



ONDERZOEKRAAD
VOOR VEILIGHEID

Gedeeltelijk verlies van motorvermogen tijdens kruisvlucht met Robinson R44 helikopter



Gedeeltelijk verlies van motorvermogen tijdens kruisvlucht met Robinson R44 helikopter

Den Haag, juni 2014

De rapporten van de Onderzoeksraad voor Veiligheid zijn openbaar.

Alle rapporten zijn beschikbaar via de website van de Onderzoeksraad www.onderzoeksraad.nl

Bron coverfoto: Erwin van Hessel

De Onderzoeksraad voor Veiligheid

In Nederland wordt ernaar gestreefd het gevaar van ongevallen en incidenten zoveel mogelijk te beperken. Wanneer het toch (bijna) misgaat, kan herhaling voorkomen worden door, los van de schuldvraag, goed onderzoek te doen naar de oorzaak. Het is dan van belang dat het onderzoek onafhankelijk van de betrokken partijen plaatsvindt. De Onderzoeksraad voor Veiligheid kiest daarom zelf zijn onderzoeken en houdt daarbij rekening met de afhankelijkheidspositie van burgers ten opzichte van overheden en bedrijven. De Onderzoeksraad is in een aantal gevallen verplicht onderzoek te doen.

Onderzoeksraad

Voorzitter: mr. T.H.J. Joustra
prof. mr. dr. E.R. Muller
prof. dr. P.L. Meurs

Algemeen secretaris: mr. M. Visser

Bezoekadres: Anna van Saksenlaan 50
2593 HT Den Haag

Postadres: Postbus 95404
2509 CK Den Haag

Telefoon: +31 (0)70 333 7000

Telefax: +31 (0)70 333 7077

Internet: www.onderzoeksraad.nl

Algemeen	5
Samenvatting	6
Feitelijke informatie	7
Onderzoek en analyse.....	12
Conclusies.....	19
Bijlage A. Analyse van de brandstof.....	20

Identificatienummer:	2012013
Classificatie:	Ernstig incident
Datum, tijdstip ¹ van het voorval:	21 januari 2012, 14.32 uur
Locatie van het voorval:	Oosterschelde, nabij Yerseke
Registratie luchtvaartuig:	PH-WMW
Model luchtvaartuig:	Robinson R44
Type luchtvaartuig:	Helikopter
Type vlucht:	Passagiersvlucht
Fase van operatie:	Kruisvlucht
Schade aan luchtvaartuig:	Geen
Cockpitbemanning:	Eén
Aantal passagiers:	Twee
Persoonlijk letsel:	Geen
Overige schade:	Geen
Lichtomstandigheden:	Daglicht



Figuur 1: De PH-WMW, Lelystad 7 november 2010. (Bron: Erwin van Hassel)

¹ Alle in dit rapport vermelde tijden hebben betrekking op de lokale tijd, tenzij anders vermeld.

SAMENVATTING

Tijdens een rondvlucht met een helikopter van het type Robinson R44 trad er een storing op in de temperatuurindicatie van de cilinderkop (CHT) en klonk korte tijd daarna het waarschuwingssignaal voor een laag toerental (RPM) van de rotor. De piloot zette de vlucht naar de bestemming voort. Een landing uit voorzorg werd wel overwogen, maar deze optie werd verworpen.

Het gedeeltelijk verlies van motorvermogen was het gevolg van een oververhitte motor, die de storing van de CHT-indicator veroorzaakte. De oververhitting werd waarschijnlijk veroorzaakt door een lekkende rubber slang van het inlaatspruitstuk, die tot een overmatig schraal lucht-brandstofmengsel heeft geleid. Geconcludeerd werd dat het lekken van de slang was veroorzaakt door het langdurig gebruik van een autobrandstof die ingevolge een aanvullend typecertificaat was toegestaan.

Na de landing werd de rotor visueel geïnspecteerd en handmatig gedraaid. Er werden daarbij geen afwijkingen geconstateerd. Na het hoofdkantoor van het helikopterbedrijf te hebben geraadpleegd, besloot de piloot de helikopter terug te vliegen naar de operationele basis van het bedrijf in Bergen op Zoom, een vlucht van tien minuten over land. Tijdens deze vlucht deden zich geen bijzonderheden voor. De helikopter vloog op autobrandstof.

Algemene informatie

De piloot voerde een rondvlucht uit op 21 januari 2012. De onderneming had op 17 januari 2012, vier dagen voor de feitelijke vlucht, gedetailleerde vluchtinstructies aan de piloot verstrekt. De vlucht bestond uit drie afzonderlijke fasen, ook wel 'legs' genoemd:

- een positioneringsvlucht van de operationele basis in Bergen op Zoom naar Kruiningen;
- een rondvlucht met twee passagiers, beginnend en eindigend in Kruiningen; en
- een retourvlucht naar de operationele basis in Bergen op Zoom.

Vorbereiding van de vlucht

De piloot arriveerde om 12.30 uur op Heliport Bergen op Zoom, waar de Ground Operations Manager klaar stond om hem met de voorbereiding van de vlucht te assisteren. De aan de vlucht voorafgaande inspectie (pre-flight check) bestond uit het weerbericht van het KNMI² en relevante mededelingen aan luchtvaardenden (Notices to Airmen, NOTAM's). De pre-flight check van de helikopter zelf (ter controle van de kritieke elementen van de helikopter voor de opstart) werd in de hangar uitgevoerd. De Ground Operations Manager assisteerde bij het vullen van de brandstoftanks met autobrandstof en het bijvullen van motorolie.

Om omstreeks 13.00 uur startte de piloot de motor van de helikopter. Daar waren drie startpogingen voor nodig.

Vluchtuitvoering

Positioneringsvlucht van Bergen op Zoom naar Kruiningen.

Voorafgaand aan de start van de vlucht controleerde de piloot de maximaal beschikbare luchtdruk in het spruitstuk (MAP), die 23,5 inches Hg bedroeg.³ De piloot steeg om 13.03 uur op, na een korte standvlucht ter controle van het beschikbaar vermogen en de instrumenten, en vloog in de richting van Kruiningen. Op de kruishoogte van 500 voet boven gemiddeld zeeniveau (MSL) werd radiocontact gelegd met Dutch Mil Info. Bij de landing in Kruiningen deden zich geen bijzonderheden voor, en de motor werd na de landing uitgeschakeld.

