



sht

Statens
Havarikommisjon
for Transport

Avgitt juli 2018

RAPPORT

SL 2018/04



SAMMENDRAGSRAPPORT OM LUFTFARTSULYKKE NÆR TURØY, ØYGARDEN KOMMUNE I HORDALAND 29. APRIL 2016 MED AIRBUS HELICOPTERS EC 225 LP, LN-OJF, OPERERT AV CHC HELIKOPTER SERVICE AS

Statens havarikommisjon for transport (SHT) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre flysikkerheten. Formålet med undersøkelsene er å identifisere feil og mangler som kan svekke flysikkerheten, enten de er årsaksfaktorer eller ikke, og fremme tilrådinger. Det er ikke Havarikommisjonens oppgave å ta stilling til sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar. Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende sikkerhetsarbeid skal unngås.

Dette er en norsk sammendragsrapport av Havarikommisjonens offisielle endelige rapport etter ulykken. Den offisielle rapporten er på engelsk. Sammenstillingen er gjort for å forenkle lesbarheten og forståelsen for norske lesere. SHT henviser til den originale engelske teksten for nøyaktig ordlyd.

Kun den offisielle endelige rapporten beskriver Havarikommisjonens undersøkelse og resultatene i sin helhet. Rapporten er tilgjengelig på www.sht.no.

Statens havarikommisjon for transports virksomhet er hjemlet i lov 11. juni 1993 nr. 101 om luftfart § 12-1 jf. forskrift 19. desember 2014 nr. 1848 om offentlige undersøkelser av luftfartsulykker og luftfartshendelser innen sivil luftfart § 3.

Foto: SHT og Trond Isaksen/OSL

ULYKKEN MED LN-OJF

Fredag 29. april 2016 kl. 1155 løsnet plutselig hovedrotoren fra et helikopter av typen Airbus Helicopters EC 225 LP Super Puma, registrert LN-OJF. Helikopteret var operert av CHC Helikopter Service AS og transporterte oljearbeidere for Statoil ASA¹. Da ulykken skjedde var helikopteret på vei fra plattformen Gullfaks B i Nordsjøen til Bergen lufthavn Flesland. Flygingen var helt normal og besetningen fikk ingen varsler før hovedrotoren løsnet fra helikopteret.

Fra en høyde på 2 000 fot styrtet helikopteret ned på en holme nær Turøy, nordvest av Bergen. Vrakdeler ble spredd over et stort område på ca. 180 000 m² både på land og i sjøen (se figur 1). Hovedrotoren landet på en naboøy ca. 550 meter nord for helikoptervraket (se figur 2). Helikopteret ble knust i sammenstøtet, før mesteparten av vraket fortsatte ut i sjøen (se figur 3). Drivstoff fra helikopteret tok fyr og det begynte å brenne på holmen.

Alle de 13 personene om bord omkom umiddelbart da helikopteret traff bakken. Flere redningsenheter var på stedet innen kort tid.



Figur 1: Foto av ulykkesområdet sett fra sør kl. 1500 29. april 2016. Foto: Kripos



Figur 2: Hovedrotoren ble funnet på øya Storskora. Foto: SHT



Figur 3: Helikoptervraket under berging. Halebommen nederst til høyre. Foto: SHT

¹ Equinor ASA fra 15. mai 2018.

