



shf

Statens
havarikommisjon
for Forsvaret

Rapport
SHF 2020/02



Understellskollaps på NH90 helikopter 13. april 2018 under landing på fregatt

English summary included

Forsidebilde: Jacob Østheim/Forsvaret

Statens havarikommisjon for Forsvarets virksomhet er hjemlet i lov 16. desember 2016 nr. 92 om undersøkelser av ulykker og hendelser i Forsvaret, med forskrift (FOR-2017-08-21-1331). SHF har utarbeidet denne rapporten i den hensikt å forbedre den operative sikkerheten i Forsvaret. Formålet med kommisjonens arbeid er å identifisere forhold som kan svekke sikkerheten i Forsvaret, og fremme tilrådinger der det er hensiktsmessig. Det er ikke havarikommisjonens oppgave å ta stilling til sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar. Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende sikkerhetsarbeid, vil være i strid med formålet i forsvarsundersøkelsesloven § 1.

INNHOLDSFORTEGNELSE

SUMMARY	3
1. HENDELSESFORLØP	4
2. FAKTISKE OPPLYSNINGER.....	5
2.1 Involvert materiell	5
2.2 Meteorologi og geografi.....	6
2.3 Planlegging og forarbeid	7
2.4 Organisasjon og ledelse.....	7
2.5 Risikovurderinger	7
2.6 Tekniske undersøkelser	8
2.7 Tidligere relevante ulykker	10
2.8 Handlinger og tiltak etter hendelsen.....	10
2.9 Påfølgende erfaringer	11
2.10 Skadebeskrivelser	12
3. ANALYSE	13
3.1 Innledning	13
3.2 Hendelsen	13
3.3 Kvalitet på data som lagres i helikopterets Flight Data Recorder	15
3.4 Andre funn	16
4. KONKLUSJON	18
5. SIKKERHETSPROBLEMER	19
5.1 Prosedyrer for lagring	19
6. SIKKERHETSTILRÅDINGER OG TILTAK	19
6.1 Sikkerhetstilråding SHF/2020/09 (jf. 5.1).....	19
6.2 Iverksatte tiltak	19

SUMMARY

The incident happened in connection with operational testing of NH90 operations from navy vessels. Around 18:06 on April 13, 2018, during the sixth landing on KNM Thor Heyerdahl that day, the helicopter had a short contact with the ship's deck and made a lateral bounce before the undercarriage again made contact with the deck and the right main landing gear (MLG) collapsed. Hydraulic pressure provided by the helicopter, made the undercarriage straighten out again. The crew then flew the helicopter to an Air Force base on shore, and landed safely. No personell were injured, and the helicopter suffered only minor damage.

Both MLGs on the helicopter had beed modified/upgraded for vessel operations. The undercarriage is constructed to collapse when landing with vertical speed higher than 4 m/s or vertical acceleration less than -4 g.

Due to the circumstances of the landing, it was not possible to confirm that the landing was so hard that it ought to have caused a collapse. None of the onboard recorders (FDR, GLIMS and test-specific instrumentation) showed values above 4 m/s or below -4 g. For this and other reasons, the DAIBN decided to conduct a technical investigation into the incident. The investigation has received support from Fokker Landing Gear and Airbus Helicopters in addition to national laboratory and research facilities.

It has not been possible to determine with certainty what load the undercarriage was exposed to during the landing. Several factors, such as the ship's movements and how much of the mass of the helicopter rested on the other two undercarriages, has contributed to uncertainty in the calculations. Although the helicopter was equipped with more sensors than normal, there was insufficient data available to offset the uncertainties. The DAIBN is therefore limited to the following conclusions:

- ☐ The undercarriage reacted the way it is supposed to when the forces in the impact correspond to a vertical landing speed (vz) higher than 4 m/s or a g value less than -4.
- ☐ The forces acting on the undercarriage may have been so great that it corresponded to a landing with vz higher than 4 m/s or a g value less than -4.
- ☐ If the undercarriage collapsed even though the forces were not as described above, it was most likely due to the nitrogen pressure in the shock absorber being lower than the pressure specified by the manufacturer, which would have reduced the undercarriage's ability to absorb the forces in the impact.
- ☐ No material or structural defects to the undercarriage were identified.

The investigation has shown deviations (in Norway) from the manufacturer's guidelines regarding long term storage of undercarriage. Prolonged horizontal storage can cause deformation of internal seals. This can lead to leaks once the undercarriage is installed on a helicopter. The undercarriage that collapsed, however, had not been subject to such storage.

The DAIBN recommends that the commander of NDMA/Air Systems Division review and quality assure relevant procedures, routines, requirements and training regarding storage, maintenance and inspection of undercarriage to the NH90.

1. HENDESESFORLØP

Hendelsen skjedde i forbindelse med operativ testing av operasjoner med NH90 fra fartøy. For å kunne operere helikopteret fra Nansen-klasse fregatter og KV Svalbard, var det nødvendig å gjennomføre tester på fartøy for å etablere de operative begrensningene for helikopteret under forskjellige forhold. Disse begrensningene kalles Ship Helicopter Operating Limitations (SHOLs). En testplan for å etablere SHOLs ble utarbeidet av FMA/Luftkap i samarbeid med National Aerospace Laboratories, Nederland (NLR). Helikopteret ble utrustet med ekstra instrumentering som skulle gi grunnlaget for å utarbeide SHOLs. Luftforsvaret støttet med personell, og Sjøforsvaret støttet med fartøy. Testingen startet 9. april 2018 og var planlagt avsluttet 27. april 2018.

