het toestel is ontworpen voor productie'



AUTOFABRIKANT HELPT VLIEGTUIGBOUWER

Bij de productie van de F-35 Lightning II gaat Lockheed Martin gebruikmaken van een bewegende lijn voor de laatste assemblagewerkzaamheden. Volgens de fabrikant levert de lijn een besparing van zo'n driehonderd miljoen dollar (220 miljoen euro) op. Een bewegende lijn waarbij toestellen door een productiehuis rijden terwijl werkzaamheden plaatsvinden, is geen noviteit in de vliegtuigbouw. Boeing maakt al enkele jaren gebruik van de techniek voor de fabricage van onder meer de 737, 757 en 777. De lijn zorgt voor een aanzienlijke reductie van de productietijd. De vliegtuigfabrikant meldde vorig jaar dat de assemblagetijd van een 737 met 50 % is ver-

kort. In plaats van 22 dagen heeft Boeing nu slechts elf dagen nodig voor het ineenzetten van een 737. Hoewel de techniek zich ruimschoots heeft bewezen, is een bewegende assemblagelijns bij de productie van militaire vliegtuigen voor het laatst in de Tweede Wereldoorlog ingezet. In de oorlogsjaren bouwde fabrikant Consolidated Aircraft 18 482 bommenwerpers van het type B-24 Liberator. Het viermotorige toestel was gedurende het grootste deel van de oorlog de zwaarste bommenwerper in de strijd. Vijf fabrieken produceerden het vliegtuig, waaronder Air Force Plant 4 in Fort Worth, waar ook de eindassemblage van de F-35 plaatsvindt, en het

legendarische Willow Run nabij Detroit. Air Force Plant 4 produceerde in totaal 3034 B-24's. Twee rijen vliegtuigen schoven door de productiehal. Verdeeld over drie ploegen werkten ruim dertigduizend mensen in de fabriek, zodat het productieproces 24 uur per dag en zes dagen per week kon doorgaan. In de piekmaand januari 1944 rolden 230 toestellen van de lijn. Willow Run bij Detroit spande met 8685 kisten de kroon bij het produceren van het 30 ton wegende vliegtuig. In december 1940 werd autofabrikant Ford Motor gevraagd de fabriek voor de B-24 te ontwikkelen en te bouwen. Het bedrijf maakte al sinds 1913

auto's met een bewegende lijn, wat in lage kosten en korte doorlooptijden resulteerde. Het eerste toestel rolde in oktober 1942 van de assemblagelijns. In de drie daaropvolgende maanden verlieten slechts 56 B-24's de hal, aanzienlijk minder dan voorzien. Henry Ford, die direct bij het project betrokken was, werd alom bekritiseerd en de fabriek kreeg de spotnaam

Will it Run? Ford schakelde Charles Sorensen in die als hoofdingenieur bij Ford Motors de productielijn voor Model T ontwikkelde. Sorensen gooide het assemblageschema voor de B-24 drastisch overhoop. Zijn inmenging bleek vruchtbaar, want in het voorjaar van 1944 leverde de fabriek bijna elk uur een B-24 af. In de topmaand rolden er 650 toestellen van de lijn.

Net zoals Ford Consolidated Aircraft aan een geolie-de fabriek hielp, helpt de Japanse autofabrikant Toyota Lockheed Martin bij de ontwikkeling van het assemblageproces. Toyota werkte ook mee aan de bewegende lijn van Boeing voor de 737. Hoewel de F-35 Lightning II een stuk complexer is en daardoor ook het productie- en assemblageproces ingewikkeld is, heeft Edward Linhart, vicepresident productie bij Lockheed Martin, vertrouwen in het ontwerp van de lijn. 'Met behulp van computerprogramma's zijn van het hele assemblagetraject simulaties gemaakt', aldus Linhart. 'Aan de hand van deze simulaties zijn de knelpunten en eventuele problemen in kaart gebracht.'



Productie van B-24's in de productiehuis van Air Force Plant 4, waar nu de eindassemblage van de F-35 plaatsvindt.

Deze programma's maken simulatie van de hele assemblage mogelijk, zodat alle mogelijke knelpunten al bekend zijn voordat de grootschalige productie start. Ook is het mogelijk om het ineenzetten van een specifiek toestel te simuleren. Bij het maken van de F-35 AA-1 is dit gedaan. Voordat alle onderdelen hier in Fort Worth waren, leverden de projectpartners informatie over de dimensies van de componenten aan. Met een simulatie op basis van deze gegevens is gekeken of alles ook daadwerkelijk paste.'

