



foto Boeing/Dean Jones

EXPERTS OVER DE MANKEMENTEN VAN DE 737 MAX

Het probleemkind van Boeing

Experts zijn kritisch over het ontwerp van de Boeing 737 MAX. Het nieuwe besturingssysteem dat de aerodynamische instabiliteit moest compenseren, duwde de neus van het vliegtuig te sterk omlaag. Bovendien was dit kritische systeem afhankelijk van maar één enkele invalshoeksensor, wat een onacceptabel risico op fouten opleverde. 'Veiligheid begint bij twee uit drie.' tekst ir. Jim Heirbaut

Nog steeds vliegt hij niet, de Boeing 737 MAX. Na twee dodelijke crashes binnen een paar maanden tijd worden sinds half maart alle toestellen van het type uit voorzorg aan de grond gehouden. Boeing werkt sindsdien aan een oplossing voor het niet goed functionerende, nieuwe Maneuvering Characteristics Augmentation System

(MCAS). Dat systeem voerde de Amerikaanse vliegtuigbouwer in bij de nieuwste versie van de 737, de MAX, die in 2016 voor het eerst het lucht-ruim koos.

Het lot van het populaire vliegtuig houdt luchtvaartliefhebbers en technici bezig. Zo ook drs. Wiebe Pronker, voormalig groepschef Constructietesten bij Fokker. Hij stuurde

De Ingenieur een lange brief met zijn analyse. Zijn belangrijkste punt: de Boeing 737 MAX 8 is in aerodynamisch opzicht onvoldoende stabiel. 'Doordat Boeing koos voor grotere, zuinigere motoren pasten die niet meer onder de vleugels. Daar zouden ze te laag hangen en bij het opstijgen en landen steentjes binnen kunnen krijgen', schrijft Pronker. 'Gevolg was dat de

De onderdelen van een vliegtuig die een belangrijke rol spelen bij het stijgen en dalen van een toestel. Het nieuwe MCAS-systeem, dat Boeing invoerde op de 737 MAX, dient om de piloot te helpen als het toestel bij lage snelheid dreigt te overtrekken.



Een vliegtuig stijgt of daalt door het hoogteroer te bedienen; het stabilo houdt het toestel op een vlakke koers (of constant dalend, op weg naar de landing).

Als de invalshoek (de hoek tussen de inkomende luchtstroom en de vleugels) te groot is, wordt de liftkracht van de vleugels te laag en kan het toestel in overtrek (*stall*) raken en uit de lucht vallen. Boeing ontwierp het nieuwe systeem MCAS om, bij handmatig vliegen, de piloot te helpen op het moment dat overtrek dreigt. Dan duwt MCAS de neus van het toestel omlaag. Bij de ramp met Lion Air bij Indonesië hebben de piloten geworsteld met MCAS. Steeds opnieuw werd de neus omlaag geduwd. Omdat het vliegtuig nog laag vloog, werd dit de 737 fataal.

illustratie Ruud Vogelesang



motoren omhoog moesten en noodgedwongen verder naar voren zijn geschoven in het ontwerp. Het bezwaar hiertegen is dat de motorgondels met hun grote luchtinlaten ook bijdragen aan de liftkracht, vooral als je "schuin aanvliegt" (met een relatief grote invalshoek, de hoek tussen de inkomende luchtstroming en de vleugels, red.). Die extra krachten grijpen ver naar voren op het toestel aan, wat een *nose up-neiging* versterkt.

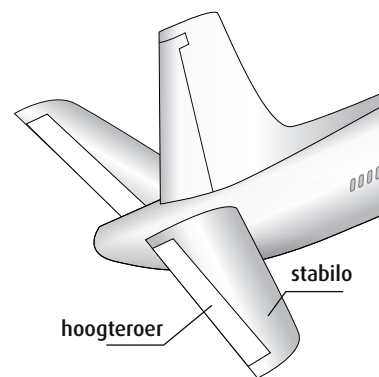
In andere woorden: in situaties waarbij de piloot de neus van het toestel te ver omhoog trekt, geven de grotere, verder naar voren geplaatste motorgondels nog een zetje mee. Het toestel verliest snelheid en door een te grote hoek tussen vleugels en inkomende lucht dreigt het vliegtuig te overtrekken (*stall*). Daarbij valt de liftkracht die de vleugels leveren weg en kan het vliegtuig uit de lucht vallen.

