

ISSN 1400-5719

Slutrapport RL 2013:06

**Olycka den 6 september 2011
med helikoptern LN-OAB i
Ånn, Jämtlands län**

Dnr L-94/11
2013-03-15

SHK undersöker olyckor och tillbud från säkerhetssynpunkt. Syftet med undersökningarna är att liknande händelser ska undvikas i framtiden. SHK:s undersökningar syftar däremot inte till att fördela skuld eller ansvar.

För SHK:s del står det var och en fritt att, med angivande av källan, för publicering eller annat ändamål använda allt material i denna rapport.

Rapporten finns även på vår webbplats: www.havkom.se



1. Transportstyrelsen,
Sjö- och luftfartsavdelningen
2. Luftfartstilsynet i Norge

Slutrapport RL 2013:06

Statens haverikommission (SHK) har undersökt en olycka som inträffade den 6 september 2011 i Ånn, Jämtlands län, med en helikopter med registreringsbeteckningen LN-OAB.

Haverikommissionen överlämnar härmed enligt förordningen (EU) nr 996/2010 om utredning och förebyggande av olyckor och tillbud inom civil luftfart slutrapport över undersökningen.

SHK emotser besked senast den 15 juni 2013 om vilka åtgärder som har vidtagits med anledning av de i rapporten intagna rekommendationerna.

En översättning av rapporten till engelska insänds senare.

På haverikommissionens vägnar

Mikael Karanikas
Ordförande

Agne Widholm
Utredningsledare

Innehåll

| | |
|--|-----------|
| 1. FAKTAREDOVISNING..... | 7 |
| 1.1 Redogörelse för händelseförloppet..... | 7 |
| 1.2 Personskador..... | 7 |
| 1.3 Skador på luftfartyget | 7 |
| 1.4 Andra skador | 8 |
| 1.5 Föraren..... | 8 |
| 1.5.1 Föraren | 8 |
| 1.5.2 Förarens tjänstgöring | 9 |
| 1.6 Luftfartyget..... | 9 |
| 1.6.1 Luftvärdighet och underhåll | 9 |
| 1.6.2 Bränslesystem | 10 |
| 1.6.3 Governorfunktionen | 13 |
| 1.6.4 Luftfartygsvraket | 13 |
| 1.6.5 Tidigare kända faktorer som givit upphov till motorstörningar på luftfartygstypen R44 Astro | 14 |
| 1.7 Meteorologisk information..... | 15 |
| 1.8 Navigationshjälpmedel | 15 |
| 1.9 Radiokommunikationer | 15 |
| 1.10 Flygfältsdata | 15 |
| 1.11 Färd- och ljudregistratorer..... | 15 |
| 1.12 Olycksplats och luftfartygsvrak | 15 |
| 1.12.1 Olycksplatsen | 15 |
| 1.13 Medicinsk information..... | 16 |
| 1.14 Brand | 16 |
| 1.15 Överlevnadsaspekter..... | 16 |
| 1.15.1 Räddningsinsatsen | 16 |
| 1.16 Särskilda prov och undersökningar | 16 |
| 1.16.1 Intervju med flygföraren och passagerarna | 16 |
| 1.16.2 Teknisk undersökning | 17 |
| 1.16.3 Besök vid underhållsverkstaden | 21 |
| 1.16.4 Startprocedur enligt flyghandboken | 22 |
| 1.17 Övrigt..... | 22 |
| 1.17.1 Användningsområde av polypropylen och polypropylenfibrer | 22 |
| 1.17.2 Effektbehovet hos en helikopter | 22 |
| 1.17.3 Periodisk 100-timmarstillsyn | 22 |
| 1.18 Särskilda eller verkningsfulla utredningsmetoder..... | 22 |
| 1.18.1 Test av bränslesystemets filterfunktion | 22 |
| 1.19 Vidtagna åtgärder | 23 |
| 1.19.1 Vidtagna åtgärder vid helikopterunderhållsverkstaden | 23 |
| 2. ANALYS..... | 24 |
| 2.1 Effektbortfallet..... | 24 |
| 2.1.1 Motorfunktionen | 24 |
| 2.1.2 Bränslefilterets förmåga att stoppa föroreningar | 27 |
| 2.1.3 Föroreningarnas ursprung | 28 |
| 2.2 Flygningen..... | 28 |
| 2.3 Risker att absorptionsduk orsakar motorstörningar..... | 29 |
| 3. UTLÅTANDE | 30 |
| 3.1 Undersökningsresultat | 30 |
| 3.2 Orsaker till olyckan | 30 |
| 4. REKOMMENDATIONER..... | 30 |
| BILAGA | 30 |
| 1) TEK 11-0422 utgåva 2 teknisk rapport Exova 2012-03..... | 30 |

Allmänna utgångspunkter och avgränsningar

Statens haverikommission (SHK) är en statlig myndighet som har till uppgift att undersöka olyckor och tillbud till olyckor i syfte att förbättra säkerheten. SHK:s olycksundersökningar syftar till att så långt som möjligt klarlägga såväl händelseförlopp och orsak till händelsen som skador och effekter i övrigt. En undersökning ska ge underlag för beslut som har som mål att förebygga att en liknande händelse inträffar igen eller att begränsa effekten av en sådan händelse. Samtidigt ska undersökningen ge underlag för en bedömning av de insatser som samhällets räddningstjänst har gjort i samband med händelsen och, om det finns skäl för det, för förbättringar av räddningstjänsten.

SHK:s olycksundersökningar syftar till att ge svar på tre frågor: *Vad hände? Varför hände det? Hur undviks att en liknande händelse inträffar?*

SHK har inga tillsynsuppgifter och har heller inte någon uppgift när det gäller att fördela skuld eller ansvar eller rörande frågor om skadestånd. Det medför att ansvars- och skuldfrågorna varken undersöks eller beskrivs i samband med en undersökning. Frågor om skuld, ansvar och skadestånd handläggs inom rättsväsendet eller av t.ex. försäkringsbolag.

I SHK:s uppdrag ingår inte heller att vid sidan av den del av undersökningen som behandlar räddningsinsatsen undersöka hur personer förda till sjukhus blivit behandlade där. Inte heller utreds samhällets aktiviteter i form av socialt omhändertagande eller krishantering efter händelsen.

Utredning av luftfartshändelser regleras i huvudsak av förordningen (EU) nr 996/2010 om utredning och förebyggande av olyckor och tillbud inom civil luftfart. Utredningen genomförs i enlighet med Chicagokonventionens Annex 13.

Utredningen

SHK underrättades den 7 september 2011 om att en olycka med en helikopter med registrerings beteckningen LN-OAB inträffat i Ånn, Jämtlands län, den 6 september ca kl. 07.10.

Olyckan har undersökts av SHK som företrätts av Göran Rosvall ordförande, intill 1 mars 2012 och därefter Mikael Karanikas, Agne Widholm, utredningsledare och operativ utredare, Ulrika Svensson, operativ utredare t.o.m. 9 mars 2012 samt Kristoffer Danèl teknisk utredare.

Undersökningen har följts av Transportstyrelsen genom Tore Brandt.

Ackrediterad representant från den Statens havarikommisjon for transport i Norge (SHT) har varit Örnulf Lien.

Slutrapport RL 2013:06

| | |
|------------------------------|--|
| Luffartyg; registrering, typ | LN-OAB, Robinsson 44 Astro |
| Klass, luftvärdighet | Normal med gällande granskningsbevis (ARC) |
| Ägare | Enskild ägo |
| Tidpunkt för händelsen | 2011-09-06, ca kl. 07.10 i dagsljus Anm. All tidsangivelse avser svensk sommartid (UTC ¹ + 2 timmar) |
| Plats | Ånn, Jämtlands län, 63° 19' 7"N 12° 32' 7"E; 500m över havet |
| Typ av flygning | Privat |
| Väder | Enligt SMHI:s analys: vind syd till sydväst 4 till 7 knop, sikt mer än 10 km, lokalt ner till 5 km, molnbas 4-7/8 2500-3500 ft. 7/8 5-7000 ft. tidvis regn, temp +13°C/daggpunkt +12°C, QNH ² 997 hPa |
| Antal ombord: | 1 förare 2 passagerare |
| Personskador | Inga |
| Skador på luftfartyget | Omfattande |

Sammanfattning

Vid upphovring med en helikopter av typen Robinsson 44 Astro förlorade motorn på helikoptern hastigt effekt på ca 8-10 meters höjd. Effektförlusten var så pass omfattande att helikoptern började sjunka utan möjlighet för föraren att hindra det påföljande islaget mot marken. Händelsen hade föregåtts av flera liknande effektbortfall, vilka börjat visa sig två till tre månader innan olyckan.

Den tekniska undersökningen visade på förekomsten av en stor mängd fasta föroreningar i bränslesystemet. De fasta föroreningarna bestod av bland annat av polypropylenfibrer vilka kunnat passera bränslefilter fram till förgasarens huvudmunstycke och därmed begränsat bränsleflödet. Haverikommissionen anser att begränsningen har varit tillräcklig för att ha orsakat ett för magert blandningsförhållande på bränsleluftblandning vilket i sin tur har medfört att motorn förlorat effekt. Fibrernas ursprung har kunnat knytas till en absorptionsduk som användes på underhållsverkstaden under tiden för den senaste 100 timmars-tillsynen som utfördes tre månader före händelsen.

Olyckan orsakades sannolikt av att absorptionsduk hanterats på ett olämpligt sätt vid den senaste 100-timmarstillsynen samt att de driftstörningar som föregick olyckan inte följdes upp på ett ändamålsenligt sätt.

¹ UTC - Coordinated Universal Time, Referens för exakta tidsangivelser världen över.

² QNH anger det atmosfäriska trycket vid havsytan.

Rekommendationer

Luftfartstilsynet i Norge och Transportstyrelsen i Sverige rekommenderas att:

Informera flygverkstäderna om FOD³- risken med absorbtionsduk vid underhållsarbete på luftfartyg (RL2013:06 R1).

³ FOD- Foreign Object Damage. Skada som tillskrivs ett främmande föremål vilket kan degradera luftfartygets kravställda säkerhet eller prestanda.

1. FAKTAREDOVISNING

1.1 Redogörelse för händelseförloppet

Flygningen avsåg en transport av föraren och tre passagerare. Föraren hade uppmanat passagerarna att medföra en lätt packning.

Föraren hade utfört daglig tillsyn på helikoptern vilken stod parkerad på förarens egen mark. Startmassan var 1062 kg av maximalt tillåtna 1089 kg. Allt var normalt vid uppstart och initial hovring. Vid upphovring över den höjd som ger markeffekt (ca 7 meter) erhöll föraren varningen ”Low RPM” (lågt rotorvarvtal) med en tänd lampa samt en akustisk signal. Föraren, som upplevde att lyftkraften inte räckte till, satte ner helikoptern genom en normal landning och bad en av passagerarna att stiga av. När en passagerare lämnat helikoptern påbörjade föraren en ny start.

Under den andra upphovringen, med 62 kg reducerad startmassa, steg helikoptern högre än vid första, men på omkring 8-10 meters höjd återkom samma varning som tidigare. Föraren försökte att vrida på stigspakens gas- handtag för att motverka det lägre varvtalet, men upplevde att han ändå förlorade lyftkraft. Han sänkte då istället stigspaken i ett försök att bibehålla ett tillräckligt högt varvtal för att kunna nöd-landa helikoptern. Varvtalet gick dock inte att hålla inom föreskrivna värden. När helikoptern närmade sig marken ökade föraren stigspaksutslaget för att bromsa sjunkhastigheten mot marken men rotor- varvtalet var då så lågt att denna åtgärd inte nämnvärt minskade sjunkhastigheten. Samtliga kunde lämna helikoptern oskadade. Ingen brand utbröt.

Olyckan inträffade i position 63° 19' 7"N 12° 32' 7"E; ca 500 m över havet.

1.2 Personskador

| | Besättning | Passagerare | Totalt | Övriga |
|--------------------|------------|-------------|--------|------------------|
| Omkomna | – | – | – | – |
| Allvarligt skadade | – | – | – | – |
| Lindrigt skadade | – | – | – | Inte tillämpligt |
| Inga skador | 1 | 2 | 3 | Inte tillämpligt |
| Totalt | 1 | 2 | 3 | – |

1.3 Skador på luftfartyget

Helikoptern tog mark med medstället. Sättningen var så kraftig att ELT⁴ aktiverades. Efter nedslaget hade helikoptern omfattande skador på strukturen, såsom landställ, ramverk, motorfästen, stjärtbom m.m. Delar av skadorna kan ses i Fig. 1 och Fig. 2. Rotormastens formkåpor var skadade i nedre framkanten och ett motsvarande islagsmärke kunde ses på den bärande takstrukturen. Landställets tvärrör (crosstubes) hade böjts upp och luftfartyget vilade delvis på helikopter-kroppens underdel. Ramen och helikopterns bottenstruktur visade på strukturella skador. Det fanns även skador på fackverksstrukturen kring motorfästena i form av förskjutningar.

⁴ ELT – Emergency Locator Transmitter, nödsändare.



Fig. 1. Luftfartygsvraket på platsen för nödlandningen. Foto: SHK.



Fig. 2. Strukturskada i stjärtbommen. Foto: SHK.

1.4 Andra skador

Inga.

1.5 Föraren

1.5.1 Föraren

Föraren, var vid tillfället 57 år och hade gällande PPL⁵ certifikat.

| Flygtid (timmar) | | | | |
|------------------|--------------|--------------|---------------|--------|
| Senaste | 24 timmar | 7 dagar | 90 dagar | Totalt |
| Alla typer | 0 tim 40 min | 7 tim 35min | 54 tim 10 min | 600 |
| Aktuell typ | 0 tim 40 min | 7 tim 35 min | 42 tim | 550 |

Antal landningar på aktuell typ de senaste 90 dagarna: 74.
Inflygning på typen gjordes 2006.

⁵ PPL - Private Pilot License, privatflygcertifikat.

1.5.2 Förarens tjänstgöring

Föraren har uppgivit att han erhållit sammanhängande vila mellan kl. 22-07, natten före händelsen.

1.6 Luftfartyget

1.6.1 Luftvärdighet och underhåll

Luftfartyget

| | |
|---|--|
| Typcertifikatinnehavare | Robinson Helicopter Company |
| Modell | R44 Astro |
| Serienummer | 0273 |
| Tillverkningsår | 1996 |
| Flygmassa | Max tillåten startmassa 1089 kg, aktuell 1000 kg |
| Tyngdpunktsläge | Inom tillåtna gränser. |
| Total gångtid | 3261 timmar |
| Gångtid efter senaste periodiska tillsyn (50 timmars) | 9 timmar |
| Bränsle som tankats före händelsen | 76 liter |

Motor

| | |
|---|------------------|
| Typcertifikatinnehavare | Textron Lycoming |
| Motormodell | O-540-F1B5 |
| Antal motorer | 1 |
| Serienummer | L-9642-40A |
| Total gångtid, timmar | 4616 |
| Gångtid efter senaste periodiska tillsyn (50 timmars) | 9 |
| Gångtid efter senaste översyn, timmar | 1011 |

Rotor

| | |
|-------------------------|-----------------------------|
| Typcertifikatinnehavare | Robinson Helicopter Company |
| Tillverkare | |
| Serienummer | 7147 |
| Total gångtid | 99 timmar |
| Gångtid efter tillsyn | 9 timmar |
| Gångtidsbegränsningar | 2200 timmar/12år |
| Diameter | 10.06 meter |

Kvarstående anmärkningar

| | |
|-----|------|
| MEL | Inga |
| HIL | Inga |

Luftfartyget hade luftvärdighetsbevis med gällande granskningsbevis (ARC⁶).

⁶ ARC - Airworthiness Review Certificate.

1.6.2 Bränslesystem

Generellt

Bränslesystemet på R44 Astro består av bränsletankar, filter, avluftning, avstängningsventil samt rör och slangar. Bränsletankarna är placerade högt upp invid huvudrotorväxels rotormast, se Fig. 3. Bränsletankarna är förbundna med ett förbindelserör. Från huvudtanken (vänster tank), leds bränslet via ett förfilter och rör till en avstängningsventil inne på förarplats.

Efter avstängningsventilen är en primerpump⁷ monterad. Därifrån leds bränslet vidare via en kombinerad förorenings- och vattenfälla samt filterenhet till förgasaren. Filtret är ett stålfilter med en porstorlek av 0.1 mm. Filtret ska göras rent vid varje 100-timmarstillsyn. Påfyllning av bränsle sker med s.k. öppen tankning via tanköppningar på toppen av tankarna. Tankarnas avluftning sker med rör som löper från tankarna längs med rotormasten. Öppningen till avluftningen är riktad neråt och saknar filter.

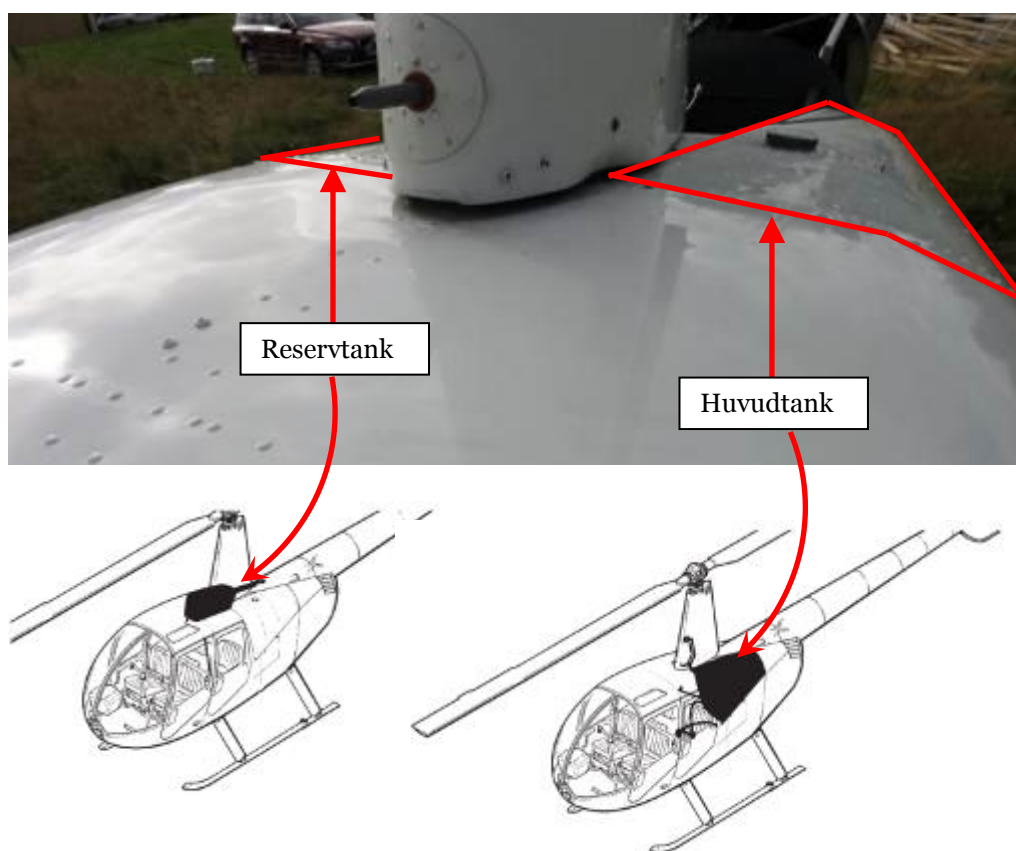


Fig. 3. Bränsletankarnas placering. Foto: SHK/ Robinson Helicopter Company.

Förgasaren

Förgasaren är en del av det så kallade ingassystemet. Förgasarens uppgift är att tillföra motorn luft och bränsle i rätta proportioner till förbränningen i cylindrarna, samt medge reglering av motorns effekt genom ändring av mängden luft och bränsle till motorn. I förgasaren förgasas bränslet och blandas med ingasluften. Förgasaren ska se till att rätt inblandning av bränslet sker så att korrekt bränsle/luftblandning erhålls inom motorns hela arbetsområde. Bränsle/luftblandningen varierar i arbetsområdet och är rikare vid tomgång och vid höga effektuttag. Rik

⁷ S.k. snaspump för att ge rik bränsle/luftblandning vid start av motorn.

blandning innebär att det finns en större mängd bränsle i bränsle/luftblandningen än när att allt syre åtgår för att förbränna allt bränsle i en blandning.

En flygmotorförgasare har följande huvuddelar: förgasarhus med spjäll, venturi och bränslespridare. Helikoptern var försett med en Precision MA4-5 förgasare, se Fig. 4.

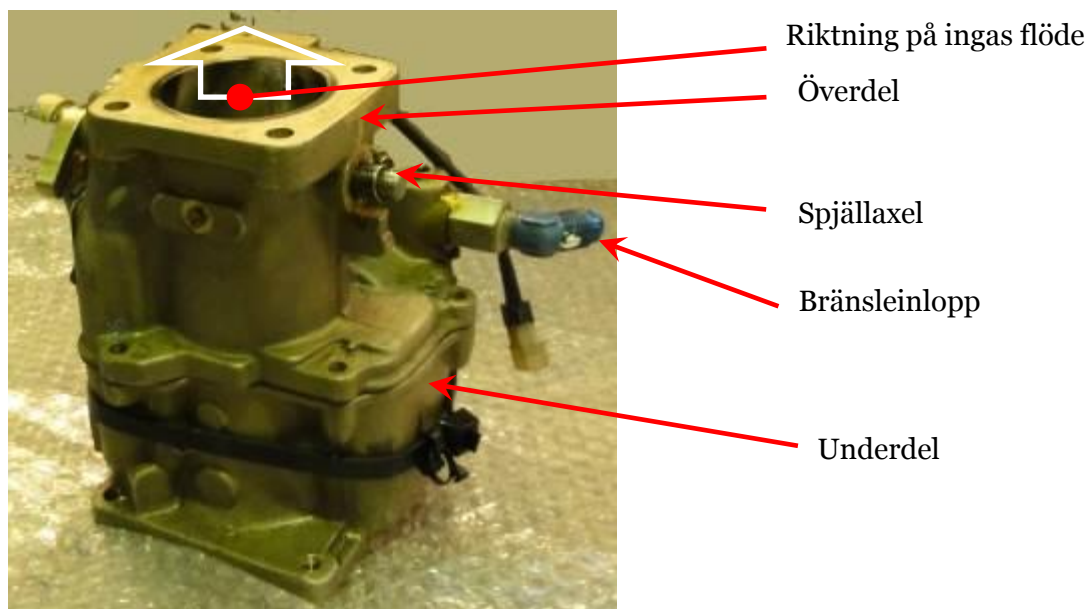


Fig. 4. Förgasaren vilken var monterad på LN-OAB. Foto/bild: SHK.

Precision MA4-5 är en stigförgasare med flottör och huvudmunstycke av emulsionsrörstyp. Emulsionsröret tillåter inblandning av luft i bränslet innan bränslet når förgasarens huvudkanal. Förgasarhuset är av aluminium och är delat i en över- och en underdel. Överdelen, vilken är monterad dikt an mot motorn, innehåller bland annat förgasarspjäll. Aluminium är en mycket god värmeledare. Detta medför att värmen från ett varmt motorblock effektivt leds till förgasaren så att denna blir varm. I förgasarens underdel finns flottörkammaren och flottören, se Fig. 5.

Efter filtret är flottörkammaren bränslets första anhalt. I flottörkammaren önskar man hålla en tämligen konstant bränslenivå, vilken regleras med flottörmekanismen. En blandningsmekanism reglerar inloppsarean till huvudmunstycket. När arean minskas begränsas bränsleflödet till huvudmunstycket, vilket leder till magrare bränsle/luftblandning. Normalinställning är maximalt rik bränsle/luftblandning.

Strax ovan botten av flottörkammaren suger huvudmunstycket upp bränsle.

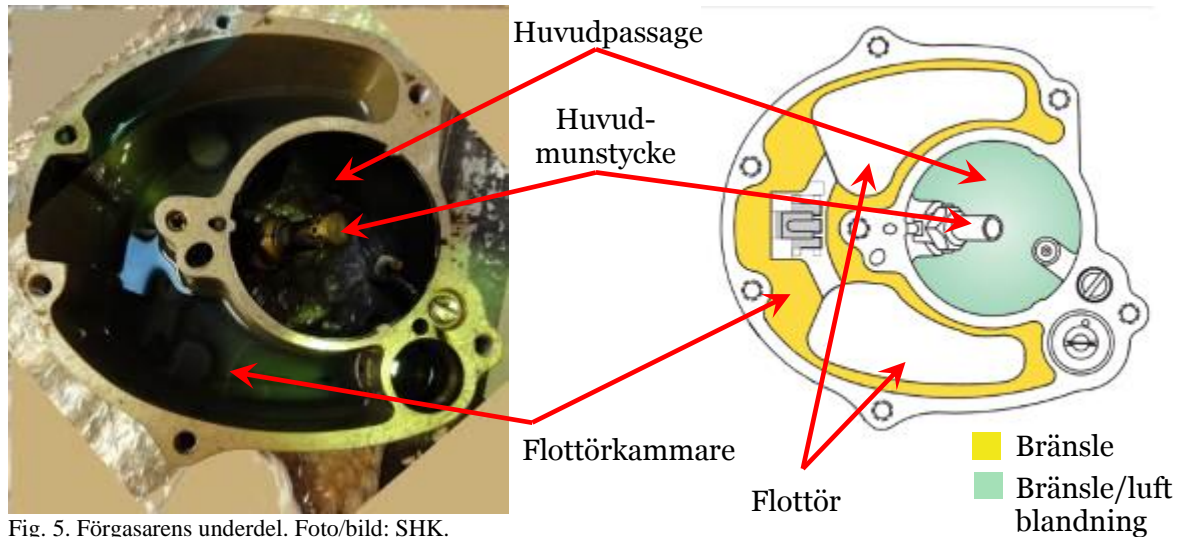


Fig. 5. Förgasarens underdel. Foto/bild: SHK.

