

Doel van de werkzaamheden van de Onderzoeksraad is het voorkomen van toekomstige voorvallen of de gevolgen daarvan te beperken. Onderzoek naar schuld of aansprakelijkheid maakt nadrukkelijk geen deel uit van het onderzoek door de Raad. Verklaringen die zijn afgelegd in het kader van een onderzoek van de Raad, informatie die de Raad heeft verzameld, resultaten van technische onderzoeken en analyses, opgestelde documenten (inclusief het gepubliceerde rapport) mogen niet worden gebruikt als bewijs in strafrechtelijke, tuchtrechtelijke of civielrechtelijke procedures.

ALGEMENE GEGEVENS

Nummer voorval:	2008078
Classificatie:	Ernstig incident
Datum, tijd ¹ voorval:	12 juli 2008, 20.10 uur
Plaats voorval:	Nabij Lekkerkerk
Registratie:	PH-SVU
Type luchtvaartuig:	Apex Robin DR400/135CDi
Soort luchtvaartuig:	Eenmotorig propellervliegtuig
Soort vlucht:	Trainingsvlucht
Fase van de vlucht:	Landing
Schade aan luchtvaartuig:	Ernstig
Aantal bemanningsleden:	Twee
Aantal passagiers:	Eén
Persoonlijk letsel:	Geen
Overige schade:	Geen
Lichtcondities:	Daglicht

SAMENVATTING

Tijdens een trainingsvlucht oefenden de instructeur en leerling een noodlanding. Toen het vermogen werd teruggenomen gingen beide waarschuwingsslampen van het motorbesturingsstelsel knipperen en stopte de motor. Vervolgens nam de instructeur de besturing van het toestel over en voerde een noodlanding uit in een weiland. Het vliegtuig raakte hierbij ernstig beschadigd maar de inzittenden bleven ongedeerd.

Dit rapport is gebaseerd op eigen onderzoek en een schriftelijke verklaring van de instructeur.

¹ Alle tijden in dit rapport zijn lokale tijden tenzij anders vermeld.

FEITELIJKE INFORMATIE

Omschrijving van het voorval

De instructeur maakte met een leerling een instructievlucht volgens zichtvliegvoorschriften vanaf Rotterdam Airport (EHRD). Er was één passagier aan boord. Na het binnenvliegen van het laagvlieggebied tussen Rotterdam en Gouda nam de instructeur op een hoogte van circa 1400 voet het vermogen terug voor een oefening noodlanding. Enige tijd later knipperden de beide waarschuwingsslampen van het motorbesturingsysteem en stopte de motor. De instructeur besloot vervolgens een noodlanding in een weiland te maken. Hierbij kwam het rechterwiel van het hoofdlandingsgestel in een greppel terecht waarna het vliegtuig naar rechts draaide en met de neus in de greppel tot stilstand kwam. Het vliegtuig raakte hierbij ernstig beschadigd. De inzittenden konden het vliegtuig ongedeerd verlaten.