Omtrent klokken 18.06 den 13. april, under dagens sjette landing på KNM Thor Heyerdahl, kollapset helikopterets høyre landingsunderstell. Under landingen hadde begge hovedunderstell kontakt med skipsdekket før helikopteret forflyttet seg litt sideveis (*bounce*). Da høyre understell på nytt fikk kontakt med dekket, kollapset understellet.



Figur 1. Helikopteret umiddelbart etter at høyre understell kollapset. Utklipp fra Sjøforsvarets video fra 13.4.18 (tidsstempelet på bildet er ikke korrekt)

Etter kollapsen rettet understellet seg opp igjen. Besetningen holdt motorene i gang for å sikre hydraulisk trykk til understellet, mens de vurderte hendelsen og hvordan de skulle håndtere den. De valgte å fly helikopteret til Kjevik, samtidig som personell på Luftforsvarets skolesenter ble varslet og gjorde seg klare til å ta imot helikopteret der.

Helikopteret landet trygt på Kjevik. Før motorene ble stanset, ble høyre side av helikopteret jekket opp for å unngå at understellet skulle kollapse på nytt når det hydrauliske trykket ble borte.

2. FAKTISKE OPPLYSNINGER

Undersøkelsesarbeidet har vært gjennomført med støtte fra Airbus Helicopters, Fokker Landing Gear, FMA/Luftkap, Forsvarets laboratorietjenester (FOLAT) og Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI). Fokker Landing Gear har bistått med demontering og undersøkelser av understellet. FOLAT har analysert metallkomponenter fra understellet for å avdekke eventuell materialtretthet eller andre avvik. Airbus Helicopters har lastet ned og analysert data fra ferdsskriveren (FDR – Flight Data Recorder). Data fra flight test instrumenteringen har blitt analysert hos FMA/Luftkap. FFI har gjennomført en bredere analyse av tilgjengelige data.

Tre videokameraer filmet hendelsen; to på fregatten og ett i helikopterets cockpit.

2.1 Involvert materiell

2.1.1 Helikopteret – NH90 serienummer 1352

NH90 #1352 er det første helikopteret Norge fikk levert av den endelige versjonen, «Step B». Det ble overlevert fra produsenten NH Industries til FMA/Luftkap, og landet første gang på norsk jord 22. januar 2018. Helikopteret ble plassert på Bardufoss flystasjon for operativ testing og evaluering.

NH90 #1352 var ikke overført fra FMA/Luftkap til Luftforsvaret da testkampanjen ble gjennomført og hendelsen skjedde.

Det var FMA/Luftkap som var ansvarlig for at helikopteret tilfredsstilte kravene til luftdyktighet, og som autoriserte bruken av helikopteret for flygningene i SHOLs-kampanjen. En «Military permit to fly» var utstedt av sjef teknisk avdeling i FMA/Luftkap 6. april 2018. Tillatelsen var gyldig for perioden 9.-29. april 2018.

Helikopterets maksimale vekt er 11 000 kg. Da hendelsen skjedde, var helikopterets vekt omtrent 10 500 kg.

2.1.1.1 *Landingsunderstellet*

NH90 #1352 var utrustet med to oppgraderte hovedlandingsunderstell (MLG – Main Landing Gear), med serienummer SP6007 på venstre side og SP6010 på høyre.

#SP6010 historikk:

- Besto *acceptance test* etter produksjon i 2004.
- Sto installert på NH90 HITN002 (serienummer 1019) fra 2006 til 2011.
- Ferdig oppgradert og testet hos Fokker LG 23. okt 2015. Etter oppgraderingen ansees og behandles understellet som fabrikknytt.
- Installert på NH90 NNWN010 (#1352) 12. feb 2016. Helikopteret ble overtatt av FMA/Luftkap 22. des 2017.

- Helikopteret og understell hadde på hendelsestidspunktet fløyet 81,2 flytimer og 247 landinger

Helikopterets understell er designet for å dempe belastningen i landinger ved å absorbere energi og derigjennom redusere skade.

I produsentens prosedyre *Special inspection after a hard landing*¹ finnes følgende definisjoner/grenseverdier som karakteriserer landinger ut ifra belastningen helikopteret utsettes for:

- *Hard landing*: The landings where the positive value of the vertical speed is more than 480 ft/min (2,44 m/s) or the negative value of the vertical acceleration is less than -2,5 g
- *Emergency landing*: The landings where the positive value of the vertical speed is more than 787 ft/min (4 m/s) or the negative value of the vertical acceleration is less than -4 g
- *Damaging landing*: The landings where the positive value of the vertical speed is more than 1181 ft/min (6 m/s) or, in the worst case, the negative value of the vertical acceleration is less than -6 g.

Dempingen i understellet skal håndtere en *hard landing* uten at helikopteret eller understellet tar skade av det. For landinger med høyere belastning enn kriteriene for *hard landing*, er det bygget inn flere funksjoner i understellet som skal oppta energi og forhindre/minimere skader på helikopteret. Dette inkluderer såkalte brytebolter (*shear pins*) som skal knekke når belastningen blir stor nok. Når disse først er brutt, vil understellet være avhengig av hydraulisk trykk for å fungere tilnærmet normalt.

Det ligger implisitt i grenseverdiene over at helikopteret ikke er over maksvekt og at alle tre understell bidrar til å dempe landingen. Produsenten har ikke angitt egne verdier for hva det enkelte understell skal tåle.

2.1.2 KNM Thor Heyerdahl

KNM Thor Heyerdahl er en av Sjøforsvarets Fridtjof Nansen-klasse fregatter. KNM Thor Heyerdahl ble levert fra verftet i 2011. Fregattene er bygget på Navantias verft i Spania etter norske krav og spesifikasjoner. Hver fregatt har et helikopterdekk og tilhørende hangar. NH90 helikopter skal inngå som integrert del av fregattenes system.