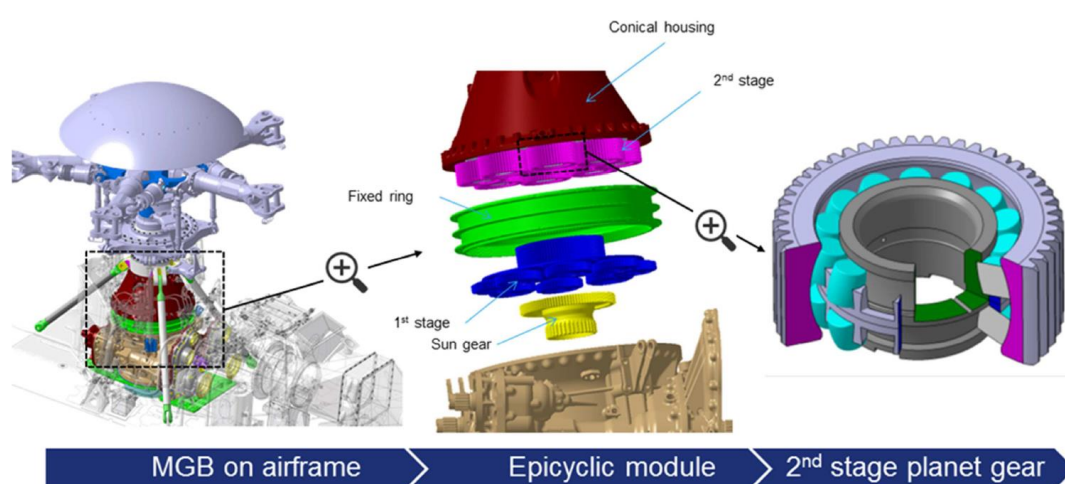
HELIKOPTERET



Figur 4: Ulykkeshelikopteret LN-OJF. Foto: CHC Helikopter Service

LN-OJF var produsert i 2009 av Airbus Helicopters (se figur 4). Det var et to-motors helikopter av medium størrelse godkjent for 2 besetningsmedlemmer og 19 passasjerer. Super Puma modellen EC 225 LP er en videreutvikling av den tidligere modellen AS 332 L2. Hovedgirboksen er nær identisk i de to helikoptertypene.

Hovedgirboksen (*MGB*) er installert oppe på kabintaket og er en del av strukturen som holder hovedrotoren. Girboksen overfører kraft fra motorene til rotorene. Fra motorene til hovedrotoren blir turtallet redusert fra 23 000 til 265/275 omdreininger per minutt. Planetgirboksen (*Epicyclic module*) består av to trinn og utgjør en av modulene i hovedgirboksen (se figur 5). Hvert trinn har et solhjul (*Sun gear*) og åtte planetgir (*planet gear*) festet på en felles holder. Planetgirene roterer på innsiden av et felles fast ring-gir (*Fixed ring*).



Figur 5: Illustrasjon av hovedgirboksen (*MGB on airframe*), detaljert visning av planetgirboksen (*Epicyclic module*) og ett planetgir fra andretrinn (*2nd stage planet gear*). Kilde: Airbus Helicopters

Hvert planetgir består av ett tannhjul, en indre lagerbane og to rader med ruller som hver holdes på plass av et bur (se figur 9). Hvert planetgir er 'selvjusterende' ved bruk av sfærisk ytre lagerbane og sylindriske lagerruller. Innsiden av tannhjulet fungerer som ytre lagerbane. Tannhjulet er produsert av overflateherdet 16NCD13 stål.

Planetgirene kan ikke inspiseres visuelt uten åpning av hovedgirboksen, dvs. full demontering av planetgirboksen og demontering av tannhjul og lager.

UNDERSØKELSEN

Statens havarikommisjon for transport (SHT) har gjennomført en omfattende undersøkelse av ulykken i henhold til nasjonalt regelverk, inkludert Europaparlaments- og rådsforordning (EU) nr. 996/2010, og retningslinjer fra den internasjonale organisasjonen for sivil luftfart (ICAO) Annex 13. I undersøkelsen har det vært tett samarbeid med operatøren, helikopterprodusenten, det europeiske flysikkerhetsbyrået (EASA), det norske og britiske Luftfartstilsynet og andre lands havarikommisjoner².

SHTs undersøkelse har i hovedsak omfattet:

- Søk og berging av vrakdelar på land og i sjø.
- Detaljert undersøkelse av vraket.
- Avlesning og tolkning av lagret elektronisk informasjon.
- Detaljert metallurgisk undersøkelse av hovedgirboksen.
- Gjennomgang av vedlikeholdshistorikken til LN-OJF.
- Detaljert undersøkelse av utvikling, design og produksjon av planetgirene.
- Gjennomgang av driftserfaringer for Super Puma modellene AS 332 L2 og EC 225 LP, inkludert en nær identisk ulykke med en AS 332 L2 i 2009 (*G-REDL*).
- Gjennomgang av sertifiseringskrav og -prosess da EC 225 LP ble typegodkjent i 2004.