Figuur 1: PH-SVU na de noodlanding

Vliegtuig en motor

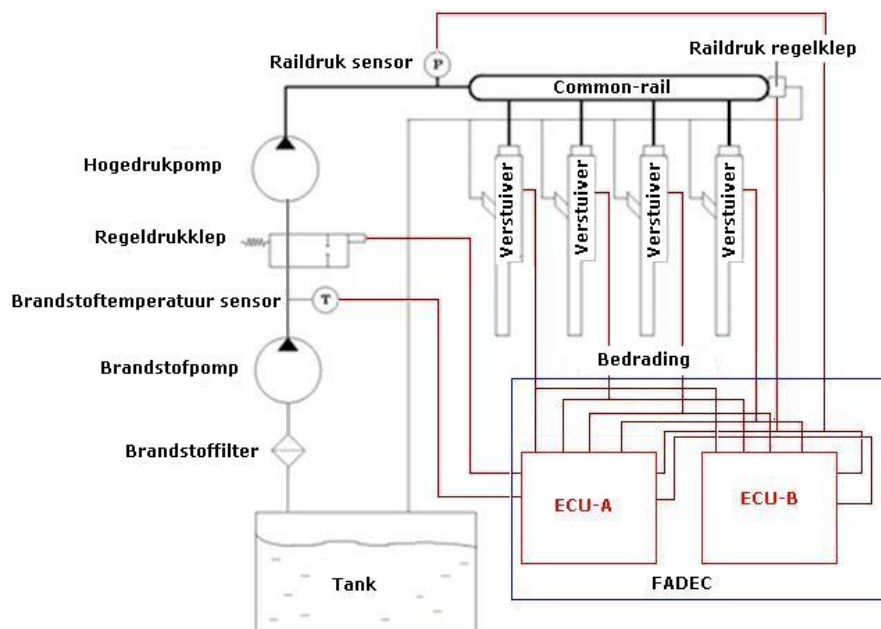
De Apex Robin DR400/135CDi is een vierpersoons motorvliegtuig dat is uitgerust met een Thielert TAE 125-01² common-rail dieselmotor. Deze motor is ontworpen voor Jet A1 brandstof die dezelfde eigenschappen heeft als diesel. Het vliegtuig is uitgerust met een enkelvoudige gashendel. De piloot hoeft daardoor de instelhoek van de propellerbladen, het brandstofmengsel of andere motorparameters niet apart in te stellen maar gebruikt één hendel om het motorvermogen te regelen.

In figuur 2 wordt een functioneel schema van een TAE 125-01 dieselmotor getoond. De brandstof komt uit de brandstoftank en wordt naar een hogedrukpomp geleid. De druk van de brandstof wordt vervolgens opgevoerd en de brandstof wordt naar de verdeelbuis, hierna te noemen common-rail, van de motor geleid. De hoogte van de druk in de common-rail is mede bepalend voor het motortoerental (motorvermogen). De druk in de common-rail wordt geregeld door de raildruk regelklep en gemeten door de raildruk sensor. Elektrisch bediende verstuivers injecteren de brandstof onder hoge (common-rail) druk in de cilinders voor de verbranding.

² De TAE 125-01 motor is een vloeistofgekoelde 4-cilinder in-lijn viertakt common-rail dieselmotor met turbocompressor.

De elektronische aansturing van de motor wordt geregeld door een Full Authority Digital Engine Control³ (FADEC) unit. Deze FADEC heeft twee onafhankelijke motorregelsystemen (ECU's)⁴, aangeduid als ECU-A en ECU-B. De motor wordt normalerwijze geregeld door ECU-A terwijl ECU-B redundant is ('fail-safe' principe). Met een schakelaar kan de piloot automatische of handmatige ECU-regeling selecteren. De schakelaar staat standaard in de stand AUTOMATIC, in welk geval ECU-A de motor regelt. Als het interne controlesysteem van de FADEC een storing ontdekt, neemt ECU-B automatisch de regeling over. Dit wordt door middel van een waarschuwingslampje in de cockpit aangegeven. Ook kan de piloot handmatig ECU-B selecteren. Een bedradingsharnas, een bundel elektrische bedrading, verbindt de verschillende systemen van de motor met de FADEC waardoor de motor wordt aangestuurd. Er is slechts één enkele verbindingskabel tussen de raildruk sensor en de FADEC en tussen de raildruk regelklep en de FADEC. In deze verbindingen zit geen redundantie; ze zijn niet 'fail-safe' uitgevoerd.

Een storingsregistratie- en een dataopslagsysteem maken deel uit van de FADEC en kunnen worden gebruikt bij het oplossen van motorstoringen. De gegevens kunnen ook worden gedownload om na de vlucht te worden geanalyseerd.



Figuur 2: functioneel schema van het TAE 125-01 brandstof en elektronisch controlesysteem

De bestuurder

De instructeur was in het bezit van een geldig bewijs van bevoegdheid, een Commercial Pilot Licence (CPL(A)) met bevoegdverklaringen instrumentvliegen éénmotorig (IR-SE(A)), vlieg instructeur (FI(A)), nachtkwalificatie (NQ(A)) en radiotelefonie (RT). Daarnaast was hij in het bezit van een geldige medische verklaring. Hij had een totale vliegervaring van 1510 uren waarvan 400 op het betrokken type.