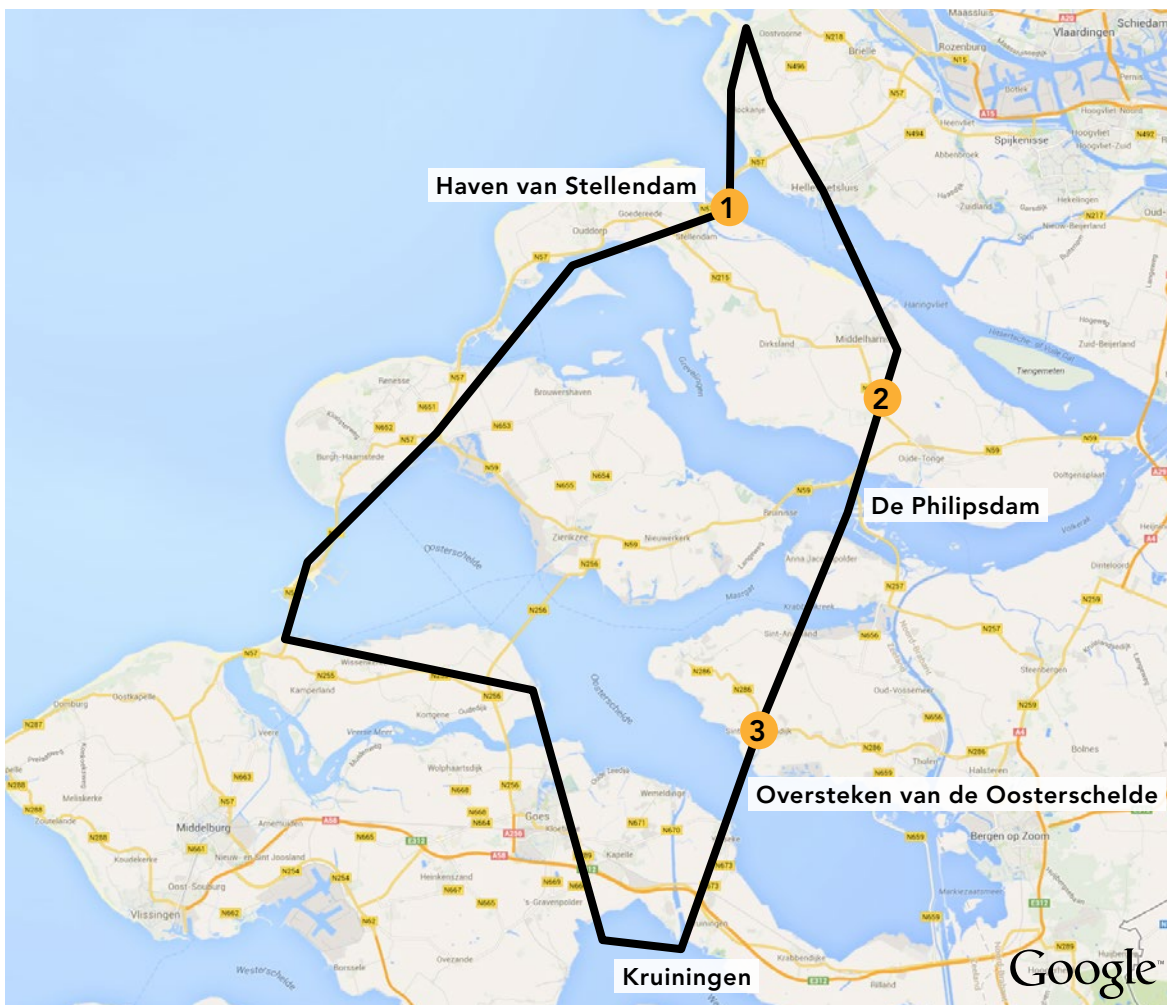
² KNMI = Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

³ De druk in het spruitstuk van een zuigermotor wordt vermeld in inches kwik (Hg); dit is een indirecte indicatie van de vermogensinstelling van de motor.

Rondvlucht

Op het startpunt van de rondvlucht werd aan de passagiers het beoogde vluchtplan uitgereikt. Eén passagier zat in de voorste stoel, en de andere in de achterste. Nadat de motor weer was opgestart (waar twee pogingen voor nodig bleken), controleerde de piloot nogmaals de maximaal beschikbare luchtdruk in het spruitstuk (MAP). Om 13.30 uur steeg de piloot op in zuidwestelijke richting, na een korte standvlucht ter verificatie van het beschikbaar vermogen.

Bij het naderen van de haven van *Stellendam* (*locatie 1 in figuur 2*), om circa 14.05 uur, nam de piloot vermogen terug om de voorwaartse snelheid te verminderen en de passagiers in staat te stellen foto's te nemen. De piloot liet weten dat hij, na de voorwaartse snelheid te hebben verhoogd om de vlucht op normale kruissnelheid te hervatten, een visueel en akoestisch waarschuwingssignaal voor 'laag toerental' opmerkte. De eerste reactie van de piloot was de collective naar beneden te drukken om het toerental te verhogen, en hij voelde op dat moment de throttle in zijn handen draaien, maar dit resulteerde feitelijk wel in het verdwijnen van de melding 'laag toerental'. De piloot ging ervan uit dat hij de waarschuwing zelf had veroorzaakt door te veel druk uit te oefenen op de throttle. Aangezien alles weer normaal leek te functioneren besloot de piloot de vlucht voort te zetten.



Figuur 2: Vliegroute met locaties van incidenten. (Bron: Google)

Kort na aankomst bij de *Philipsdam*, (*locatie 2 in figuur 2*) merkte de piloot dat de temperatuur van de cilinderkop volgens de indicator lager was dan nul. Aangezien dit geen correcte waarde kan zijn tijdens de vlucht, controleerde de piloot alle zekeringen. Die zaten nog allemaal op hun plaats. De piloot ging er daarom van uit dat er sprake was van een storing in het CHT-meetsysteem. Volgens de piloot vertoonden de overige instrumenten, waaronder de luchttemperatuur van de carburateur, normale waarden.

De piloot zette de vlucht voort en stak de Oosterschelde over, vliegend van Sint Maartensdijk naar Yerseke. Om circa 14.32 uur gingen de visuele en akoestische waarschuwingssignalen voor 'laag toerental' opnieuw af (*locatie 3 in figuur 2*). De piloot drukte de collective opnieuw naar beneden en controleerde of de throttle geheel geopend was. Ook bracht hij de snelheid terug tot 80 knopen. Ondanks deze maatregelen bleef de waarschuwing actief. De piloot schakelde vervolgens de automatische toerenregelaar uit, om handmatig maximaal vermogen te kunnen leveren. Ook dit bracht geen verandering in de situatie. Als gevolg van dwarswinden begon de helikopter matig te schudden. Daarnaast merkte de piloot dat de helikopter enkele malen begon te gieren. Dat laatste was volgens hem niet het gevolg van de krachtige wind. Het toerental lag stabiel tussen 95%-97%, de oliedruk en -temperatuur lagen binnen de limieten en de throttle was geheel geopend. Behalve de aanhoudende akoestische waarschuwing voor 'laag toerental' waren er geen andere alarmerende of vreemde geluiden te horen.

De piloot besloot verder te vliegen naar de beoogde landingslocatie. De staartwind zou de vlucht naar de kust verkorten en de resterende vluchttijd zou nog enkele minuten bedragen. Vanwege de staartwind besloot de piloot dat de voorgeschreven 'landing as soon as practical' zou plaatsvinden op de beoogde landingslocatie in Kruiningen.

De piloot informeerde de passagiers over de situatie en de landing op de plaats van bestemming vond plaats om 14.45 uur. Tussen de tweede waarschuwing voor 'laag toerental' en de landing waren circa 13 minuten verstreken. Bij het uitschakelen van de motor merkte de piloot geen abnormaliteiten op.