RESULTATER FRA UNDERSØKELSEN

Ulykkessekvensen

Helikopteret fløy i en høyde på 2 000 fot med en hastighet på 140 kt³, da et tannhjul tilhørende ett av de åtte planetgirene i andretrinn delte seg og hele planetgirboksen låste seg. Da planetgirboksen låste seg, sprakk ring-giret og *conical housing* gikk i oppløsning (se figur 5). Dette førte til en struktursvikt i øvre seksjon av hovedgirboksen, som igjen medførte at festestagene til girboksen ble revet løs slik at hovedrotoren løsnet fra helikopteret.

Havarikommisjonen har utelukket enhver sammenheng mellom ulykken og flygernes handlinger.

Den metallurgiske undersøkelsen

Det ble funnet to deler fra det ødelagte tannhjulet som til sammen utgjorde omtrent halvparten av et helt tannhjul (se figur 6). Detaljerte metallurgiske undersøkelser utført hos QinetiQ, Farnborough i England, viste at tannhjulet hadde delt seg som følge av materialutmattning.

Utmattingsprekkene startet i en liten skade på overflaten, en såkalt *micro-pit*, på øvre ytre lagerbane (på innsiden av tannhjulet). Det er sannsynlig at partikler i oljestrømmen i girboksen kan ha skadet en eller flere ruller i lageret, som igjen har ført til *micro-pitting* på den ytre lagerbanen.

Sprekkene vokste usynlig under overflaten og videre til hele tannhjulet delte seg. Dette skjedde uten at større mengder metallpartikler (*spalling*) løsnet fra overflaten, slik det var forventet ved design og

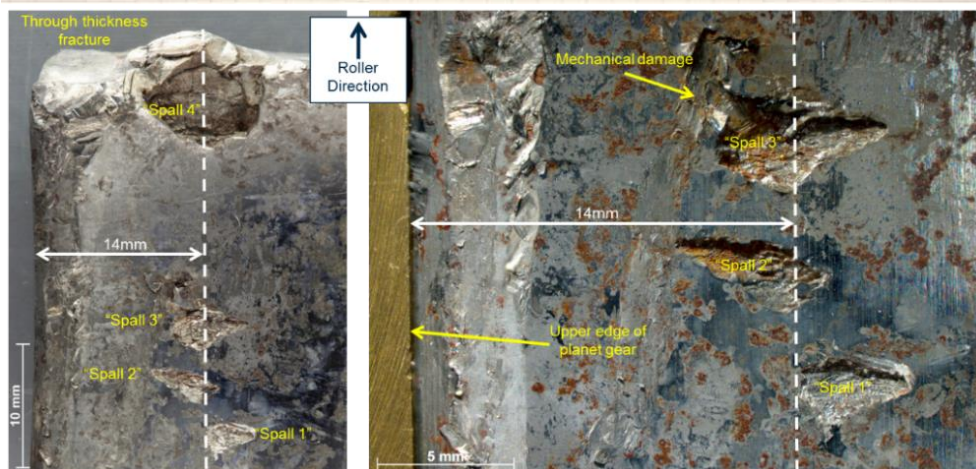
² Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile (BEA) i Frankrike, the Air Accidents Investigation Branch i Storbritannia (AAIB) and the Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) i Tyskland.

³ kt (knop) – én knop tilsvarer én nautisk mil (1 852 m) per time (ca. 260 km/t).

sertifisering. Fire små avskallinger (*spalls*) ble funnet på den ytre lagerbanen, sentrert langs linjen med maksimalt kontaktrykk mellom ruller og lagerbane (se figur 7).



Figur 6: De to delene som ble funnet fra det ødelagte tannhullet. Utmattingsprekken som til slutt delte tannhullet startet i lagerbanen, der den røde pilen peker. Foto: SHT/FOLAT



Figur 7: Områder med avskalling merket Spall 1, Spall 2, Spall 3 og Spall 4, samt linjen med maksimalt kontaktrykk. Foto: SHT/QinetiQ