Vid maximalt effektuttag, vilket sker vid full gas, är bränsle/luftblandningen maximalt rik och bränsleflödet som störst.

I förgasarens venturi råder vid motorgång ett lägre tryck än i den omgivande luften varvid bränsle suggs upp genom huvudmunstycket vilket vid lastfall med högt effektuttag har avstängd emulsionslufttillförsel. Bränslet bildar en vätskepelare inne i huvudmunstycket då det suggs in i venturit där bränslet förgasas och omblandning med ingasluften påbörjas.

När bränslet förgasas i förgasaren åtgår till denna process ångbildningsvärme. Denna värme tas från ingasluften varvid temperaturen på ingasluften sänks. Detta kan innebära att fukten i luften bildar iskristaller. Detta fenomen kallas för förgasaris. Ett generellt diagram som visar riskområden för förgasaris visas i Fig. 6.

Förgasaris begränsar luftflödet genom förgasaren och kan i vissa fall begränsa luftflödet så pass att motorn tappar effekt och börjar gå orent på grund av en allt för rik bränsle/luftblandning. Ingastemperaturen (CAT⁸) visas på ett instrument på instrumentpanelen. Instrumentet har ett gulmarkerat område som visar risk för förgasaris. Temperaturgivaren till instrumentet är placerad i förgasaren strax efter förgasarspjället. Förgasaris kan förhindras på helikoptertypen genom att öppna ett spjäll och blanda in varmluft till ingasluften. LN-OAB var utrustad med ett system (Carb Heat Assist) vilket automatiskt tillför varmluft till ingasluften. Systemet är aktivt när spärren till Carb Heat-reglaget är i öppet läge. Mängden tillförd varmluft baseras bland annat på stigspakens läge. Ett högre läge på stigspaken, som vid till exempel upphovring, minskar mängden inblandad varmluft.

⁸ CAT- Carburetor Air Temperature, temperatur på ingasluften.

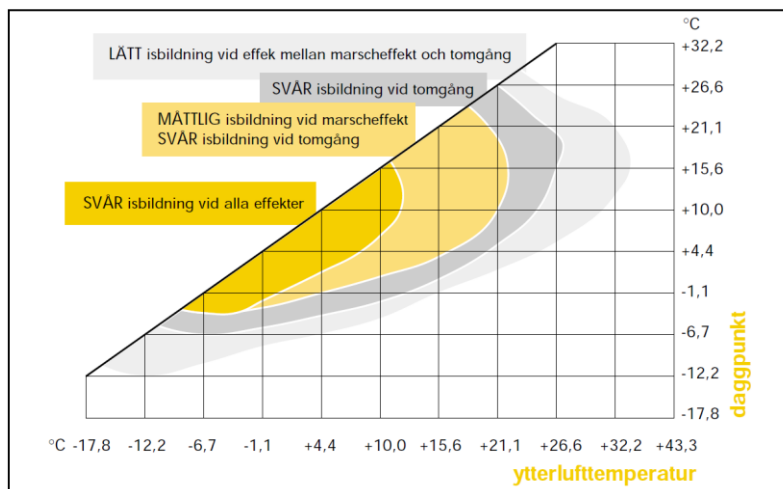


Fig. 6. Diagram utvisande riskområden för förgasaris. Diagram: Transportstyrelsen.

1.6.3 Governorfunktionen

Helikoptern var standardutrustad med en så kallad ”governor”. Governorn känner av motorvarvtalet och korrigerar detta genom vrida upp gasreglaget när varvtalet underskrider 101% och minska gasreglaget när varvtalet överstiger 102%. Påverkan på gasreglaget sker via en friktionskoppling vilken medger att gasreglaget, enligt flyghandboken, enkelt kan övermannas och vridas utanför governorfunktionens ärvärde. Enligt flyghandboken är governorfunktionen avsedd att assistera föraren att kontrollera varvtalet inom helikopterns flygenvelopp, men hinner inte med att förhindra tillstånd med över- eller undervarv vid hastiga flygmanövrar.

1.6.4 Luftfartygsvraket

En preliminär undersökning av vraket utfördes på olycksplatsen. Därefter fraktades luftfartygsvraket till en helikopterverkstad där en mer ingående undersökning utfördes.



Fig. 7. Luftfartygsvraket på platsen för olyckan. Foto: SHK.

1.6.5 Tidigare kända faktorer som givit upphov till motorstörningar på luftfartygstypen R44 Astro

Läckande flottör

Läckage i flottören medför att bränslet i förgasaren flödar över. Motorgången kommer att bli ojämn och hackig framför allt på låga varvtal. Bränsle/luftblandningen kommer att bli mycket rik. Förgasartillverkaren har den 30 januari 2008 utfärdat en servicebulletin (MSA-13) rörande byte av mässingflottör alternativt vit polymerflottör till en blå skumplastflottör. Flottören i förgasaren var en vit polymerflottör och var fullt funktionsduglig.

Felfunktion hos den automatiska varvtalshållningen (governor)

Governorfunktionen ser till att motorvarvtalet hålls inom föreskrivna värden ($102\% \pm 1\%$). Varvtalsinformationen till guvernorn kommer från en givare i en av motorns tändningsmagneter. Det har förekommit att givaren gett en felaktig signal till kontrollenheten för governorfunktionen. Tillverkaren har informerat om detta i sitt informationsbrev (*SERVICE LETTER*) SL-18. Signalen har i dessa fall stundtals motsvarat halva motorvarvtalet vilket medfört att governorfunktionen gett signal att öka varvtalet.

Avgasventil fastnar i ventilstyrningen

Avgasventilen möjliggör att avgaserna kan lämna motorns förbränningsutrymme. Det finns fall med O-540 motorn där en avgasventil fastnat i öppet läge eller kärvat. Detta har framför allt inträffat vid högre varvtal och då motorn har varit kall.

Motorgången med en läckande avgasventil blir mycket ojämn och det möjliga effektuttaget blir reducerat. Lycoming har informerat om detta den 2 juli 2003 i sin Service Instruction No. 1485A och utfärdat en servicebulletin den 22 november 2004, Service Bulletin No. 388C. Servicebulletinen, som avser ett byte av avgasventilernas ventilstyrningar till nya med en högre kromhalt, hade utförts på helikoptern.

Förgasaris

Förgasaris, vilket har beskrivits avsnitt 1.6.2, minskar motorns tillgängliga effekt. Det finns flera fall där man misstänker att förgasaris varit orsaken till haverier med helikoptertypen⁹. Typcertifikatinnehavaren (Robinson Helicopter Company) har informerat om riskerna med förgasaris i bland annat flyghandboken och via informationsbrev (Service Note, SN). SN25 beskriver riskerna generellt med förgasaris och SN31 berör risken med att governorfunktionen kan maskera symptomen på förgasaris. Enligt flyghandboken ska visaren på instrumentet för ingastemperatur (CAT) vara utanför det gulmarkerade området för att undvika bildandet av förgasaris.

Punkterna ovan är inte rangordnade men redovisar de vanligaste kända omständigheterna som har gett upphov till motorstörningar av aktuell typ.

⁹ Se t.ex. www.atsb.gov.au/media/4021934/ao2012078_final.doc och <http://www.aaiu.ie/node/243>

1.7 Meteorologisk information

Enligt SMHI:s analys: En kallfront med regn passerade åt nordost över södra Norrland. Det lokala vädret vid Ånn då händelsen inträffade var enligt följande: Vind syd till sydväst 4 till 7 knop, sikt över 10 km, lokalt ner till 5 km, molnbas 4-7/8 2500-3500 ft. 7/8 5-7000 ft. tidvis regn, temp +13°C/dagpunkt +12°C, QNH 997 hPa.

1.8 Navigationshjälpmedel

Inte aktuellt.

1.9 Radiokommunikationer

Inte aktuellt.

1.10 Flygfältsdata

Inte aktuellt.

1.11 Färd- och ljudregistratorer

Föraren medförde en GPS som registrerade flygningen. Haverikommissionen har tagit del av registreringen.

1.12 Olycksplats och luftfartygsvrak

1.12.1 Olycksplatsen

Upphovring och nödlandning skedde på ett gräsfält. I anslutning till fältet fanns kuperad mark och byggnader enligt Fig. 8.



Fig. 8. Haveriplatsen med omgivningar. Den avsedda startriktningen var mot fotografens plats och effektbortfallet inträffade ungefär rakt ovanför helikopterns läge på bilden. Under nödlandningen har helikoptern vridits ca 90 grader åt vänster. Foto: SHK.

1.13 Medicinsk information

Ingenting har framkommit som tyder på att förarens psykiska eller fysiska kondition varit nedsatt före eller under flygningen.

1.14 Brand

Brand uppstod inte.

1.15 Överlevnadsaspekter

1.15.1 Räddningsinsatsen

Ingen räddningsinsats utfördes. Nödsändaren (ELT), aktiverades vid haveriet och deaktiverades senare.

1.16 Särskilda prov och undersökningar

1.16.1 Intervju med flygföraren och passagerarna

Föraren intervjuades vid ett flertal tillfällen efter händelsen. Han uppgav att han hade utfört daglig tillsyn på helikoptern på morgonen samma dag som händelsen inträffade. I den dagliga tillsynen ingår bland annat att dränera tankarna och filtret på en mindre mängd bränsle för att bli av med eventuellt vatten som kan samlas i bränslet och för att få en uppfattning om föroreningsstatus. Därefter gjordes en normal motorstart och kontroll av Carb Heat (varmluftsfunktionen) till förgasaren. Enligt flyghandboken kontrolleras varmluftsfunktionen genom att dra i Carb Heat-reglaget och kontrollera att temperaturen på CAT-instrumentet stiger, därefter lämnas reglaget i sådan position att visaren på CAT-instrumentet hamnar utanför det gulmarkerade området (-19 till +3 °C). Carb Heat-reglaget lämnades ospärrat för att aktivera Carb Heat assistfunktionen. Därefter påbörjade föraren en vertikal stigning med helikoptern. Ombord var då föraren och tre passagerare.

Under den vertikala stigningen på låg höjd tändes en varningslampa och en akustisk signal ljud. Dessa varnade för lågt rotorvarvtal (Low RPM) och uppfattades både av föraren och även passageraren i framsätet. Varningen aktiveras då rotorvarvet understiger 97 %. Föraren, som upplevde att lyftkraften inte räckte till, satte ner helikoptern och bad en av passagerarna att stiga av. När passageraren lämnat helikoptern påbörjade föraren en ny upphovring.

Under den andra upphovringen steg helikoptern högre än vid första tillfället, men på omkring 8-10 meters höjd återkom samma varning som tidigare. Föraren försökte att vrida på stigspakens gashandtag för att åstadkomma ett högre varvtal, men upplevde att han ändå förlorade lyftkraft. Han sänkte då stigspaken i ett försök att bibehålla tillräckligt varvtal för att kunna landa helikoptern. Varvtalet gick dock inte att hålla inom föreskrivna värden. När helikoptern närmade sig marken ökade föraren stigspaksutslaget för att bromsa in sjunket, men enligt föraren och passagerare sjönk helikoptern snabbt innan markislaget. Föraren uppgav att vid båda dessa tillfällen visade instrumenten, förutom varvtalsinstrumentet, normala värden. Instrumenten på instrumentpanelen visar bland annat värden på ingastemperatur (CAT), ingastryck (MAP), och cylindertopptemperatur (CHT). Dessa värden ska vara inom tillåtna områden och enligt flyghandboken ska de bland annat kontrolleras efter motorstart, efter varmkörning av motorn, före upphovring och när stigspaken ansatts så att helikoptern precis vill låta (påbörjan av upphovring).

Föraren har även uppgett att han vid ett antal tillfällen innan händelsen upplevt att motorn intermittent och oförklarligt tappat något i effekt och att farten sjunkit vid dessa tillfällen. Förloppet har beskrivits som en plötslig minskning av motoreffekt genom att indikerad air speed har minskat; en stund senare har allting plötsligt varit normalt igen. Ibland har rotorvartalet blivit för högt vid dessa tillfällen. Föraren har då slagit ifrån governorfunktionen och reglerat gasen manuellt. Flyghandboken tillåter flygning med denna funktion avslagen när den inte fungerar korrekt. Dessa symptom började visa sig ungefär två till tre månader innan händelsen. Föraren uppgav att vid dessa tillfällen har instrumentet för den omgivande luftens temperatur (OAT) och övriga motorinstrument som visar temperatur varit stabila och inom godkända områden. Föraren har inte antecknat dessa motorstörningar i loggboken utan muntligt bett underhållsansvarig att undersöka orsaken till detta. Vid undersökningarna har dock inga fel framkommit. Man har till exempel bytt kontrollenheten till governorfunktionen då man misstänkte att denna orsakade motorstörningarna. Åtgärden gjordes i samband med den senaste 50-timmarstillsynen.

Föraren uppgav även att det vid ett tillfälle varit stopp i dräneringsventilen till tankarna. Han tog då en pinne och rensade dräneringshålet, varefter en svart sörja rann ut följt av bensin. I flyghandboken står det att det ska dräneras tillräckliga mängder bränsle så att inget vatten eller inga föroreningar finns kvar i det bränsle som dräneras.

Bränslet som hade fyllts på vid senaste tankningstillfället var flygbränsle av typen Avgas 100 LL.

1.16.2 Teknisk undersökning

Mot bakgrund av de uppgifter som framkom vid intervjuerna fokuserades undersökningen på de system och komponenter vilka kunde orsaka symptomen på intermittent effektförlust, bland annat drivlina, motor och tändsystem, bränslesystem samt governorfunktion. Förbränningsutrymmet och avgasventilerna inspekterades med hjälp av ett endoskop. Inspektionen visade inte på något avvikande.

Tändstiftens utseende ger ledning rörande motorns senaste driftförhållanden. Är tändstiften svart av sot tyder detta på att motorn arbetat med en rik bränsle/luftblandning. Är tändstiften ljusa med en vit beläggning ger detta en indikation på att motorn arbetat med en mager bränsle/luftblandning. Tändstiften var vita på elektroderna utan spår av sot eller bränsle, se Fig. 9. Tändstiften kan även ge information huruvida gnistan som ska antända bränsleluftblandningen varit tillräckligt stark. Inget tändstift visade på att den skulle ha varit för svag för att antända bränsleluftblandningen.



Fig. 9. Ett av motorns tändstift. Foto: SHK.

Motorkörning och ett separat test av governorfunktionen utfördes. Vid testet av governorfunktionen användes bland annat en fristående kalibrerad varvtalsmätare. Givaren som ger varvtalsinformation till kontrollenheten i governorfunktionen var hel och ren. Allt fungerade normalt och varvtalsvärdena mellan det kalibrerade fristående varvtalsinstrumentet och motorns varvtalsinstrument överensstämde med varandra.

Förgasaren undersöktes och testades av en motorverkstad med typkunskap och behörighet att utföra arbete på förgasaren. Ingen felfunktion kunde dock identifieras.

Vid tillfället för haveriplatsundersökningen testades givaren och instrumentet för ingas temperatur (CAT). Dessa visade korrekta värden.

Bränsleprov togs från

- Huvudtank
- Reservtank (dränering + tankbotten)
- Filterkoppen
- Förgasaren (flottörhus + botten av huvudmunstycket)
- Reservdunk med bunkrat bränsle

Proven skickades till ett laboratorium för analys. Syfte med bränsleproven var att se vilken typ av bränsle som hade använts och om detta uppfyllde specifikationerna på energiinnehåll och därutöver eventuell förekomst av vatten och andra föroreningar. Analysresultaten finns i sin helhet presenterade i Exova:s rapport över proven, (se bilaga). De första analysresultaten visade att proven härrörde från Avgas 100LL och att det fanns en förhöjd halt av vatteninnehåll (ca 50mg/kg). Vidare hittades polypropylenfibrer i hela bränslesystemet med en särskild hög koncentration i bränslefiltret. Dessa fibrer kunde ses tydligt redan vid den första undersökningen i verkstaden, se Fig. 10. Provresultaten påvisade även förekomsten av cellulosa-fibrer i hela bränslesystemet.

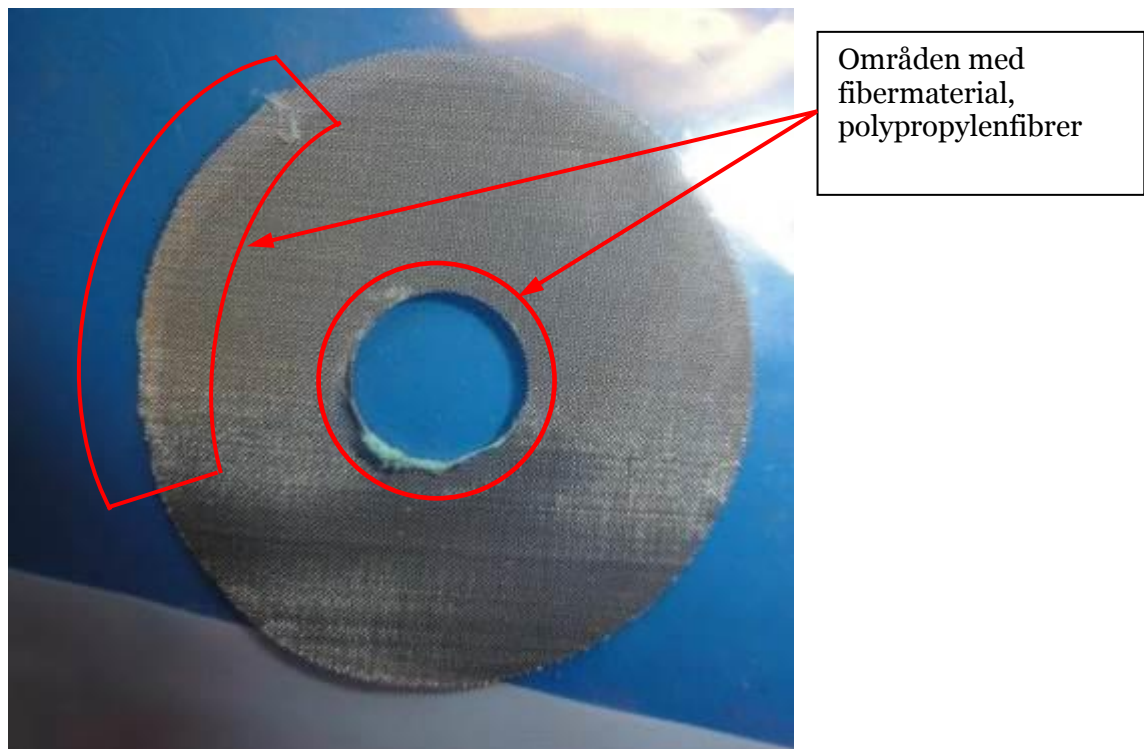


Fig. 10. Föroreningar i bränslefilteret. Foto/bild: SHK.

Från botten av flottörhuset där huvudmunstycket har sitt inlopp, togs det separata bränsleprov. I detta prov och i proven från resten av flottörhuset återfanns, förutom de fibrer som beskrivits ovan, även fasta föroreningar bestående av blybromid, zink, zink, koppar samt sandliknande partiklar, se Fig. 11, Fig. 12 och Fig. 13. I proven från bränsletankarna återfanns spår av vad som av laboratoriet ansågs kunna vara döda mikroorganismer.

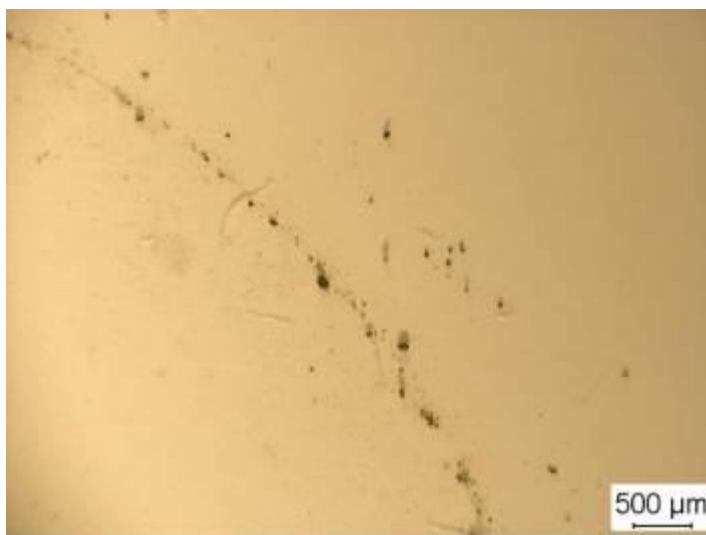


Fig. 11. Föroreningar funna i bränsleprov från inloppet till huvudmunstycket. Foto: Exova.

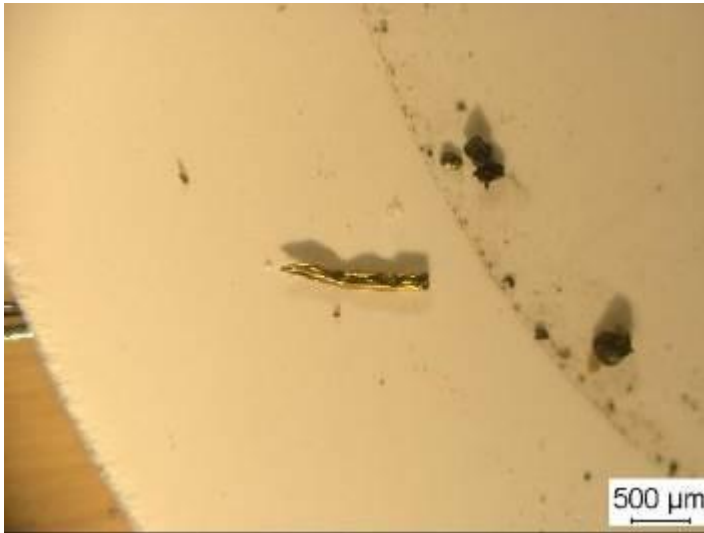


Fig. 12. Föroreningar funna i bränsleprov från botten av flottörhuset.
Foto: Exova.

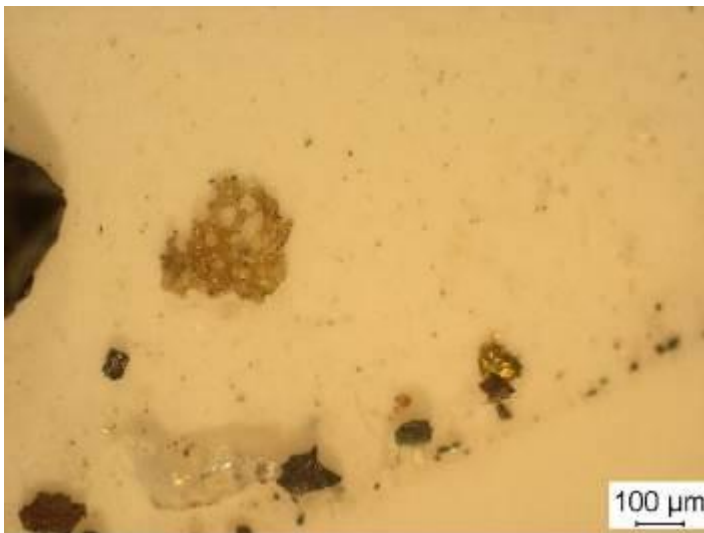


Fig. 13. Föroreningar funna i bränsleprov från botten av flottörhuset.
Foto: Exova.

Tankarna undersöktes även med endoskop, vilket bland annat visade att fibrer av polypropylen och polyetylen fastnat i förfiltret i utloppet på huvudtanken, se Fig. 14.

I huvudtanken hittades även en ca 20 cm lång plastpip från en bränsledunk. Materialprov på pipen visade att denna bestod av polyetenplast.

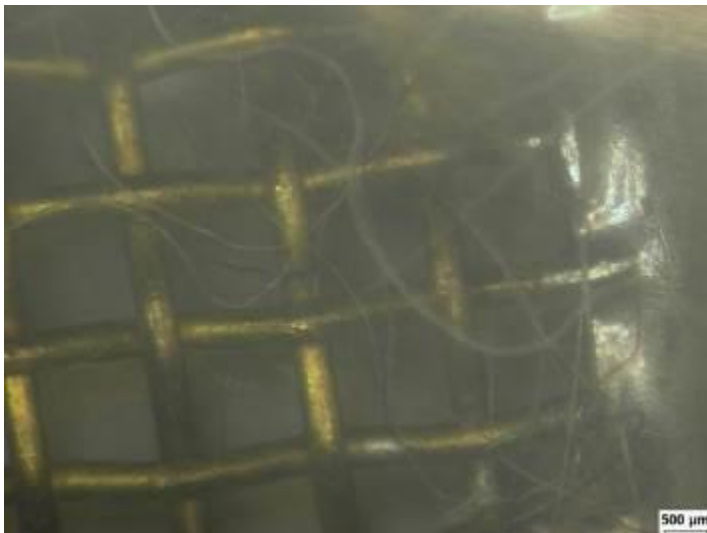


Fig. 14. Del av utloppsfiltret i huvudtanken och fibrer som fastnat i filtret.
Foto: Exova.