Na de landing nam de piloot contact op met het hoofdkantoor van de onderneming, om hen te informeren over de signalen tijdens de vlucht. Uit deze communicatie maakte hij op dat de helikopter ook zonder CHT-indicatie kon vliegen. Besloten werd dat de piloot een verlengde standvlucht zou uitvoeren. Als zich tijdens die standvlucht geen problemen zouden voordoen, zou de helikopter met enkel de piloot aan boord worden teruggevlogen naar de operationele basis van de onderneming in Bergen op Zoom om daar geïnspecteerd te worden.

Retourvlucht van Kruiningen naar Bergen op Zoom

Tijdens de pre-flight check, kort voor het vertrek naar Bergen op Zoom, werd de rotor geïnspecteerd door deze handmatig te draaien. Er werden daarbij geen vreemde geluiden of weerstand waargenomen. Het oliepeil was in orde. De motor sloeg aan bij de eerste poging zonder vreemde geluiden en tijdens de opstartprocedure werden geen afwijkingen geconstateerd. Er werden evenmin abnormaliteiten waargenomen tijdens de verlengde standvlucht ter controle van het functioneren (behalve de storing

van de CHT-indicator), en besloten werd om terug te keren naar Bergen op Zoom en niet boven water te vliegen. Tijdens deze vlucht deden zich geen problemen voor.

Het luchtvaartuig

De Robinson R44 Raven 1⁴, registratie PH-WMW, is een tweebladige helikopter die wordt aangedreven door een zuigermotor. Het onderstel bestaat uit twee metalen stangen (de zg. skids). De R44 is in april 2010 in Nederland geregistreerd, samen met twee andere R44-heli's die door de onderneming waren aangeschaft. De helikopter biedt plaats aan vier personen.

De motor

De helikopter werd aangedreven door een zescilindermotor van het merk Lycoming, O-540-F1B5. De helikopter is uitgerust met een functie die de carburateurverwarming aanpast aan de veranderingen in het vermogen door de piloot. De piloot moet de carburateurverwarming op 'Aan' zetten voordat het systeem verwarmde lucht gaat produceren. De luchttemperatuur van de carburateur moet door de piloot worden bewaakt, en het kan daarbij noodzakelijk zijn om kleine wijzigingen tijdens de vlucht aan te brengen.

Aanvullend typecertificaat

Volgens het typecertificaat is de Robinson R44 Raven 1 goedgekeurd voor het gebruik van Avgas (aviation gasoline). Voor de R44 Raven 1 is een aanvullend typecertificaat (STC) beschikbaar voor goedkeuring van het gebruik van autobrandstof (Mogas).

De keuze voor Mogas in plaats van Avgas als brandstof voor een helikopter is de lagere prijs van de eerste. De partij die het STC uitgeeft moet in een certificeringsprocedure voor de autoriteiten aantonen dat de combinatie van motor en casco geschikt is voor het gebruik van Mogas. Als die combinatie wordt gecertificeerd, kan voor iedere soortgelijke combinatie van luchtvaartuig en motor een STC worden uitgegeven, dat onderdeel wordt van de luchtwaardigheidsdocumentatie van het toestel.

De PH-WMW vloog op Mogas. Het STC is uitgegeven in april 2010, de maand waarin het luchtvaartuig in Nederland werd geregistreerd.

4 http://www.robinsonheli.com/rhc_r44_raven_series.html

De piloot

In juni 2011 ontving de piloot een CPL(H)⁵ op basis van zijn militair vliegbrevet voor helikopters. De typebevoegdverklaring voor de R44 werd in augustus 2011 verstrekt, gevolgd door een OPC/LPC⁶-controle in september 2011. Dit was de tweede commerciële vlucht van de piloot.

totaal aantal vlieguren (hoofdzakelijk in vliegtuigen met turbinemotor)	4545
vlieguren op het betreffende type (helikopter met zuigermotor)	12
vlieguren op het betreffende type in de laatste drie maanden	2

Tabel 1: Vliegervaring van piloot PH-WMW.

Massa en zwaartepunt

Maximumstartgewicht Robinson R44	1089 kg
Leeggewicht Robinson R44	654 kg
Beschikbaar voor brandstof, bemanning en vracht	435 kg
Feitelijk laadvermogen ⁷	Piloot en twee passagiers (één op de voorste stoel en de andere op de achterste) 235 kg plus 176 kg brandstof = 411 kg
Startgewicht	1065 kg (= 98% van maximumstartgewicht)

Tabel 2: Massa en zwaartepunt.

Massa en zwaartepunt bleven tijdens de vlucht binnen de grenswaarden.

Het weer

Volgens gegevens ontvangen van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) kwam de wind tijdens het voorval uit een westelijke richting (270-290 graden) met een snelheid van 20-28 knopen, met vlagen tot 40 knopen. Het was een regenachtige dag met afwisselend buien en perioden met motregen. De temperatuur bedroeg circa 10 graden Celsius, en het dauwpunt lag bij 8 graden. Het zicht bedroeg meer dan 10 kilometer, maar liep terug tot 3-6 kilometer tijdens buien.

⁵ CPL(H) = Commercial pilot license helicopters.

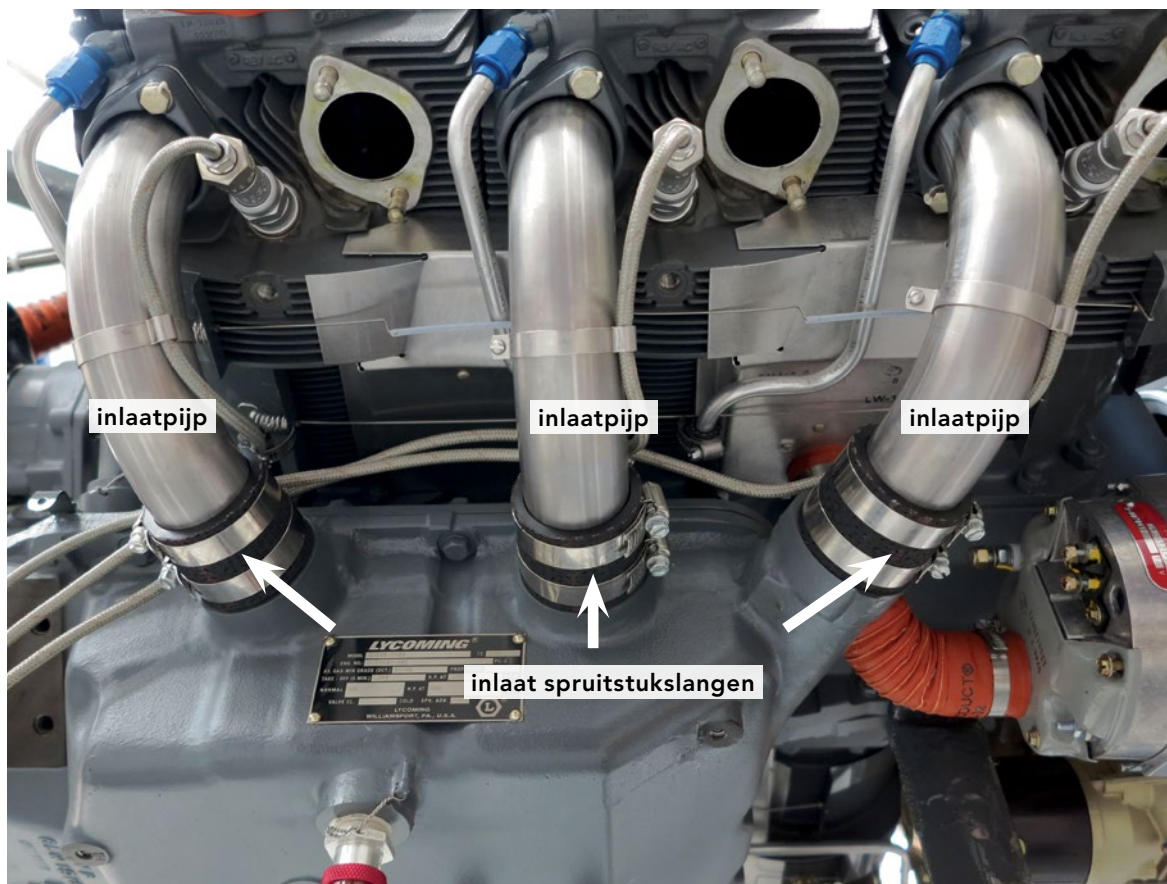
⁶ LPC = License Proficiency Check en OPC = Operators Proficiency Check.