'Zo'n accuraat assemblagesysteem is niet eerder gebruikt'

FREESBANK

De eerste machines en installaties zijn reeds in gebruik. Meest in het oog springend is een omvangrijke vijfassige freesbank die in een afgeschermd ruimte staat en onderdelen tot ongeveer 15 m kan bewerken. 'De freesbank is onder meer bestemd voor bewerking van de kunststofvleugelhuizen', vertelt Linhart. 'Omdat de Lightning II onzichtbaar moet zijn op de radar, zijn de toleranties zeer klein. Een minimale afwijking in de geometrie kan grote gevolgen hebben voor deze *stealth*-eigenschappen. De freesbank werkt met een gegarandeerde tolerantie van 0,2 mm, maar presteert in praktijk beter. Bij de 10,7 m lange bovenste vleugel voor de F-35 AA-1 bedroeg de afwijking slechts 0,05 mm. Om een dergelijke nauwkeurigheid

Plaatsing van de F135-motor in de F-35 AA-1.

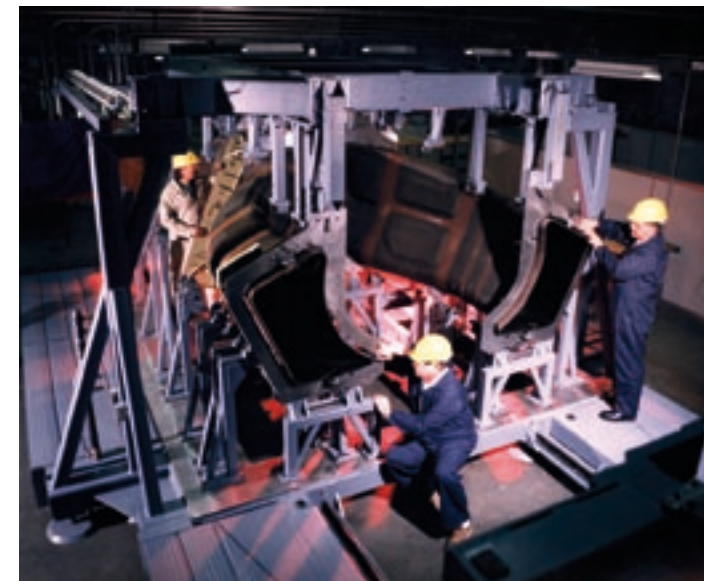


te halen staat de hele installatie in een geconditioneerde ruimte, waar het constant 22,8 °C is.'

Voor de inspectie van de vleugelhuizen maakt Lockheed Martin gebruik van een nieuwe techniek uit eigen stal. De Laser Ultrasonic Test (LaserUT) is in staat een zeer snelle en nauwkeurige controle op onregelmatigheden uit te voeren. Hiertoe maakt het apparaat gebruik van twee lasers. De eerste pulserende laser zorgt voor een lokale temperatuurstijging van het oppervlak, die hoogfrequente schokgolven in het materiaal veroorzaakt. Een zwakke plek of een insluiting in het materiaal wordt door een verstoring van de golven, wat de tweede laser detecteert. 'De testmethode is veel nauwkeuriger dan voorgaande technieken waarbij een onderdeel in zijn geheel in een vloeistof werd gedompeld', zegt Linhart, die over de exacte werking van de LaserUT niets kwijt wil. 'Daarnaast neemt de nieuwe methode tien maal minder tijd in beslag en bedragen de arbeidskosten slechts tien procent.'

De zogenoemde *autodrill* levert een vergelijkbare bijdrage. De ruim 5 m hoge installatie boort gelijktijdig gaten in de vleugel en -constructie. Ook brengt de machine een verbinding tussen de verschillende delen tot stand. Bij de productie van de F-35 AA-1 maakte de automatische boor zo'n 6700

De luchtinlaat heeft in verband met de hoge snelheid van de lucht en de *stealth*-eigenschappen een complexe geometrie.



gaten binnen 24 uur. Slechts één gat voldeed niet aan de vereiste tolerantie van 50 µm. De oorzaak bleek een fout in de digitale invoer. Het hele proces verloopt bijna volledig zonder tussenkomst van mensen.