For å være i stand til å gjennomføre helikopteroperasjoner fra fregattene, er det nødvendig å gjøre operative og tekniske tilpasninger for både helikopter og fartøy. Fastsetting av SHOLs var en del av dette.

2.2 Meteorologi og geografi

Den aktuelle dagen var vinden ved havoverflaten 33 knop fra 71°. Sikten var over 10 km, og det var et spredt skydekke over 1500 fot. Temperaturen var 9,5°C og

¹ JA-A-05-52-00-02A-282A-A, issue 010, datert 2018-10-08

det atmosfæriske trykket var 1013hPa. Relativ vind ved landingen var 35 knop 40° fra venstre sett i skipets fartsretning.

2.3 Planlegging og forarbeid

NH90 NFH (NATO Frigate Helicopter) er anskaffet for å kunne operere fra alle helikopterbærende fartøy i Kystvakten og Marinen.

Overbygningen på de forskjellige fartøysklassene er forskjellige. Dette påvirker vindforholdene over og rundt fartøyene. Dette i kombinasjon med fartøysbevegelser under ulike sjøforhold, nødvendiggjør at typespesifikke begrensninger må etableres for å kunne tillate trygge, men akseptable operative begrensninger. For å fastsette disse begrensningene, er testing nødvendig.

FMA/Luftkap utarbeidet i samarbeid med NLR en plan² for å fastsette SHOLs for fregatter av Nansen-klassen og kystvaktfartøyet KV Svalbard.

En del av denne planen var å gjennomføre to 7-dagers perioder med testflyging på fartøyene. Å operere NH90 fra fartøyene med maksimal vekt, var en del av testprogrammet.

I tillegg til testplanen var det utarbeidet operasjonsordrer av FMA/Luftkap og Luftforsvaret for gjennomføringen.

2.4 Organisasjon og ledelse

Testkampanjen var ledet av FMA/Luftkap. Sjøforsvaret støttet med KNM Thor Heyerdahl og KV Svalbard. Luftforsvaret støttet FMA/Luftkap med noe helikoptermannskap, teknisk personell samt materiell.

FMA/Luftkap v/fartøysjefen til #1352, var ansvarlig for forberedelse og gjennomføring av SHOLs-kampanjen. I tillegg var vedkommende ansvarlig for FMA/Luftkap sitt personell og NLR under kampanjen. Fartøysjefen var en erfaren prøveflyger. Annenpiloten var ansvarlig for personellet som tilhørte Luftforsvaret.

Skipssjefens ansvar var som normalt ved embarkerte operasjoner iht SAP 90, pkt 0210.

2.5 Risikovurderinger

Vedlegg E til testplanen var en «Test hazard analysis». Fare nr 3 listet i denne var hard landing som kan skade helikopter og redusere helikoptertilgjengelighet. («Hard landing» var altså i testplanen uttrykk for en mer alvorlig hendelse enn det produsenten legger i «hard landing» - landing med vertikal hastighet 2,4-4 m/s.) En slik hard landing var vurdert som kategori II/D eller *kritisk alvorlighetsgrad*, men usannsynlig at ville skje. Kritisk alvorlighetsgrad beskrives som «kan forårsake alvorlig personskade eller betydelig fartøyskade».

I etterkant av hendelsen så man at konsekvensen av en hard landing var mindre enn det som var beskrevet i den opprinnelige risikovurderingen. Dette førte til en

² NH90 – Testplan – Establishment of SHOLs on board HNoMS Thor Heyerdahl and CGV Svalbard. NH90-2018-TP-001, Issue No: 001, dated 2018-01-15

endring i den reviderte risikovurderingen som ble utarbeidet før man fortsatte kampanjen med et annet helikopter.

2.6 Tekniske undersøkelser

2.6.1 Registrerte data i GLIMS (Ground Logistic Management Information System)

Under den kritiske landingen registrerte helikopterets systemer –1,64 G og en vertikal landingshastighet (gjennomsynk) på 2,5 m/s (492 f/s) da venstre understell traff skipsdekket. Dette er over terskelverdiene for *hard landing*, og utløste derfor et varsel om *hard landing* i GLIMS. Da høyre understell traff dekket like etterpå, var helikopterets gjennomsynk mindre. Det var imidlertid ingen sensorer som målte den vertikale hastigheten på selve understellet. Denne hastigheten må ha vært høyere enn helikopterets vertikale hastighet, på grunn av en roll-bevegelse mot høyre om longitudinalaksen.

At høyre understell kollapset, indikerer at det ble utsatt for krefter som i en *emergency landing*. Misforholdet mellom de registrerte dataverdiene og den observerte kollapsen, er en av årsakene til at havarikommisjonen valgte å se nærmere på hendelsen.

2.6.2 Undersøkelse av NH90 #1352 på Kjevik 2.-3. mai 2018

Etter hendelsen sto helikopteret på *deep freeze* på Kjevik til havarikommisjonen kunne undersøke det 2.-3. mai.

