

RAPORT KOŃCOWY



POWAŻNY INCYDENT 2022/4594

Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych (PKBWL)

UL. NOWY ŚWIAT 6/12, 00-497 WARSZAWA
TELEFON ALARMOWY (ZGŁASZANIE ZDARZEŃ) (+48) 500 233 233

RAPORT KOŃCOWY

Poważny Incydent

NR ZDARZENIA – 2022/4594

STATEK POWIETRZNY – Boeing B-737/800-83N, SP-ENU

DATA I MIEJSCE ZDARZENIA – 15 sierpnia 2022 r., EPGD



Niniejszy Raport jest dokumentem prezentującym stanowisko Państwowej Komisji Badania Wypadków Lotniczych dotyczące okoliczności zdarzenia lotniczego, jego przyczyn i zaleceń dotyczących bezpieczeństwa, który został sporządzony na podstawie informacji znanych w dniu jego sporządzenia.

Badanie może zostać wznowione w razie ujawnienia nowych informacji lub zastosowania nowych technik badawczych, które mogą mieć wpływ na zmianę sformułowań dotyczących przyczyn, okoliczności i zaleceń dotyczących bezpieczeństwa zawartych w Raporcie.

Badanie zdarzenia prowadzone było jedynie w celu zapobiegania wypadkom i incydentom w przyszłości w oparciu o obowiązujące przepisy prawa międzynarodowego, Unii Europejskiej i krajowego. Badanie zostało przeprowadzone bez stosowania prawnej procedury dowodowej, obowiązującej inne organy zobowiązane do podejmowania działań w związku ze zdarzeniem lotniczym.

Komisja nie orzeka co do winy i odpowiedzialności.

Zgodnie z art. 5 ust. 6 rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 996/2010 w sprawie badania wypadków i incydentów w lotnictwie cywilnym oraz zapobiegania im [...] oraz art. 134 ustawy Prawo lotnicze, sformułowania zawarte w Raporcie nie mogą być traktowane jako wskazanie winnych lub odpowiedzialnych za zaistniałe zdarzenie.

W związku z powyższym wykorzystywanie Raportu do celów innych niż zapobieganie wypadkom i incydentom lotniczym, może prowadzić do błędnych wniosków i interpretacji.

Raport został sporządzony w języku polskim. Inne wersje językowe mogą być sporządzane jedynie w celach informacyjnych.

WARSZAWA 2024

Spis treści

Spis treści	2
Skróty	3
Informacje ogólne	8
Streszczenie	9
1. INFORMACJE FAKTOGRAFICZNE	11
1.1. Historia lotu	11
1.2. Obrażenia osób	13
1.3. Uszkodzenia statku powietrznego	14
1.4. Inne uszkodzenia	19
1.5. Informacje o składzie osobowym (dane o załodze)	19
1.6. Informacje o statku powietrznym	19
1.7. Informacje meteorologiczne	22
1.8. Pomoce nawigacyjne	24
1.9. Łączność	25
1.10. Informacje o lotnisku	25
1.11. Rejestratory parametrów lotu	27
1.12. Informacje o szczątkach i zderzeniu	28
1.13. Informacje medyczne i patologiczne	28
1.14. Pożar	28
1.15. Czynniki przeżycia	28
1.16. Testy i badania	28
1.17. Informacje o organizacjach i zarządzaniu	29
1.18. Informacje uzupełniające	29
1.19. Przydatne lub skuteczne metody badania	29
2. ANALIZA	29
2.1 Informacje ogólne	29
2.2 Operacje lotnicze	29
3. WNIOSKI	59
3.1. Ustalenia	59
3.2. Przyczyny incydentu i okoliczności sprzyjające:	61
4. ZALECENIA	61