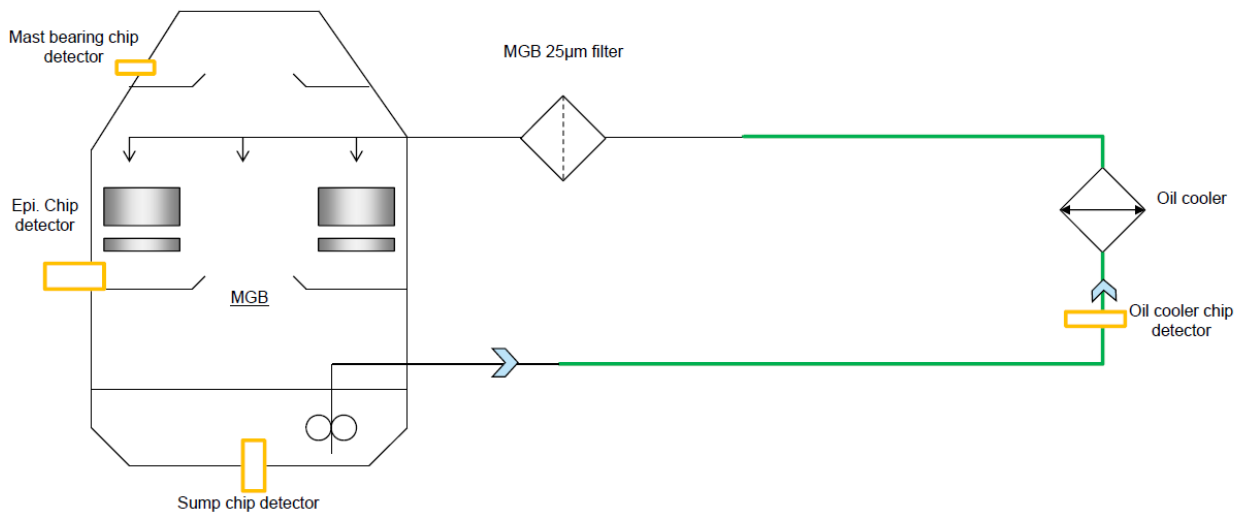
SHT har konkludert med at utmattingsprekkene i tannhullet startet i en skade på overflaten, og ikke som følge av materialfeil eller at andre komponenter var ødelagt eller var i ubalanse. Undersøkelsen har ikke fastslått hvor mange flytimer det tok for at sprekken vokste til et brudd i tannhullet, men det må ha skjedd i løpet av de siste 260 flytimene etter at girboksen ble inspisert og reparert hos Airbus Helicopters.

Ingen forhåndsvarsler

Hovedgirkboksen på EC 225 LP var utstyrt med et deteksjonssystem i henhold til sertifiseringskrav. Systemet bestod av fire magnetplugger (markert i gult i figur 8) som skulle trekke til seg løse metallpartikler, for eksempel avskalling fra tannhjul og lager. Tre av magnetpluggene var elektrisk koblet til besetningens varslingsystem i cockpit slik at de kunne få varsel dersom partikler ble fanget opp.

Besetningen på LN-OJF fikk ingen varsler fra deteksjonssystemet før hovedgirkboksen feilet. Helikopteroperatøren hadde utført vedlikeholdsinspeksjoner i henhold til krav uten at metallpartikler ble funnet på magnetpluggene.

Undersøkelsen har vist at deteksjonssystemet kunne fange opp 12 % av total mengde partikler og at det ikke var krav til systemets effektivitet. Siden sprekken vokste under overflaten i tannhullet samtidig som en liten mengde metallpartikler løsnet, var sannsynligheten for deteksjon lav.



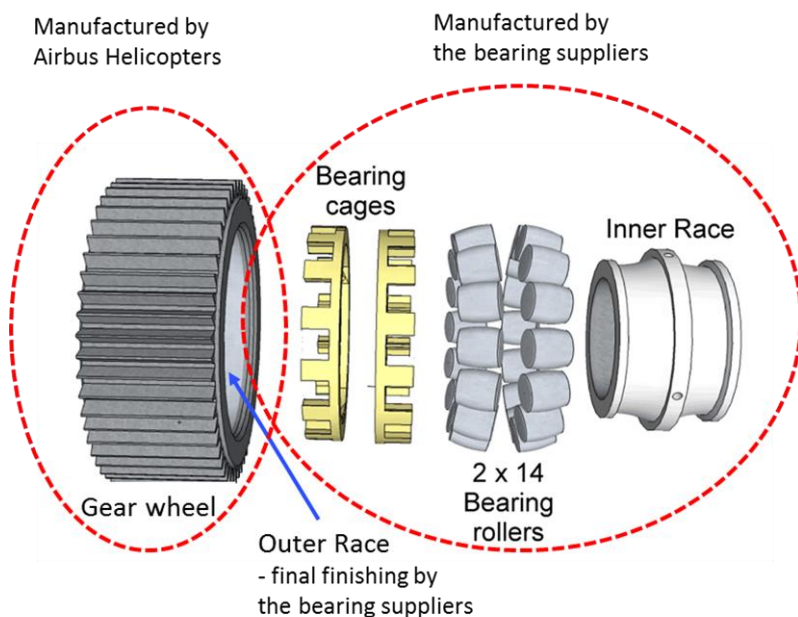
Figur 8: Oversikt over deteksjonssystemet i hovedgirboksen. Kilde: Airbus Helicopters