⁷ Gegevens uit verslag van de piloot.

Weer

Het was een regenachtige dag met afwisselend buien en perioden met motregen. De temperatuur van de buitenlucht (OAT) bedroeg circa 10 graden en het dauwpunt lag bij 8 graden. Onder dergelijke omstandigheden, met slechts een klein verschil tussen de OAT en het dauwpunt, bestaat het risico van ijsvorming in de carburateur. Tijdens de inspectie na het voorval waren er geen aanwijzingen dat het ijsbestrijdingssysteem van de carburateur niet goed had gefunctioneerd. Volgens de piloot was de temperatuur van de carburateur tijdens de vlucht binnen de voorgeschreven grenswaarden gebleven.

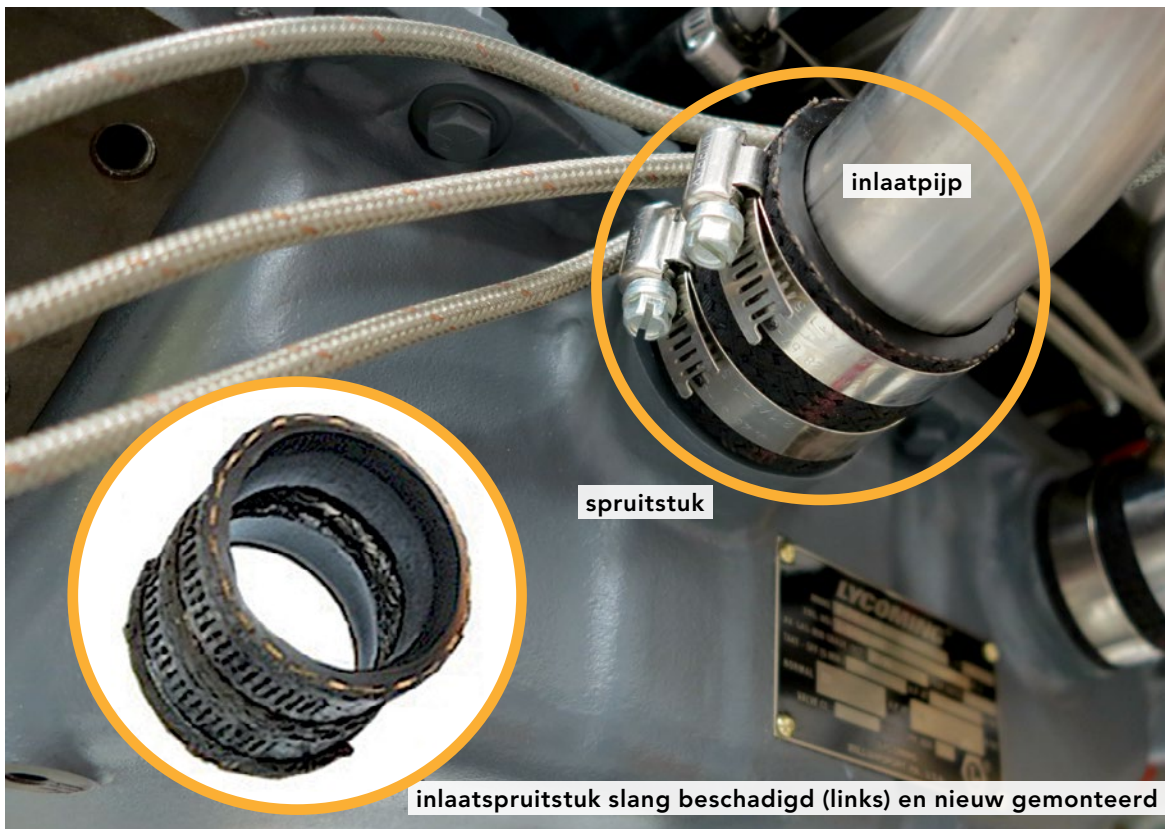
Technisch onderzoek van de helikopter



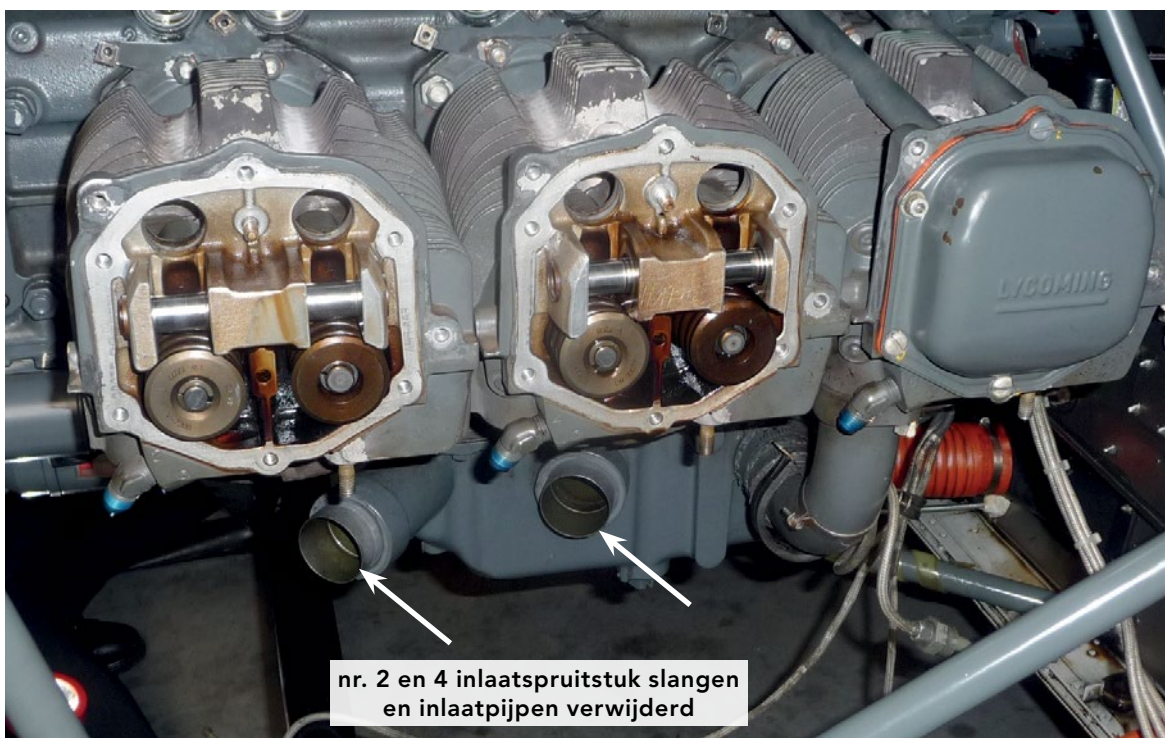
Figuur 3: Lycoming O-540 motor, rechtsonder. (Bron: Robinson Helicopters)