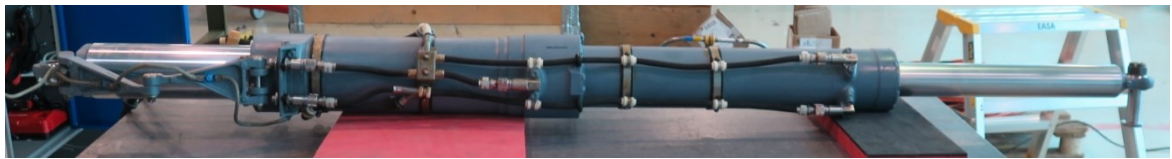
- Dekktrykk ble ikke målt ved demontering etter uhellet. Ved «Before Flight Inspection» som ble gjennomført før flyging 13. april, var dekktrykket imidlertid innenfor spesifikasjonene, og det foreligger ingen mistanke om at dekktrykket var en faktor.
- Ved demontering av det kollapsede understellet, var temperaturen 21,9 grader celsius.
- Nitrogentrykket i understellet ble målt til 7,54 Bar ubelastet (helikopteret jekket opp).
- Ved temperatur 21,9°C skal trykket være $8,68 \pm 0,1$ Bar, ved ubelastet understell, iht pkt 4.8 i prosedyren i «Main Landing Gear (MLG) Retraction Actuator/Shock Absorber – Servicing»³.

En svakhet ved nitrogentrykkmålingen var at den ble foretatt med utstyr som ikke var i henhold til produsentens krav. Det ble benyttet måler med slange, ikke metallrør. Ved ubelastet understell har dog det økte volumet svært liten påvirkning på målingen, og måling med korrekt utstyr ville etter all sannsynlighet ikke ha endret konklusjonen.

Målingen er også gjennomført tre uker etter hendelsen. Den siste loggførte kontrollen av gasstrykket på understellet var en måned før hendelsen, 12. februar 2018. Gasstrykket var da 76 bar (belastet) ved 20°C og slaglengde på 212 mm.

³ JA-A-32-11-01-00B-200C-A (issue date 2017-04-10)

Dette er innenfor toleransen iht prosedyren «Main Landing Gear (MLG) retraction actuator/shock absorber – Serviceable check»⁴. Neste påkrevde kontroll var 90 dager etter dette.



Figur 2. MLG SP 6010 etter utmontering. Foto: SHF

2.6.3 Undersøkelse av RH MLG snr. SP6010, ved Fokker Landing Gear B.V.

Det skadde understellet ble 25. juni 2018 undersøkt hos produsenten, Fokker Landing Gear B.V. i Nederland. Representanter fra SHF og FMA/Luftkap var tilstede under denne undersøkelsen. Undersøkelsen ga ikke svar på hvorfor kollapsen skjedde, men bekreftet at brytebolter var brukket, slik de skal når vertikal hastighet (v_z) i landingsøyeblikket overstiger 4 m/s. Det ble ikke funnet skader på tetninger eller andre svakheter som kunne forklare nitrogenlekkasje. Det ble heller ikke funnet andre material- eller konstruksjonsfeil ved understellet.

2.6.4 Undersøkelse av komponenter, ved FOLAT

Seks av de ti bryteboltene ble undersøkt ved Forsvarets Laboratorietjenester (FOLAT) i etterkant av ulykken. Det ble ikke funnet indikasjoner på materialtretthet eller andre avvik.

2.6.5 Undersøkelse av ferdssdata, ved Airbus Helicopters, Tyskland

Data fra ferdsskriveren (FDR) ble undersøkt av leverandøren av avionikkomponentene til NH90. Konklusjonen fra Airbus var at data fra FDR tilsier at landingen ikke var så hard at understellet skulle kollapse; landingen var innenfor det som betegnes *normal landing*. Av de syv landingene som var registrert den 13. april, var det ingen som var utenfor parameterne for *normal landing*. Selv om understellet kollapse på den sjette landingen, viser Airbus sin analyse at den fjerde landingen denne dagen var den hardeste - med -1,664 G. Maksimal G-belastning for *normal landing* er -2,5 G og for *hard landing* -4 G, jf. kap. 2.1.1.1. Lagringsfrekvens på FDR kan ha betydning for presisjonen til utregningene fra Airbus, jf. kapittel 3.

2.6.6 Undersøkelse av registrerte data, ved Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI)

Data fra Flight Data Recorder samt data fra NLR sine testinstrumenter, er blitt analysert av FFI. Dataene fra testinstrumenteringen har til dels vesentlig høyere lagringsfrekvens enn det FDR-data har og gir derfor et bedre analysegrunnlag enn kun FDR-data, som var det Airbus Helicopters hadde tilgjengelig.

Beregningene fra FFI estimerer at relativ vertikal hastighet (v_z) for nedslaget til høyre understell, var mellom 3,1 og 4,6 m/s. Usikkerheten i disse beregningene

⁴ JA-A-32-11-01-00B-200A-A (issue date 2017-04-19)

er blant annet knyttet til skipsdekkets bevegelser. Data om skipets bevegelse ble ikke lagret i den aktuelle perioden, pga tekniske forhold ved skipets systemer, så det har vært nødvendig å ekstrapolere skipets bevegelser basert på data registrert av helikopterets sensorer i etterkant av landingen.

2.7 Tidligere relevante ulykker

9. oktober 2006 kollapset høyre MLG på NH-90 HITN 01 under landing på den tyske fregatten Hessen.

Hendelsen og den etterfølgende undersøkelsen, førte til at hovedunderstell til bruk på maritime NH90, ble redesignet for å øke robustheten.

Begge hovedunderstellene på NH90 #1352 var av den oppgraderte, mer robuste versjonen.

2.8 Handlinger og tiltak etter hendelsen

Kort tid etter at understellet kollapset, sørget det hydrauliske trykket i helikopterets systemer for at det strekte seg igjen til normal lengde. Dette er slik systemet skal fungere etter denne type kollaps. Fra dette punktet var det nødvendig å opprettholde det hydrauliske trykket for å forhindre at høyre understell skulle synke sammen igjen. Pilotene holdt derfor motorene i gang mens de undersøkte og evaluerte hva som hadde skjedd og hvordan de skulle handle videre.