1.16.3 Besök vid underhållsverkstaden

Som nämnts ovan visade provresultaten från den första omgången bränsleprov på en hög mängd fasta föroreningar samt fibrer av polypropylen och cellolusa. Detta föranledde ett besök av haverikommissionen på Helitrans helikopterverkstad i närheten av Trondheim i Norge. Avsikten var att ta referensprov på bränsle och försöka spåra källan till polypropylen- och cellulosafibrerna. Bränsleprov togs från tankarna på två andra Robinsson R44 helikoptrar. Proven visade på en jämförbar halt av fasta föroreningar men inga polypropylen- eller cellulosafibrer.

Under besöket noterades att det i verkstaden användes en grön s.k. absorptionsduk, dels som underlag att lägga demonterade delar på, dels som ett slags skydd kring området på helikoptern där man arbetade, se Fig. 15. Enligt uppgift var absorptionsduken enbart var avsedd för upptorkning av spill på golvet.



Fig. 15. Användandet av absorptionsduk vid arbete på en helikopter. Foto: SHK.

Prov av denna duk medfördes till Exova:s laboratorium för analys. Resultatet visade att duken innehöll cellulosafibrer och polypropylenfibrer vilka var identiska i förhållande till de som hittades i bränslesystemet på helikopter LN-OAB.

1.16.4 *Startprocedur enligt flyghandboken*

I typcertifikatinnehavarens flyghandbok rekommenderas att proceduren för att genomföra starten ska följa det s.k. "height-velocity" diagram för höjd- och fartökning. Enligt detta diagram rekommenderas hovringshöjden vid start inte överstiga 10 ft. (ca 3 meter) och vid fartupptagning till 45 knop ska flyghöjden inte överstiga 25 ft. (ca 7,6 meter). Efter uppnådda 50 knop kan flyghöjden ökas utan restriktioner.

1.17 **Övrigt**

1.17.1 *Användningsområde av polypropylen och polypropylenfibrer.*

Polypropylen (PP), är en termoplast som har ett brett användningsområde¹⁰ såsom förpackningar, sjukhuskärl, möbler och leksaker. Fibrer av polypropylen används i bland annat blöjor och absorbtionsdukar.

1.17.2 *Effektbehovet hos en helikopter*

Effektbehovet för att hålla en helikopter flygande är beroende av en mängd olika parametrar. Bland de viktigaste är helikopterns massa, fart genom luften och höjd. Ju högre massa desto högre effekt krävs. En ökning av farten leder initialt till ett minskat effektbehov. Ökad höjd leder till ökat effektbehov på grund av att luftens densitet minskar med ökad höjd. När höjden dessutom ökar från det underlag helikoptern hoverar över, ökar helikopterns effektbehov, detta på grund av att den så kallade markeffekten avtar. Markeffekten uppstår när det av huvudrotorns nedsvepta luftflödet påverkas av en underliggande yta. Detta medför att det statiska trycket under rotorn ökar och ett mindre luftflöde måste genereras av huvudrotorn, vilket i sin tur minskar effektbehovet från motorn. Man kan dra nytta av markeffekten upp till ungefär 2/3 av helikopterns rotordiameter¹¹.

1.17.3 *Periodisk 100-timmarstillsyn*

Den 100-timmarstillsyn som utfördes innan händelsen ägde, enligt underhållsdokumentationen, rum den 1 juni 2011 vid Helitrans underhållsverkstad i Trondheim. Vid detta tillfälle ska bränslefiltret och filterkoppen ha rengjorts och inspekterats. Inga anmärkningar noterades rörande föroreningar i filtret.

1.18 **Särskilda eller verkningsfulla utredningsmetoder**

1.18.1 *Test av bränslesystemets filterfunktion.*

För att se hur väl huvudfiltret i LN-OAB stoppar föroreningar som polypropylenfibrer gjordes försök på detta i Exovas laboratorium. Ett rent bränsle med en känd mängd av tillsatta polypropylenfibrer, 6 mm långa och 0.01-0.02 mm i diameter, läts genomströmma filterkoppen och filtret. Resultatet visade att filtret släpper genom fibrer men att de flesta fastnar i filtret. Fig. 16 visar försöksuppställningen vid testet av bränslesystemets filterfunktion. Det är värt att notera att helikopterns bränslefiltret var av korrekt typ och uppfyllde de krav som ställdes när helikoptertypen certifierades.

¹⁰ Plasthandboken, Edshammar Lars-Erik, Liber AB 2002.

¹¹ Principles of Helicopter Flight, Second edition, W.J. Wagtedonk 2006

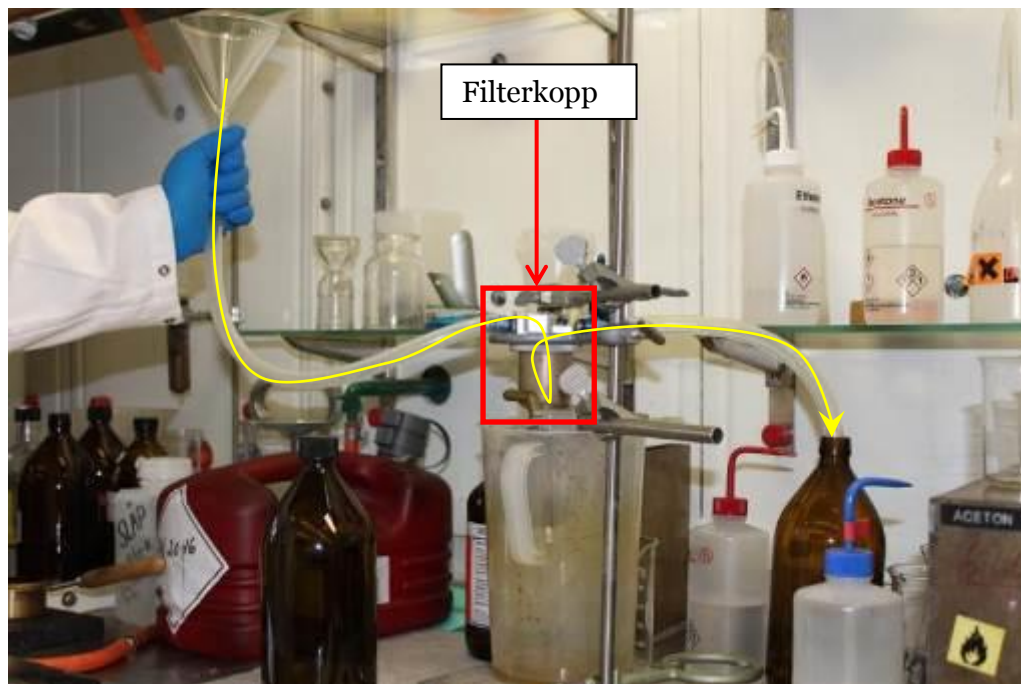


Fig. 16. Försökupställning vid test av filterfunktion. Den gula linjen visar bränslets väg vid försöket.
Foto/bild: Exova/SHK.

1.19 Vidtagna åtgärder

1.19.1 Vidtagna åtgärder vid helikopterunderhållsverkstaden

Helitrans helikopterverkstad har informerat personalen om händelsen och att absorptionsdukar endast får användas på golvet för att suga upp spill. Dessutom har klisterlappar med varningstext satts upp på hållarna till absorptionsduken, se Fig. 17.



Fig. 17. Rulle med absorptionsduk och varningstext. Foto: Helitrans.

2. ANALYS

2.1 Effektbortfallet

2.1.1. Motorfunktionen

Motorns levererade effekt beror på massflödet av den optimala bränsle/luftblandning som förbränns av motorn. Begränsas bränsleflödet eller ingasluftflödet eller blir bränsle/luftblandningen felaktig kommer motorns avgivna effekt följaktligen att sjunka.

Vid tillfället var helikoptern nära max tillåten startmassa och befann sig på 500 meters tryckhöjd över havsytans nivå. Att helikoptern inte lyckades ta sig högre än höjden motsvarande markeffekten tyder på att maximal tillgänglig effekt inte täckte det effektbehov som krävdes och medförde att rotorvarvtalet sjönk under det föreskrivna området.

Den tekniska undersökningen har visat, bl.a. genom tändstiftens utseende, att motorn inte arbetade med en rik blandning vid händelsen. En korrekt bränsle/luftblandning ska vara rik vid höga effektuttag. Dessutom återfanns stora mängder föroreningar (fibrer och andra fasta föroreningar) i förgasarens flottörhus och huvudmunstyckets inlopp. Förutom ovanstående kunde den tekniska undersökningen inte påvisa någon felfunktion hos motorn och dess kringssystem. Detta innebär att någonting sannolikt har orsakat en begränsning av bränsleflödet liknande den som blandningsmekanismen kan åstadkomma.

I avsnitt 1.6.3 har redogjorts för några faktorer som tidigare gett upphov till motorstörningar med liknande symptom på luftfartygstypen. Nedan analyseras dessa tänkbara tekniska orsaksfaktorer särskilt.

Läckande flottör

Den tekniska undersökningen av förgasaren visade att servicebulletin MSA-13 inte utförts och att flottören inte var av den typ som rekommenderas. Flottören hade dock inget läckage och reglerade bränslenivån till ett korrekt värde. Haverikommissionen utesluter därför att händelsen och de motorstörningar vilka föregått händelsen orsakats av en felaktig flottör. En läckande flottör ger dessutom en rik bränsleluftblandning, vilket inte har varit fallet.

Felfunktion hos den automatiska varvtalshållningen (Governor)

Governorfunktionen testades ingående vid den tekniska undersökningen utan att några avvikelser kunde detekteras. Kontrollenheten till governorfunktionen byttes vid den senaste 50-timmarstillsynen. Efter montering av kontrollenhet ska denna funktionstestas. Inga funktionsavvikelser har noterats. Symptomen av kända fel hos governorfunktionen passar inte heller in på beskrivningen för händelsen och inte heller för de tidigare tillfällena med motorstyrningar vilka föregått händelsen. Haverikommissionen finner det därför inte troligt att fel på governorfunktionen varit orsaken till händelsen och de motorstörningar vilka föregått händelsen.

Avgasventil fastnar i ventilstyrningen

Symptomen med reducerad tillgänglig effekt, vilket sker när en avgasventil fastnar eller kärvar, liknar symptomen vid händelsen och de tidigare motorstörningarna. Om en avgasventil kärvar eller fastnar blir emellertid motorgången ojämn vilket inte var fallet här eller vid de tidigare tillfällena med effektförlust. Den tekniska undersökningen har heller inte kunnat visa att avgasventilen fastnat eller kärvat. Motorn var dessutom varmkörd och den aktuella servicebulletinen var utförd. Haverikommissionen finner det därför föga troligt att kärvande avgasventiler skulle ha varit orsaken till händelsen och de motorstörningar vilka föregått händelsen.

Förgasaris

För man in de aktuella värdena för temperatur och daggpunkt i diagrammet (från avsnitt 1.6.2), se Fig. 18, kan man konstatera att det förelåg måttlig risk för förgasaris i marscheffekt och risk för svår isbildning vid tomgång. Diagrammet visar risken för förgasaris för en generell förgasare. Förgasaren på LN-OAB satt monterad dikt an mot motorn, och när motorn är varm kommer även förgasaren att värmas upp och på så sätt minska risken för förgasaris. Detta motsvaras av att värdet för ytterlufttemperaturen skulle vara något högre än vad som visas i diagrammet.

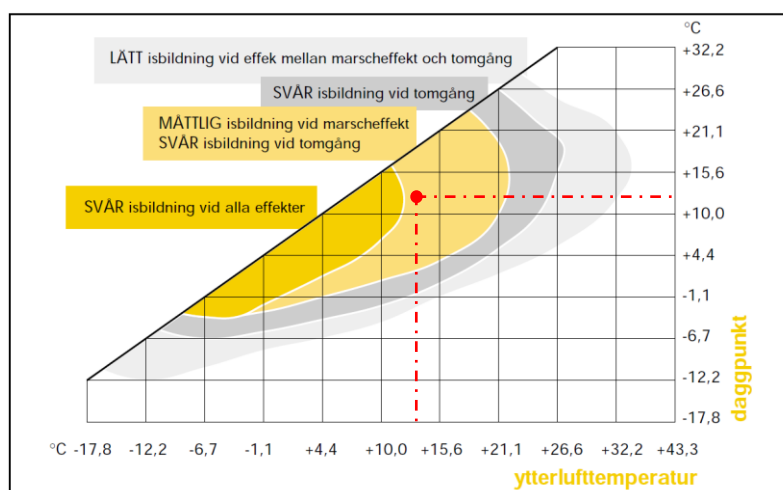


Fig. 18. Vid händelsen rådande värden på ytterlufttemperatur och daggpunkt införda i diagram utvisandes risk för förgasaris. Diagram: Transportstyrelsen/SHK.

Symtomen vid förgasaris stämmer delvis in på symptomen för motorstörningar vid händelsen, men dessa passar inte in på symtomen vid de motorstörningar som föregått händelsen. Det som talar emot att förgasaris skulle ha orsakat motorstörningarna är framför allt att instrumentet för ingastemperatur (CAT) visade en temperatur utanför området där risk för förgasaris föreligger. Vid dessa temperaturområden på ingasluften undviks enligt flyghandboken förgasaris.

Vid den tekniska undersökningen visade instrumentet för ingastemperatur korrekta temperaturer, och haverikommissionen förutsätter att så även var fallet vid händelsen. Inget har framkommit i säkerhetsutredningen som ger anledning att ifrågasätta flygförarens uppgifter i detta avseende. Att kontrollera att motorinstrumenten visar tillåtna värden är något som ska göras regelbundet, och innan start är detta en del av normalförfarandet vilket

beskrivs i flyghandboken. Dessutom var funktionen ”Carburator Heat Assist” aktiverad vilken bör ha blandat in varmluft till ingasluften, framför allt efter den första landningen med efterföljande lågt effektuttag. Förgasaris skulle inte heller kunna förklara varför det varit en för mager bränsle/luft blandning. Vid de fall där förgasaris maskerats av att governorfunktionen gradvis ökat gasen allt eftersom förgasisen succesivt byggts på, har gasreglaget slutligen hamnat i sitt maximalt öppna läge. Så var emellertid inte fallet vid händelsen eftersom föraren kunde vrida gasreglaget manuellt till sitt ytterläge.

Haverikommissionen finner det därför inte troligt att förgasaris orsakade händelsen och inte heller de motorstörningar vilka föregått händelsen.

Tidigare kända faktorer som gett upphov till motorstörningar kan således inte förklara händelseförloppet och inte heller de motorstörningar som föregått händelsen. Förklaringen till händelsen måste således finnas i andra faktorer. Nedan sammanfattas den information om motorstörningarna som haverikommissionens säkerhetsutredning har fått fram:

- Händelsen föregicks av motorstörningar i form av ett plötsligt effektbortfall och lika plötsligt effekttåterställande. Motorstörningarna har kommit ” då och då” och började ca tre månader före händelsen.
- Ca tre månader före händelsen, den 1:a juni 2011, slutfördes senaste 100-timmarstillsyn. Denna utfördes på Helitrans underhållsverkstad utanför Trondheim.
- De intermittenta effektbortfallen började efter den senaste 100-timmarstillsynen.
- Ingen anmärkning finns om att bränslefiltret var förorenat vid den senaste 100-timmarstillsynen.
- På underhållsverkstaden användes en absorbtionsduk innehållande polypropylenfibrer.
- Den senaste 100-timmarstillsynen är det enda dokumenterade tillfället då LN-OAB och absorbtionsduken var på samma plats innan symptomen med motorstörningar började.
- Polypropylenfibrer av identisk sammansättning med absorbtionsduken, återfanns i förgasarens flottörhus tillsammans med andra fasta föroreningar. Föroreningarnas storlek översteg porstorleken hos bränslefiltret. Polypropylenfibrerna fanns även i resten av bränslesystemet.
- Test av bränslefilterfunktionen i visade att polypropylenfibrer kunde passera filtret.
- Bränsle/luft blandningen har varit mager, korrekt bränsle/luft blandning skulle ha varit mycket rik.

För att bränsle/luft blandningen ska bli mager istället för rik när blandningsreglaget står i maximalt rik, måste något ha begränsat bränsleflödet.

Den gula plastpipen bedöms inte ha påverkat händelseförloppet då den inte kan ha begränsat bränsleflödet i tillräcklig omfattning.

Den svarta sörjan som flygföraren uppgav hade blockerat ena dräneringshålet vid ett tidigare tillfälle härrör sannolikt från mikroorganismer. En hög halt av dessa kan påverka motorfunktionen. Haverikommissionen finner det inte för troligt att mikroorganismerna påverkat händelsen eftersom endast spår av mikroorganismer återfanns vid undersökningen.

Vid höga effektuttag, då bränsleflödet och flödeskrafterna är större än vid låga effektuttag, ökar risken för att föroreningar från bränsletanken följer med in i motorn. Fibrer, som har passerat filtret och därefter trasslat ihop sig till fiberkluster, har en större yta än de fasta partiklarna. Dessa fibrer påverkas mer av bränsleflödets viskösa krafter än de fasta partiklarna och borde enligt haverikommissionens bedömning kunna ”sopa” med dessa fram till huvudmunstycket. Där skulle de kunna orsaka en temporär begränsning av bränsleflödet tills föroreningarna lossnar och förs vidare in i förgasarens huvudpassage.

En del föroreningar är sannolikt i suspension¹² i bränslet. När motorn stängs av, och bränslepelaren i huvudmunstycket rinner tillbaks till flottörkammaren, kan man i sådana fall återfinna föroreningarna där. Att så var fallet här har bekräftats av den tekniska undersökningen.

Haverikommissionen finner mot den bakgrunden och omständigheterna i övrigt det mest sannolikt att motorns effektbortfall vid händelsen såväl som de effektbortfall vilka föregått händelsen orsakades av att bränsleflödet begränsades av föroreningar. Detta har lett till ett felaktigt blandningsförhållande och effektförlust. Mängden fasta föroreningar, bland annat fibrer, som återfunnits i förgasaren har sannolikt varit tillräcklig för att orsaka en sådan begränsning.

Denna förklaring knyter på ett logiskt sätt även ihop denna händelse med de liknande tidigare händelserna med intermittent och partiellt effektbortfall. Detta scenario förklarar väl den intermittenta och hastiga karaktären av effektbortfallen vid vilka governorfunktionen inte hunnit med att reglera.

Nedan följer en analys av föroreningarnas ursprung och väg in i förgasaren.

2.1.2. *Bränslefiltrets förmåga att stoppa föroreningar*

Bränslefiltret har en porstorlek på ca 0,1 mm. Föroreningar vars tvärsnittsarea överstiger porstorleken bör således hindras att följa med nedströms filtret. Vid utvärderingen av filterfunktionen testades hur väl filtret filtrerar polypropylenfibrer.

Försöket med bränslesystemets filterfunktion gjordes i laboratoriemiljö. Denna miljö återspeglar inte verkligheten i form av vibrationer och bränsleflöde.

¹² En heterogen blandning av fritt svävande partiklar vilka är av tillräcklig storlek för att kunna sedimentera.

Dessutom användes en mindre mängd bränsle för att utvärdera filterfunktionen. Den visade dock klart att fibrer kan passera filtret.

Försöket visade att fibrer med en längd av 6 mm och 0.01-0.02 mm i diameter, vilket motsvarar storleken på fibrerna som fanns i bränslesystemet, kan passera filtret. Fibrerna kan efter passage trassla in sig i varandra och bilda föroreningskluster som är mycket större än filtrets porstorlek.

Flera av de fasta föroreningarna som återfanns i förgasaren var större än porstorleken i filtret. Dessa kan ha tillförts bränslekretsen efter filtret då denna varit öppnad vid arbete på systemet, en annan möjlighet är att filtret tidigare kan ha varit felmonterat och medgett att partiklar av denna storlek har kunnat passera.

2.1.3. Föroreningarnas ursprung

Haverikommissionen har försökt att spåra föroreningarnas och framför allt fibrernas ursprung. Prov tagna hos underhållsverkstaden från absorbtionsdukar visade att fibrerna från dessa var identiska till färg och kemisk sammansättning (polypropylen) med de fibrer som återfanns i bränslesystemet. Mot den bakgrunden håller haverikommissionen det för sannolikt att absorbtionsduk har hanterats på sådant sätt i samband med den senaste 100 timmars tillsynen att polypropylenfibrer från absorbtionsduken hamnat i någon av LN-OAB:s bränsletankar.

De sandliknande föroreningar, vilka hittades i prov från bränslesystemet hos LN-OAB, hittades även i referensprov från två andra R44 helikoptrar hos underhållsverkstaden. Mängden föroreningar i bränsletankarna var också likvärdig. Detta tyder på att det tillförs fasta föroreningar, antingen vid tankning eller vid drift, via avluftningen till tankarna. Detta är möjligt då avluftningen saknar filter. Mängden fasta föroreningar i LN-OAB behöver inte vara unik, utan kan med referensproven som grund vara vanlig i övriga R44 som opererar på ett liknande sätt.

2.2 Flygningen

Då helikoptern vid tillfället var nära max tillåten startmassa gav effektbortfallet på motorn ett mycket snabbt sjunkande rotorvarvtal och på den aktuella höjden, små möjligheter att genomföra en lyckad nödlandning. Detta har inneburit att sjunkhastigheten har blivit så hög att helikoptern har erhållit de beskrivna skadorna i samband med nödlandningen.

Om hovringshöjden vid start inte hade överstigit de rekommenderade 10 ft. hade möjligheterna till en lyckad nödlandning varit betydligt gynnsammare.

Rotorvarvtalsvarningen vid den första upphovringen indikerade att motorn inte gav full effekt då övriga motorvärden var inom tillåtna värden före upphovringen. Det kan i efterhand konstateras att det inte var lämpligt att fortsätta flygningen efter det att den första varningen om lågt rotorvarv erhöles.

Föraren har uppgivit att motorvärden och olika temperaturer har varit normala, utan att kunna ange mer exakt avlästa värden. Motorinstrumenten är analoga till sin utformning vilket medger att man vid behov av en snabb instrumentscanning snarare identifierar ett visst visarutslag på instrumentet än att läsa av ett exakt

siffervärde. De olika färgmarkeringarna med gröna, gula och röda fält underlättar en sådan avläsning. Instrumentnålens utslag, kommer därmed att vara det man söker vid en kontroll av ”gröna värden” för motorinstrumenten. Ovanstående kan förklara avsaknaden av förarens mer exakta uppgifter avseende motorvärden vid instrumentkontrollerna. Under nödlandningen bedömer haverikommissionen att föraren inte hade några möjligheter att läsa av motorinstrumenten utan var tvingad att rikta all uppmärksamhet på att få ned helikoptern på ett säkert sätt.

Föraren hade misstankar om att fel hos governorfunktionen orsakade de tidigare effektbortfallen. Han hade då valt att koppla bort denna och därefter reglerat gasen manuellt, allt i enlighet med flyghandboken.

2.3 Risker att absorptionsduk orsakar motorstörningar.

Utredningen har visat att det med största sannolikhet var fibrerna från en absorptionsduk som orsakade effektbortfallet och även de beskrivna effektbortfall vilka föregick händelsen. För att detta ska kunna inträffa krävdes det att ett antal nödvändiga villkor uppfylldes, vilka kan kallas för brustna säkerhetsbarriärer. Dessa kan identifieras med:

- Avsett användningsområde. (Absorptionsduken avsågs att endast användas för att suga upp vätskespill på verkstadsgolvet).
- Uppmärksamhet på FOD¹³. (Delar av absorptionsduken har hamnat i bränsletanken).
- Filtrenas filtreringsförmåga. (Fibrerna från absorptionsduken kunde passera alla bränslefilter ända in till förgasarens flottörhus).

Dessutom krävdes det att tillräckliga mängder fibrer tillsammans med andra fasta föroreningar hamnade i förgasarens flottörhus. Haverikommissionen bedömer att riskerna trots allt är små för att liknande händelser ska inträffa och har inte kännedom om liknande fall.

¹³ FOD- Foreign Object Damage. Skada som tillskrivs ett främmande föremål vilket kan degradera luftfartygets kravställda säkerhet eller prestanda.

3. UTLÅTANDE

3.1 Undersökningsresultat

- a) Föraren hade behörighet att utföra flygningen.
- b) Luftvärdighetsbevis och gällande granskningsbevis fanns.
- c) Den aktuella hovringshöjden översteg den rekommenderade vid start
- d) Intermittenta motorstörningar i form av effektförlust började efter den senaste 100 timmarstillsynen.
- e) Bränsle av typen 100LL användes vid händelsen.
- f) Fasta föroreningar större än bränslefiltrets porstorlek fanns nedströms filtret.
- g) Polypropylenfibrer kunde passera filtret och förekom i hela bränslesystemet.
- h) Mängden av polypropylenfibrer var sannolikt tillräcklig för att tillsammans med övriga föroreningar i förgasaren åstadkomma motorns effektförlust
- i) Absorbtionsdukar innehållande fibrer var identiska med de fibrer som återfanns i bränslet och användes av underhållsverkstaden vid tidpunkten för den senaste 100 timmars tillsynen.
- j) Ingen felfunktion kunde återfinnas hos något system relaterat till motorn och dess kringssystem.