LN-OJF var også utstyrt med et vibrasjonsovervåkingssystem (HUMS) som overvåket tilstanden til helikopterets dynamiske komponenter. Analyse av HUMS-data for LN-OJF viste ingen unormale vibrasjoner for noen av komponentene. Imidlertid har det nåværende HUMS begrensninger, og det er ikke egnet til å oppdage sprekkvekst i planetgir.

Konklusjonen er at feilen utviklet seg på en måte som vanskelig lot seg fange opp, verken av vedlikeholdsregimet eller overvåkingssystemene som var på LN-OJF på ulykkestidspunktet.

Planetgirets konstruksjon

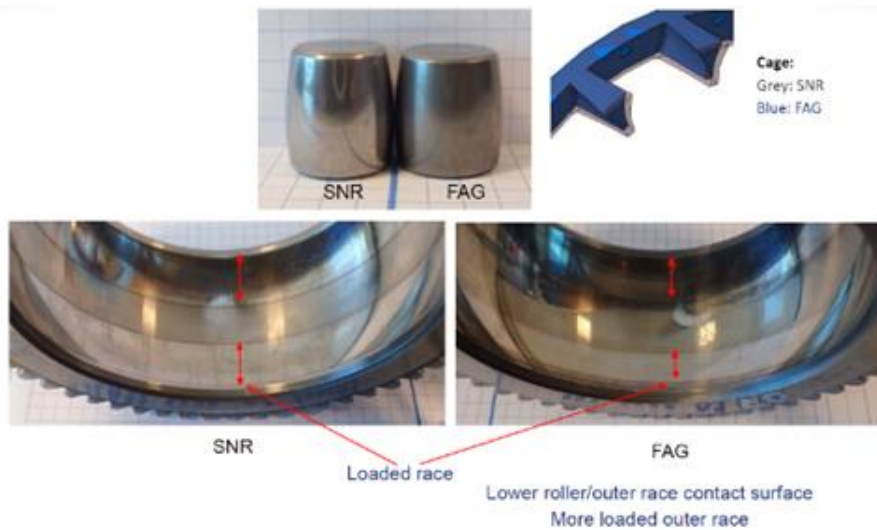
Av industrielle årsaker var det to produsenter (FAG og NTN-SNR) av lager til planetgirene. Siden den ytre lagerbanen (*Outer Race*) er en integrert del av tannhjul⁴ (*Gear wheel*), var det etablert en arbeidsfordeling mellom Airbus Helicopters og lagerleverandørene (*bearing suppliers*), se figur 9.



Figur 9: Oppbygging av planetgir og arbeidsfordeling. Kilde: SHT, tilpasset fra AAIB / G-REDL rapport

⁴ Tannhjul⁴ ble produsert av Airbus Helicopters og levert til de to lagerleverandørene for sluttbehandling.

Begge lager-typene oppfylte spesifikasjonene som var satt av Airbus Helicopters, men de hadde litt ulike dimensjoner og dermed også ulike mekaniske egenskaper (se figur 10). På LN-OJF hadde alle andretrinns planetgir lager levert av FAG.



Figur 10: Geometriske forskjeller på ytre lagerbane. Kilde: Airbus Helicopters

Vedlikeholdshistorikk

Hovedgirboksen i LN-OJF hadde ikke vært utsatt for noe under drift eller vedlikehold som kan forklare hvordan partikler har kommet inn i girboksen. Alt vedlikehold var utført av en sertifisert organisasjon (se figur 11) og det er ingen funn som tyder på at vedlikeholdsfeil hos helikopteroperatøren har bidratt til ulykken.