Helikopteret befant seg innenfor rekkevidde av Kjevik, der Luftforsvarets Skolesenter (LSK) er lokalisert. Å fly til Kjevik fremsto derfor som det beste handlingsalternativet, da fregatten manglet fasiliteter for å parkere og jekke opp helikopteret med motoren i gang. Personell fra LSK ble varslet om hendelsen og gjorde de nødvendige forberedelser for å ta imot det skadde helikopteret.

Flytur og landing på Kjevik, gikk problemfritt. Helikopteret takset til LSK, hvor man tok imot helikopteret og fikk buksert det inn i hangar og satt det på jekk. Før strømmen ble frakoblet, fotograferte personellet fra LSK helikopterets instrumenter og displayer.



Figur 3. Helikopteret på jekk etter ankomst Kjevik. Foto: LSK 13.4.18

Helikopteret ble ikke satt i drift igjen før det skadde understellet var avmontert og erstattet med et nytt.

2.9 Påfølgende erfaringer

Etter påfølgende flyging rapporterte flygeren at det nye landingsunderstellet oppførte seg unormalt etter landing. Systemteknikere målte da nitrogentrykket på det nye høyre landingsunderstellet. Trykket var 7,24 bar ubelastet ved 25°C. Ved denne temperaturen skal trykket ubelastet være 8,8 bar⁵.

Det lave trykket kan skyldes at det nye landingsunderstellet hadde vært lagret liggende og ikke i henhold til prosedyrene for langtidslagring⁶. Stående lagring forebygger deformering av innvendige tetninger, i motsetning til når det lagres liggende over tid. I prosedyren for langtidslagring er det en åpning for liggende lagring når stående lagring ikke er mulig, men i så fall skal understellet snus 180° hver sjette måned.

Understellet hadde vært lagret hos Forsvarets logistikkorganisasjon (FLO) på Bardufoss. FLO var ikke kjent med lagringsprosedyren og hadde ikke selv tilgang til denne.

⁵ JA-A-32-11-01-00B-200C-A Main Landing Gear (MLG) retraction actuator/shock absorber – Servicing, Issue date 2017-04-10, pkt 4.8, Table 2

⁶ JA-A-32-00-00-00B-800A-D Landing gear - Storage procedures and data (long term) Issue date 2014-12-02

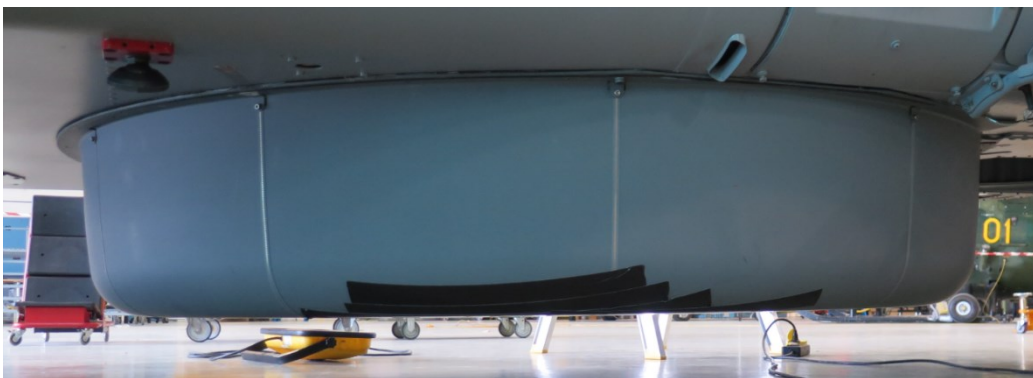
2.10 Skadebeskrivelser

I høyre MLG var det ingen skader ut over de komponentene som er ment å brytes ved en *emergency landing*.



Figur 4. De røde pilene peker på en av de avbrutte bryteboltene. Foto: Fokker LG

Radomen under helikopterets buk fikk overfladiske skader.



Figur 5. Radomen under helikopteret. Skadeområdet er dekket av tape. Foto: SHF

3. ANALYSE

3.1 Innledning

Analysen bygger på innsamlede tekniske data og dokumentasjon, undersøkelse av understell og komponenter, intervjuer og beregninger/analyser foretatt av eksterne.

Fokus for havarikommisjonens undersøkelse har vært å avklare hvorvidt understellet oppførte seg slik det skulle eller om det var svakheter ved understellet som kunne være relevante for andre helikoptre med samme type understell. Operative forhold, organisatoriske forhold og forhold knyttet til overlevering/anskaffelse av helikoptre, har i all hovedsak ikke blitt vurdert.

3.2 Hendelsen

3.2.1 Kraften i sammenstøtet

Da helikopteret landet på fregatten med en gjennomsnittshastighet på nesten 500 ft/sek, ble hvert enkelt understell utsatt for forskjellige belastninger. Venstre understell traff skipsdekket først, tett fulgt av det høyre. Det høyre spratt umiddelbart opp fra dekket igjen, og nesehjulet traff dekket mens høyre understell var i lufta. Da høyre hjul igjen traff dekket, hadde helikopteret en rotasjon (*roll*) om longitudinalaksen. Sammen med skipsdekkets nedgående bevegelse, medførte dette at høyre understell rakk å akselerere mer enn helikopterets senterpunkt, før det traff dekket. Denne akselerasjonen ble ytterligere forsterket av at helikopterets kollektiv ble ført fra ca 0 % pitch da høyre understell traff skipsdekket første gang, til ca -40 % pitch ved det endelige sammenstøtet. Negativ pitch etter landing bidrar til å presse helikopteret ned mot dekket, men når helikopteret ikke har alle understell på skipsdekket, bidrar negativ pitch til aksellerasjon og kraft ned mot dekket.