Foute stand

Boeing was zich hiervan bewust en heeft dat in het ontwerpproces willen oplossen met een nieuw systeem: het Maneuvering Characteristics Augmentation System, kortweg MCAS. Het is ontworpen om bij handmatig vliegen de piloot te helpen op het moment dat overtrek dreigt. MCAS bepaalt dit aan de hand van gegevens als de hoogte, snelheid en invalshoek (in het Engels *angle of attack*). Staat de neus te veel omhoog, dan duwt de software van MCAS de neus van het toestel een beetje omlaag door het horizontale staartvlak, het zogeheten stabilo, een beetje omhoog te laten draaien.

Dit kan een goede oplossing zijn, maar volgens Pronker is het probleem met het stabilo dat het een veel grotere oppervlakte heeft dan het hoogteroer. Daardoor is een foute stand van het stabilo niet eenvoudig te corrigeren met het hoogteroer - en vanaf een bepaalde afwijking helemaal niet meer, zoals we hebben kunnen zien bij de

vliegcrashes in Indonesië en Ethiopië. 'De oplossing om het MCAS-systeem uit te zetten, voldeed bovendien niet. Bij proeven in een simulator in Zweden lukte het de piloten niet om het stabilo handmatig terug te draaien. Dat moet namelijk met het trimwiel dat tussen de piloten in zit, en de krachten op dat wiel bleken te groot.' Dit komt doordat het hoogteroer, waarmee de piloot de foute stabilisatorstand probeert te corrigeren, een tegengestelde kracht op het stabilo uitoefent. Vooral als het vliegtuig ook nog eens veel snelheid heeft als gevolg van de duikvlucht, zal de maximale kracht die een piloot met het trimwiel kan uitoefenen, tekortschieten. 'Dit moet Boeing echt goed bekijken, want dit is heel zorgelijk', stelt Pronker.



We legden deze analyse voor aan piloot en luchtvaartexpert dr.ir. Alexander in 't Veld van de TU Delft. Hij bestuurt regelmatig het testvliegtuig van de TU Delft, een aangepaste Cessna Citation-zakenjet, en geeft daarnaast colleges aan studenten over de stabiliteit van vliegtuigen in de lucht. Ook In 't Veld is kritisch over de uitvoering van MCAS bij de 737 MAX. 'Die schiet ernstig tekort - daar is iedereen het wel over eens.'

Te stevige werking

Het gaat met name mis bij de hoek waarmee het MCAS-systeem het stabilo verdraait: die is te groot. 'In het oorspronkelijke ontwerp van MCAS ging dat om eenmalig maximaal 0,6 °. Een klein zetje de goede kant op dus. Dit is in lijn met de bedoeling van Boeing dat piloten die op oude 737's mochten vliegen, zonder extra training ook op de 737 MAX moeten kunnen vliegen. Die moet als het ware hetzelfde aanvoelen als de bestaande kisten. 'Maar later bleek dat Boeing het systeem een grotere autoriteit had gegeven.' Het stabilo kan nu tot 2,5 ° verdraaien op instructie van MCAS, en dat meerdere keren. Het doel van Boeing is duidelijk: steviger de neus omlaag duwen. Maar in de praktijk heeft MCAS te stevig gewerkt. Zowel in Indonesië als in Ethiopië werd de neus van het vliegtuig herhaaldelijk sterk omlaag geduwd, met tragische gevolgen.