Hovedgirboksen hadde vært utsatt for en ulykke under transport på en lastebil i Australia i 2015 (se figur 12). Etter transportulykken ble girboksen inspisert, reparert og signert luftdyktig av Airbus Helicopters. Girboksen ble deretter installert i LN-OJF i januar 2016, 260 flytimer før ulykken ved Turøy.

SHT har ikke gjort funn som viser en sammenheng mellom transportulykken i Australia og utmattingsprekken i det aktuelle tannhjulet.



Figur 11: CHC Helikopter Service vedlikeholdshangar i Bergen. Foto: CHC Helicopter Service

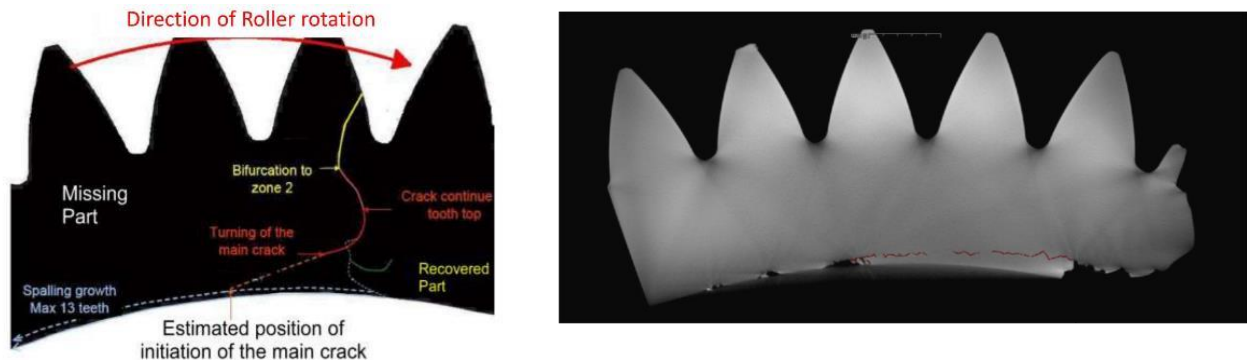


Figur 12: Hovedgirboksen i transportcontaineren etter transportulykken i Australia i 2015. Foto: Airbus Helicopters

Ulykken utenfor Skottland i 2009 med G-REDL

Ulykken ved Turøy har klare likheter med ulykken som skjedde med en AS 332 L2 (*G-REDL*) utenfor kysten av Skottland i 2009 der alle de 16 personene om bord omkom. Denne ulykken var også et resultat av et utmattingsbrudd i et andretrinns planetgir.

Etter G-REDL ulykken fant ikke den britiske havarikommisjonen (AAIB) den delen av tannhjølet hvor sprekken startet (*Missing Part* i figur 13). Det ble imidlertid antatt hvordan sprekken kunne ha vokst frem mot ett brudd. Sammenligningen nedenfor viser at den antatte sprekkevæksten i G-REDL (til venstre i figur 13), var meget lik sprekken som vokste under overflaten på lagerbanen i tannhjølet til LN-OJF som ble funnet (til høyre i figur 13).



Figur 13: Antagelse av sprekkevækst i G-REDL til venstre. Kilde: Airbus Helicopters. CT-scan av tannhjølet i LN-OJF med sprekken markert i rødt til høyre. Foto: CT-scan fra SHT/Southampton University

Også i G-REDL var alle andretrinns planetgir levert av FAG. I undersøkelsen etter G-REDL ble det heller ikke funnet avskalling (*spalling*) slik det var forventet, men en magnetisk partikkel hadde blitt fanget opp av deteksjonssystemet 36 flytimer før ulykken. Som følge av misforståelse eller feilkommunikasjon mellom operatøren og Airbus Helicopters, ble dessverre ikke vedlikeholdsopgaven som krevde åpning av hovedgirboksen gjennomført, og helikopteret fortsatte i drift.

AAIB fremmet flere sikkerhetstilrådingen etter G-REDL ulykken, og noen av disse var direkte relevante for ulykken med LN-OJF. Airbus Helicopters betraktet ulykken med G-REDL hovedsakelig som et resultat av vedlikeholdsfeil og fulgte opp med å introdusere sikkerhetstiltak for å forbedre deteksjonssystemet. I tillegg ble et 'G-REDL testprogram' lansert.