³ Full Authority Digital Engine Control (FADEC) is een besturingssysteem dat bestaat uit een digitale computer, twee motorregelsystemen (ECU's) en bijbehorende accessoires voor het aansturen van de motor.

⁴ Engine Control Unit (ECU), een digitaal motorregelsysteem dat op basis van een aantal inputsignalen een afgestemde hoeveelheid brandstof naar de cilinders stuurt om het gewenste motortoerental (motorvermogen) te genereren.

ONDERZOEK EN ANALYSE

Onderzoek ter plekke toonde aan dat er geen lekkage of een tekort aan brandstof was in de vleugeltank.

Analyse van de gegevens van de FADEC

Analyse van de FADEC datagegevens laat zien dat de motor werd gestart om 19.49 uur en dat er voor de start een motorcontrole werd uitgevoerd. Zowel ECU-A als ECU-B werden getest en er werden geen onregelmatigheden gevonden. Om 19.58 uur werd vol vermogen gegeven voor de start. Om 20.01 uur werd een hoogte van 1400 voet⁵ bereikt. Om 20.05 uur werd het vermogen teruggebracht naar stationair (vermogen 0%) en tien seconden later schakelde de FADEC over naar ECU-B. Dit was een automatische overschakeling, zonder ingreep van de piloot.

Door de overschakeling van ECU-A naar ECU-B ging het waarschuwinglampje branden in de cockpit, wat door de instructeur werd opgemerkt. Uit de FADEC-gegevens bleek dat de instructeur vervolgens een aantal pogingen deed het motorvermogen te verhogen. Er werd echter geen toename geregistreerd van het toerental. De motor werd nu aangestuurd door de redundante ECU-B. Analyse van de gegevens laat zien dat de oliedruk, olie- en koelvloeistoftemperatuur zich bevonden binnen de door de motorfabrikant gespecificeerde limieten. Analyse van de FADEC laat zien dat tijdens de vlucht, voordat de storing optrad, de gewenste common-raildruk⁶ ('AdPraT') en de daadwerkelijke raildruk⁷ ('PRail') gelijk waren. Rond de tijd dat de motor stopte, waren deze waarden niet aan elkaar gelijk. Deze verschillen tussen de gewenste en daadwerkelijke common-raildruk worden weergegeven in figuur 3.

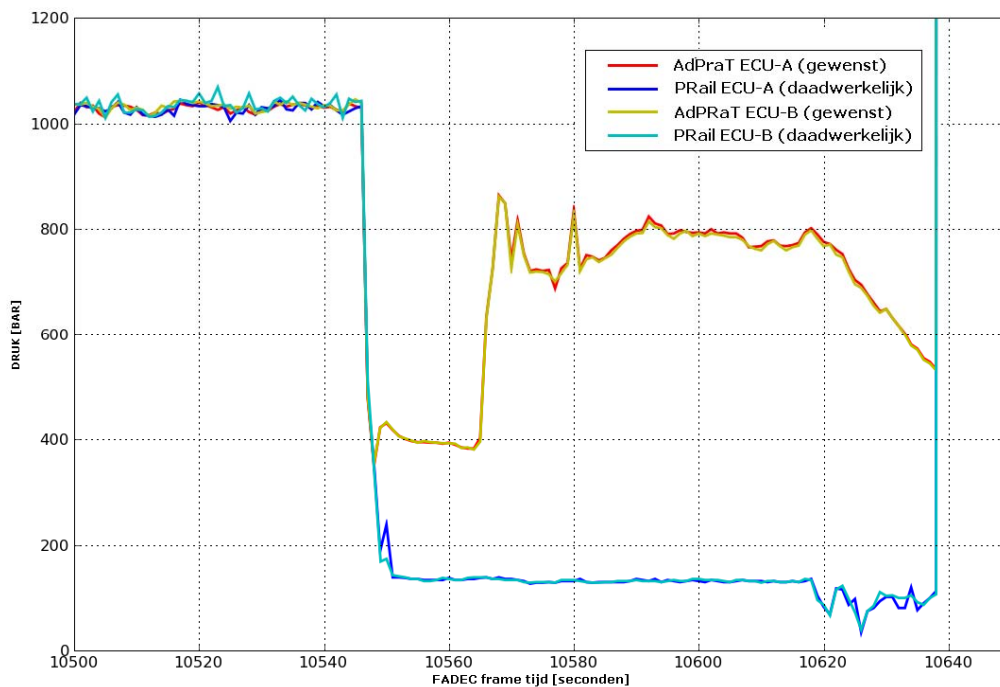
Analyse van de gegevens toonde verder aan dat de gewenste druk in overeenstemming was met het door de piloot gevraagde vermogen. De daadwerkelijke raildruk bleek volgens de fabrikant overeen te komen met het windmoleneffect van de propeller, de motor produceert dan geen vermogen.