De motor van de helikopter werd geïnspecteerd in de onderhoudsfabriek in België. Daarbij bleek dat de CHT-sensor op cilinder nr. 2 was weggesmolten. Verder vertoonden de slangen die het inlaatspruitstuk aansluiten op de inlaatpijpen van de cilinders omvangrijke slijtage van het rubber, wat tot ten minste één poreuze slang heeft geleid.

Een lekkende slang kan leiden tot een arm lucht-brandstofmengsel, met als resultaat hoge temperaturen tijdens de verbranding en mogelijke oververhitting van de zuigers en cilinders.



Figuur 4: Beschadigde (links) en gemonteerde slang van inlaatspruitstuk. (Bron: Robinson Helicopters)



Figuur 5: Motor van de PH-WMW na verwijdering van de slangen en inlaatpijpen van cilinder 2 en 4. (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

De motor werd voor nader onderzoek uit de helikopter verwijderd. Twee cilinders (nummer 2 en 4) bleken oververhit te zijn geraakt, wat waarschijnlijk de storing van de CHT-sensor en het gedeeltelijke verlies van vermogen heeft veroorzaakt.

Inspectieregime

De bovengenoemde rubber slang maakt deel uit van het inlaatspruitstuk en daarmee ook van het brandstofleiding- en inductiesysteem. Volgens de bedieningshandleiding van de Lycoming O-540 dient dit systeem bij iedere 50-uursinspectie gecontroleerd te worden:

*“Brandstofleiding- en inductiesysteem – Controleer de activeringsleidingen op lekkages en check dat de klemmen goed vastzitten. Verwijder en reinig de brandstofzeven in de inlaat. Controleer de koppeling tussen de mengselregelaar en throttle op slag, bewegingsvrijheid en het goed vastzitten van de klemmen; zo nodig smeren. **Controleer de luchtinlaatkanalen op lekkages**, goed vastzitten, filterbeschadiging; de aanwezigheid van stof of ander vast materiaal in de kanalen wijst op gebrekkig onderhoud van of schade aan het filter. Controleer de ventilatieleidingen op brandstof- of olie lekkages; bij lekkages kan het nodig zijn de pomp te vervangen.”*

De onderdeelnummers op de rubber slangen bleken de juiste nummers te zijn, zoals die zijn voorgeschreven door Lycoming en Robinson. Volgens de motorfabrikant is uit onderzoek van de slangen gebleken dat het ‘originele Lycoming-slangen’ zijn.

Het is niet bekend wanneer de slijtage van de bovengenoemde rubber slang is begonnen. De buitenkant van de slang was verhoudingsgewijs onbeschadigd. De luchtinlaatkanalen waren na iedere 50 vlieguren visueel gecontroleerd. Deze inspectie brengt omvangrijke slijtage aan de binnenkant van de slang waarschijnlijk niet aan het licht. De gegevens van het onderhoudsbedrijf maken geen melding van het vervangen van rubber slangen.

De slijtage van deze specifieke rubber slangen is ook in andere R44's gecontroleerd, om te kunnen vaststellen of de schade verband hield met dit type helikopter of uitsluitend met de helikopter in kwestie. De beide andere R44-helikopters van de onderneming, die eveneens op Mogas vlogen, werden kort na het voorval met de PH-WMW geïnspecteerd. Daarbij bleek dat ook de slangen in deze helikopters beschadigd waren, maar wel minder ernstig. Het onderhoud aan de R44 werd verricht door een bedrijf dat regelmatig dit type helikopters onderhoudt, zij het dat de meeste van de motoren op Avgas lopen. Alleen de R44's in eigendom van deze exploitant vlogen op Mogas. De onderhoudsorganisatie had zo'n omvangrijke slijtage van de rubber slangen in helikopters die op Avgas vlogen nog nooit aangetroffen.

Het effect van Mogas

Teneinde te kunnen vaststellen of de omvangrijke slijtage van de slang in de onderzochte helikopter vaker voorkwam, nam de Onderzoeksraad contact op met de fabrikant, Robinson. Ten aanzien van de beschadigde rubber slangen liet de helikopterfabrikant

desgevraagd weten dat volgens haar informatie dergelijke problemen zich bij haar helikopters nog nooit eerder hadden voorgedaan. In Nederland werd geen enkele andere exploitant van een Robinson R44 gevonden die Mogas als brandstof gebruikte.

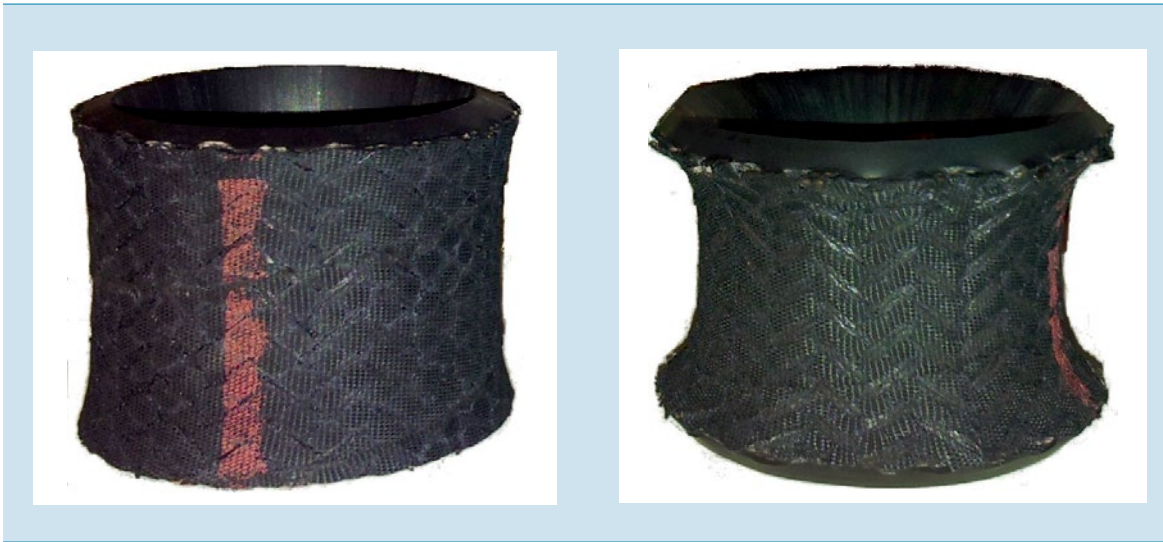
De Lycoming-motor is ontworpen voor het gebruik van Avgas, maar krachtens het aanvullende typecertificaat (STC) van de PH-WMW mocht dit toestel op Mogas vliegen. De PH-WMW verliet de fabriek op 14 april 2010 en had (hoofdzakelijk) op Mogas gevlogen sinds hij aan de onderneming was geleverd. Conform de voorschriften van het STC werd er afwisselend circa iedere 75 uur één volle tank Avgas gebruikt. Op de dag van het incident stond de teller voor deze helikopter op circa 1050 vlieguren.