3.2 Orsaker till olyckan

Olyckan orsakades sannolikt av att absorbtionsduk hanterats på ett olämpligt sätt vid den senaste 100-timmarstillsynen samt att de driftstörningar som föregick olyckan inte följdes upp på ett ändamålsenligt sätt.

4. REKOMMENDATIONER

Luftfartstilsynet i Norge och Transportstyrelsen i Sverige rekommenderas att:

- Informera flygverkstäderna om FOD- risken med absorbtionsduk vid underhållsarbete på luftfartyg. (RL2013:06 R1)

BILAGA

- 1) TEK 11-0422 utgåva 2 teknisk rapport Exova 2012-03



Teknisk rapport

TEK11-0422

Infoklass I

Utgåva 2

Sida 1 (11)

| Beställare | Beställningsdata | Granskad/godkänd av | Rapportfördelning |
|--|---|---------------------|---|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 Stockholm | Ramavtal A-92/09 2011-09-22 2011-10-14 2011-12-07 Agne Widholm Teknisk handläggare Kristoffer Danèl | Hans Karlsson | SHK Kristoffer Danèl 1 ex Agne Widholm 1 ex |

Analys av bränsle och föroreningar i bränslesystemet på LN-OAB

2012-03-01

| Handläggare | Telefon | E-post |
|-----------------|-------------|---------------------------|
| Rickard Jansson | 013-169067 | rickard.jansson@exova.com |
| Ao nummer | Id nummer | |
| A05299-07 | Dnr L-94/11 | |

TEK201104221.DOC

Sammanfattning

En helikopter av typen Robinsson R44 (registreringsbeteckning LN-OAB) var med om en olycka 2011-09-06. Olyckan resulterades av ett effektbortfall på motorn i samband med att helikoptern skulle lyfta. För att utreda bakomliggande orsaker till effektbortfallet har flertalet prov av helikopterns bränsle, samt föroreningar i bränslesystemet analyserats.

Resultaten visar att bränsle av korrekt typ (Avgas 100LL) användes i helikoptern i samband med olyckan. Detta bränsle innehöll små mängder vatten, som sannolikt inte var tillräckliga för att resultera i ett stort effektbortfall. Fasta föroreningar var utbredda i hela bränslesystemet. En förutsättning för att de fasta föroreningarna skall kunna resultera i ett effektbortfall är att de på något vis blockerar bränsleflödet fram till huvudmunstycket i förgasaren.

Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Rapporten får ej utan medgivande av Exova AB återges eller refereras annat än i sin helhet.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB

European Technology Center

Box 1340
581 13 Linköping
Tel: 013-16 90 00
Fax: 013-16 90 20

Box 431
691 27 Karlskoga
Tel: 0586-810 55
Fax: 0586-585 15

Box 613
611 10 Nyköping
Tel: 0155-22 14 76
Fax: 0155-26 31 25

Testing. Advising. Assuring

Email: info@exova.com
Org. nr. 556097-0187
www.exova.com

Innehållsförteckning

| | Sida | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inledning | 3 |
| 2 | Föremål | 3 |
| 3 | Undersökning | 4 |
| 3.1 | Analys av prov från LN-OAB samt referensprov | 4 |
| 3.1.1 | Okulär kontroll | 4 |
| 3.1.2 | Fasta föroreningar, 0,8 µm | 4 |
| 3.1.3 | Granskning av fasta föroreningar | 5 |
| 3.1.4 | Vattenhalt | 5 |
| 3.1.5 | Destillationsegenskaper | 5 |
| 3.1.6 | Värmevärde, effektivt | 5 |
| 3.1.7 | Mikroorganismer | 5 |
| 3.1.8 | Fourier Transform Infrared Spectroscopy | 5 |
| 3.1.9 | Svepelektronmikroskopi | 5 |
| 3.2 | Utvärdering av filterfunktion hos bränslefiltret från LN-OAB | 6 |
| 4 | Resultat och diskussion | 8 |
| 4.1 | Analysresultat för prov från LN-OAB efter olycka | 8 |
| 4.1.1 | Prov av flygbensin från LN-OAB | 8 |
| 4.1.2 | Analys på föroreningar och delar från bränslesystemet | 9 |
| 4.1.3 | Prov från reservdunk | 9 |
| 4.2 | Resultat för utvärdering av filterfunktion för bränslefiltret från LN-OAB | 9 |
| 5 | Slutsatser | 11 |

Bilagor

- Bilaga 1: Provningsrapport PRR11-08132**
- Bilaga 2: Provningsrapport PRR11-09100**
- Bilaga 3: Provningsrapport PRR11-09103**
- Bilaga 4: Provningsrapport PRR11-09105**
- Bilaga 5: Provningsrapport PRR11-09990**
- Bilaga 6: Provningsrapport PRR11-10787**
- Bilaga 7: Provningsrapport PRR11-11691**
- Bilaga 8: Provningsrapport PRR12-01819**
- Bilaga 9: Provningsrapport PRR12-01820**

1 Inledning

En haveriutredning initierades av att en helikopter av modellen Robinsson R44 (reg.beteckn. LN-OAB) var med om en olycka 2011-09-06. Enligt uppgift från uppdragsgivaren orsakades haveriet sannolikt av effektbortfall på motorn i samband med att helikoptern skulle lyfta. Bränsleprov samt delar av bränslesystemet från flygfarkosten har analyserats med syftet att identifiera bakomliggande orsaker till effektbortfallet.

2 Föremål

Beskrivning: Prov av drivmedel och föroreningar i drivmedelssystemet från flygfarkosten LN-OAB i samband med olycka 2011-09-06 har analyserats. Referensprov har även analyserats från LN-OGK och LN-OCX, samt en grön fiberduk vars fibrer jämfördes med fibrer som återfunnits i bränslefiltret på LN-OAB. Dessutom har en laborietutvärdering av bränslefiltrets förmåga att förhindra polypropylenfibrer utförts.

| | | |
|------------------|----------|---|
| Märkning: | 11-8132 | L/H fuel tank LN-OAB 12/9-11 |
| | 11-8133 | R/H fuel tank LN-OAB 12/9-11 |
| | 11-8134 | Fuel filter LN-OAB 12/9-11 |
| | 11-9100 | Förgasare LN-OAB 27/9-11 |
| | 11-9101 | B-filter LN-OAB 27/9-11 |
| | 11-9102 | Höger tankbotten LN-OAB 27/9-11 |
| | 11-9103 | Förgasardel med huvudmunstycke |
| | 11-9104 | Spruta + slang med föroreningar |
| | 11-9105 | Bränslefilter med gröna fibrer LN-OAB |
| | 11-9990 | Bränsle i grön plastdunk |
| | 11-10787 | Grön tråd L/H fuel tank LN-OAB |
| | 11-10788 | Föroreningar i grovgilter i utlopp stor tank LN-OAB |
| | 11-10789 | Gul påfyllningspip |
| | 11-11691 | LN-OAB Höger tank |
| | 11-11692 | Efter filtreringstest (11-11691) |
| | 11-11693 | Efter filtreringstest (11-11691 + fibrer av polypropylen) |
| | 12-1819 | Referensprov grön fiberduk |
| | 12-1820 | Referensprov bränsle från LN-OGK, R44 Clipper II |
| | 12-1821 | Referensprov bränsle från LN-OCX, R44 Clipper II |

3 Undersökning

Sammanlagt har sjutton prov undersökts efter olyckan med flygfarkosten LN-OAB. Dessutom har filterfunktionen hos bränslefiltret i LN-OAB kontrollerats. Beskrivning av de analyser som utförts ges i avsnitt 3.1-2.

3.1 Analys av prov från LN-OAB samt referensprov

Tabell 1 sammanfattar den utredning som utförts på prov från flygfarkosten LN-OAB samt referensprov som använts för jämförelse. Nedan beskrivs även de analysmetoder som använts under utredningen. Analysresultat har jämförts med krav enligt ASTM D 910-11 (specifikation för Avgas 100 LL).

3.1.1 Okulär kontroll

Provet undersöks okulärt varvid provets grumlighet, färg samt innehåll av fritt vatten och synbara fasta föroreningar bestäms.

3.1.2 Fasta föroreningar, 0,8 µm

För att bestämma halten fasta föroreningar gravimetriskt i ett bränsleprov filtreras provet genom ett förvägt membranfilter (Millipore AAWP, nitrocellulosaesterfilter, 0,8 µm porstorlek, Ø 47 mm). Filtret sköljs med petroleumeter för att tvätta bort bränslerester, varefter filtret torkas i värmeskåp (60°C, > 2 h). Efter torkning bestäms viktförändringen hos filtret genom att kontrollera vikten jämfört med vikten före filtrering. Fasta föroreningshalten rapporteras i mg/liter bränsle. Metoden utgår från ASTM D 5452.

Tabell 1. Analysmatris vid utvärdering av prov från LN-OAB efter olycka

Sjutton prov från flygfarkosten LN-OAB har analyserats efter olyckan enligt tabellen. Identifikation och märkning återges i avsnitt 2.

| Egenskap | 11-8132 | 11-8133 | 11-8134 | 11-9100 | 11-9101 | 11-9102 | 11-9103 | 11-9104 | 11-9105 | 11-9990 | 11-10787 | 11-10788 | 11-10789 | 11-11691 | 12-1819 | 12-1820 | 12-1821 |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| Färg (okulärt) | X | X | X | | | | | | | X | | | | | | | |
| Utseende (okulärt) | X | X | X | | | | | | | X | | | | | | | |
| Fasta föroreningar (okulärt) | X | X | X | | | | | | | X | | | | | | | |
| Fritt vatten (okulärt) | X | X | X | | | | | | | X | | | | | | | |
| Fasta föroreningar, 0,8 µm | | | | X | | | | | | X | | | | X | | | |
| Granskning av fasta föroreningar | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | | X | | X | X |
| Vattenhalt | X | X | X | X | X | X | | | | | | | | | | | |
| Destillationsegenskaper | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Värmevärde, effektivt | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Mikroorganismer | X | X | X | X | X | X | | | | | | | | | | | |
| FTIR, identifiering * | | | | X | | | X | X | X | | X | X | X | | X | | |
| Elektronmikroskopi, SEM * | | | | X | | | | X | | | | | | | | | |

* Analysen har utförts på fasta föroreningar som återfunnits i provet, alternativt om provet utgörs av ett objekt direkt på provobjektet.

3.1.3 Granskning av fasta föroreningar

Fasta föroreningar i proven har studerats i ljusmikroskop. I de bränsleprov som undersökts med metoden har föroreningarna först filtrerats av med membranfilter (Millipore AAWP), varefter föroreningar på filtren studerats i mikroskop.

3.1.4 Vattenhalt

Bränsleprovets vattenhalt har analyserats med Karl Fischer-titrering genom direktinjicering i titrer cellen i enlighet med referensmetoden ASTM E 1064. Halterna återges i mg/kg prov.

3.1.5 Destillationsegenskaper

Kokpunktsegenskaper för flygbensin har undersökts med automatisk destillationsutrustning enligt referensmetoden ASTM D 86. Resultat för initial kokpunkt (IBP), slutlig kokpunkt (FBP) samt fraktioner (temp xx% destillat) återges i °C. Summa för temperaturerna vid 10% och 50% beräknas och rapporteras i enlighet med ASTM D 910. Dessutom ges vol% av destillationsrest (volym som inte kunnat destilleras) samt destillationsförlust (volym som inte återfinns efter destillation).

3.1.6 Värmevärde, effektivt

Flygbensinens effektiva värmevärde (*net heat of combustion*) har bestämts med bombkalorimeter med efterföljande justering i enlighet med ASTM D 240. Resultaten återges i MJ/kg bränsle.

3.1.7 Mikroorganismer

Halter av mikroorganismer i proven har undersökts med den kommersiella produkten ECHA MicrobMonitor2. Analysresultaten återges som *colony forming units* (cfu) per liter bränsle med detektionsgränsen 10^3 cfu/l.

3.1.8 Fourier Transform Infrared Spectroscopy

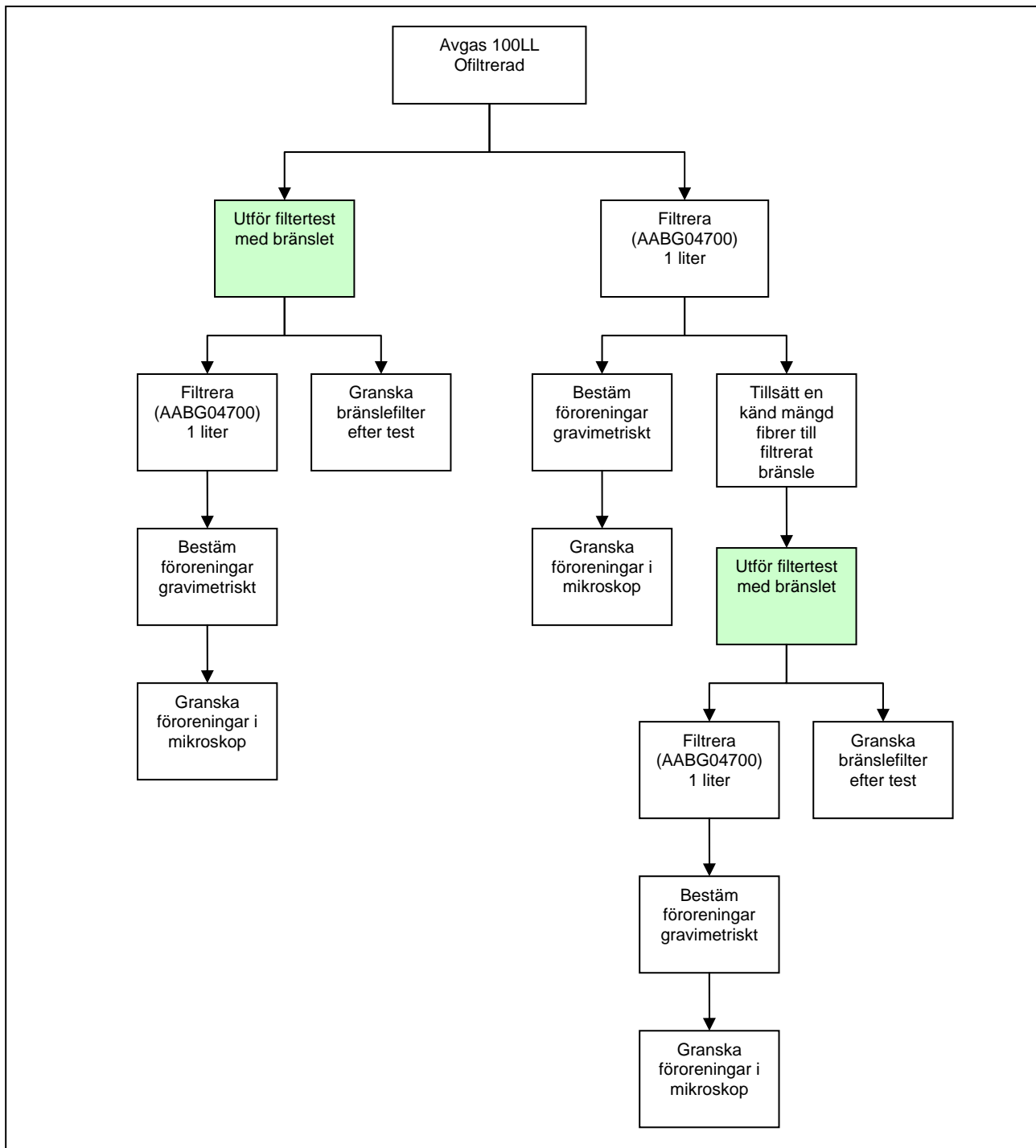
Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) har använts för att karakterisera/identifiera okända föroreningar som återfunnits i proven. Tekniken bygger på att kemiska bindningar interagerar med infrarött ljus. Interaktionen är karakteristisk för de element som ingår i bindningen, samt bindningens typ. Det spektrum som fås för en förening vid analysen kan även jämföras med referensspektrum för kända föreningar för att identifiera den okända föreningen.

3.1.9 Svepelektronmikroskopi

Svepelektronmikroskopi (SEM) med röntgenspektroskopi (EDS) har använts för att karakterisera föroreningar som återfunnits i proven i denna utredning. EDS bygger på att kemiska grundelement interagerar med röntgenstrålning. Då grundelementen interagerar med specifika våglängder hos röntgenstrålningen kan man identifiera vilka element som ingår i en kemisk förening.

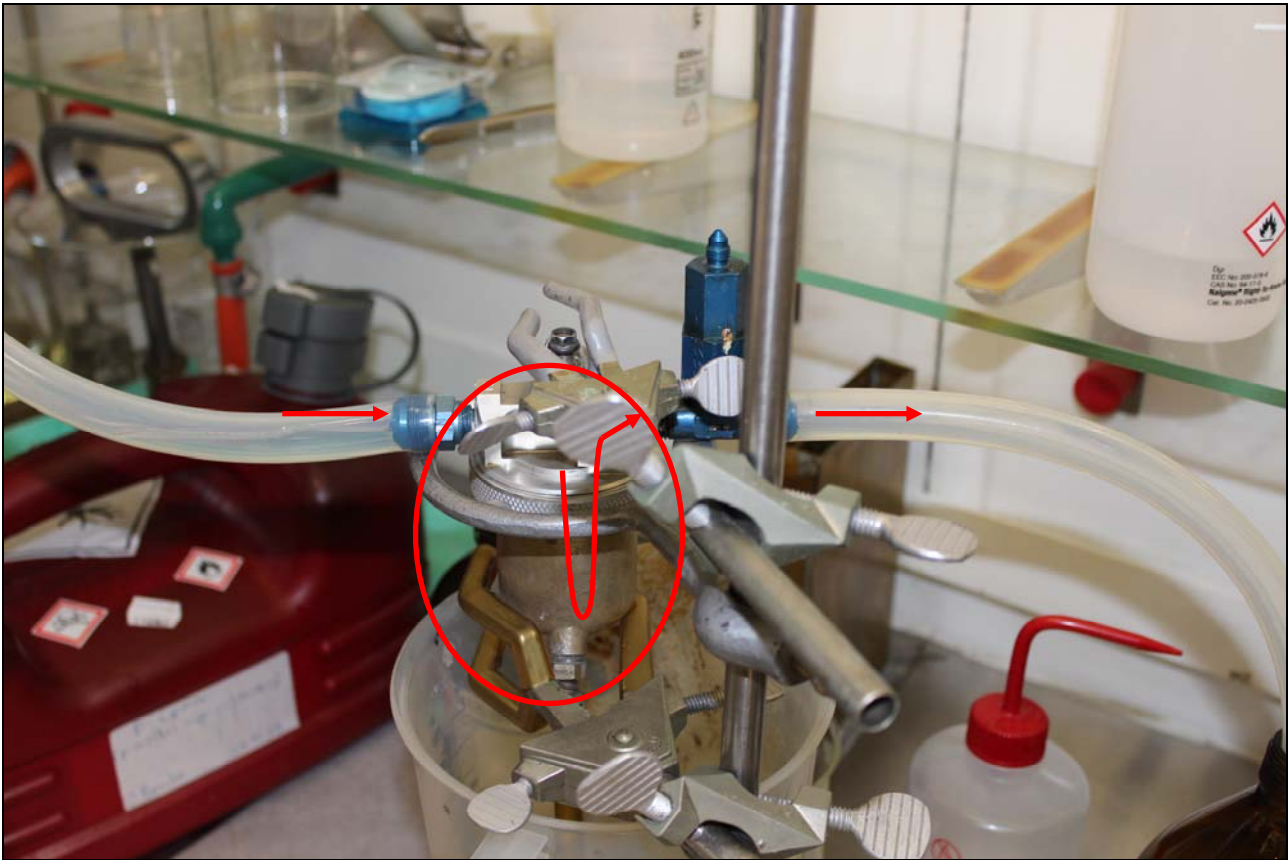
3.2 Utvärdering av filterfunktion hos bränslefiltret från LN-OAB

Filterfunktionen hos bränslefiltret från flygfarkosten LN-OAB utvärderas enligt schemat som återges i figur 1. Figur 2 visar hur bränslet flödade genom filtret vid försöket.



Figur 1. Flödesschema för utvärdering av filterfunktionen hos bränslefiltret i LN-OAB

De gröna rutorna visar var i schemat filtertestet utfördes. Två test utfördes; ett med ofiltrerad Avgas 100LL som tagits om hand från höger bränsletank i LN-OAB efter haveriet (t.v. i schemat), samt ett med filtrerad Avgas 100LL där polypropylenfibrer tillsatts efter filtreringen (t.h. i schemat).



Figur 2. Bränslets flöde genom filtret vid filtertestet.

Ringen visar filterkoppen där filtret är placerat innanför den gängade delen i toppen. Bränslet kom in i centrum på filterkoppen ovanifrån. Därefter filtrerades bränslet igenom filtret, innan det lämnade koppen via en kanal vid sidan om centrum, upptill på filterkoppen. Pilarna visar bränsleflödet.

Två försök utfördes. Vid det första försöket utvärderades filtrets funktion med Avgas 100LL som tagits om hand från höger tank i flygfarkosten LN-OAB. Till det andra försöket filtrerades detta bränsle genom ett membranfilter (Millipore AABG, 0,8 μm porstorlek) varefter syntetiska fibrer (polypropylen, 6 mm långa, \O 10-20 μm) tillsattes till bränslet innan testet. Efter båda testen utvärderades filtrets funktion genom att det bränslet som använts vid försöket filtrerades genom ett membranfilter (Millipore AABG, 0,8 μm porstorlek) för att analysera halten fasta föroreningar gravimetriskt samt att granska dessa i mikroskop. Dessutom granskades filtret från LN-OAB i mikroskop efter varje försök för att undersöka om några föroreningar fastnat i detta.

4 Resultat och diskussion

Analysresultat för samtliga prov i utredningen återfinns i bilagorna 1-9. I de nedanstående avsnitten sammanfattas de viktigaste delresultaten. I avsnitt 4.1 behandlas proven från LN-OAB medan avsnitt 4.2 ger resultaten för filtertestet.

4.1 Analysresultat för prov från LN-OAB efter olycka

Proven som analyserats omfattar flygbensin från flygfarkosten LN-OAB (se sektion 4.1.1), delar och prov av föroreningar från bränslesystemet (se sektion 4.1.2) samt prov av bensin från en reservdunk som använts för att fylla på helikoptern vid behov (se sektion 4.1.3). Dessutom kompletteras studien med referensprov av bränsle från två andra individer av helikoptertypen R44, samt en grön fiberduk (se sektion 4.1.2).

4.1.1 Prov av flygbensin från LN-OAB

Två provuttag av flygbensin från flygfarkosten LN-OAB har tagits ut och skickats in till laboratoriet för analys. Det första provuttaget skedde 2011-09-12 och omfattade tre prov; ett från vardera tank samt ett från dräneringen på bränslefiltret. Dessa prov rapporteras i bilaga 1 (PRR11-08132). Det andra provuttaget skedde 2011-09-27 och omfattade även det tre prov; ett från förgasarens flottörhus, ett från bränslefiltret samt ett från höger tankbotten. Dessa tre provs resultat återges i sin helhet i bilaga 2 (PRR11-09100).

Med utgång från de uppgifter som laboratoriet fick angående problemen med effektbortfall i samband med haveriet har fokus vid analyserna varit att finna orsaken till dessa problem.

Först och främst undersöktes om rätt typ av bränsle använts, d.v.s. återfinns bränsle av typen Avgas 100LL (enligt ASTM D 910-11) i flygfarkosten efter haveriet. Ett bränsle av denna typ skall bland annat vara blåfärgat (p.g.a. blytillsatsen), samt uppfylla vissa krav med avseende på kokpunktsegenskaper och energiinnehåll (anges som effektivt värmevärde). För proven från första provuttaget har dessa egenskaper analyserats. Resultaten visar att bränslet uppfyller kraven enligt ASTM D 910 för dessa egenskaper, och således tycks korrekt typ av bränsle använts i helikoptern i samband med haveriet.

En annan tänkbar orsak (relaterat till bränslet) som kan ge upphov till de problem som beskrivits är att bränslet på något vis skulle vara förorenat. Därför har även analyser av bränslet vatteninnehåll samt fasta föroreningar och mikroorganismer utförts. Analyserna visar att bränsleproven innehåller små halter vatten (ca 50 mg/kg). Dessa halter är mer än vad som förväntas för en flygbensin men sannolikt för små halter för att orsaka ett stort effektbortfall. Inga detekterbara halter ($<10^3$ cfu/liter) av mikroorganismer förekom i proven. Dock förekom synbara fasta föroreningar (okulär kontroll) i proven. Dessa filterades av från bränslet och studerades i mikroskop där de främst tycks bestå av cellulosaliknande fibrer samt mörka oidentifierade partiklar och sandpartiklar. Fibrerna var relativt sett stora (>100 μm).