'In de eerdere, lichte versie was MCAS een 'niet-kritisch systeem' en was het voldoende dat het slechts de input van één enkele invalshoeksensor gebruikte. Maar toen MCAS sterker ging regelen, was dit ontwerp niet meer afdoende', vertelt In 't Veld. Als een kritisch systeem op basis van slechts één sensor regelt, dan levert dat een te groot risico op fouten op. Foutieve *angle of attack*-data zijn ook wat de twee vliegcrashes in gang heeft gezet: het MCAS-systeem kreeg data door die aangaven dat het toestel te steil steeg, terwijl er in feite geen probleem was. MCAS duwde vervolgens de neus onterecht omlaag. In 't Veld denkt dan ook dat Boeing gedurende het ontwerpproces MCAS aan beide *angle of attack*-sensoren had moeten koppelen. Pronker vindt dat ook: 'Input van één sensor is net zoiets als geen sensor. In die ene sensor kan zand komen, hij kan bevroren zijn of er is een vogel tegenaan gevlogen, waardoor hij krom is. Veiligheid begint bij twee uit drie.'

HET LAATSTE WOORD

In de berichtgeving rond de twee vliegcrashes met de Boeing 737 MAX in Indonesië en Ethiopië werd het bekritiseerde MCAS-systeem in zo'n beetje alle media (toegegeven, ook in *De Ingenieur*) een *anti stall system* genoemd, een systeem dat overtrekken moet voorkomen. Maar dat klopt niet, stelt dr.ir. Alexander in 't Veld van de TU Delft. Het is een systeem dat de stuurkrachten die de piloot voelt, zodanig moet beïnvloeden dat die een zo prettig mogelijk sturend vliegtuig gepresenteerd krijgt - een toestel dat net zo aanvoelt als de voorgangers van de 737 MAX. 'MCAS is geïntroduceerd omdat de stuurkrachten bij hoge invalshoek - boven de 11° - ineens te veel afnamen, doordat de motorgondels ook liftkracht gingen leveren. Het is dus een onderdeel van het systeem dat de stuurkrachten regelt.'

In andere toesteltypen zitten wel systemen die overtrekken moeten tegengaan, zoals een *stick pusher* die de neus omlaag duwt bij een dreigende *stall*, vertelt In 't Veld. 'Maar de 737 MAX heeft alleen een *stick shaker*, die de stuurkolom laat trillen als waarschuwing voor de piloot, die daarop moet ingrijpen. Daar is de piloot zelf dus het feitelijke stall-preventiesysteem, geheel volgens de Boeing-filosofie dat de piloot het laatste woord heeft.'

Wat moet Boeing nu doen om de 737 MAX helemaal veilig de lucht in te kunnen sturen? In 't Veld denkt dat MCAS in de eerste plaats minder sterk moet worden gemaakt. 'Het systeem zal vermoedelijk minder lang bijsturen.' Ook zal MCAS hoogstwaarschijnlijk redundant worden uitgevoerd, en dus voortaan zijn data krijgen van twee *angle of attack*-sensoren. 'En als er eentje foutieve data geeft, dan moet MCAS koste wat kost uitschakelen', benadrukt In 't Veld. Ook moeten piloten een betere uitleg krijgen over MCAS: wat doet het precies en hoe is het uit

'Verander het zwaartepunt van de MAX door het vliegtuig een beetje korter te maken'

te schakelen. Daar schortte het in eerste instantie nogal aan. Boeing had piloten niets verteld over het nieuwe systeem MCAS dat in de 737 MAX was ingebouwd, want deze nieuwste versie 737 moest voor piloten immers precies zo aanvoelen als eerdere modellen uit de reeks.