Skróty

Skrót	Znaczenie
ACARS	Lotniczy system adresowania i przekazywania wiadomości (ang. <i>Aircraft Communication Addressing and Reporting System</i>)
ACC	Centrum kontroli obszaru (ang. <i>Area Control Centre</i>)
ALTN	Lotnisko zapasowe (ang. <i>alternate airport</i>)
AMM	Podręcznik obsługi technicznej statku powietrznego (ang. <i>Aircraft Maintenance Manual</i>)
A/P	Autopilot
APP	Kontrola zbliżania (ang. <i>Approach Control</i>)
APU	Pomocniczy zespół zasilania (ang. <i>Auxiliary Power Unit</i>)
A/T	Automatyczna przepustnica (ang. <i>Auto-Throttle</i>)
ATC	Kontrola ruchu lotniczego (ang. <i>Air Traffic Control</i>)
ATIS	Służba automatycznej informacji lotniskowej (ang. <i>Automatic Terminal Information Service</i>)
ATM	ang. Assumed Temperature Method Metoda redukcji wymaganej mocy silnika do startu
ATOM	Rzeczywista masa startowa (ang. <i>Actual Take-Off Mass</i>)
ATS	Służby ruchu lotniczego (ang. <i>Air Traffic Services</i>)
BITE	Wbudowane urządzenie testujące (ang. <i>Built-In Test Equipment</i>)
BSI	Badanie boroskopowe silnika statku powietrznego (ang. <i>Aircraft Engine Borescope Inspection</i>)
CB	Chmura <i>Cumulonimbus</i>
CBZ/CRD	Centralna Baza Zgłoszeń/Central Reporting Database
CPT	Kapitan (ang. <i>captain</i>)
CRM	Zarządzanie zasobami załogi (ang. <i>Crew Resource Management</i>)
CSN	Liczba cykli od początku eksploatacji (dotyczy podzespołów silnika; ang. <i>Cycles Since New</i>)
CVR	Pokładowy rejestrator rozmów w kabinie pilotów (ang. <i>Cockpit Voice Recorder</i>)
EASA	Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego Unii Europejskiej (ang. <i>European Union Aviation Safety Agency</i>)
EFS	Wyłącznik przeciwpożarowy silnika (ang. <i>Engine Fire Switch</i>)
EEC	Elektroniczny kontroler sterowania silnikiem (ang. <i>Electro Engine Control</i>)

EGT	Temperatura gazów spalinowych (ang. <i>Exhaust Gas Temperature</i>)
EPGD	Port Lotniczy Gdańsk im. Lecha Wałęsy
EPPO	Port Lotniczy Poznań-Ławica
EPWA	Port Lotniczy im. Fryderyka Chopina w Warszawie
Eng.	Silnik (ang. <i>engine</i>)
ESN	Numer seryjny silnika (ang. <i>Engine Serial Number</i>)
ETA	Przewidywany czas przylotu (ang. <i>Estimated Time of Arrival</i>)
FADEC	Całkowicie autonomiczny system cyfrowego sterowania silnikami (ang. <i>Full Authority Digital Engine Control</i>)
FC	Cykle lotu (ang. <i>Flight Cycles</i>)
FDR	Rejestrator parametrów lotu (ang. <i>Flight Data Recorder</i>)
FL	Poziom lotu (ang. <i>Flight Level</i>)
FMV	Zawór dozujący paliwo (ang. <i>Fuel Metering Valve</i>)
FO	Pierwszy oficer (ang. <i>First Officer</i>)
Ft	Stopa (jednostka długości – 0,3048 m)
GCFV	Port Lotniczy Fuerteventura
HMU	Jednostka/komponent hydromechaniczny (ang. <i>Hydromechanical Unit</i>)
hPa	Hektopaskal (jednostka ciśnienia atmosferycznego)
HPTB	Łopatka turbiny wysokociśnieniowej (ang. <i>High Pressure Turbine Blade</i>)
HPT	Turbina dużej mocy (ang. <i>High Power Turbine</i>)
ICAO	Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ang. <i>International Civil Aviation Organization</i>)
IFSD	Wyłączenie silnika w locie (ang. <i>In-Flight Shut Down</i>)
IFR	Przepisy wykonywania lotów według wskazań przyrządów (ang. <i>Instrument Flight Rules</i>)
ILS	System lądowania według wskazań przyrządów (ang. <i>Instrument Landing System</i>)
kt	Węzeł (jednostka prędkości –1,852 km/h)
LCF	Zmęczenie niskocyklowe (ang. <i>Low Cycle Fatigue</i>)
LE	Krawędź natarcia (ang. <i>Leading Edge</i>)