De tre proven från det senare provtagningstillfället bekräftar att bränslet innehåller fasta föroreningar. Provet som tagits från förgasaren hade den högsta halten fasta föroreningar, där dessa utgjordes av mycket sandliknande partiklar, partiklar innehållande zink och koppar, samt metallfragment. De zink- och kopparinnehållande partiklarna kan eventuellt vara oxider eller organometalliska föreningar. Eventuellt har föroreningar ansamlats i förgasarens flottörhus under en längre period då flödet genom förgasaren antas vara så

pass lågt att tyngre partiklar tillåts sedimentera. De övriga bränsleproven innehöll främst fibrer. Inget av dessa tre prov innehöll detekterbara halter vatten eller mikroorganismer.

Sammanfattningsvis kan konstateras att bränslet i flygfarkosten LN-OAB i samband med haveriet sannolikt var av rätt typ (d.v.s. Avgas 100LL). Vattenhalten som uppmätts i proven var för låg för att orsaka ett stort effektbortfall. En hög halt fasta föroreningar har observerats i framförallt provet från förgasarens flottörhus, där de eventuellt ansamlats under en längre period när partiklar som förts med bränslet tillåts sedimentera.

4.1.2 Analyser på föroreningar och delar från bränslesystemet

Analyser har även utförts på föroreningar som återfunnits i komponenter i bränslesystemet. Dessa omfattar ytterligare föroreningar från förgasaren (fullständiga analysresultat återges i bilaga 3, PRR11-09103), föroreningar i bränslefiltret (se bilaga 4, PRR11-09105) samt plastfibrer och plastföremål funna i flygfarkostens tankar (se bilaga 6, PRR11-10787).

I utloppet till förgasarmunstycket har bland annat större partiklar av polypropylen återfunnits. Dessutom förekom stora partiklar av blybromid samt partiklar som förmodas bestå av organometalliska komplex (innehållandes zink och koppar). Även flertalet metallfragment (mässing, kadmium och nickel) samt cellulosaliknande fibrer har identifierats.

Ansamlingar av gröna fibrer satt i inner- och ytterkant på bränslefiltret. Dessa har identifierats som polypropylen, vilka troligtvis härrör från en grön fiberduk (se PRR12-01819). Även i bränsletankarna förekom fibrer av polypropylen. Här förekom dock även fibrer av andra material, t.ex. polyetylen. En plastpip som återfanns i en av tankarna bestod av polyetylen.

Sammantaget visar analyserna att fasta föroreningar tycks vara ett utbrett problem i flygfarkostens bränslesystem, vilket dock inte tycks vara unikt för denna individ av R44 (se jämförelse med två andra individer i PRR12-01820). För att föroreningarna skall kunna orsaka ett effektbortfall krävs att dessa blockerar bränsleflödet fram till huvudmunstycket i förgasaren. Eventuellt kan de största partiklarna som återfunnits i förgasaren kunna orsaka ett sådant flödesbortfall. Förutsättningarna bör då vara sådana att partiklarna är så pass lätta att de kan bäras med av bränslet och inte sedimentera i bränslesystemet. De partiklar som återfunnits i systemet och som kan tänkas uppfylla dessa kriterier är främst fibrerna.

4.1.3 Prov från reservdunk

Ett prov från en reservplastdunk med bensin som använts för att fylla på bensin i flygfarkosten LN-OAB analyserades (se bilaga 5, PRR11-09990). Detta prov var gulfärgat, vilket tyder på att det är vanlig fordonsbensin och inte Avgas 100LL. I övrigt så återfinns relativt sett låga halter fasta föroreningar, speciellt i jämförelse med andra prov i samband med haveriet.

4.2 Resultat för utvärdering av filterfunktion för bränslefiltret från LN-OAB

Bilaga 7, PRR11-11691, sammanställer resultaten för filtertesten som utförts på bränslefiltret från LN-OAB. Resultaten visar att bränslefiltret släpper igenom en stor andel av de föroreningar som fanns i höger tank (t.ex. ljusa cellulosaliknande fibrer) på LN-OAB i samband med haveriet. En kontroll av funktionen med ett bränsleprov där polypropylenfibrer tillsats visar att även stora polypropylenfibrer (6 mm långa, ca 10-20 µm



i diameter) kan passera bränslefiltret. Majoriteten av dessa fibrer blockerades dock av filtret. Porstorleken hos bränslefiltret är omkring 100 μm .

5 Slutsatser

Utredningen har visat att:

- Bränsle som uppfyller kraven för destillationsegenskaper och energiinnehåll för Avgas 100LL enligt ASTM D 910-11 användes i flygfarkosten LN-OAB i samband med olyckan.
- Låga halter vatten uppmättes i de första proven från flygfarkosten, dock inte så pass höga att de skulle resultera i ett kraftigt effektbortfall.
- Inga mikroorganismer har detekterats i flygfarkostens bränslesystem.
- Fasta föroreningar förekom i hela bränslesystemet. Största halterna har observerats i förgasarens flottörhus, där de sannolikt ansamlats under en längre period till följd av sedimentation av partiklar som medförts bränslet.
- Plastfibrer och cellulosaliknande fibrer förekom i bränslesystemet som antagligen är så pass lätta att de kan föras med bränslet hela vägen fram till huvudmunstycket i förgasaren.
- Bränslefiltrets förmåga att blockera fibrer har visats vara begränsad. Majoriteten av fibrerna blockerades dock.
- I bränslefiltret fanns gröna polypropylenfibrer som kan knytas till gröna fiberdukar.

Exova AB

Fuel and Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson



Provningsrapport

utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium
TEST REPORT issued by Accredited Testing Laboratory

PRR11-08132

Utgåva 1
Sida 1(2)

Kund

Statens haverikommission
Sveavägen 151
Box 12538
102 29 STOCKHOLM

Beställningsdata

Ramavtal A-92/09
Dnr L-94/11
Agne Widholm
Kristoffer Danél
A05299-07

Handläggare

Rickard Jansson
Tel 013-169067
Fax 013-169040
rickard.jansson@exova.com

Granskad

Per-Åke Skoog

Rapportfördelning

Agne Widholm 1 ex
Kristoffer Danél 1 ex

PRR11-08132-1.doc

Analys av flygbensin från LN-OAB

Inledning

2011-09-13 ankom tre prov om vardera 1 X ca 150 ml i plastflaskor. Provningsresultat kommenteras i teknisk rapport, TEK11-0422.

Resultat

Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen och figurerna nedan.

| Provningsresultat | Exova-nr Märkning | 11-8132 L/H fuel tank LN-OAB 12/9-11 | 11-8133 R/H fuel tank LN-OAB 12/9-11 | 11-8134 Fuel filter LN-OAB 12/9-11 | | | |
|--|----------------------|--|--|---|---------------------|--------------|------------------------------|
| Provad egenskap | Enhet | | | | Metod | Mätosäkerhet | Krav enligt ASTM D 910-11 |
| Färg | | blå | blå | blå | Okulärt | | blå |
| Utseende | | klar | klar | klar | Okulärt | | |
| Fasta föroreningar | | spår | synbart | spår | Okulärt | | |
| Fritt vatten | | ua | ua | ua | Okulärt | | |
| Granskning inklusive filtrering fotografering | | se figur 1 | se figur 2 | se figur 3 | Mikroskop | | |
| Vattenhalt KF | mg/kg | 50 | 56 | 50 | ASTM E 1064-08 | ±20% | |
| Destillation | | | | | ASTM D 86-10a *) | | |
| IBP | °C | 38,4 | 38,6 | 36,9 | | ±3 | anges |
| temp 5% destillat | °C | 60,9 | 62,1 | 60,1 | | | |
| temp 10% destillat | °C | 69,4 | 70,1 | 68,1 | | ±3 | max 75 |
| temp 20% destillat | °C | 81,1 | 81,5 | 79,7 | | | |
| temp 30% destillat | °C | 91,1 | 91,2 | 90,1 | | | |
| temp 40% destillat | °C | 98,1 | 98,2 | 97,6 | | | min 75 |
| temp 50% destillat | °C | 102,6 | 102,6 | 102,4 | | ±3 | max 105 |
| temp 60% destillat | °C | 105,9 | 105,6 | 105,4 | | | |
| temp 70% destillat | °C | 108,5 | 108,3 | 107,7 | | | |
| temp 80% destillat | °C | 111,8 | 111,7 | 111,4 | | | |
| temp 90% destillat | °C | 119,6 | 119,5 | 118,6 | | ±3 | max 135 |
| temp 95% destillat | °C | 134,1 | 134,1 | 133,5 | | | |
| FBP | °C | 163,9 | 159,7 | 161,0 | | ±5 | max 170 |
| summa temp 10 och 50 vol% | °C | 172,0 | 172,7 | 170,5 | | | min 135 |
| destillationsrest | vol% | 1,5 | 1,6 | 1,5 | | | max 1,5 |
| destillationsförlust | vol% | 0,8 | 0,4 | 0,5 | | | max 1,5 |
| Värmevärde effektivt | MJ/kg | 43,55 | 43,67 | 43,74 | ASTM D 240-09 | | min 43,5 |
| Mikroorganismer | cfu/l | <10 ³ | <10 ³ | <10 ³ | ECHA MicrobMonitor2 | | |

*) = Ackrediterad metod (angiven mätosäkerhet är beräknad med täckningsfaktor k=2)

Ackrediterad av signatär till EA och ILAC MLA/MRA för provning. Angivna resultat hänförs sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänförs sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB

European Technology Center

Testing. Advising. Assuring

Box 1340
581 13 Linköping
Tel: 013-16 90 00
Fax: 013-16 90 20

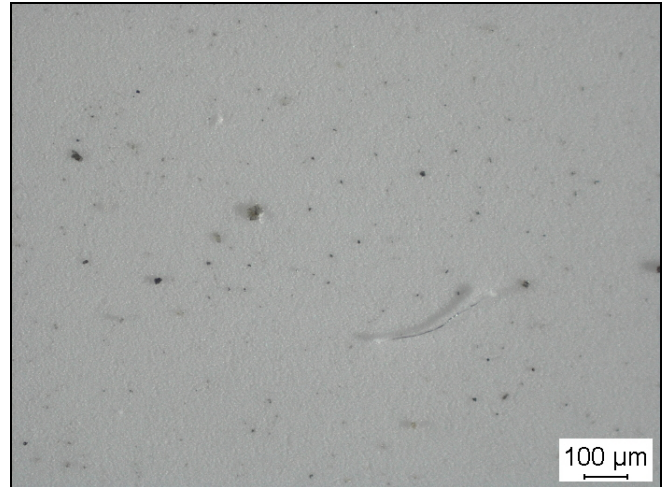
Box 431
691 27 Karlskoga
Tel: 0586-810 55
Fax: 0586-585 15

Box 613
611 10 Nyköping
Tel: 0155-22 14 76
Fax: 0155-26 31 25

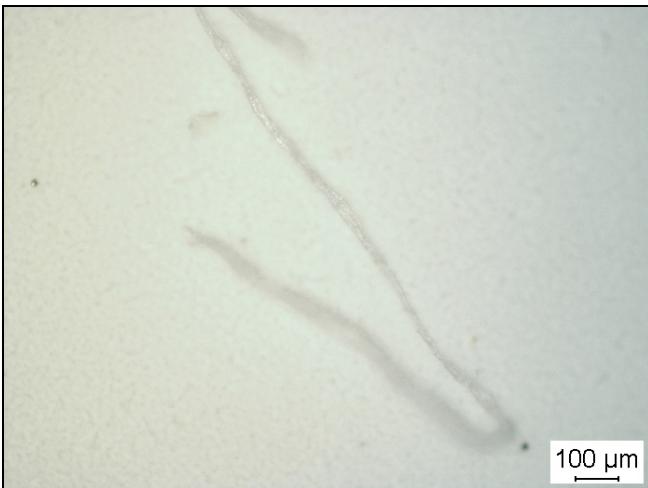
Email: info@exova.com
Org. nr. 556097-0187
www.exova.com



Figur 1. Föroreningar i prov märkt L/H fuel tank LN-OAB 12/9-11.
Provet filtrerades genom ett membranfilter (Millipore AAWP, 0,8 µm porstorlek) varefter föroreningar som samlats upp på filtret studerades i mikroskop. I detta prov förekommer främst fibrer av varierande storlek. Karaktären hos fibrerna varierar, dock förekommer textilliknande och cellulosaliknande fibrer.



Figur 2. Föroreningar i prov märkt R/H fuel tank LN-OAB 12/9-11.
Provet filtrerades genom ett membranfilter (Millipore AAWP, 0,8 µm porstorlek) varefter föroreningar som samlats upp på filtret studerades i mikroskop. I detta prov förekommer förutom fibrer (liknande de i figur 1) även flertalet andra typer av partiklar (svarta samt sandliknande). Dessa partiklar är små (<100 µm) i förhållande till fibrerna (längd >100 µm).



Figur 3. Föroreningar i prov märkt Fuel filter LN-OAB 12/9-11.
Provet filtrerades genom ett membranfilter (Millipore AAWP, 0,8 µm porstorlek) varefter föroreningar som samlats upp på filtret studerades i mikroskop. Detta prov innehåller till största del fibrer av cellulosaliknande karaktär.

Linköping 2012-01-12
Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson
Ansvarig för provningen

| Kund | Beställningsdata | Handläggare | Granskad | Rapportfördelning |
|--|--|--|---------------|--|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 STOCKHOLM | Ramavtal A-92/09 Dnr L-94/11 Agne Widholm Kristoffer Danèl A05299-07 | Rickard Jansson Tel 013-169067 Fax 013-169040 rickard.jansson@exova.com | Per-Åke Skoog | Agne Widholm 1 ex Kristoffer Danèl 1 ex |

PRR11-09100-1.doc

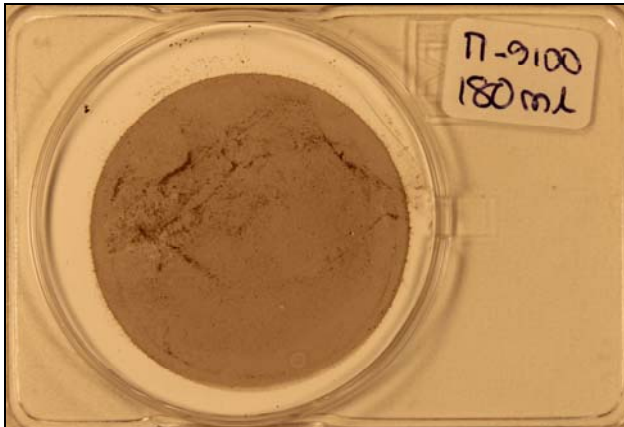
Analys av flygbensin från LN-OAB

Inledning 2011-10-06 ankom tre prov om vardera 1 X ca 100-200 ml i glasflaskor. Provningsresultat kommenteras i teknisk rapport, TEK11-0422

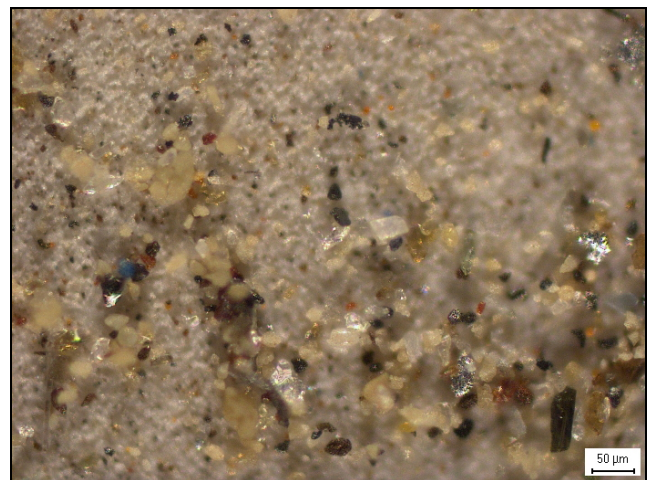
Resultat Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen och figurerna nedan.

| Provningsresultat | Exova-nr Märkning | 11-9100 Förgasare LN-OAB 27/9-11 | 11-9101 B-filter LN-OAB 27/9-11 | 11-9102 Höger tankbotten LN-OAB, 27/9-11 | Metod |
|--|----------------------|---|--|--|---------------------|
| Provad egenskap | Enhet | | | | |
| Fasta föroreningar 0,8µm | mg/kg | 13,9 | - | - | ASTM D 5452-08 |
| Granskning föroreningar fotografering | | Se figurer 1-4 | Se kommentar | Se kommentar | Mikroskop |
| Vattenhalt KF | mg/kg | <50 | <50 | <50 | ASTM E 1064-08 |
| FTIR, identifiering | | Se figur 5 | - | - | FTIR |
| Elektronmikroskopi SEM | | Se figurer 6-8 | - | - | SEM |
| Mikroorganismer | cfu/l | <10 ³ | <10 ³ | <10 ³ | ECHA MicrobMonitor2 |

Kommentarer Föroreningarna i prov märkt B-filter och Höger tankbotten LN-OAB 27/9-11 innehöll främst fibrer. I övrigt förekommer en mindre mängd hartsliknande partiklar (oxidationsprodukter) och svarta oidentifierade partiklar.



Figur 1. Föroreningar i prov märkt Förgasare LN-OAB 27/9-11.
 Provet filtrerades genom ett membranfilter (Millipore AAWP, 0,8 µm porstorlek). Detta visar att provet innehåller en hög mängd fasta föroreningar.



Figur 2. Föroreningar i prov märkt Förgasare LN-OAB 27/9-11.
 I bilden visas sandliknande partiklar som utgör en stor andel av föroreningar. Dessa partiklar är förhållandevis små (< 50 µm) i storlek.

Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB
 European Technology Center

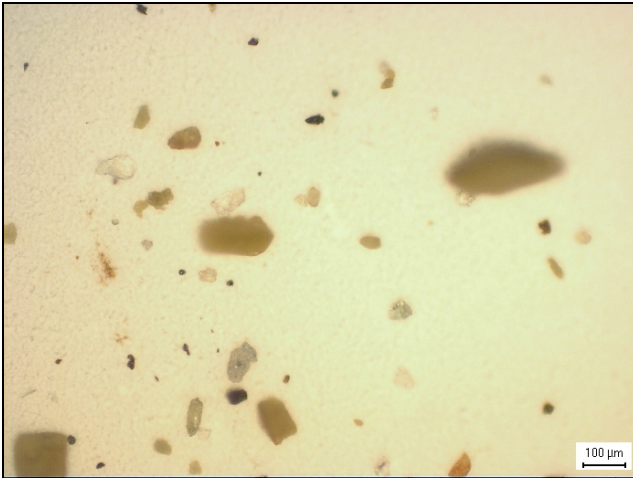
Box 1340
 581 13 Linköping
 Tel: 013-16 90 00
 Fax: 013-16 90 20

Box 431
 691 27 Karlskoga
 Tel: 0586-810 55
 Fax: 0586-585 15

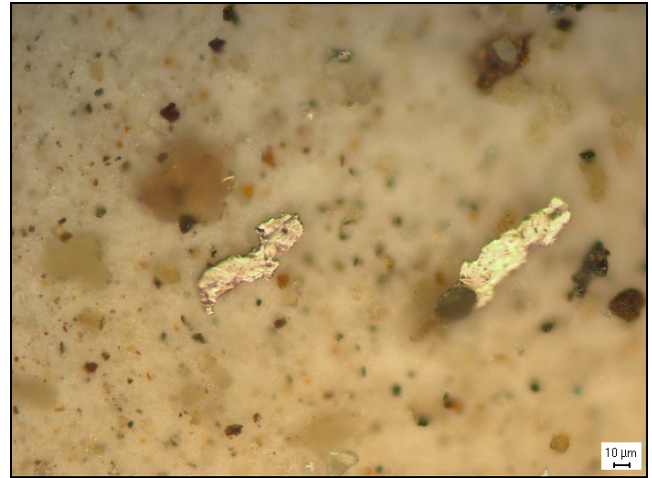
Box 613
 611 10 Nyköping
 Tel: 0155-22 14 76
 Fax: 0155-26 31 25

Testing. Advising. Assuring

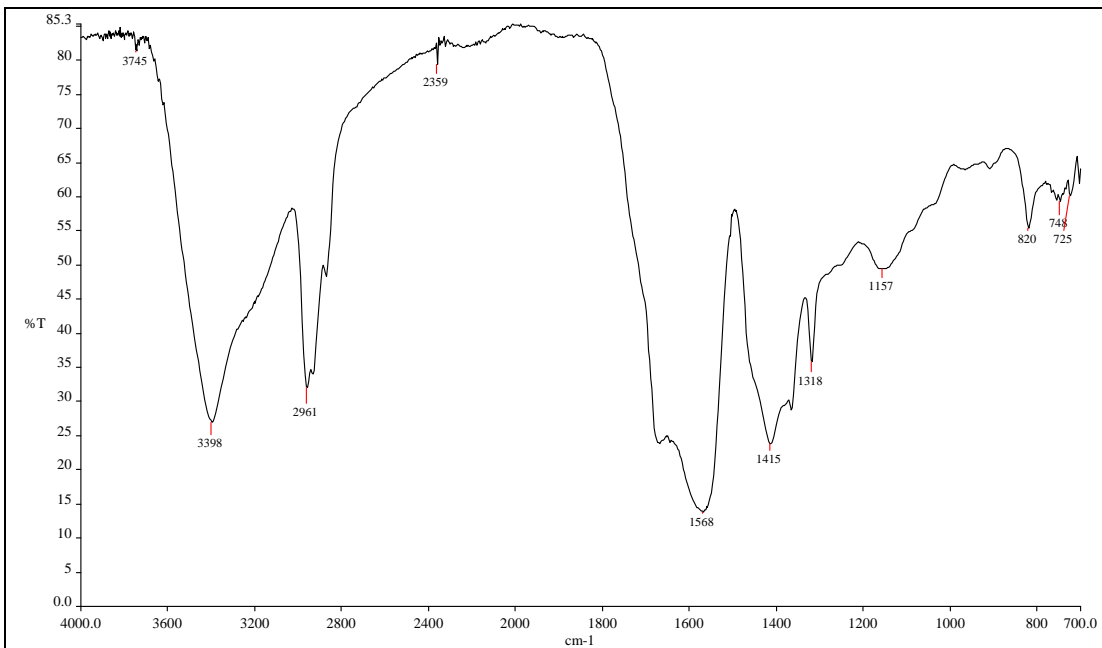
Email: info@exova.com
 Org. nr. 556097-0187
 www.exova.com



Figur 3. Föroreningar i prov märkt Förgasare LN-OAB 27/9-11.
De största partiklarna som återfinns i provet (ca 100 µm) är dessa beige/bruna partiklar. Försök till identifiering har utförts med FTIR (se figur 5) samt SEM (se figur 6-7). Dessa visar att partiklarna innehåller zink och koppar, eventuellt kan dessa grundämnen ingå i något organometalliskt komplex alternativt någon oxid.



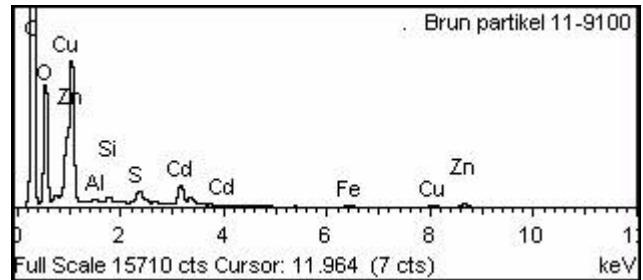
Figur 4. Föroreningar i prov märkt Förgasare LN-OAB 27/9-11.
Förutom en stor andel sandliknande partiklar förekommer även små metallfragment (de på bilden ovan är sannolikt nickel, se figur 8).



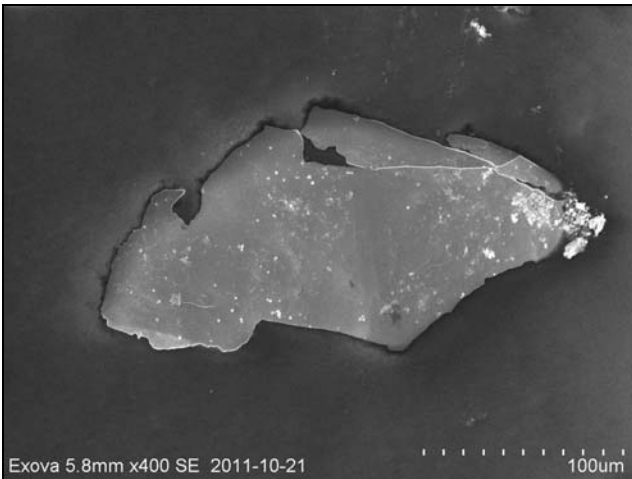
Figur 5. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) utförd på bruna föroreningar i prov märkt Förgasare LN-OAB 27/9-11.
I figur 3 ovan visas en förorening som vidare analyserats med FTIR (se spektrum i figuren). Denna analys har inte lyckats identifiera föroreningen fullt ut, dock kan nämnas att föroreningen åtminstone delvis består av organiska föreningar (kolväten).



Figur 6. SEM-bild på brun förorening i prov märkt Förgasare LN-OAB 27/9-11. Föroreningen från figur 3 studerades även med ytelektronmikroskopi (SEM) där det konstateras att föroreningen är spröd, eventuellt i kristallin form. Under SEM kan man även undersöka partikeln med energidispersiv röntgenspektroskopi (EDS). Resultat med SEM-EDS återfinns i figur 7.



Figur 7. SEM-EDS på brun förorening i prov märkt Förgasare LN-OAB 27/9-11. Föroreningen som beskrivits i figurerna 3, 5 och 6 innehåller koppar och zink. Detta kan tyda på att föroreningen består av något organometalliskt komplex.