Pronker doet een meer rigoureuus voorstel: maak de MAX een beetje korter, zodat het zwaartepunt van het toestel wat naar voren komt te liggen. 'Het inkorten van de romp achter de vleugel, met een of twee spanten, is niet zo moeilijk. Dat kost een bedrijf als Boeing ongeveer een week werk.' Maar dat lost het fundamentele probleem van de 737 MAX niet op, werpt In 't Veld tegen. 'Zolang die grotere motoren op die plek blijven zitten, los je de inherente aerodynamische instabiliteit niet op. Het effect blijft dat die motorgondels zelf extra lift leveren.' Alles overziend zou je kunnen constateren dat Boeing de 737-reeks

ONTBREKENDE VLEGKUNST

De eerste vliegcrash met de 737 MAX van Lion Air in Indonesië was een ongelukkige samenloop van omstandigheden, zo blijkt uit het artikel 'What Really Brought Down the Boeing 737 Max?' uit *The New York Times Magazine* van 18 september. Het artikel, geschreven door journalist en voormalig piloot William Langewiesche, is de meest complete reconstructie die we tegenkwamen. Niet alleen trad het MCAS-systeem boven de Javazee in werking zonder dat de piloten daarvan op de hoogte waren, maar ook blijkt dat al eerder bekend was dat de invalshoeksensor van dit toestel defect was, waardoor MCAS uiteindelijk ten onrechte inschakelde. De onderhoudsploeg had dat echter niet goed genoteerd, waar-

door de piloten van de volgende, noodlottige, vlucht dachten dat ze in een perfect functionerende toestel stapten.

Toch plaatst de auteur ook vraagtekens bij de vliegkunsten van de jongste generatie piloten, met name in landen waar de luchtvaart zeer snel groeit, zoals Indonesië. De journalist heeft betrokkenen geïnterviewd en een vliegschool van Lion Air bezocht. Duidelijk wordt dat die met een minimale inspanning zo veel mogelijk verse piloten moet afleveren. De kantjes worden er regelmatig vanaf gelopen: leerling-piloten schrijven uren in de simulator, terwijl ze in werkelijkheid alleen hebben meegekeken bij medestudenten.

De jonge piloten, overwegend man-

nen, die dit proces oplevert, kunnen vooral overweg met de automatische piloot. Ze zijn goed in het afwerken van checklists, maar ontberen *airmanship*, meent Langewiesche. Een lastig te vertalen begrip – letterlijk vliegkunst – 'een diep gevoel voor oriëntatie in de lucht, maar vooral voor de energie en massa-traagheid van een toestel en de krachten die de luchtstromingen erop uitoefenen.' Een groot deel van de tijd heeft een piloot dit gevoel voor vliegen niet zo hard nodig, maar als het toestel ineens onverwachte dingen begint te doen, is het onmisbaar. Zoals is gebleken, helaas. 'Vliegtuigen zijn levende wezens', stelt Langewiesche. 'De beste piloten gaan niet in een cockpit zitten, maar binden hem om.'

misschien net een stap te ver heeft willen uitmelken, onder druk van concurrent Airbus, dat met de zuinige A320NEO was gekomen. Boeing had wellicht beter een geheel nieuw toestel kunnen ontwerpen dat aerodynamisch gezien stabiel was. Wanneer de Boeings weer mogen vliegen van de Amerikaanse toezichthouder FAA, is nog ongewis. De Europese evenknie heeft al aangekondigd zelf testvluchten te willen uitvoeren met de verbeterde 737 MAX, voordat het Europese luchtruim wordt vrijgegeven voor het vliegtuig.

Stappen de experts nog in de 737 MAX als hij straks weer vliegt?

'Liever niet, als ik de keuze heb', zegt Pronker. 'Ja, hoor', zegt In 't Veld. 'Als ik ervan overtuigd ben dat de problemen opgelost zijn, geen probleem.' |

We hebben de ideeën van de experts voorgelegd aan Boeing, maar de vliegtuigbouwer geeft op dit moment geen commentaar. Het bedrijf heeft een speciale website waar het updates over de MAX plaatst.

tinyurl.com/update737max



Het stabilo van een Embraer ERJ-170. De woorden 'up' en 'down' slaan op de richting van de neus van het vliegtuig ten gevolge van de oriëntatie van het stabilo.