Analysene fra FFI estimerer at høyre understell traff skipsdekket med en vertikal hastighet (v_z) mellom 3,1 og 4,6 m/s da det kollapset. Hvis man utelukkende ser på hastigheten, tilsvarer dette en landing omkring grenseverdien for *emergency landing* (v_z 4 m/s). Det er imidlertid usikkerheter knyttet både til hastigheten og til relevansen av grenseverdien i dette tilfellet.

Som nevnt ble ikke data om skipets bevegelse lagret i den aktuelle perioden, så det har vært nødvendig å ekstrapolere skipets bevegelser fra data registrert i helikopterets systemer i etterkant av landingen. Det er klart at skipsdekket på høyre side beveget seg nedover i den fasen da høyre understell kollapset, men usikkerhet omkring hvor hurtig bevegelsen var og hvor i bevegelsen dekket var da understellet traff. Dette bidrar til at man ikke kan si sikkert hvilken hastighet understellet hadde i sammenstøtet, relativt til skipsdekket.

Det har heller ikke vært mulig å bestemme hvor mye av helikopterets vekt som belastet høyre understell da det traff skipsdekket. Begge de andre understellene bar allerede noe av helikopterets vekt, men samtidig var dekket lavere på høyre side, slik at høyre understell kan ha måttet bære en uproporsjonalt stor del av vekten. Selv om hastigheten i nedslaget gir en indikasjon på belastningen, har

det ikke vært mulig å fastslå hvor stor bevegelsesmengde understellet måtte absorbere eller hvor mange G det ble utsatt for.

Airbus har ikke funnet G-verdier lavere enn -1,664 G for den aktuelle dagen, og denne verdien inntraff på en tidligere landing enn hendelsen. Det er imidlertid flere grunner til at resultatene fra Airbus ikke gir grunnlag for å utelukke at høyre landingsunderstell ble utsatt for krefter tilsvarende en landing over 4 m/s (eller større negativ G enn -4):

- FDR-analysen fra Airbus viser ikke belastning for hvert enkelt understell. Som nevnt er det svært sannsynlig at belastningen var forskjellig for hvert av de tre understellene. En beregning som viser hvilken kraft helikopteret var utsatt for som helhet, forteller nødvendigvis ikke hvilken belastning hvert av de tre landingsunderstellene var utsatt for.
- FDR registrerer G-belastningen hvert 125 ms. G-belastningen kan dermed ha vært større mellom de registrerte målepunktene. Dette ble underbygget av de mer høyoppløste dataene fra test flight-instrumenteringen.

Undersøkelsen har ikke gitt noe grunnlag for å si at det første sammenstøtet kan ha redusert det høyre understellets evne til å absorbere kreftene i det endelige sammenstøtet. Ingen tekniske funn tilsier at komponenter i understellet var svekket eller at hjulleggen kan ha forblitt delvis komprimert fra første til andre nedslag. (Ref. neste avsnitt.)

3.2.2 Understellets beskaffenhet

Komponentene i understellet har vært gjenstand for undersøkelser hos Fokker LG og FOLAT. Det ble ikke gjort tekniske funn som indikerer at det var material- eller konstruksjonsfeil ved understellet.

Ved demontering av understellet 2. mai 2018 ble nitrogentrykket i ubelastet demper målt til 7,54 bar ved 21,9°C. Dette er lavere enn produsentens spesifikasjoner, omkring 1,1 bar under kravet. Dersom trykket var tilsvarende lavt ved den aktuelle landingen, har det redusert understellets evne til å absorbere energi i nedslaget. I så fall kan bryteboltene ha gitt etter ved en lavere belastning enn den produsenten har spesifisert. Undersøkelsen har imidlertid ikke klart å avdekke hvorfor nitrogentrykket i demperen var lavt eller hva trykket var da hendelsen skjedde. Det ble ikke påvist nitrogenlekkasjer i forbindelse med undersøkelsen hos Fokker LG 12. juni 2018. Det vurderes som lite sannsynlig at nitrogen har lekket ut i perioden fra hendelsen til undersøkelse på Kjevik, blant annet fordi helikopteret i denne perioden var jekket opp, og understellet var ubelastet. Basert på dette, er det grunn til å anta at trykket allerede var lavt da understellet kollapset.

Havarikommisjonen har ikke tallfestet hvordan redusert gasstrykk virker inn på understellets evne til å tåle harde landinger, men konstaterer at evnen vil ha vært noe redusert. Det er ingenting som tilsier at svakheter ved design, konstruksjon eller materialer bidro til hendelsen.

3.2.3 Konklusjon

Høyre understell kollapset slik det er konstruert for å gjøre dersom helikopteret lander med vertikal hastighet over 4 m/s (*emergency landing*). Undersøkelsen har ikke klart å fastslå hvorvidt understellet i nedslaget var utsatt for krefter som tilsvarer en slik landing, men har sannsynliggjort at belastningen var i nærheten av et slikt nivå. Samtidig er det sannsynlig at nitrogentrykket i understellets støtdemper var lavere enn spesifisert trykk og at dette reduserte understellets evne til å absorbere kreftene i nedslaget.

Det er ikke mulig å konkludere hvorvidt nedslaget alene var tilstrekkelig til at understellet ville kollapset uavhengig av nitrogentrykket, eller om det var kombinasjonen av et hardt nedslag og et lavt nitrogentrykk som gjorde at understellet kollapset.