Hetzelfde geldt voor de spuithal, waar de vliegtuigen in de gewenste kleur worden gespoten en tevens een speciale *stealth*-coating krijgen. Het opbrengen van de coating luistert zeer nauw, omdat een te dikke of te dunne laag invloed heeft op het radarprofiel. Zelfs voor ervaren spuiters is het een tijdrovend en kostbaar proces. Voor het aanbrengen van deze *secret sauce*, de mysterieuze coating die radarsignalen absorbeert, zet de vliegtuigbouwer een achtassige robotarm in. De arm kan elke hoek bereiken en elke kromming volgen. Tussenkomst van ervaren spuiters behoort in principe tot het verleden.

VERHOOGDE VLOER

Het eerste assemblagestation waar de verschillende onderdelen aan elkaar worden gekoppeld, is ook al gereed. Het station bestaat uit een verhoogde vloer met uitsparingen in de vorm van de straaljager. Door de verhoging kunnen meer mensen gelijktijdig aan het toestel werken. 'Een kraan hijst eerst de centersectie in het station', legt Linhart uit. 'Hierna volgt het voorste deel van de romp, de vleugel en tot slot de achterste rompsectie. Het assemblagesysteem dat de verschillende delen uiteindelijk bij elkaar brengt, zorgt ook voor de uitlijning en maakt tussenkomst van mensen grotendeels overbodig. Lasers registreren de exacte positie van de delen, waarna het systeem aangeeft of de uitlijning van de delen juist is. Dat is wederom met het oog op de *stealth*-eigenschappen cruciaal. Tijdens de assemblage van de F-35 AA-1 gaf het systeem aan dat de achterste rompsectie 0,3 mm te ver naar rechts stond. De actuatoren kregen vervolgens de opdracht om die 0,3 mm op te schuiven. Niemand heeft deze verschuiving gezien, maar de volgende meting met de lasers bevestigde een volledige juiste uitlijning. Een dergelijk accuraat assemblagesysteem is niet eerder gebruikt.'

Het laatste deel van de productielijn bestaat alleen nog op papier. Linhart wijst naar vijf F-16's die even verderop in de hal staan. 'Daar komt de bewegende productielijn, waar de laatste werkzaamheden aan de F-35 moeten plaatsvinden. Vanuit de assemblagestations zet een kraan de toestellen op de lijn. Elk vliegtuig passeert vervolgens een aantal stations, die zich met het toestel over een bepaalde afstand door de hal verplaatsten. Daarna keren ze terug naar hun beginpositie om de volgende kist onder handen te nemen.' Sinds de Tweede Wereldoorlog, toen in dezelfde hal B-24-bommenwerpers aan de lopende band in elkaar werden gezet, is deze techniek niet meer ingezet bij de productie van militaire vliegtuigen. Voor het ontwerp van de bewegende lijn nam Lockheed Martin technici van autofabrikant Toyota in de arm. Eerder assisteerden zij Boeing bij het opzetten van een productielijn voor de fabricage van het verkeersvliegtuig 737.

'De lijn moet het hele productieproces verder versnellen. Tijdens de eerste fase van de fabricage verplaatst een vliegtuig 25 mm per uur, maar in 2012 bedraagt de snelheid 1,2 m per uur', geeft Linhart aan. 'Deze bewegende lijn brengt continuïteit in de productie en noodzaakt tot het oplossen van eventuele problemen bij de assemblage. Als er ondanks de vele simulaties en berekeningen toch een manco in het traject zit, moet direct een oplossing worden bedacht. Een gebrek kan alle voordelen van een bewegende assemblagelijns ongedaan maken.' Maar vooralsnog is Linhart vol vertrouwen. 'De productiedoelstelling van een toestel per dag is zonder twijfel haalbaar.'

INTERNETBRONNEN

www.jsf.mil

Website van het F-35-programma.

www.lockheedmartin.com

Lockheed Martin is projectleider van het programma, omdat het bedrijf in 2001 de opdracht voor de ontwikkeling van de F-35 verwerfde.

www.northropgrumman.com

De Amerikaanse vliegtuigfabrikant Northrop Grumman levert onder meer de centersectie van de F-35.

www.baesystems.com

Het Britse BAE Systems maakt onder andere de voorste rompsectie en staartvlakken.

www.niid.nl

Het Nederlands Industrial Fighter Replacement Platform (Nifarp) behartigt de belangen van de luchtvaartsector in Nederland.

Het Dossier
JSF-FABRICAGE

Straaljagers
van de
lopende band