Figur 8. SEM-bild på metalliskt fragment i prov märkt Förgasare LN-OAB 27/9-11. Med SEM-EDS har det konstaterats att detta fragment, som liknar de i figur 4, består av nickel.

Linköping 2012-01-12
 Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson
 Ansvarig för provningen

| Kund | Beställningsdata | Handläggare | Granskad | Rapportfördelning |
|--|--|--|---------------|-------------------|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 STOCKHOLM | Ramavtal A-92/09 Dnr L-94/11 Agne Widholm Kristoffer Danèl A05299-07 | Rickard Jansson Tel 013-169067 Fax 013-169040 rickard.jansson@exova.com | Per-Åke Skoog | Beställaren 1 ex |

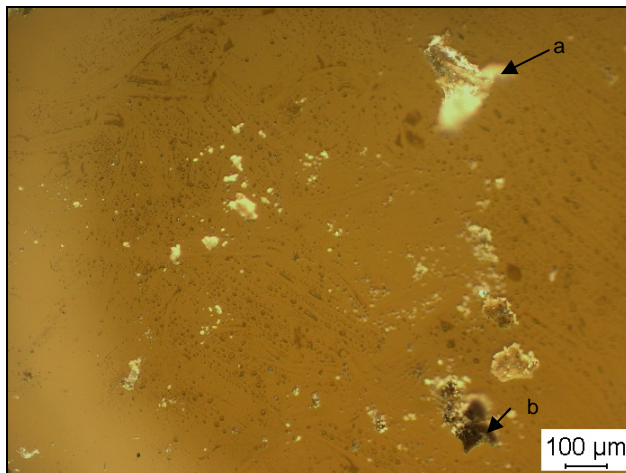
PRR11-09103-1.doc

Analys av föroreningar i förgasare från LN-OAB

Inledning 2011-10-06 ankom två prov; en förgasardel med huvudmunstycke samt en slang med spruta innehållandes föroreningar från förgasaren. Provningsresultat kommenteras i teknisk rapport, TEK11-0422.

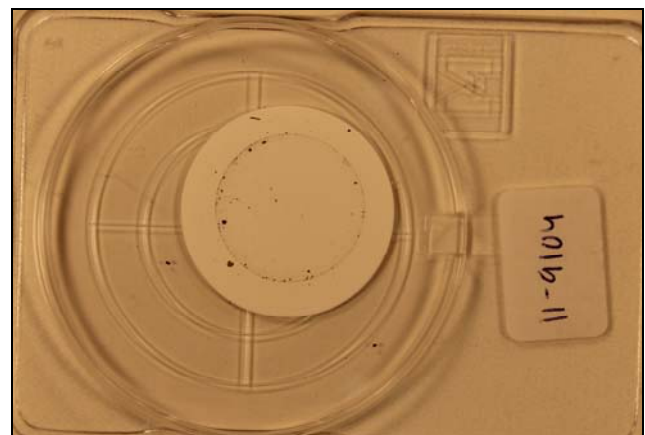
Resultat Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen och figurerna nedan.

| Provningsresultat | Exova-nr | 11-9103 | 11-9104 | |
|-------------------------|----------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|
| | Märkning | Förgasardel med huvudmunstycke | Spruta + slang med föroreningar | |
| Granskning föroreningar | | Se figur 1 | Se figur 2-6 | Mikroskop |
| FTIR, identifiering | | Se figur 7 | Se figur 8 | FTIR |
| Elektronmikroskopi SEM | | - | Se figur 9-18 | SEM |



Figur 1. Föroreningar från utloppet till huvudmunstycket i förgasaren.

Två typer av föroreningar gick att skrapa loss från utloppet i förgasaren. Förorening a är en ljus förorening, medan förorening b är svart/mörk. Båda föroreningarna har analyserats med FTIR (se figur 7), varvid den ljusa föroreningen a identifieras som polypropylen.



Figur 2. Föroreningar uppsugna med spruta från utloppet i förgasaren.

Detta prov är uppsamlat på ett membranfilter. Det innehöll flertalet partiklar som visas ingående i figur 3-6.

Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB
European Technology Center

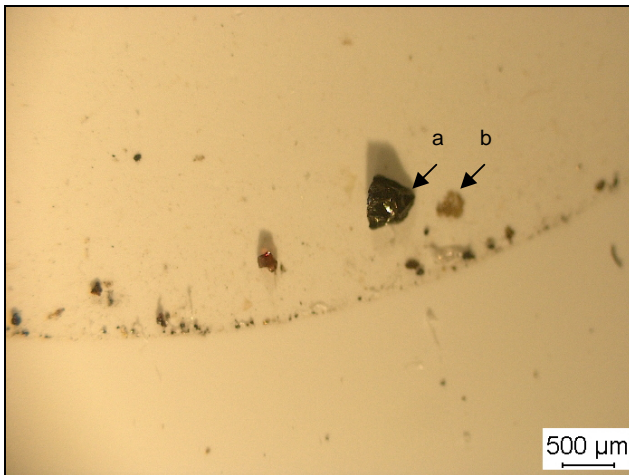
Box 1340
581 13 Linköping
Tel: 013-16 90 00
Fax: 013-16 90 20

Box 431
691 27 Karlskoga
Tel: 0586-810 55
Fax: 0586-585 15

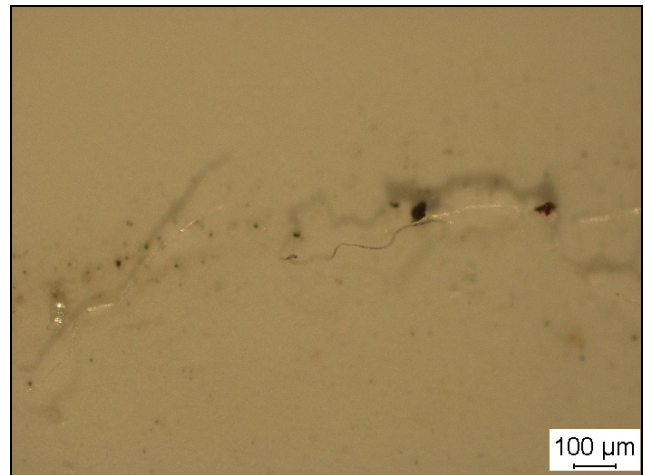
Box 613
611 10 Nyköping
Tel: 0155-22 14 76
Fax: 0155-26 31 25

Testing. Advising. Assuring

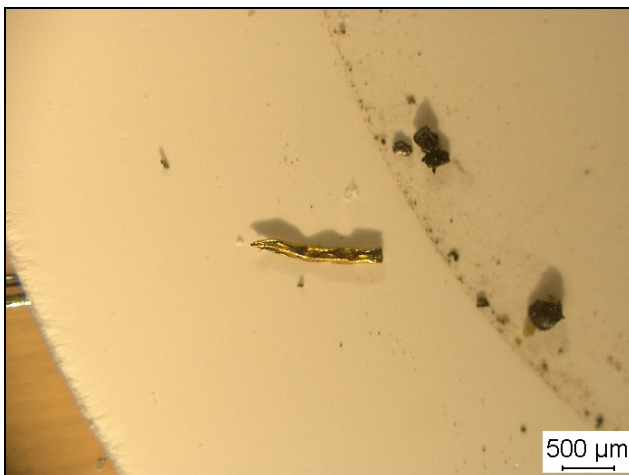
Email: info@exova.com
Org. nr. 556097-0187
www.exova.com



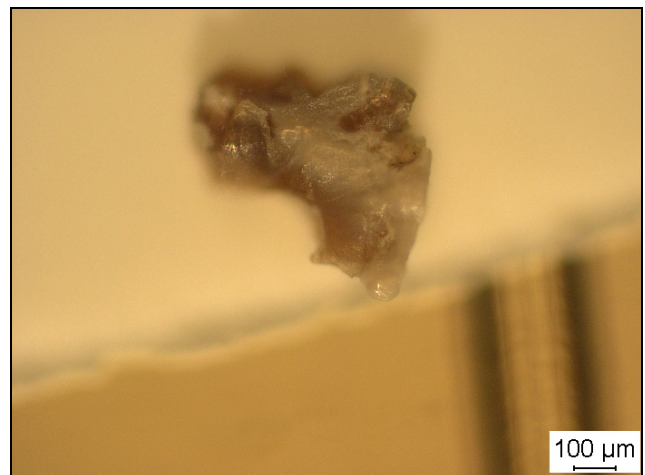
Figur 3. Föroreningar uppsugna med spruta från utloppet i förgasaren.
 Provet innehåller bland annat blybromid (se a i bilden) som bekräftats med SEM-EDS (se figur 11-12) och en utfällning av eventuellt organometalliskt material (se b i bilden) enligt FTIR (se figur 8) och SEM-EDS (se figur 9-10).



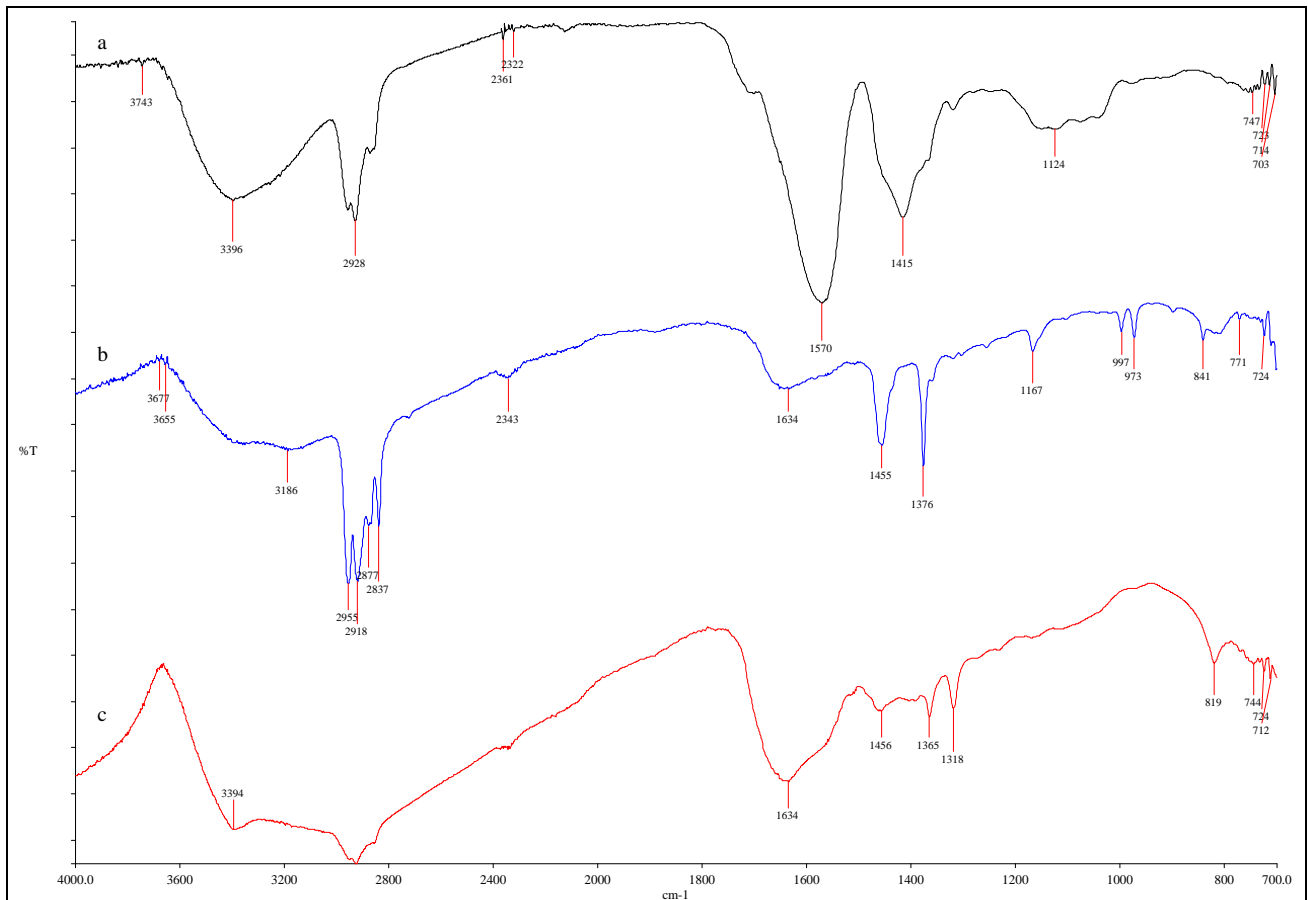
Figur 4. Föroreningar uppsugna med spruta från utloppet i förgasaren.
 Vidare innehöll provet även flertalet fibrer, varav majoriteten liknar cellulofibrer.



Figur 5. Föroreningar uppsugna med spruta från utloppet i förgasaren.
 Dessutom återfinns flera större metallfragment som den i figuren ovan. Tre olika metallfragment har analyserats med SEM (se figur 13-18) där det har konstaterats att nickel, kadmium och sannolikt mässing (legering av zink och koppar) förekommer.



Figur 6. Föroreningar uppsugna med spruta från utloppet i förgasaren.
 Detta är sannolikt samma typ av förorening som i figur 3 b. Denna förorening har även analyserats med FTIR (se figur 8) och SEM (se figurer 9-10)

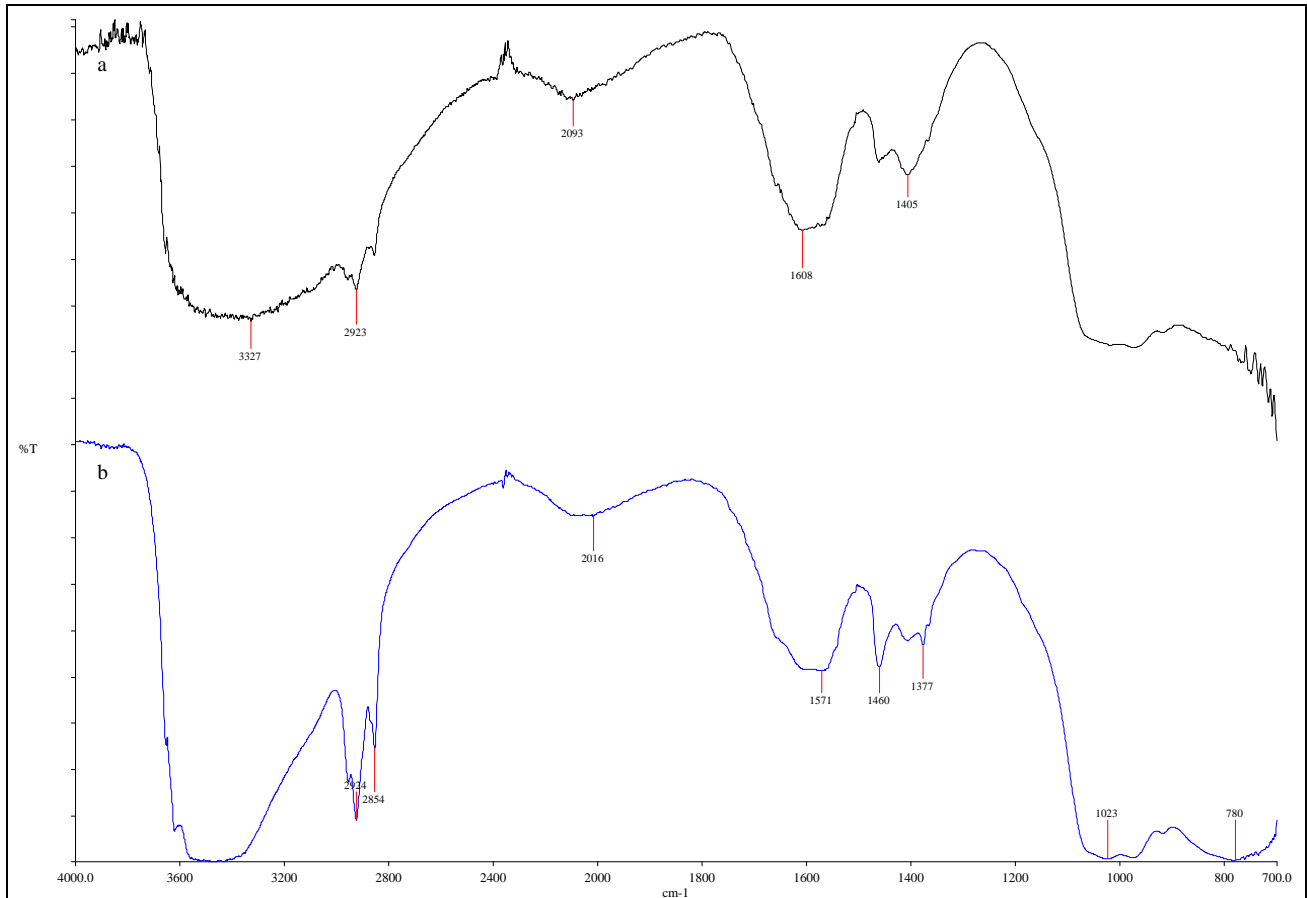


Figur 7. FTIR-spektra för föroreningar i utloppet till huvudmunstycket i förgasaren.

Spektrum a är för en förening som lösts upp med lösningsmedel, varefter lösningsmedlet dunstat bort och föreningen analyserats med FTIR. Föreningen har inte kunnat identifieras från denna analys.

Spektrum b är för föreningen som visas i figur 1 a, d.v.s. de ljusa partiklarna. Denna förening identifieras som polypropylen.

Spektrum c är för föreningen som visas i figur 1 b, d.v.s. de mörka partiklarna. FTIR-analysen har inte lyckats identifiera denna förening.

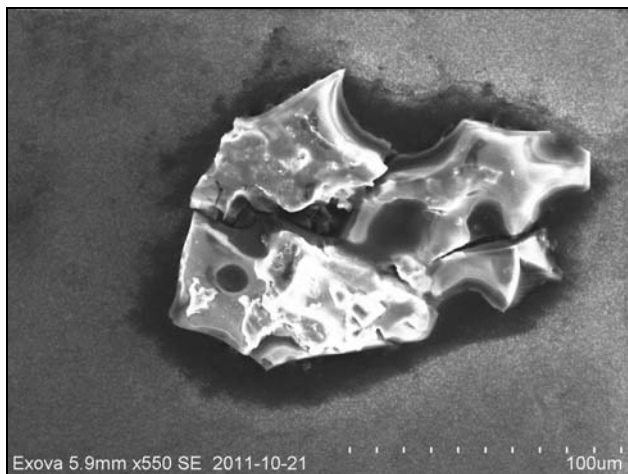


Figur 8. FTIR-spektra för föroreningar uppsugna med spruta från utloppet i förgasaren.

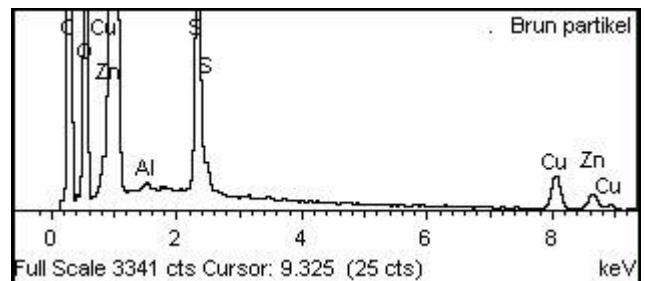
Spektrum a är föroreningen från figur 6, d.v.s. en brun större partikel.

Spektrum b är förorening b i figur 3.

Stora likheter spektran emellan tyder på att dessa föroreningar utgörs av samma material. Vidare har föroreningen analyserats med SEM (se figur 9-10).

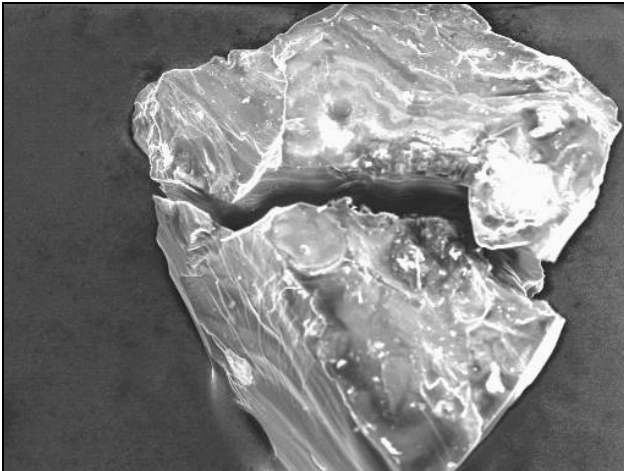


Figur 9. Brun partikel uppsugen med spruta från utloppet i förgasaren. Motsvarande förorening som visats i figur 3, 6 och 8 har även undersökts med SEM. Bilden ovan visar en porös partikel. Vidare har den undersökts med energidispersiv röntgenspektroskopi (se figur 10).

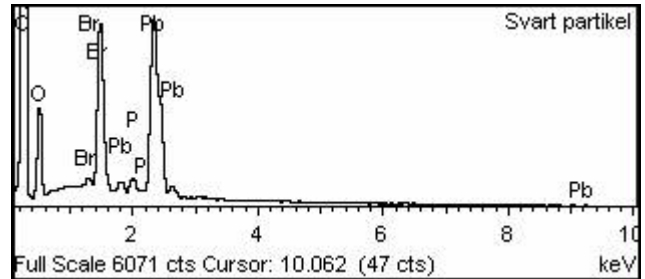


Figur 10. SEM-EDS för brun partikel i figur 9.

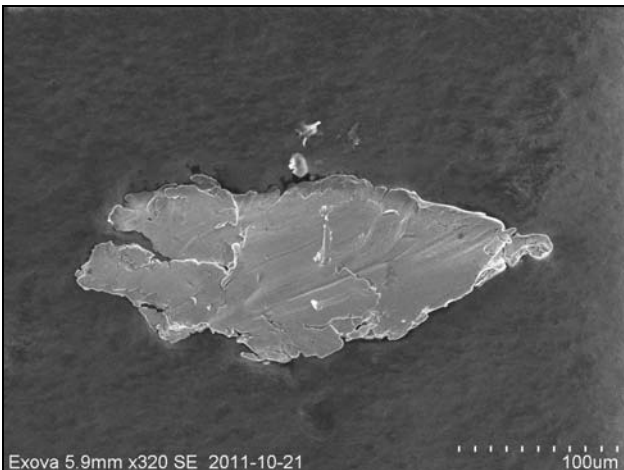
EDS-analysen visar att bland annat zink och koppar ingår i föroreningen. Eventuellt kan det vara ett organometalliskt komplex.



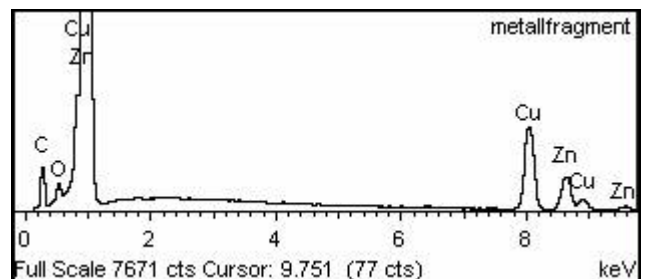
Figur 11. SEM-bild på svart kristallint material uppsugen med spruta från utloppet i förgasaren.
Denna partikel motsvarar förening a i figur 3. Det är ett kristallint material som analyserats med SEM-EDS (figur 12).



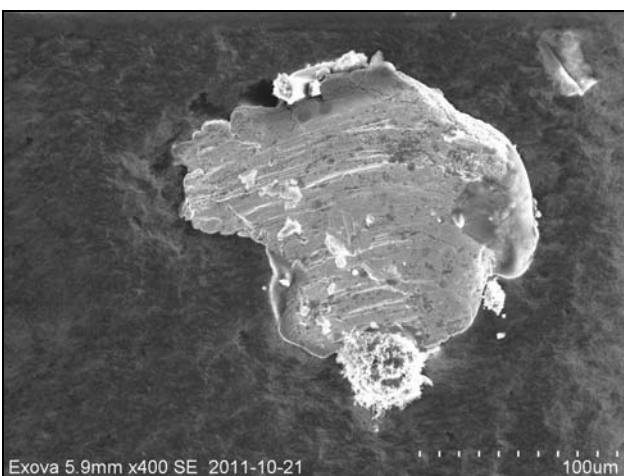
Figur 12. SEM-EDS för svart kristall i figur 11.
SEM-EDS-analysen detekterar framförallt bly och brom. Detta kan tyda på att partikeln består av blybromid.



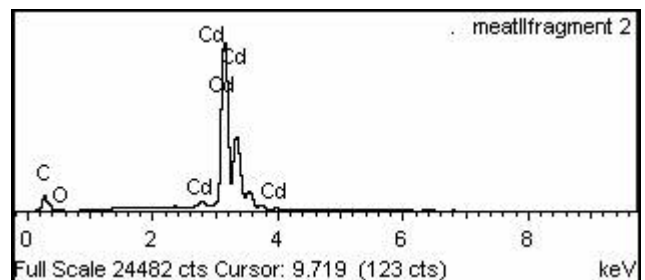
Figur 13. SEM-bild på metallfragment uppsugen med spruta från utloppet i förgasaren.
Detta fragment utgörs av koppar och zink, sannolikt mässing (se figur 12).