Na het incident werden er brandstofmonsters genomen in de tank van de helikopter en geanalyseerd. De samenstelling van het brandstofmonster bleek overeen te komen met de specificaties voor autobrandstof (EN228⁸). Het volumepercentage ethanol in de monsters bleek 0.42% te bedragen. Volgens het STC mag de brandstof echter geen ethanol bevatten. Volgens de exploitant werd de brandstof regelmatig op ethanol gecontroleerd. Behalve dat de motor liep op Mogas is er geen gedetailleerde informatie beschikbaar over de samenstelling van de brandstof die tijdens de levensduur van de helikopter is gebruikt.

Er is een test uitgevoerd om het mogelijke effect van Avgas en Mogas op de rubber slangen vast te stellen. Voor die test werden twee nieuwe slangen gebruikt. Uit laboratoriumtests bleek dat de volumeveranderingseigenschappen van de nieuwe slang voldeden aan de vereisten van MIL-STD-6000.⁹ De slangen werden 24 uur lang blootgesteld aan respectievelijk Avgas en Mogas om het effect op de slang te onderzoeken. De slangen zijn aan de buitenzijde voorzien van een verstevigingsvlies dat beperkt kan worden uitgerekt. Uit figuur 6 blijkt dat Mogas de rubber slang als het ware 'opblaast', terwijl Avgas slechts een kleine volumetoename veroorzaakt. De mate waarin de rubberslang als geheel in de lengte kan uitzetten, wordt beperkt door het vlies aan de buitenzijde. Aangezien de volumetoename naar buiten beperkt is, wordt die toename naar de uiteinden van de slang geleid, waar ze de kenmerkende holle vorm veroorzaakt (zie figuur 6).

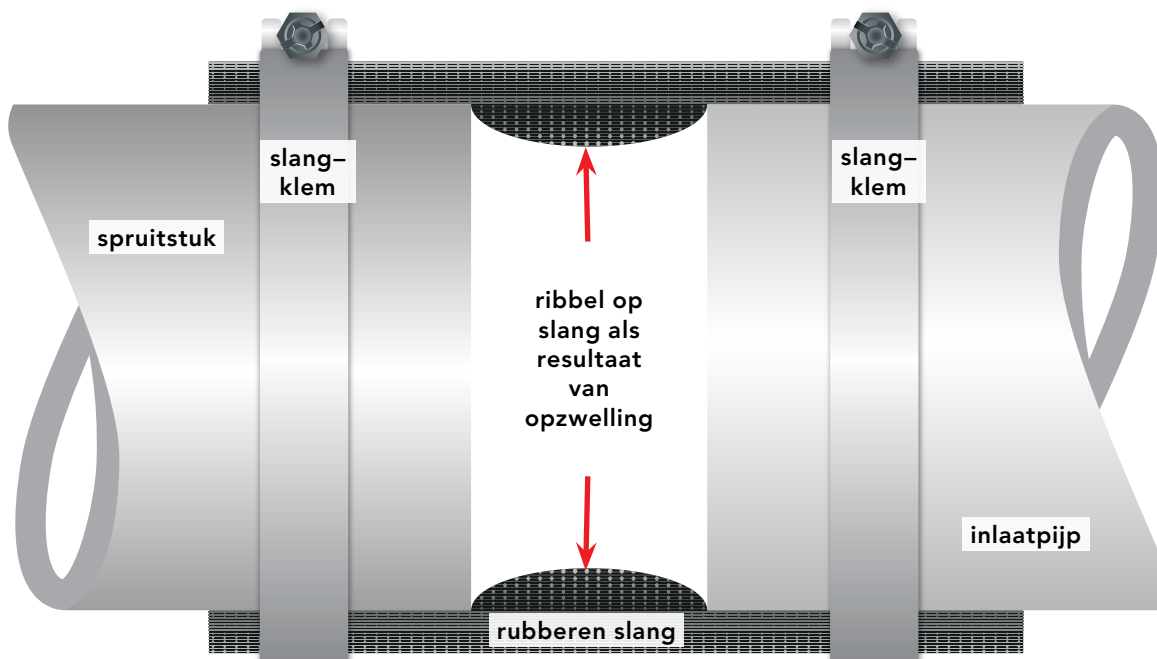
8 EN228 = Europese norm voor loodvrije benzine die als autobrandstof wordt gebruikt (<http://www.en-standard.eu/csn-en-228-automotive-fuels-unleaded-petrol-requirements-and-test-methods/?gclid=CJyY6dnfhLsCFQrJtAodcX8Aaw>).

9 Gemiddelde voor drie monsters in Mogas gedurende 24 uur: 70,6% volumeverandering. In Mogas + 5% ethanol: 80,7% verandering. Vereiste onder MIL-STD-6000: max. 85% verandering.



Figuur 6: Slang van het inlaatspruitstuk na 24 uur in Avgas (links) en na 24 uur in Mogas (rechts). (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

In het luchtvaartuig is het rubber normaal gesproken gevat in een vlies, pijpen en klemmen. Het kan daarom slechts in één richting uitzetten (opzwellen), te weten naar binnen tussen de twee pijpen.



Figuur 7: Tekening van ribbel op slang van inlaatspruitstuk tussen twee pijpen. (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

Als gevolg daarvan ontstaat er een ribbel op de slang tussen de twee pijpen. De conclusie is dat de ribbel die is aangetroffen op de slang van de PH-WMW veroorzaakt werd door het (langdurig) gebruik van Mogas.