LGSA	Port Lotniczy Chania
LMT	Czas lokalny (ang. <i>Local Mean Time</i>)
LPT	Turbina niskiego ciśnienia (ang. <i>Low Pressure Turbine</i>)
LVTO	Start przy ograniczonej widzialności (ang. <i>Low Visibility Take-Off</i>)
LW	Ciężar do lądowania (ang. <i>Landing Weight</i>)
MACTOW	Średnia cięciwa aerodynamiczna dla masy startowej (ang. <i>Mean Aerodynamic Chord for Take Off Weight</i>)
MAYDAY	Komunikat o bezpośrednim zagrożeniu używany w łączności radiotelefonicznej
MCD	Magnetyczny wykrywacz opiłków (ang. <i>Magnetic Chip Detector</i>)
MEL	Wykaz wyposażenia minimalnego (ang. <i>Minimum Equipment List</i>)
MTOM	Maksymalna masa startowa (ang. <i>Maximum Take-Off Mass</i>)
NIL	Brak
N1	Prędkość obrotowa wirnika niskiego ciśnienia
N2	Prędkość obrotowa wirnika wysokiego ciśnienia
NITS	Analiza - charakter, intencje, dostępny czas, instrukcje specjalne (ang. <i>Nature, Intentions, Time available, Special Instructions</i>)
NNC	Niestandardowa lista kontrolna (ang. <i>Non-Normal Check List</i>)
OAT	Temperatura powietrza na zewnątrz (ang. <i>Outside Air Temperature</i>)
OPF	Operacyjny plan lotu (ang. <i>Operational Flight Plan</i>)
OPC	Sprawdzian umiejętności u operatora (ang. <i>Operator Proficiency Check</i>)
ORO	Wymagania organizacyjne dla operacji lotniczych (ang. <i>Organisation Requirements for Air Operations</i>)
PAN PAN	Radiotelefoniczny sygnał naglący PAN PAN - możliwa potrzeba pomocy (ang. <i>Possible Attention Needed</i>)
PAŻP	Polska Agencja Żeglugi Powietrznej
PANS-ATM	Procedury służb żeglugi powietrznej – Zarządzanie ruchem lotniczym (ang. <i>Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management</i>)
PF	Pilot lecący (ang. <i>Pilot Flying</i>)
PIC	Dowódca statku powietrznego (ang. <i>Pilot-in-Command</i>)
PM	Pilot monitorujący (ang. <i>Pilot Monitoring</i>)
PN	Numer części (ang. <i>Part Number</i>)

PPH	Funty na godzinę (ang. <i>pounds per hour</i>)
PS3	Ciśnienie statyczne na wylocie ze sprężarki
PSI	Funty na cal kwadratowy (ang. <i>pounds per square inch</i>)
QNH	Nastawienie skali wysokościomierza na ciśnienie, przy którym wskaże on po wylądowaniu wysokość bezwzględną miejsca lądowania
RD	Dokument naprawy (ang. <i>Repair Document</i>)
RMK	Uwaga (ang. <i>remark</i>)
RRT	Zalecany czas usunięcia (ang. <i>Recommended Removal Time</i>)
RVR	Zasięg widzialności wzdłuż drogi startowej (ang. <i>Runway Visual Range</i>)
RWY	Droga startowa (ang. <i>runway</i>)
SAV	Zawór powietrza rozruchowego (ang. <i>Starter Air Valve</i>)
SB	Biuletyn bezpieczeństwa (ang. <i>Safety Bulletin</i>)
PKBWL	Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych
SMS	System zarządzania bezpieczeństwem (ang. <i>Safety Management System</i>)
SID	Standardowy odlot według wskazań przyrządów (ang. <i>Standard Instrument Departure</i>)
SOP	Standardowe procedury operacyjne (ang. <i>Standard Operating Procedures</i>)
STAR	Standardowy dolot według wskazań przyrządów (ang. <i>Standard Instrument Arrival</i>)
STD	Standardowy czas odlotu (ang. <i>Standard Time of Departure</i>)
TBC	Powłoki przeciwtermiczne (ang. <i>Thermal Barrier Coatings</i>)
TBV	Zawór upustowy (ang. <i>Transient Bleed Valve</i>)
TCU	Chmura kłębiasta wypiętrzona (ang. <i>Towering Cumulus</i>)
TDODAR	Procedura postępowania w sytuacji awaryjnej lub nietypowej - czas, diagnoza, opcje, decyzja, działanie, ocena (ang. <i>Time, Diagnose, Options, Decide, Act/Assign, Review</i>)
TRA	Kąt resolvera przepustnicy (ang. <i>Throttle Resolver Angle</i>)
TWR	Wieża kontroli lotniska (ang. <i>Tower</i>)
TSN	Czas pracy od początku eksploatacji (ang. <i>Time Since New</i>)
TSO	Czas od naprawy głównej (ang. <i>Time Since Overhauled</i>)
TWY	Droga kołowania (ang. <i>Taxiway</i>)