3.3 **Kvalitet på data som lagres i helikopterets Flight Data Recorder**

Ferdsskrivere lagrer kontinuerlig forskjellige parametere ved et luftfartøy. Ved å analysere de data som lagres før og under en hendelse, får man ofte uvurderlig informasjon om hvordan hendelsen oppsto og utviklet seg. I dette tilfellet fungerte datalagringsenheten som forutsatt, og det var uproblematisk å sikre registrerte data. For å laste ned og analysere dataene, var det imidlertid nødvendig å sende dette til produsenten av FDR, Airbus Helicopters.

Airbus Helicopters' analyse indikerer at landingen var innenfor de grenseverdier som er satt og at landingen ikke skulle ha resultert i kollaps. Dette står i kontrast til funn gjort ved undersøkelse av understellet; her er det ikke funnet feil som kan forklare hendelsen dersom Airbus' analyse er tilstrekkelig. Det er imidlertid klart at ekstremverdiene har falt mellom to registreringspunkter på FDR.

Flight Test-instrumenteringen, som var installert fordi man drev med uttesting av SHOLs da hendelsen skjedde, ga bedre data til analyse enn FDR. Disse dataene gjorde det mulig å gjennomføre mer nøyaktige beregninger som viser at nedslaget *kan* ha vært så hardt at understellet skulle kollapse. Også her er imidlertid begrensningene i datagrunnlaget så betydelige at man ikke kan konkludere med sikkerhet.

Havarikommisjonen ser at en høyere frekvens på lagringen av data på FDR, kan gi mer pålitelige svar i en tilsvarende undersøkelse der flight test data ikke er tilgjengelig. Kapasiteten til å registrere ferdsdata (flight data) vil alltid tilsi et kompromiss mellom antall sensorer, antall parametere som lagres og oppdateringsfrekvensen for den enkelte parameter. Denne undersøkelsen har vist at en lav lagringsfrekvens kan hindre riktig forståelse av en hendelse eller også underbygge et feilaktig bilde. Dette kan igjen føre til manglende eller feil læring etter fremtidige hendelser. Havarikommisjonen har ikke gjort en vurdering av hvor realistisk det er å øke frekvensen på dataregistrering med tilgjengelig teknologi og utstyr.

3.4 Andre funn

3.4.1 Trykkmåling

Et landingsunderstell til NH90 er avhengig av å være innenfor produsentens spesifikasjoner for å fungere optimalt ved harde landinger. Derfor er det krav fra produsenten til blant annet lagring, ettersyn, fyllingsmengde av olje og nitrogengass, samt til de verktøy man benytter ved utførelse av arbeid.

Ved demonteringen av høyre understell etter hendelsen, ble gasstrykket målt med et instrument som ikke tilfredsstiller de krav produsenten har satt til instrumenttilkoblingen. I *Main Landing Gear Retraction Actuator Shock Absorber – Servicable Check*⁷ beskrives prosedyren for kontroll av landingsunderstellet. I note til pkt 1 i prosedyren står det skrevet:

” Make sure to connect the digital pressure gauge, the inflating connector and the hydraulic coupling adaptor. Do not use tube or hose»



Figur 6. Trykkmåling foretatt med slangetilkobling til instrument 2. mai 18.



Figur 7. Instrumentet Fokker LG benyttet under undersøkelsen av MLG SP6010.

Havarikommisjonen konstaterer at produsentens krav i dette tilfellet ikke ble fulgt. Avviket ved målingen utført etter hendelsen, av et ubelastet understell, var uansett så stort at det ikke er sannsynlig at det skyldes måletekniske forhold.

Luftforsvaret har opplyst at man benytter måleinstrument med lang slange når man fyller nitrogen, mens man ved kontroll benytter et instrument med svært kort slange. Bruk av en kort slange er også i strid med produsentens føringer, men havarikommisjonen kan ikke si at dette har noen betydning for vedlikehold eller sikkerhet.

⁷ JA-A-32-11-01-00B 200A-A (issue date 2017-04-19)

3.4.2 Langtidslagring

Etter hendelsen ble det skadete understellet erstattet med et understell som kom fra langtidslagring. Helikopteret sto deretter i ro i flere dager før det ble fløyet. Ved den etterfølgende landingen rapporterte piloten at understellet oppførte seg unormalt. Ettersyn viste at det var for lite nitrogen i også denne støtdemperen. Erstatningsunderstellet har etter de opplysninger havarikommisjonen har innhentet, blitt lagret liggende over lang tid. I produsentens prosedyre for langtidslagring⁸, anbefales stående lagring for å unngå at innvendige tetninger deformeres. Liggende lagring over lang tid kan ha ført til deformerte og utette tetninger i det nylig innmonterte understellet.

⁸ JA-A-32-00-00-00B-800A-D (issue date 2014-12-02)

4. KONKLUSJON

Undersøkelsen har forsøkt å klarlegge hvorvidt helikopterets høyre understell traff skipsdekket med så mye energi at bryteboltene i understellet skulle gi etter. Spørsmålet er med andre ord om understellet oppførte seg i henhold til spesifikasjonene, og hvis så ikke var tilfelle, hva dette skyldtes.