Tiltakene etter G-REDL ulykken var ikke tilstrekkelige til å kunne forhindre et nytt tap av hovedrotor. SHT finner at oppfølgingen foretatt av Airbus Helicopters kunne vært grundigere både med hensyn til mulige utmattingsprekker som kan utvikle seg uoppdaget til brudd, vurdering av deteksjonssystemets effektivitet og gjennomgang av hovedgirboksens konstruksjon. Videre kunne EASA vært grundigere i å følge opp hvordan sikkerhetstilrådingene ble implementert og benytte den generelle informasjonen fra G-REDL rapporten i sitt tilsyn med Airbus Helicopters.

Typesertifisering

Ulykken med LN-OJF, der sprekker vokste under overflaten uten vesentlig avskalling (*spalling*), var ikke forventet eller tatt hensyn til under design og typesertifisering i 2004. Det ble antatt at ved kontaktutmattning (*rolling contact fatigue*) ville avskalling oppstå i en tilstrekkelig mengde slik at deteksjonssystemet kunne fange opp metallpartikler før tannhjølet feilet.

EC 225 LP oppfylte konstruksjonskravene som gjaldt på sertifiseringstidspunktet. SHT har imidlertid funnet svakheter i EASAs nåværende sertifiseringsbestemmelser for store helikopter (CS-29) relatert til sikkerhetsanalyse, vurdering av materialutmattning, deteksjonssystem og operativ pålitelighet. Dette gir viktig læring for fremtidig konstruksjon og sertifisering av girbokser.

Kontinuerlig luftdyktighet

Under 10 % av andretrinnns planetgir i EC 225 LP og AS 332 L2 helikoptrene oppnådde forventet levetid før de, som følge av tegn på nedbrytning eller skader, ble kassert under vedlikehold. Airbus Helicopters foretok ikke systematiske undersøkelser og analyser av kasserte planetgir, slik at egenskapene til alle feil/skader og innvirkning på luftdyktighet ble grundig forstått.

Etter ulykken har Airbus Helicopters undersøkt nær 500 kasserte andretrinnns planetgir fra AS 332 L2 og EC 225 LP helikopter. Funnene indikerer at planetgirene ofte ble skadet av partikler. Mangelen på systematisk analyse førte blant annet til at forskjellen i egenskaper mellom lager fra de ulike leverandørene ikke ble kjent før etter ulykken med LN-OJF.

Tilgjengelighet til informasjon

Havarikommisjonen har brukt vesentlig tid og ressurser på å be om, vente på frigivelse og gjennomgang av design- og sertifiseringsdokumenter. For å beskytte sensitiv informasjon ble SHT kun gitt tillatelse til å studere design- og sertifiseringsdokumenter hos Airbus Helicopters i Frankrike. Videre måtte SHT vente i to til seks måneder på enkelte dokumenter fra EASA.

Iverksatte sikkerhetstiltak etter ulykken

Innen to uker etter ulykken satte det norske og britiske Luftfartstilsynet alle AS 332 L2 og EC 225 LP helikoptrene⁵ på bakken. En måned etter ulykken, basert på SHTs tredje foreløpige rapport med en sikkerhetstilråding til EASA, satte EASA helikoptrene⁶ på bakken, samtidig som det norske og britiske Luftfartstilsynet stanset alle operasjoner av nevnte modeller.

7. oktober 2016 opphevet EASA flyforbudet basert på en avtale med Airbus Helicopters. En rekke sikkerhetstiltak ble introdusert; inkludert å fjerne planetgir med lager levert av FAG, redusert tillatt brukstid (*Service Life Limit*) og intensivert vedlikehold. 20. juli 2017 opphevet det norske og britiske Luftfartstilsynet flyforbudet basert på blant annet et forbedret deteksjonssystem.

To ulykker (G-REDL og LN-OJF) og driftserfaringen med mange planetgir som ble kassert etter relativt kort levetid, kan indikere at belastning og driftsmiljø, for både EC 225 LP og AS 332 L2, var nær grensen for hva konstruksjonen tålte. NTN-SNR planetgirene, som er de eneste som nå er i bruk, synes å være mer robuste. De data, analyser og tester som SHT har hatt tilgang til, avkrefter imidlertid ikke at også disse kan ha potensial til å utvikle skjulte utmattingsprekker i materialet fra en skade på overflaten.