Tijdens het onderzoek heeft een onderhoudsorganisatie de Onderzoeksraad voorzien van een slang uit een vleugelvliegtuig dat gedurende lange tijd op Mogas had gevlogen. Deze slang vertoonde het resultaat van opzwellen tussen de twee pijpen, in de vorm van een duidelijk zichtbare ribbel. Circa 75% van de ribbel was onbeschadigd, maar in de

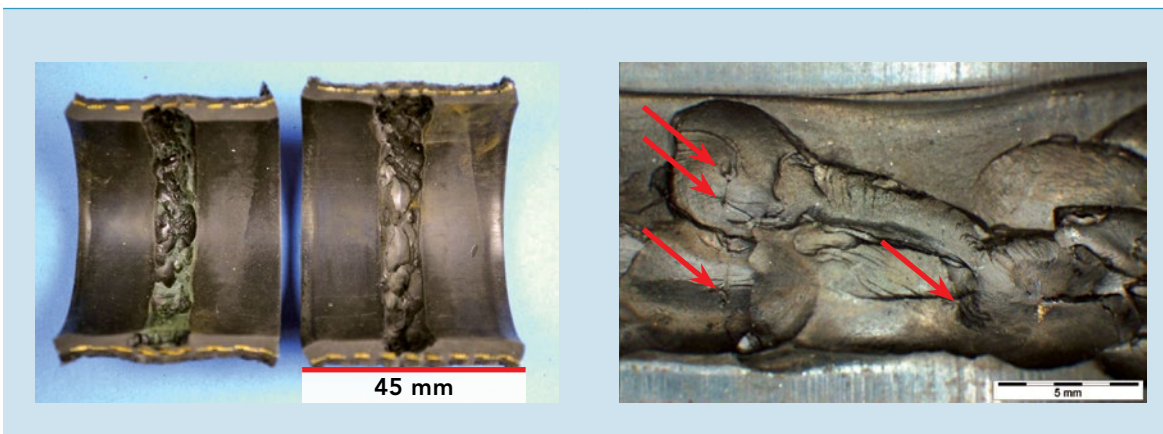
rest waren er stukjes afgebroken. Geconcludeerd werd dat deze slang het stadium in het afbraakproces vertoonde dat voorafging aan het stadium dat in de PH-WMW werd aangetroffen.



Figuur 8: Slang met ribbel, deels onbeschadigd (links) en beschadigd (rechts). (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

Onderzoek van de slang van het inlaatspruitstuk

De rubber slangen van de PH-WMW zijn in een laboratorium onderzocht om zowel het mechanisme als de oorzaak van het falen van de rubber slangen te achterhalen.



Figuur 9: Binnenzijde van de slang waar materiaal is afgebroken. (Bron: Element)

Figuur 10: Detail van deel waar materiaal is afgebroken (Bron: Element)

Het laboratorium concludeerde dat een vermoeingsmechanisme de hoofdoorzaak was van het falen. Het opzwellen van het materiaal als gevolg van het gebruik van Mogas had een verhoogd spanningsniveau veroorzaakt op het rubber oppervlak tussen de pijpen, wat tot vermoeing leidde. Dit vermoeingsmechanisme bleek uit de initiatiepunten en het afgebroken rubber. Die initiatiepunten zijn te zien in figuur 10. De wisselende spanningsniveaus als gevolg van de trillingen en de (interne) materiaalspanning als gevolg van het opzwellen waren, gecombineerd met de temperatuur, factoren die hebben bijgedragen tot het vermoeingsmechanisme. Het opzwellen komt nauwelijks voor in motoren die op Avgas lopen, en dit verschijnsel treedt dan ook alleen op bij relatief langdurig gebruik van Mogas. Zie voor nadere details bijlage A.

De retourvlucht naar Bergen op Zoom

Na het incident boven de Oosterschelde landde de helikopter op de beoogde landingslocatie, waar de passagiers van boord gingen. De piloot voerde telefonisch overleg met de onderneming over hetgeen gebeurd was. Besloten werd om terug te vliegen maar tijdens de terugvlucht niet over water te vliegen. Dat besluit was gebaseerd op de veronderstelling dat er geen sprake was van structurele motorschade, ondanks het feit dat tijdens de voorgaande vlucht het alarmsignaal voor 'laag toerental' had geklonken.

Voorafgaande aan de retourvlucht voerde de piloot een verlengde standvlucht uit, om zich ervan te overtuigen dat er inderdaad geen sprake was van structurele schade. De piloot liet weten dat hij niet aan de retourvlucht zou zijn begonnen als hij in het gedrag van de helikopter tijdens de standvlucht iets ongebruikelijks had opgemerkt. Aangezien de helikopter in die fase naar behoren functioneerde (afgezien van de storing van de CHT-indicator), besloot de piloot terug te vliegen langs een veilige route over land.

Volgens het vlieghandboek is het CHT-systeem '*essentiële apparatuur*' en mag de helikopter niet worden gebruikt als het systeem niet werkt. De retourvlucht zonder CHT-indicatie was dan ook niet toegestaan.

Achteraf gezien was tijdens de voorafgaande rondvlucht al structurele schade aan de motor ontstaan, maar had die simpelweg nog niet tot totale uitval van de motor geleid. Rekening houdend met de beperkte ervaring met helikopters die worden aangedreven door een zuigermotor, valt te begrijpen dat werd besloten om de vlucht naar de thuisbasis in Bergen op Zoom (boven land) voort te zetten. Er waren immers geen duidelijke aanwijzingen voor structurele motorschade en bij de checks van het toestel werden ook geen afwijkingen vastgesteld.

De piloot zei dat achteraf gezien het vluchthandboek van weinig praktisch nut was gebleken en dat hij ook weinig operationeel advies van de onderneming had gekregen met betrekking tot het voorval.

De helikopter vloog op autobrandstof, ook wel bekend als Mogas, wat conform het aanvullend typecertificaat was toegestaan.

Het gedeeltelijk verlies van motorvermogen was het gevolg van een oververhitte motor, die de storing van de CHT-indicator veroorzaakte. De oververhitting werd waarschijnlijk veroorzaakt door een lekkende rubber slang van het inlaatspruitstuk, waardoor het lucht-brandstofmengsel te schraal werd.

Het opzwellen van de rubber slang van het inlaatspruitstuk tussen de twee metalen verbindingspijpen van het spruitstuk en de inlaatpijpen van de cilinder werd hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door het langdurig gebruik van Mogas.

De hoofdoorzaak van het falen van de slang van het inlaatspruitstuk was een vermoeiingsmechanisme. De afgebroken rubberdeeltjes zijn een resultaat van vermoeiing die op kleine deeltjes in het rubber werd geïnitieerd.

De gebruikte brandstof speelde een rol in de beschadiging van de rubber slang, maar er zijn geen nadere gegevens beschikbaar over de samenstelling van de brandstof die tijdens de levensduur van de helikopter werd gebruikt. Het brandstofmonster dat na het voorval uit het luchtvaartuig werd genomen voldeed aan de Europese norm voor autobrandstof. De brandstof bevatte minder dan 0,5 % ethanol. Volgens het STC is het gebruik van brandstof die ethanol bevat niet toegestaan.

De schade aan de rubber slang was gedurende de voorgeschreven 50-uursinspecties niet ontdekt. Deze slijtage valt niet op wanneer alleen visueel wordt geïnspecteerd, aangezien de buitenzijde van de slang verhoudingsgewijs onbeschadigd was en visuele inspectie van de binnenzijde van de slang niet vereist is.

De retourvlucht zonder CHT-indicatie was in strijd met de voorschriften in het vlieghandboek.

ANALYSE VAN DE BRANDSTOF

Na het incident werden er brandstofmonsters genomen in de tank van de helikopter, die in een laboratorium werden getest. Vastgesteld werd dat het om Mogas ging. De monsters bevatten circa 10% ethyl-tert-butylether (ETBE) en 0,42% ethanol.