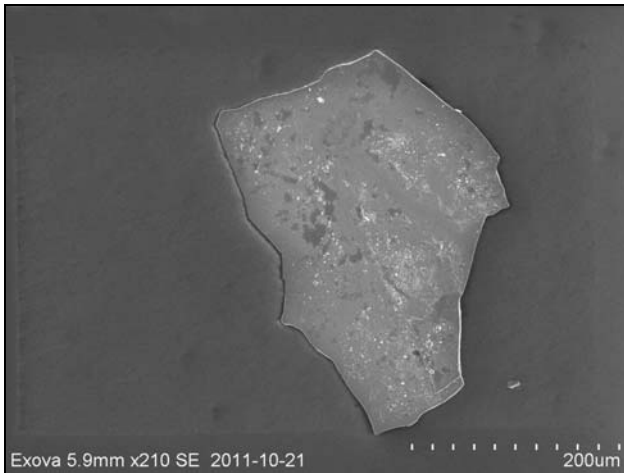
Figur 14. SEM-EDS på metallfragment i figur 11.
Framförallt innehåller metallfragmentet zink och koppar.



Figur 15. SEM-bild på metallfragment uppsugen med spruta från utloppet i förgasaren.
Detta fragment kadmium (se figur 14).

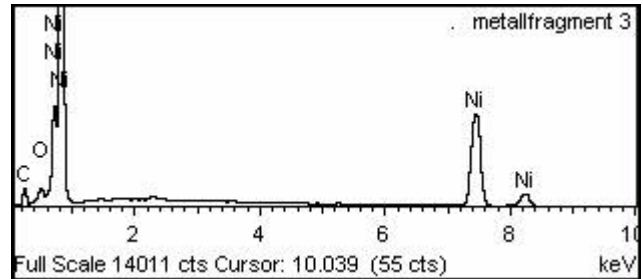


Figur 16. SEM-EDS på metallfragment i figur 13.
Framförallt innehåller metallfragmentet kadmium.



Figur 17. SEM-bild på metallfragment uppsugen med spruta från utloppet i förgasaren.

Detta fragment utgörs av nickel (se figur 16).



Figur 18. SEM-EDS på metallfragment i figur 15.

Framförallt innehåller metallfragmentet nickel.

Linköping 2012-01-12

Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson

Ansvarig för provningen

| Kund | Beställningsdata | Handläggare | Granskad | Rapportfördelning |
|--|--|--|---------------|--|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 STOCKHOLM | Ramavtal A-92/09 Dnr L-94/11 Agne Widholm Kristoffer Danèl A05299-07 | Rickard Jansson Tel 013-169067 Fax 013-169040 rickard.jansson@exova.com | Per-Åke Skoog | Agne Widholm 1 ex Kristoffer Danèl 1 ex |

PRR11-09105-1.doc

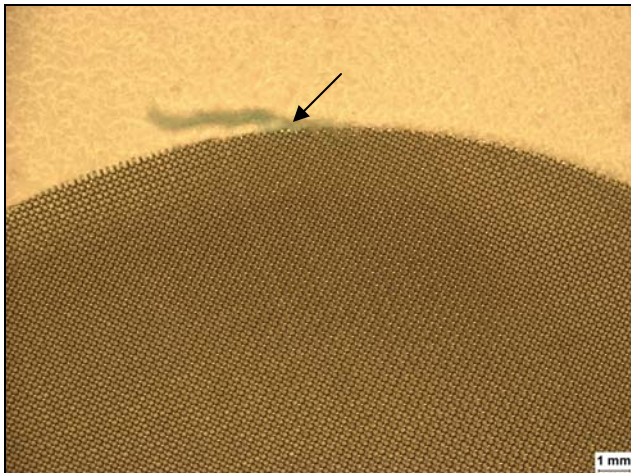
Analys av föroreningar i bränslefilter från LN-OAB

Inledning 2011-10-06 ankom ett bränslefilter. Provningsresultat kommenteras i teknisk rapport, TEK11-0422.

Resultat Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen och figurerna nedan.

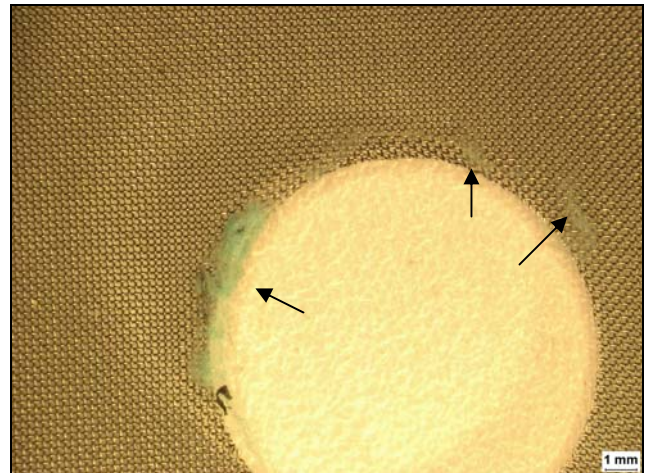
| Provingsresultat | Exova-nr Märkning | 11-9105 Bränslefilter med gröna fibrer LN-OAB |
|--|----------------------|--|
| Granskning föroreningar fotografering | | Se figurer 1-2 |
| FTIR, identifiering | | Se figur 3 |

| Provad egenskap | Enhet | Metod |
|--|-------|-----------|
| Granskning föroreningar fotografering | | Mikroskop |
| FTIR, identifiering | | FTIR |



Figur 1. Bränslefilter med gröna fibrer från LN-OAB.

I både yttre- (pilen) och innerkant (figur 2) på filtret sitter större ansamlingar av gröna fibrer. Porstorleken på filtret är ca 100 µm, medan längden på fibrerna är några millimeter. Dock är diameterna på fibrerna mindre än porstorleken på filtret. Fibrerna har identifierats som polypropylen (se figur 3).



Figur 2. Bränslefilter med gröna fibrer från LN-OAB.

Fibrerna (pilarna) på insidan av filtret.

Angivna resultat hänförs sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänförs sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB
European Technology Center

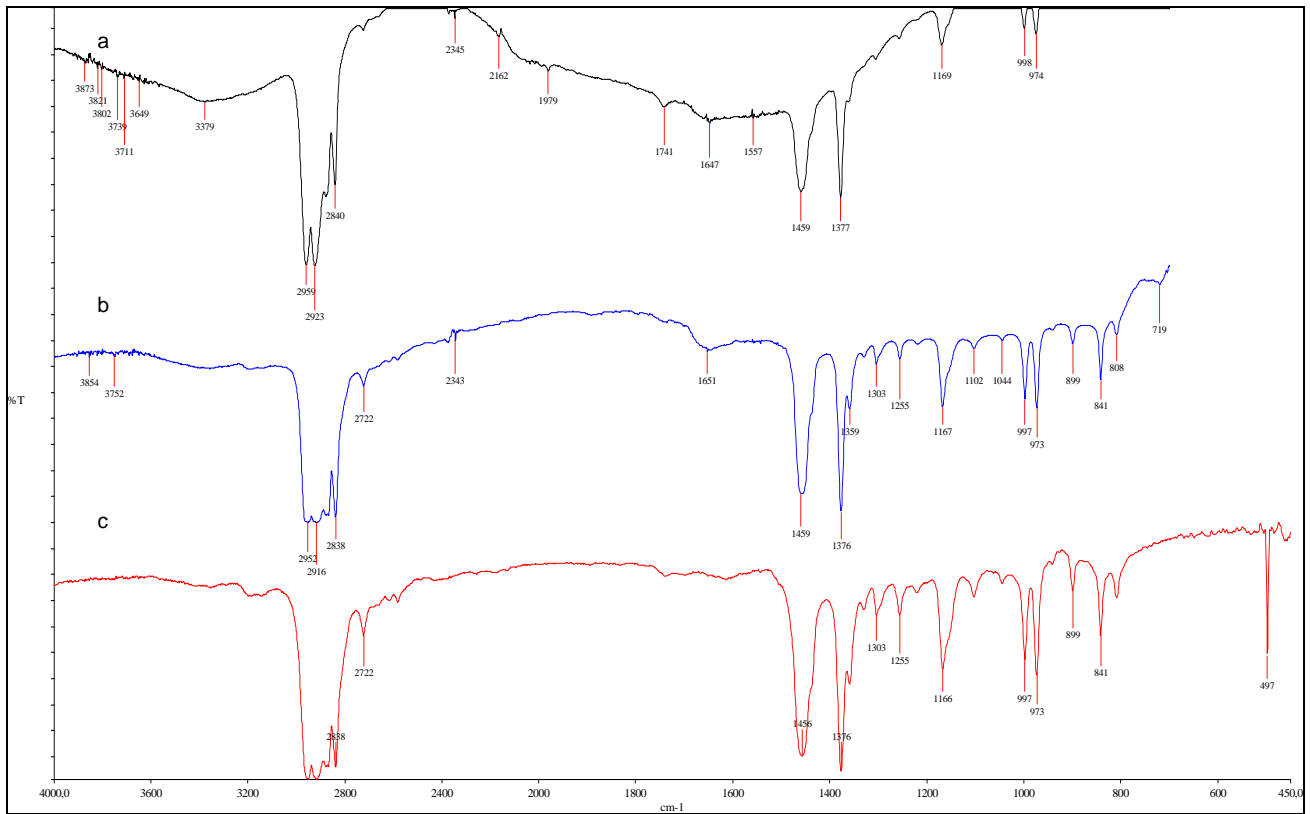
Testing. Advising. Assuring

Box 1340
581 13 Linköping
Tel: 013-16 90 00
Fax: 013-16 90 20

Box 431
691 27 Karlskoga
Tel: 0586-810 55
Fax: 0586-585 15

Box 613
611 10 Nyköping
Tel: 0155-22 14 76
Fax: 0155-26 31 25

Email: info@exova.com
Org. nr. 556097-0187
www.exova.com



Figur 3. FTIR-spektra för föroreningar i bränslefilter från LN-OAB.

Spektrum a är FTIR för fibrena i ytterkant på bränslefiltret (se figur 1).

Spektrum b är FTIR för fibrena i innerkant på bränslefiltret (se figur 2).

Spektrum c är referensspektrum för polypropylen.

Likheterna mellan spektra tyder på att föroreningarna utgörs av polypropylen.

Linköping 2012-01-12

Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson

Ansvarig för provningen

| Kund | Beställningsdata | Handläggare | Granskad | Rapportfördelning |
|--|--|--|---------------|--|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 STOCKHOLM | Ramavtal A-92/09 Dnr L-94/11 Agne Widholm Kristoffer Danèl A05299-07 | Rickard Jansson Tel 013-169067 Fax 013-169040 rickard.jansson@exova.com | Per-Åke Skoog | Agne Widholm 1 ex Kristoffer Danèl 1 ex |

PRR11-09990-1.doc

Analys av bensin i grön plastdunk

Inledning 2011-11-01 ankom ett bränsle om 1 X 20 liter i grön plastdunk. Provningsresultat kommenteras i teknisk rapport, TEK11-0422.

Resultat Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen och figuren nedan.

| Provingsresultat | Exova-nr Märkning | 11-9990 Bränsle i grön plastdunk | Metod |
|--|----------------------|---|----------------|
| Provad egenskap | Enhet | | |
| Färg | | gul | Okulärt |
| Utseende | | klar | Okulärt |
| Fasta föroreningar | | ua | Okulärt |
| Fritt vatten | | ua | Okulärt |
| Fasta föroreningar 0,8µm | mg/l | 0,10 | ASTM D 5452-08 |
| Granskning föroreningar fotografering | | Se figur 1 | Mikroskop |



Figur 1. Föroreningar i bränsle i grön plastdunk.

Provet innehåller förhållandevis lite föroreningar. De som syns i bilden är av två typer: ett kristallint material samt större (ca 50 µm) mörka agglomerat. Dessa har inte vidare identifierats.

Linköping 2012-01-12
Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson
Ansvarig för provningen

Angivna resultat hänförs sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänförs sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB
 European Technology Center

Testing. Advising. Assuring

Box 1340
 581 13 Linköping
 Tel: 013-16 90 00
 Fax: 013-16 90 20

Box 431
 691 27 Karlskoga
 Tel: 0586-810 55
 Fax: 0586-585 15

Box 613
 611 10 Nyköping
 Tel: 0155-22 14 76
 Fax: 0155-26 31 25

Email: info@exova.com
 Org. nr. 556097-0187
 www.exova.com

| Kund | Beställningsdata | Handläggare | Granskad | Rapportfördelning |
|--|--|--|---------------|--|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 STOCKHOLM | Ramavtal A-92/09 Dnr L-94/11 Agne Widholm Kristoffer Danèl A05299-07 | Rickard Jansson Tel 013-169067 Fax 013-169040 rickard.jansson@exova.com | Per-Ake Skoog | Agne Widholm 1 ex Kristoffer Danèl 1 ex |

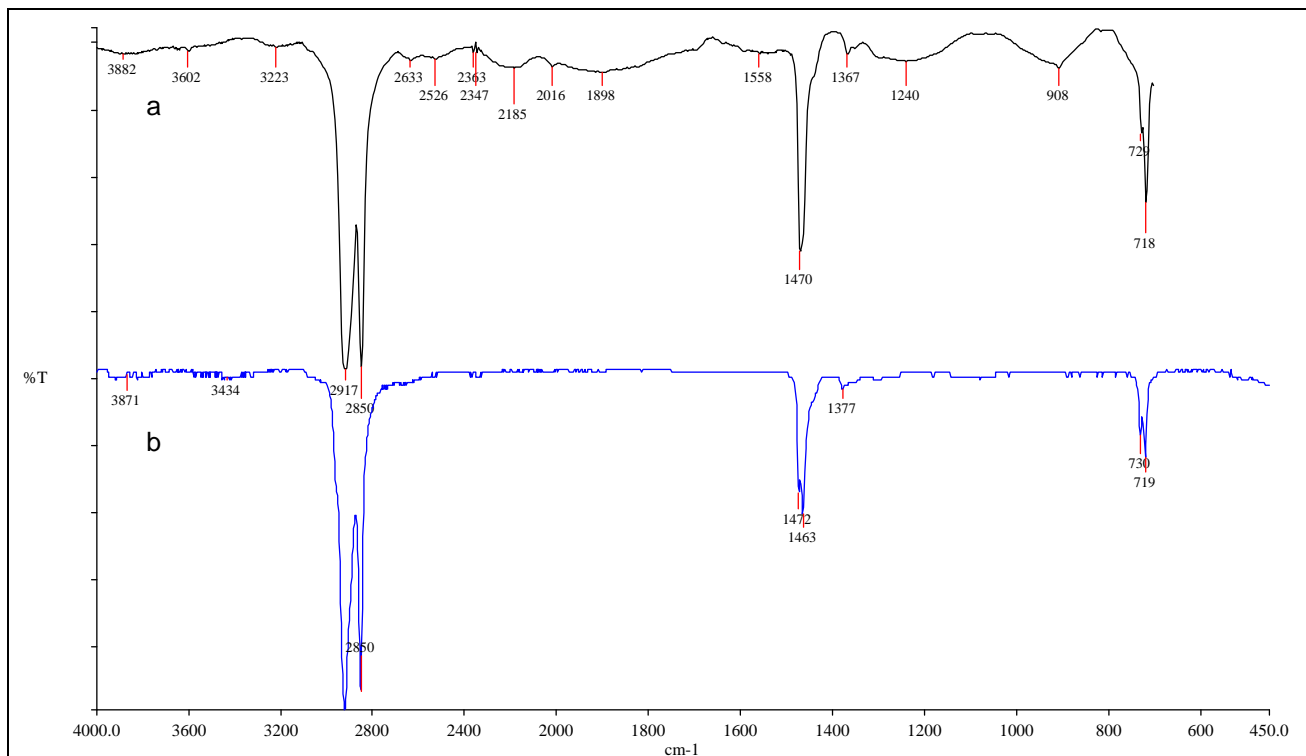
PRR11-10787-1.doc

Analys av föroreningar och detaljer funna i bränslesystemet på LN-OAB

Inledning Föroreningar och detaljer från bränslesystemet i LN-OAB har analyserats. Provningsresultat kommenteras i teknisk rapport, TEK11-0422.

Resultat Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen och figurerna nedan.

| Provningsresultat | Exova-nr | 11-10787 | 11-10788 | 11-10789 | |
|--|--------------|---------------------------------------|--|--------------------|-----------|
| | Märkning | Grön tråd L/H fuel tank LN- OAB | Föroreningar i grovfilter utlopp stor tank LN-OAB | Gul påfyllningspip | |
| Provad egenskap | Enhet | | | Metod | |
| Granskning föroreningar fotografering | - | - | se figur 2 | - | Mikroskop |
| FTIR, identifiering | | se figur 1 | se figurer 3-5 | se figur 6 | FTIR |



Figur 1. FTIR-spektrum för grön tråd i L/H fuel tank LN-OAB.

En grön plasttråd återfanns i bränsletanken. Identifiering med FTIR (spektrum a) visar att denna motsvarar polyetylen (spektrum b).

Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB
European Technology Center

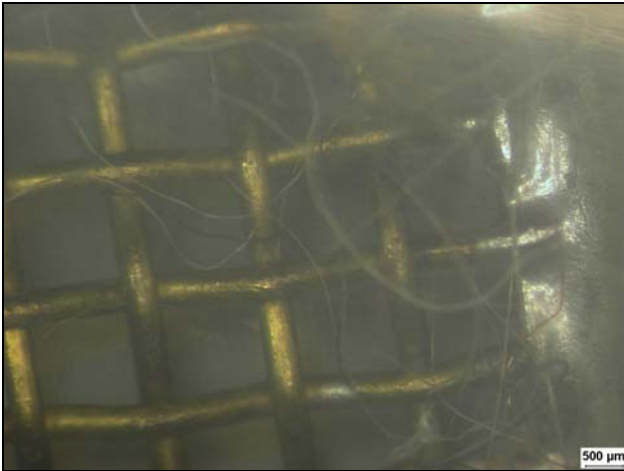
Testing. Advising. Assuring

Box 1340
581 13 Linköping
Tel: 013-16 90 00
Fax: 013-16 90 20

Box 431
691 27 Karlskoga
Tel: 0586-810 55
Fax: 0586-585 15

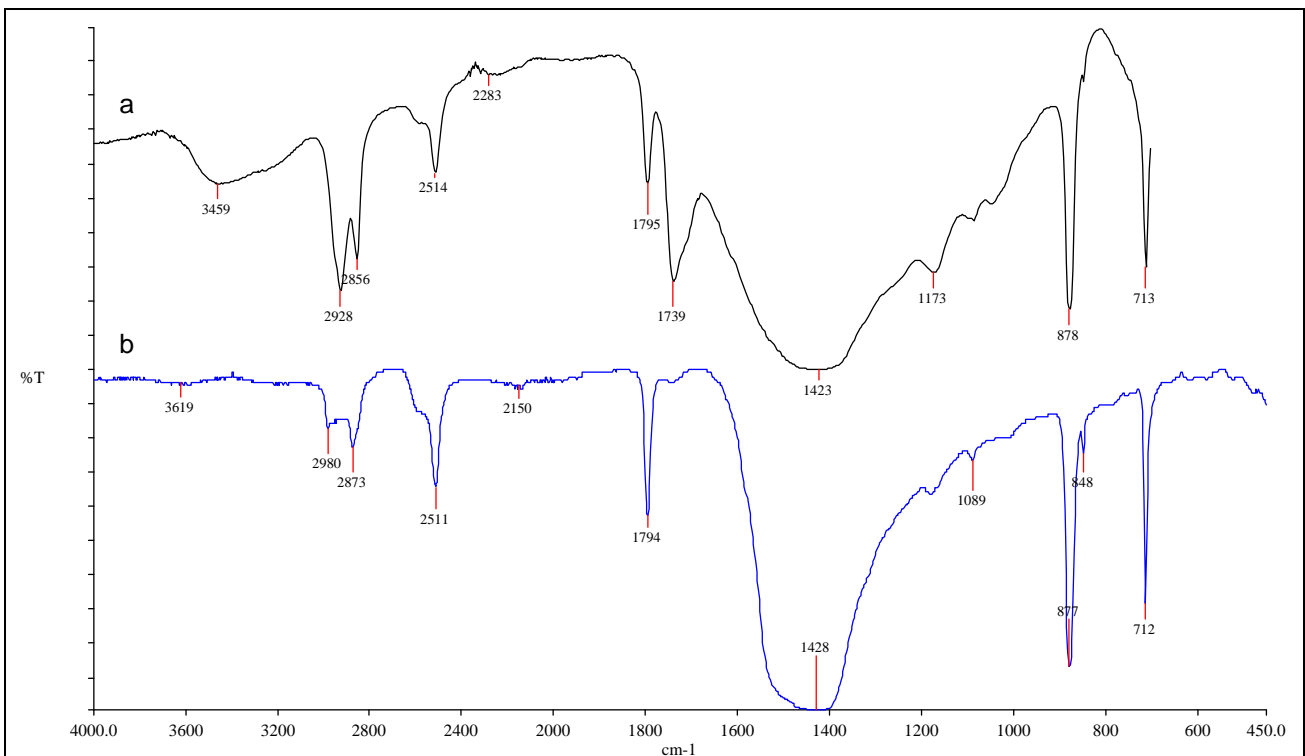
Box 613
611 10 Nyköping
Tel: 0155-22 14 76
Fax: 0155-26 31 25

Email: info@exova.com
Org. nr. 556097-0187
www.exova.com



Figur 2. Föroreningar i grovfilter på stora tanken till LN-OAB.

I filtret från den stora tanken återfanns flera föroreningar, bland annat fibrerna ovan. Vidare identifiering av materialet som satt i filtret visas i figur 3-5, där det konstaterades att gängtätningen bland annat innehåller kalciumkarbonat och att det fanns plastfibrer av både polypropylen och polyetylen.

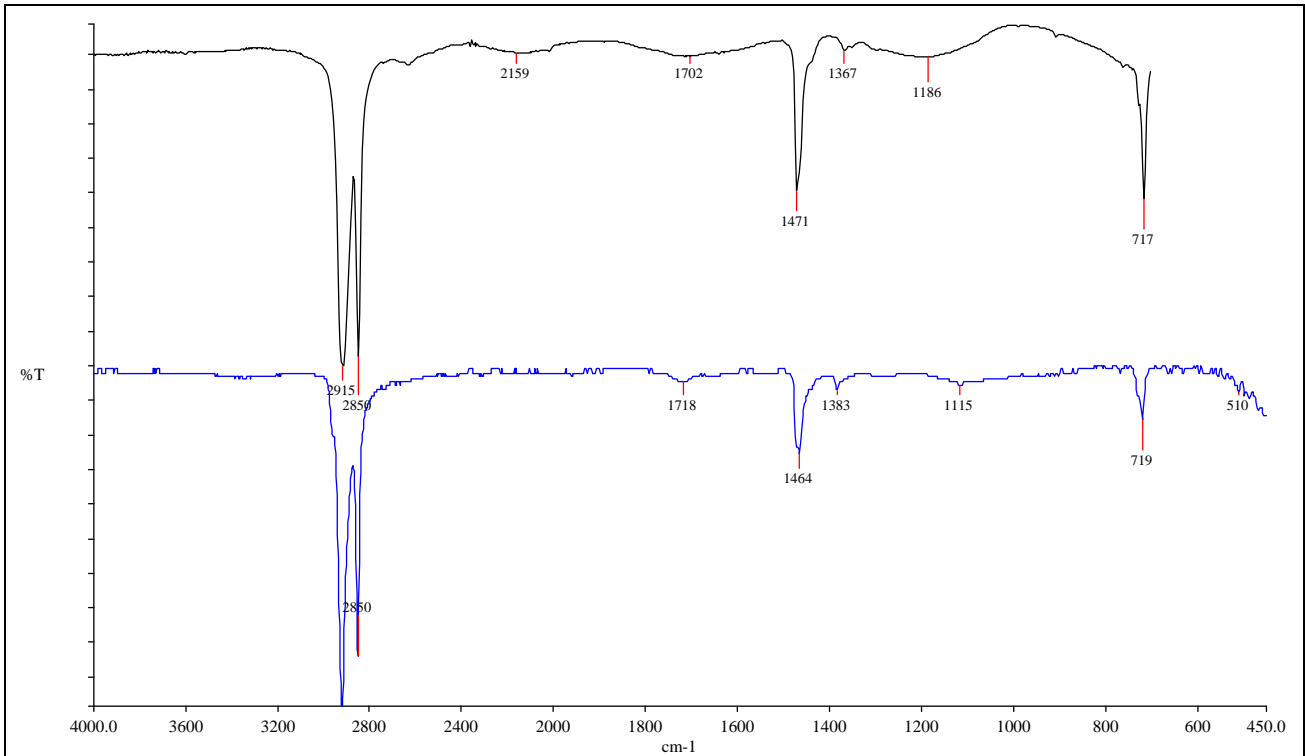


Figur 3. FTIR-spektrum för ljusgrön gängtätning till grovfiltret i stora tanken till LN-OAB.

Spektrum a är FTIR för gängtätning.

Spektrum b är FTIR för kalciumkarbonat-referens.

Gängtätningen består till stor del av kalciumkarbonat eller liknande förening baserat på likheten mellan spektra ovan.