Det har ikke vært mulig å fastslå med sikkerhet hvilken belastning understellet var utsatt for i den aktuelle landingen. Flere faktorer, som skipets bevegelser samt hvor mye av helikopterets masse som hvilte på de to andre understellene, har bidratt til usikkerhet i beregningene. I tillegg til initiell gjennomsynk og skipets bevegelser, har bruk av negativ pitch på kollektiven mens helikopteret ikke hadde alle hjul på dekket, bidratt til å øke belastningen høyre understell ble utsatt for i det kritiske sammenstøtet. Selv om helikopteret var utstyrt med flere sensorer enn normalt, har det ikke vært tilstrekkelige data tilgjengelig til å kompensere for usikkerhetsmomentene. Havarikommisjonen er derfor begrenset til følgende konklusjoner:

- Understellet reagerte slik det skal når kreftene i nedslaget tilsvarer en vertikal landingshastighet (v_z) høyere enn 4 m/s.
- Kreftene som virket på understellet, kan ha vært så store at det tilsvarer en landing med v_z høyere enn 4 m/s.
- Dersom understellet kollapset til tross for at kreftene *ikke* tilsvarer en så høy v_z , skyldtes det mest sannsynlig at nitrogentrykket i støtdemperen var lavere enn det trykk produsenten spesifiserer og at dette reduserte understellets evne til å absorbere kreftene i nedslaget.
- Det er ikke avdekket material- eller konstruksjonsfeil på understellet.

Det har ikke vært mulig å fastslå årsaken til at understellet trolig hadde en lavere enn foreskrevet nitrogenmengde i støtdemperen ved hendelsen. Undersøkelsen har imidlertid avdekket to avvik i ettersyn og lagring av understell til NH90:

- Understell til NH90 har i Norge ikke vært langtidslagret etter produsentens beskrevne prosedyre. De lagringsprosedyrene som har vært brukt, kan medføre at innvendige tetninger deformeres. Dette kan føre til lekkasjer etter at understellet tas i bruk.
- Etter hendelsen ble nitrogentrykket i understellets støtdemper målt med et instrument som ikke tilfredsstiller produsentens krav. I stedet for en kort tilkobling i metall, ble en lenger tilkobling med gummislange benyttet. Luftforsvaret har svart ut at denne målingen var et unntak og at det aktuelle instrumentet normalt kun brukes for å fylle nitrogen.

Disse forholdene har ikke medvirket til hendelsen. Understellet som kollapset hadde ikke vært langtidslagret i Norge.

5. SIKKERHETSPROBLEMER

Hensikten med havarikommisjonens arbeid er å bidra til økt sikkerhet i Forsvaret gjennom å undersøke og analysere hendelser og ulykker, identifisere sikkerhetsproblemer og gi tilrådinger der det er hensiktsmessig.

Sikkerhetsproblemer trenger ikke å ha hatt direkte betydning for hendelsen, men er forhold som anses å ha potensial til å påvirke sikkerheten negativt i fremtidige operasjoner. Et sikkerhetsproblem er karakteristisk for en organisasjon eller et system, ikke bare for et bestemt individ eller miljø på et gitt tidspunkt.

5.1 Prosedyrer for lagring

Undersøkelsen har vist avvik fra produsentens retningslinjer når det gjelder lagring av understell til NH90. Slike avvik kan medføre både forutsigbare og uforutsette trusler mot flysikkerheten.

6. SIKKERHETSTILRÅDINGER OG TILTAK

Undersøkelsen har avdekket ett område der havarikommisjonen anser det hensiktsmessig å fremme en sikkerhetstilråding som antas å kunne bidra til økt sikkerhet i Forsvaret.

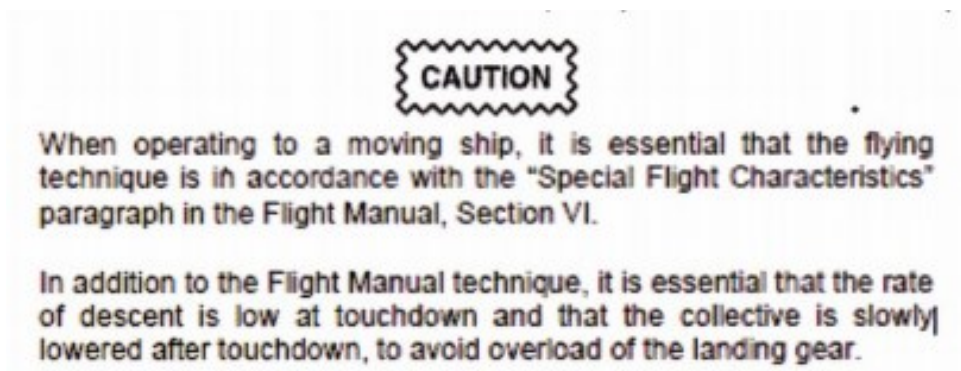
6.1 Sikkerhetstilråding SHF/2020/09 (jf. 5.1)

Da NH90 #1352 landet på fregatt 13. april 2018, var nitrogentrykket i det høyre understellet sannsynligvis for lavt. Dette reduserte i så fall understellets evne til å håndtere harde landinger og kan ha medvirket til at understellet kollapset ved landing. Understellet som ble montert inn etter hendelsen, viste seg også å ha for lavt nitrogentrykk etter landing.

SHF tilrår at sjef FMA/Luftkapasiteter gjennomgår og kvalitetssikrer relevante prosedyrer, rutiner, krav og opplæring som gjelder lagring, vedlikehold og ettersyn av understell til NH90.

6.2 Iverksatte tiltak

FMA/luftkap har utgitt en «CAUTION» i det operasjonelle supplementet til flyets håndbøker. Der advares flybesetninger om faren for høy belastning på understellet ved landing på et skip i bevegelse. Spesielt legges det vekt på betydningen av å holde lav vertikal hastighet og at kollektiven senkes rolig etter landing. «Advarselen» lyder som følger:



FMA har i etterkant av hendelsen fastsatt og publisert SHOLs for NH90-operasjoner på Nansen-klasse fregatter. Etter disse begrensningene vil testpunktet (kombinasjonen av værforhold, helikopterets vekt, etc) som medførte understellskollapsen, være utenfor tillatte grenseverdier.

Statens havarikommisjon for Forsvaret
Oslo, 29. juni 2020