Analyse van het storingsregistratiesysteem toonde aan dat tijdens de bewuste vlucht meerdere storingen zijn geregistreerd. De foutmelding "valve power current too high" werd verschillende keren geregistreerd. Deze fout is een indicatie voor een (te) hoog voltage op de raildruk regelklep. Na de analyse van de FADEC-gegevens en het onderzoek ter plekke werd de motor van het vliegtuig verwijderd en naar de fabrikant gestuurd voor verder onderzoek.

⁵ Hoogtes zijn in dit rapport berekend op basis van de geregistreerde barometrische druk en de barometrische druk op de grond als statistische referentiedruk (QFE Rotterdam Airport).

⁶ De gewenste raildruk is de druk in de common-rail die wordt gevraagd door de gashendelstand van de motor.

⁷ De daadwerkelijke raildruk is de druk in de common-rail van de motor.

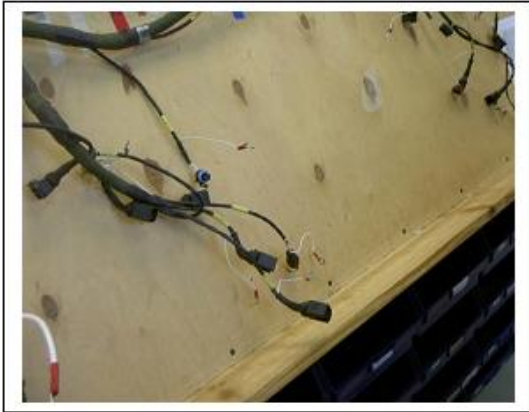


Figuur 3: gewenste ('AdPraT') en daadwerkelijke common-raildruk ('PRail') gedurende de laatste 140 seconden van de vlucht