Beslutninger angående luftdyktighet er ikke havarikommisjonens mandat, dette er tilsynsmyndighetens ansvar. I forbindelse med opphevelsen av flyforbudet har Airbus Helicopters vist for EASA at sannsynligheten for en tilsvarende ulykke er akseptabel med hensyn til fortsatt luftdyktighet.

KONKLUSJON

Den direkte årsaken til ulykken med LN-OJF var et utmattingsbrudd i ett av de åtte andretrinnns planetgirene i hovedgirboksen. Sprekker startet i en micro-pit i tannhjulets lagerbane og utviklet seg uoppgaget under overflaten til en katastrofal feil.

Undersøkelsen har vist at kombinasjonen av materialeegenskaper, overflatebehandling, design, belastning og driftsmiljø bidro til en type feil som ikke tidligere var forventet eller vurdert.

⁵ Foruten helikoptre benyttet til søk og redning (SAR).

⁶ Foruten SAR, militærversjoner og andre statlige luftfartøy.

Undersøkelsen gir viktig læring når det gjelder girbokskonstruksjon, sikkerhetsanalyser, vurdering av materialutmatting, tilstandsovervåking, sertifisering og oppfølging av luftdyktighet for AS 332 L2 og EC 225 LP helikopter, noe som også kan være gjeldende for andre helikoptertyper.

SIKKERHETSTILRÅDINGER⁷

Basert på denne undersøkelsen fremmer Statens havarikommisjon for transport 12 sikkerhetstilrådinger⁸:

- EASA bør iverksette forskning på sprekkutvikling i høyt belastet, overflateherdet lager anvendt i luftfartøy (SL nr. 2018/01T).
- EASA bør vurdere å endre regelverket for å ivareta luftdyktigheten til sikkerhetskritiske deler i helikopter (SL nr. 2018/02T).
- EASA bør endre veiledningen til sertifiseringsbestemmelsene for store helikopter slik at feilen som forårsaket denne ulykken også blir hensyntatt ved vurdering av materialutmatting (SL nr. 2018/03T).
- EASA bør revidere sertifiseringsbestemmelsene for store helikopter og fastsette krav til deteksjonssystemets effektivitet (SL nr. 2018/04T).
- EASA bør innføre et konstruksjonskrav til store helikopter som hindrer at interne girboksfeil får katastrofale følger (SL nr. 2018/05T).
- EASA bør utvikle regelverk for operative pålitelighetssystemer for helikopter som utfører offshore- og lignende operasjoner, tilsvarende *Extended Operations and All Weather Operations* regimet for fly (SL nr. 2018/06T).
- EASA bør sørge for at helikopterprodusentene gjennomgår sine prosesser for å ivareta luftdyktighet for å sikre at kasserte sikkerhetskritiske deler blir tilstrekkelig undersøkt (SL nr. 2018/07T).
- EASA bør forbedre retningslinjer for sikkerhetskritiske deler i helikopter, for å sikre at forutsetningene som ble satt under design er gyldige gjennom hele delens levetid (SL nr. 2018/08T).
- EASA bør igangsette forskning på metoder for å forbedre deteksjon av feil i planetgirboksen i helikopter (SL nr. 2018/09T).
- EU Kommisjonen bør evaluere bestemmelsene for å sikre at undersøkelsesmyndighetene har effektiv og fri tilgang til relevant informasjon og arkiver (SL nr. 2018/10T).
- ICAO bør evaluere bestemmelsene for å sikre at undersøkelsesmyndighetene har effektiv og fri tilgang til relevant informasjon og arkiver (SL nr. 2018/11T).
- Airbus Helicopters bør revurdere designet til girboksen for å øke robustheten, påliteligheten og sikkerheten (SL nr. 2018/12T).

⁷ Denne sammenstillingen er gjort for å forenkle lesbarheten og forståelsen for norske lesere. For den nøyaktige ordlyden til sikkerhetstilrådingene, henviser SHT til den originale engelske teksten i SHTs offisielle endelige rapport etter ulykken.

⁸ Statens havarikommisjon for transport fremmer sikkerhetstilrådinger i henhold til lov 11. juni 1993 nr. 101 om luftfart § 12-6, jf. Europaparlaments- og rådsforordning (EU) nr. 996/2010 Artikkel 16, 17, 18.