Onderzoekstests door de FAA met autobrandstof waarin ETBE is gemengd hebben geen veiligheidsproblemen aan het licht gebracht, wat voor de FAA reden was het gebruik van Mogas met ETBE (dat als loodvervanger dient) goed te keuren. Volgens EN228¹⁰ is in autobrandstof een gehalte van maximaal 15 vol. % toegestaan. Volgens het STC is het gebruik van brandstof die ethanol bevat niet toegestaan. Uit ervaring blijkt dat een ethanolgehalte van maximaal 1% niet heeft geleid tot een waarneembare verhoging van het aantal ongevallen of slachtoffers.¹¹

Laboratoriumonderzoek van de rubber slangen van het inlaatspruitstuk

De rubber slangen van de PH-WMW zijn in een laboratorium onderzocht om het faalmechanisme en de oorzaak van hun falen te achterhalen.

Bij de montage in het luchtvaartuig worden de pijpen tot een diepte van circa 18 mm in de slang geleid. Dit komt overeen met het oppervlak dat onbeschadigd is gebleven. De afstand tussen de twee metalen pijpen was circa 10 mm. De binnenzijde van de rubber slang tussen de metalen pijpen vertoont tekenen van afgebroken rubber. Het rubber is afgebroken in schelpvormige stukjes. Radiaal georiënteerde breuklijntjes in deze schelpvormige stukjes wijzen op een centrale positie. Op die centrale posities is een klein speldengaatje te zien. Enkele van die speldengaatjes waren gevuld met een deeltje. Op enkele posities zijn loodrecht op de radiale fractuurlijntjes zg. 'beach marks'¹² te zien. In het gebied waar het rubber niet is afgebroken ziet het oppervlak er geërodeerd uit.

Opgemerkt werd dat er alleen schade was ontstaan in het gebied dat niet door de metalen pijpen bedekt was geweest. Als de degradatie van het materiaal een rechtstreeks gevolg zou zijn van een chemische reactie met de brandstof, zou waarschijnlijk ook het rubber rond de metalen pijpen door het voortdurende chemische proces zijn aangetast.

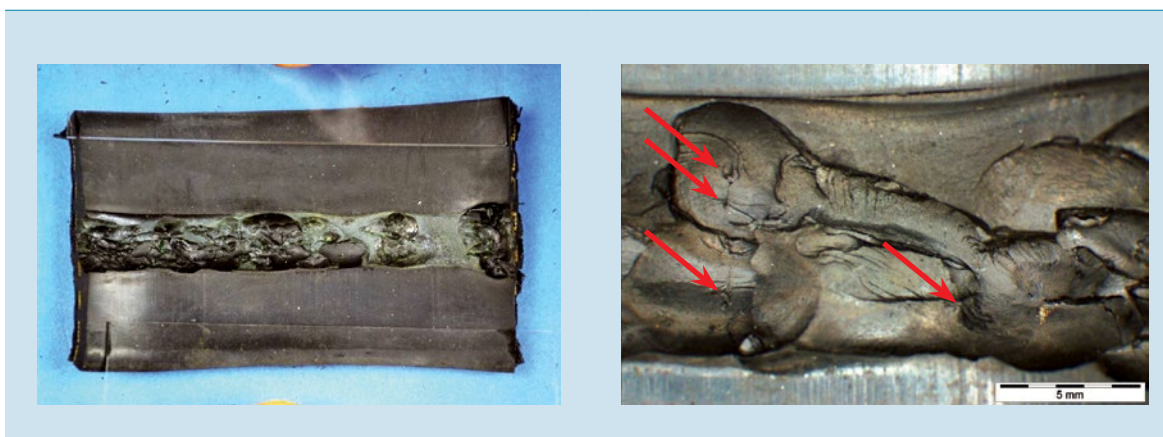
¹⁰ EN228 = Europese norm voor loodvrije benzine die als autobrandstof wordt gebruikt. <http://www.en-standard.eu/csn-en-228-automotive-fuels-unleaded-petrol-requirements-and-test-methods/?gclid=CJjY6dnfhLsCFQrJtAodcX8Asw>.

¹¹ http://www.easa.europa.eu/safety-and-research/research-projects/docs/miscellaneous/Final_Report_EASA.2008-6-light.pdf, pagina 19, paragraaf 3.1.

¹² De "beach marks" op het oppervlak van de vermoeiingsbreuk zijn het resultaat van opeenvolgende momenten van stilstand en afname in de groeisnelheid van de vermoeiingsscheur.

De hoofdoorzaak voor het afbreken van de rubberdeeltjes moet dan ook hoogstwaarschijnlijk niet worden gezocht in een rechtstreeks verband met de chemische reactie en de vloeistofstroom. Het onderzoek van het gebied waar rubber is afgebroken wijst uit dat die stukjes op mechanische wijze zijn afgebroken. Bij de kleine deeltjes in het rubber zijn vermoeiingsscheurtjes ontstaan.

Geconcludeerd kan worden dat het rubber licht is aangetast door contact met een andere bron, bijv. hitte. De slangen bevinden zich tussen het spuitstuk van de carburateur en de cilinders van de motor en worden daarom blootgesteld aan trillingen. Het valt te verwachten dat die trillingen extra hitte in het rubber hebben gegenereerd. De afstand tussen de twee metalen pijpen (10 mm) is klein in verhouding tot de diameter van de slang (50 mm). Als gevolg van die verhoudingsgewijs kleine afstand leiden de trillingen tussen het spuitstuk van de carburateur en de brandstofinlaat van de cilinder tot wisselende spanningen in het rubber.



*Figuur 11: Deel waar materiaal is afgebroken.
(Bron: Element)*

*Figuur 12: Detail van deel waar materiaal is
afgebroken. (Bron: Element)*

De pijltjes in figuur 12 wijzen naar de initiatiepunten.

De wisselende spanning heeft in combinatie met de hitte die in het rubber werd gegenereerd, vermoeiingsscheurtjes in het opgezwollen gedeelte veroorzaakt. De kleine deeltjes in het rubber waren daarbij de spanningsinitiator. De vermoeiingsscheurtjes zijn dan ook bij die deeltjes ontstaan. Het opzwellen komt nauwelijks voor in motoren die op Avgas lopen, en dit verschijnsel treedt dan ook alleen op bij relatief langdurig gebruik van Mogas.

Geconcludeerd werd dat een vermoeiingsmechanisme de hoofdoorzaak was van het falen. Het gebruik van Mogas echter veroorzaakte het opzwellen tussen de pijpen, wat tot de verhoogde spanning op het oppervlak heeft geleid. Het afbreken van de rubberdeeltjes was een resultaat van vermoeiing die op kleine deeltjes in het rubber werd geïnitieerd. Het wisselende spanningsniveau als gevolg van de (interne) materiaalspanning die door het opzwellen ontstond was, gecombineerd met de temperatuur, een factor die heeft bijgedragen tot het vermoeiingsmechanisme.

**Bezoekadres**

Anna van Saksenlaan 50
2593 HT Den Haag
T 070 333 70 00
F 070 333 70 77

Postadres

Postbus 95404
2509 CK Den Haag

www.onderzoeksraad.nl