Motor test bij motorfabrikant Thielert

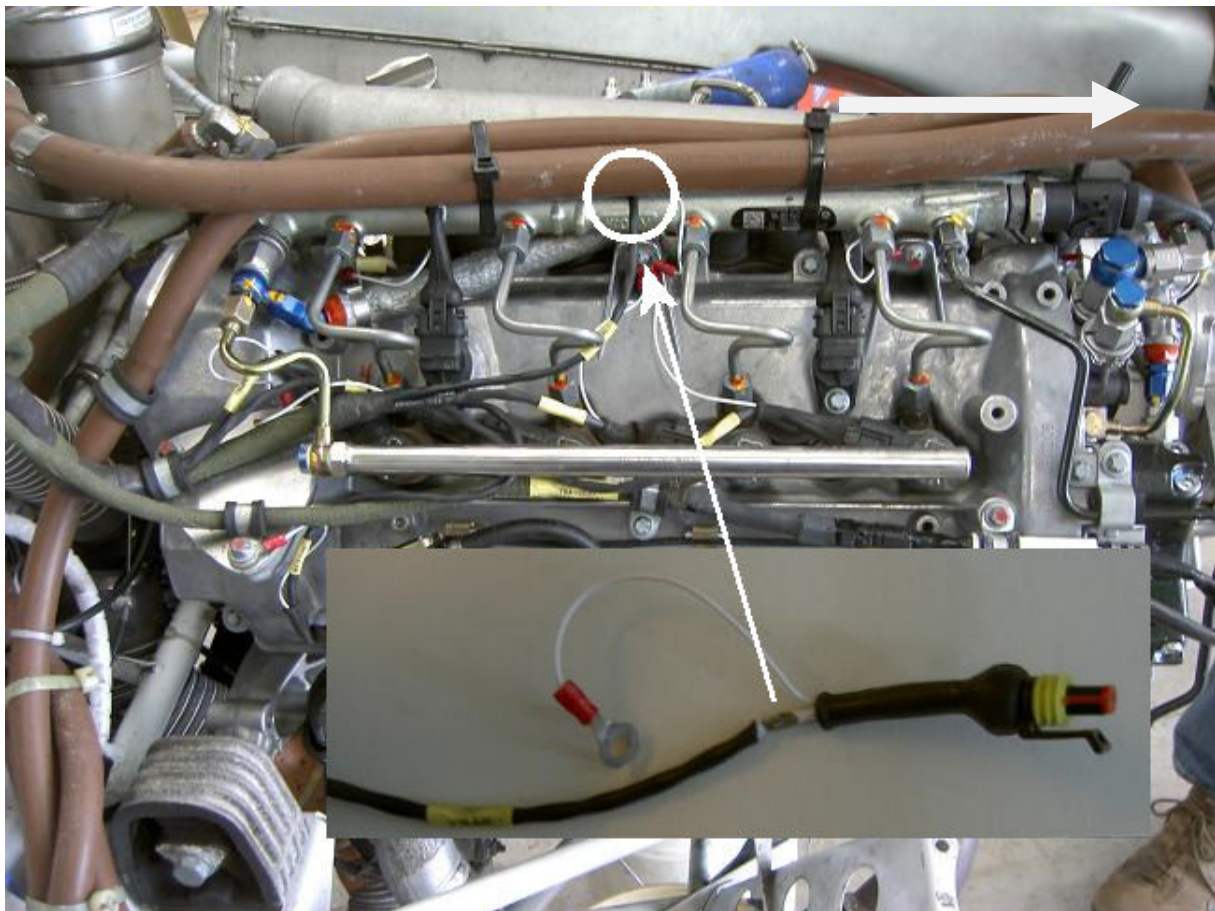
De motor met het bedradingsharnas en de FADEC-unit werden voor onderzoek naar de fabrikant Thielert gestuurd in Duitsland. Onderzoekers van de Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) en de Onderzoeksraad voor Veiligheid waren aanwezig bij de uitvoering van verschillende testen. Het doel van de eerste test, een testbankproef, was te controleren of de motor mechanisch functioneerde. Dit werd bereikt door de motor met de oorspronkelijke FADEC en een nieuw bedradingsharnas op de testbank te testen. De motor functioneerde zonder problemen en de acceptatietest van de fabrikant werd zonder onregelmatigheden voltooid. Uit deze test werd geconcludeerd dat de motor met het bijbehorende FADEC-systeem mechanisch in goed werkende staat verkeerde.

Vervolgens werd de aandacht gericht op het oorspronkelijke bedradingsharnas van het betreffende vliegtuig. Onderzoek van het bedradingsharnas toonde aan dat de verbindingskabel tussen de raildruk regelklep en de FADEC ("VRail" kabel) gedeeltelijk bloot lag onder de connector (stekker) en dat het isolatiemateriaal ontbrak. Voor het onderzoek werd het bedradingsharnas aangesloten op een montagebord en een acceptatietestprocedure gestart (figuren 4 en 5). Toen op de "VRail" kabel elektrische spanning werd gezet, verschenen er vonken en werd een kortsluiting gevonden. Er werden geen andere onregelmatigheden gevonden in de kabels van het bedradingsharnas.



Figuren 4 en 5: bedradingsharnas op montagebord (links). Detailfoto van "VRail" kabel (rechts)

Vervolgens werd een kortsluiting gesimuleerd in de bedrading van de raildruk regelklep ("VRail") gelijk aan de afwijking die werd aangetroffen aan het bedradingsharnas van het bewuste vliegtuig. Deze kortsluittest werd uitgevoerd terwijl de motor op de testbank op vol vermogen draaide. Toen de kortsluiting in de bedrading werd gesimuleerd, stopte de motor. Analyse van de geregistreerde motorgegevens van de testbank bevestigde dat deze gegevens overeenkwamen met de geregistreerde FADEC-gegevens van de bewuste vlucht. Deze test verschaftte een aanvullende indicatie dat de motor stopte als gevolg van kortsluiting in de "VRail" bedrading.