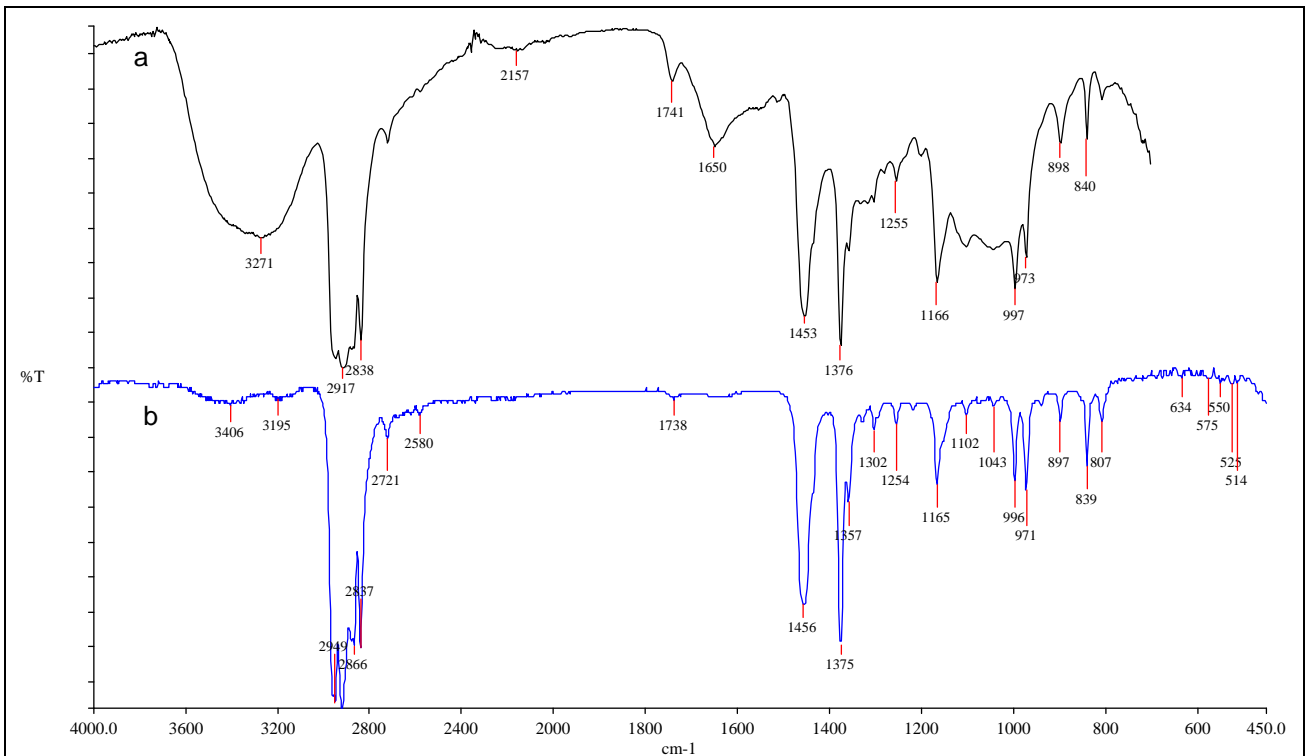


Figur 4. FTIR-spektrum för grön tråd i grovfiltret i stora tanken till LN-OAB.

Spektrum a är FTIR för tråden.

Spektrum b är FTIR för polyetylen.

Tråden bestod av polyetylen baserat på likheten mellan spektra ovan.

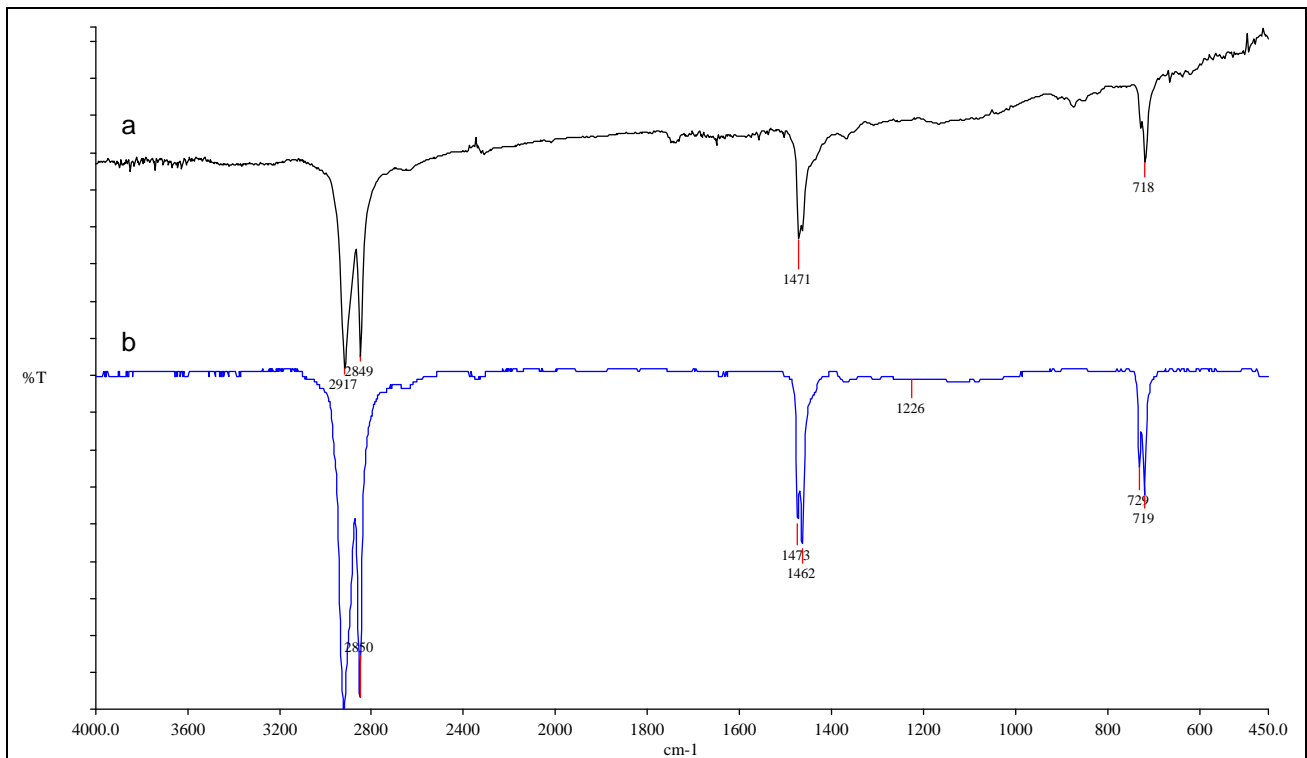


Figur 5. FTIR-spektrum för vita fibrer i grovfiltret i stora tanken till LN-OAB.

Spektrum a är FTIR för ett vitt fiber.

Spektrum b är FTIR för polypropylen.

Tråden bestod sannolikt av polypropylen enligt spektra ovan.



Figur 6. FTIR-spektrum för gul påfyllningspip funnen i tank till LN-OAB.

Spektrum a är FTIR för plastmaterialet i pipen.

Spektrum b är FTIR för polyetylen.

Den gula påfyllningspipen bestod av polyetylen enligt spektra ovan.

Linköping 2012-01-12

Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson

Ansvarig för provningen

| Kund | Beställningsdata | Handläggare | Granskad | Rapportfördelning |
|--|---|--|---------------|--|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 STOCKHOLM | Ramavtal A-92/09 Dnr L-94/11 Agne Widholm Kristoffer Danèl | Rickard Jansson Tel 013-169067 Fax 013-169040 rickard.jansson@exova.com | Per-Åke Skoog | Agne Widholm 1 ex Kristoffer Danèl 1 ex |

PRR11-11691-1.doc

Utvärdering av filterfunktion för 11-9105

Inledning Ett bränslefilter från LN-OAB (11-9105) utvärderades med avseende på filtrets förmåga att fånga upp föroreningar. Provningsresultat kommenteras i teknisk rapport, TEK11-0422.

Resultat Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen och figurerna nedan.

| Provningsresultat | Exova-nr Märkning | 11-11691 LN-OAB Höger Tank | 11-11692 Efter filtreringstest (11-11691) | 11-11693 Efter filtreringstest (11-11691 + fibrer av polypropylen) | Metod |
|--|----------------------|-------------------------------------|--|---|----------------|
| Provad egenskap | Enhet | | | | |
| Fasta föroreningar 0,8µm | mg/l | <0,5 | <0,5 | 0,5 | ASTM D 5452-08 |
| Granskning föroreningar fotografering | | Se figur 1 | Se figurer 2-3 | Se figurer 4-5 | Mikroskop |



Figur 1. Föroreningar i bränsle från höger tank i LN-OAB.

Bränsle från höger tank i LN-OAB användes vid utvärderingen av filterfunktionen, ovan visas vilka föroreningar som fanns i detta bränsle innan försökets början. Bränslet innehöll bland annat flertalet fibrer, framförallt cellulosaliknande fibrer. I första försöket användes bränslet direkt i försöket, d.v.s. filtrets förmåga att samla upp befintliga föroreningar undersöktes. Resultat från detta försök visas i figur 2-3. I andra försöket filtrerades befintliga föroreningar bort från bränslet, varefter polypropylenfibrer tillsattes för att undersöka filtrets förmåga att filtrera bort dessa föroreningar. Resultaten från det andra försöket presenteras i figur 4-5.

Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB
European Technology Center

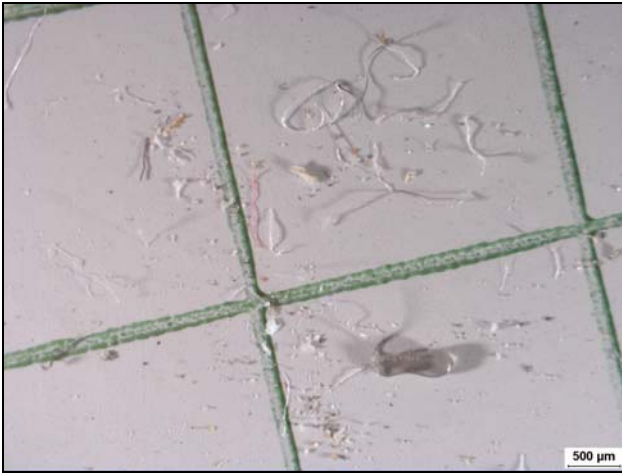
Testing. Advising. Assuring

Box 1340
581 13 Linköping
Tel: 013-16 90 00
Fax: 013-16 90 20

Box 431
691 27 Karlskoga
Tel: 0586-810 55
Fax: 0586-585 15

Box 613
611 10 Nyköping
Tel: 0155-22 14 76
Fax: 0155-26 31 25

Email: info@exova.com
Org. nr. 556097-0187
www.exova.com



Figur 2. Föroreningar i bränsle efter att bränslet filtrerades genom bränslefiltret från LN-OAB.

Filtrets förmåga att filtrera bort de föroreningar som fanns i bränslet var låg. I bilden syns bland annat flera fibrer som kan härledas till det ursprungliga bränslet (ljusa celluloslänkande). Dessutom förekommer några textiltfibrer.



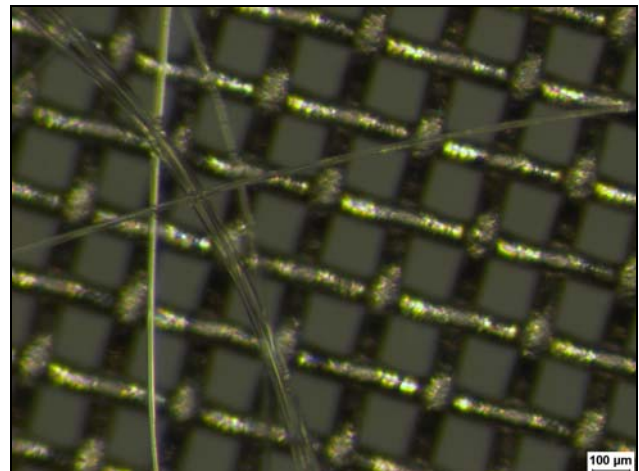
Figur 3. Föroreningar i bränslefilter efter det att bränslet filtrerats genom bränslefiltret från LN-OAB.

Efter avslutandet av första försöket studerades bränslefiltret från LN-OAB i mikroskop. Inga föroreningar kunde observeras i filtret.



Figur 4. Föroreningar i bränsle efter att bränslet med tillsatta fibrer filtrerades genom bränslefiltret från LN-OAB.

Filtrets förmåga att filtrera bort polypropylenfibrer som tillsats i bränslet var inte fullkomligt. I bilden syns ett av flera polypropylenfibrer som passerat bränslefiltret.



Figur 5. Föroreningar i bränslefilter efter det att bränslet med polypropylenfibrer filtrerats genom bränslefiltret från LN-OAB.

Efter avslutandet av andra försöket studerades bränslefiltret från LN-OAB i mikroskop. Filtret hade då blockerat flertalet fibrer som fördelades över en stor del av filterytan. Observera att diametern hos fibrerna är mindre än porstorleken hos filtret. När fibrerna träffar porerna i rätt riktning kommer filtrets förmåga att blockera fibrerna att vara låg.

Linköping 2012-01-12
Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson
Ansvarig för provningen

| Kund | Beställningsdata | Handläggare | Granskad | Rapportfördelning |
|--|--|--|---------------|--|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 STOCKHOLM | Ramavtal A-92/09 Dnr L-94/11 Agne Widholm Kristoffer Danèl A05299-07 | Rickard Jansson Tel 013-169067 Fax 013-169040 rickard.jansson@exova.com | Hans Karlsson | Agne Widholm 1 ex Kristoffer Danèl 1 ex |

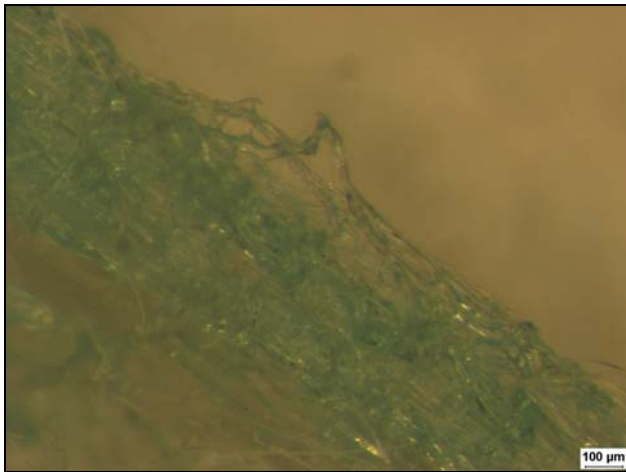
PRR12-01819-1.doc

Analys av grön fiberduk

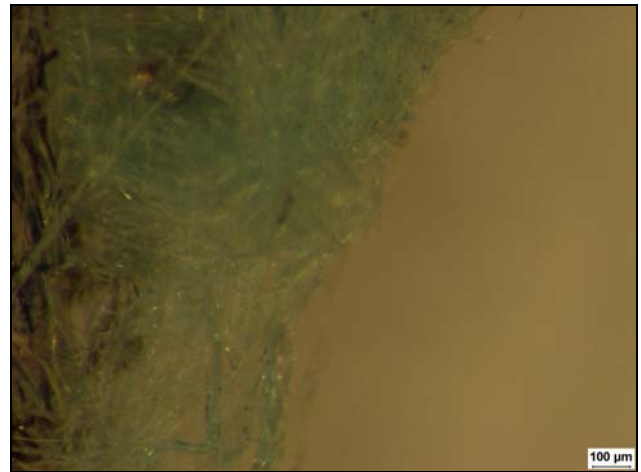
Inledning En grön fiberduk analyserades för att undersöka om materialet i fiberduken kunde kopplas samman med materialet som återfanns i ett bränslefilter, se PRR11-09105. Provningsresultaten kommenteras i TEK11-0422 utgåva 2.

Resultat Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen nedan.

| Provningsresultat | Exova-nr | 12-1819 |
|---------------------|----------|------------------------------|
| | Märkning | Saknas (Grön fiberduk) |
| Provad egenskap | Enhet | Metod |
| Fotografering | | Se figur 1 Mikroskop |
| FTIR, identifiering | | Se figur 3 FTIR |



Figur 1. Bild tagen i mikroskop på fibrerna i fiberduken.
Utseendemässigt stämmer fibrerna i fiberduken väl överens med de fibrer som tidigare återfunnits i bränslefiltret på LN-OAB (se figur 2). Även kemiskt tycks fibrerna stämma väl överens (se figur 3).



Figur 2. Bild tagen i mikroskop på fibrerna i bränslefiltret från LN-OAB.

Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.

Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB
European Technology Center

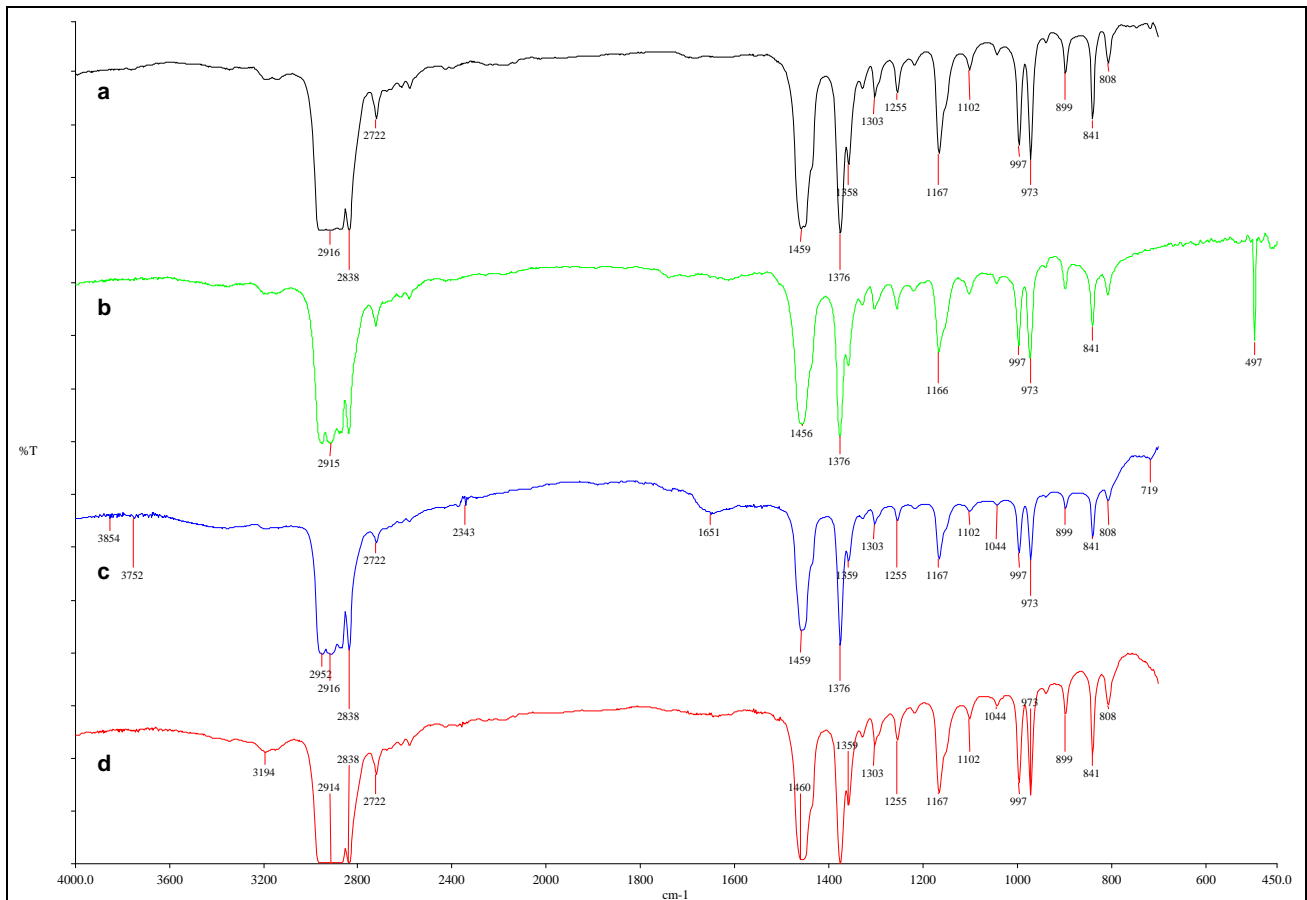
Testing. Advising. Assuring

Box 1340
581 13 Linköping
Tel: 013-16 90 00
Fax: 013-16 90 20

Box 431
691 27 Karlskoga
Tel: 0586-810 55
Fax: 0586-585 15

Box 613
611 10 Nyköping
Tel: 0155-22 14 76
Fax: 0155-26 31 25

Email: info@exova.com
Org. nr. 556097-0187
www.exova.com



Figur 3. FTIR-spektra för fibrer i fiberduken, referens och fibrer återfunna i bränslefilteret på LN-OAB.

Fiberduken bestod av flera lager, varav ett av de yttre lagren samt det inre lagret analyserats med FTIR. Samtliga spektra tyder på att fiberduken består av polypropylenfibrer. Dessa överensstämmer även kemiskt med de fibrer som återfanns i bränslefilteret på LN-OAB. Spektrumen i figuren ovan gäller för:

- a) Grön fiberduk (inre material)
- b) Referens polypropylen
- c) Fibrer från bränslefilter (11-9105)
- d) Grön fiberduk (yttre material)

Linköping 2012-03-01
 Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson
 Ansvarig för provningen

| Kund | Beställningsdata | Handläggare | Granskad | Rapportfördelning |
|--|--|--|---------------|--|
| Statens haverikommission Sveavägen 151 Box 12538 102 29 STOCKHOLM | Ramavtal A-92/09 Dnr L-94/11 Agne Widholm Kristoffer Danèl A05299-07 | Rickard Jansson Tel 013-169067 Fax 013-169040 rickard.jansson@exova.com | Hans Karlsson | Agne Widholm 1 ex Kristoffer Danèl 1 ex |

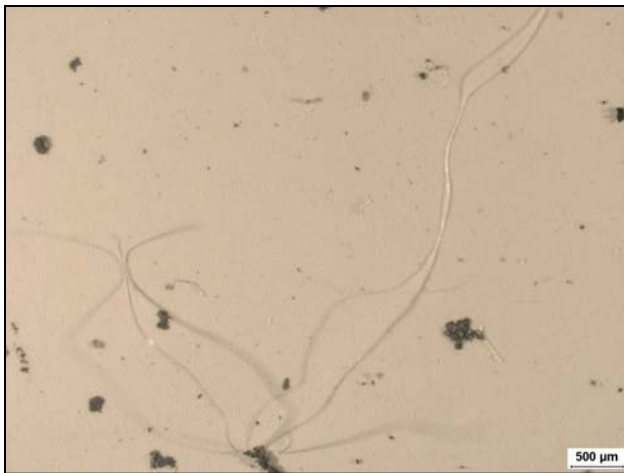
PRR12-01820-1.doc

Analys av bränsle från två helikoptrar av modellen Clipper II

Inledning 2012-02-23 ankom två bränsleprov om vardera cirka 1 X 3 liter i plastdunkar. Granskning av föroreningar har utförts för att kontrollera hur mycket föroreningar som normalt återfinns i bränsletankarna på denna helikoptertyp med anledning av haveriet på LN-OAB. Resultaten kommenteras i teknisk rapport TEK11-0422 utgåva 2.

Resultat Provmärkning och analysresultat redovisas i tabellen nedan.

| Provingsresultat | Exova-nr | 12-1820 | 12-1821 |
|--|----------|--|--|
| | Märkning | Bränsle LN-OGK R44 Clipper II | Bränsle LN-OCX R44 Clipper II |
| Provad egenskap | Enhet | Metod | |
| Granskning inklusive filtrering fotografering | | se figur 1 | se figur 2 |



Figur 1. Föroreningar i bränslet från LN-OGK.
Föroreningsnivån i detta bränsle bedöms vara hög och utgörs främst av mörka oidentifierade partiklar samt större syntetiska fibrer. Även en del metallspånar och sandliknande partiklar återfinns i bränslet. Jämfört med proven som erhöles från LN-OAB efter haveriet så är föroreningsnivån i LN-OGK i nivå med bränslet som fanns i LN-OAB.



Figur 2. Föroreningar i bränslet från LN-OCX.
Detta bränsleprov innehåller främst sandliknande partiklar. I övrigt återfinns även enstaka fibrer, men överlag är föroreningsnivån lägre i LN-OCX jämfört med LN-OGK och LN-OAB.

Linköping 2012-03-01
Fuel & Lubricant Testing, Chemical Analysis

Rickard Jansson
Ansvarig för provningen

Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Angivna resultat hänför sig enbart till i rapporten beskrivna och registrerade föremål.

Exova AB is a division of the Exova Group Limited.
 Registered Office: Exova (UK) Ltd, Lochend Industrial Estate, Newbridge, Midlothian EH28 8PL, United Kingdom, Reg No.SC 70429

Exova AB
 European Technology Center

Testing. Advising. Assuring

Box 1340
 581 13 Linköping
 Tel: 013-16 90 00
 Fax: 013-16 90 20

Box 431
 691 27 Karlskoga
 Tel: 0586-810 55
 Fax: 0586-585 15

Box 613
 611 10 Nyköping
 Tel: 0155-22 14 76
 Fax: 0155-26 31 25

Email: info@exova.com
 Org. nr. 556097-0187
 www.exova.com