Figuur 6: aanzicht rechterzijde van de motor

De witte cirkel in figuur 6 geeft aan waar de "VRail" kabel over de motor wordt geleid. De detailfoto laat de "VRail" bedrading zien zoals die werd aangetroffen tijdens het onderzoek. Een deel van het isolatiemateriaal ontbreekt en de bedrading ligt bloot.

Kabelschuring

Verscheidene vliegtuigongevallen in het verleden waren het gevolg van kabelschuring.⁸ In het algemeen wordt schuring veroorzaakt door een mechanische fout. Bedrading wordt soms abusievelijk geleid over scherpe randen die de isolatie kunnen doorsnijden waardoor kortsluiting wordt veroorzaakt. Een ander soort schuring is "doorslijten". Dit gebeurt in een situatie waarin bedrading contact heeft met een oscillerend of trillend onderdeel. De mechanische beweging zorgt ervoor dat de draadisolatie verslijt en dat er kortsluiting ontstaat. Analyse van de "VRail" bedrading toonde aan dat de storing waarschijnlijk het gevolg was van doorslijten; zie figuur 6.

Kabelschuring is moeilijk te ontdekken en een nauwkeurige inspectie is vereist om het vast te stellen. In het handboek Motoronderhoud van Thielert staat dat bij iedere 100-uurs inspectie de FADEC sensoren moeten worden gecontroleerd. In bijlage 7 van het Bedienings- en Onderhoudshandboek, als onderdeel van de FADEC sensorscheck, staat dat: "het bedradingsharnas moet worden gecontroleerd op indicaties van schuring". Er wordt niet vermeld hoe dit moet worden gedaan.

CONCLUSIE

Het onderzoek kan worden samengevat met de volgende constatering:

- De motor was mechanisch in orde (functioneerde naar behoren).
- Er was voldoende brandstof aan boord beschikbaar om de motor normaal te laten functioneren.
- Het FADEC-systeem (ECU-A en ECU-B) functioneerde correct.
- Kabelschuring werd aangetroffen op de "VRail" kabel, de verbindingkabel tussen de raildruk regelklep en de FADEC.

Geconcludeerd wordt dat kabelschuring van de "VRail" bedrading de waarschijnlijke oorzaak was van een elektrische kortsluiting, waardoor de aansturing van de raildruk regelklep werd onderbroken. Dit veroorzaakte een motorstilstand. De schuring was naar alle waarschijnlijkheid het gevolg van de methode waarop de bedrading was bevestigd op de motor in combinatie met de gebruikelijke trillingen van de motor tijdens de vlucht.

Opgemerkt wordt dat ondanks een mechanisch goed functionerende motor en een redundant elektronisch regelsysteem, de motor geen vermogen kon behouden. Ondanks deze redundantie in het motorbesturingsysteem kan een kabelstoring in het bedradingsharnas resulteren in een totale motorstoring. Dit roept vragen op met betrekking tot de toepassing en inpassing van het 'fail-safe' principe dat in het ontwerp is doorgevoerd.

⁸ Kabelschuring is het proces waarbij als gevolg van wrijving tegen een hard, meestal metalen, object de kabel doorslijt.

AANBEVELINGEN

Het Europees Agentschap voor de veiligheid van de luchtvaart (EASA) wordt aanbevolen: een heroverweging van de goedkeuring van het TAE 125-01 dieselmotorontwerp te maken met de nadruk op het 'fail-safe' ontwerpprincipe, zowel hoe dat is toegepast op een individueel motoronderdeel als op het volledige motorsysteem met een elektronische storingsmodus.

Noot: Dit rapport is in de Engelse en Nederlandse taal gepubliceerd. Bij verschil in interpretatie, dient de Nederlandse tekst als bindend te worden beschouwd.