QAR	Rejestrator szybkiego dostępu (ang. <i>Quick Access Recorder</i>)
QEC	Szybka wymiana zespołu napędowego (ang. <i>Quick Engine Change</i>)
ULC	Urząd Lotnictwa Cywilnego (Polska)
UER	Nieplanowe wymontowanie silnika (ang. <i>Unscheduled Engine Removal</i>)
UTC	Uniwersalny czas skoordynowany (ang. <i>Coordinated Universal Time</i>)
WPS	Słowa na sekundę (prędkość zapisu; ang. <i>words per second</i>)

Informacje ogólne

Numer ewidencyjny zdarzenia:	2022/4594			
Rodzaj zdarzenia:	POWAŻNY INCYDENT			
Data zdarzenia:	15 sierpnia 2022 r.			
Miejsce zdarzenia:	EPGD, Polska			
Rodzaj, typ statku powietrznego:	Boeing B-737/800-83N			
Znaki rozpoznawcze statku powietrznego:	SP-ENU			
Użytkownik/Operator statku powietrznego:	EnterAir			
Dowódca statku powietrznego:	ATPL(A)			
Liczba ofiar/rodzaj obrażeń:	Śmiertelne	Poważne	Lekkie	Bez obrażeń
	-	-	-	177
Władze krajowe i zagraniczne poinformowane o zdarzeniu:	ULC, EASA, ICAO, NTSB			
Nadzorujący badanie:	Jakub Cichocki			
Podmiot badający:	Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych (PKBWL)			
Pełnomocni Przedstawiciele i ich doradcy:	NTSB (USA), NSIA (Norwegia)			
Dokument zawierający wyniki:	Raport Końcowy			
Zalecenia:	NIE			
Adresaci zaleceń:	-			
Data zakończenia badania:	24 czerwca 2024 r.			

Streszczenie

15 sierpnia 2022 r., po starcie z portu lotniczego EPGD, podczas wznoszenia na wysokości około FL 110 w statku powietrznym wystąpiła awaria silnika nr 2. Załoga lotnicza zgłosiła usterkę techniczną kontroli ruchu lotniczego (APP ATC) i jednocześnie rozpoczęła opracowanie usterki.

Z powodu niedogodnych warunków pogodowych i obecności chmur burzowych, załoga lotnicza była zmuszona do poszukania dogodnego miejsca w przestrzeni powietrznej. Załoga nadała komunikat PAN-PAN.

Załoga podjęła decyzję o kontynuowaniu lotu w strefie oczekiwania w pobliżu EPGD w celu zredukowania ilości paliwa, a tym samym masy samolotu. Po przeanalizowaniu warunków pogodowych w innych portach lotniczych, pogarszających się warunków pogodowych w EPGD, a także po uwzględnieniu sugestii Działu Operacyjnego operatora (OPS), piloci zdecydowali o zmianie kierunku lotu do EPWA. Załoga lotnicza nadała sygnał MAYDAY. Lot do EPWA przebiegł bez konsekwencji, a załoga lotnicza wykonała bezpieczne lądowanie przy asyście lotniskowych służb ratunkowych. Pasażerowie opuścili pokład według normalnych procedur przy użyciu schodów.

Po otrzymaniu raportu ze zdarzenia mającego wpływ na bezpieczeństwo lotu przez Biuro Bezpieczeństwa operatora, zdarzenie zgłoszono do CBZ. Zgłoszenie wpłynęło 16 sierpnia 2022 r. (o godz. 13:00 LMT¹).

Badanie zdarzenia przeprowadził Zespół Badawczy PKBWL w następującym składzie:

Jakub Cichocki	Nadzorujący badanie
Paweł Jajkowski	Członek zespołu

Po zakończeniu badania PKBWL ustaliła następujące przyczyny poważnego incydentu oraz czynniki sprzyjające jego zaistnieniu:

- 1) Przyczyną awarii silnika i związanych z nią uszkodzeń było pęknięcie łopatki głównej SNBWHN9B01.

Czynniki sprzyjające.

- 1) Na podstawie analizy raportu z badania boroskopowego z dnia 13 czerwca 2022 r., które było ostatnim badaniem BSI turbiny wysokiego ciśnienia (wykonanym po 234 cyklach) przed wystąpieniem IFSD, jest możliwym, iż w badaniu BSI łopatki głównej SNBWHN9B01 mógł zostać zastosowany niewłaściwy kąt widzenia, który jest zalecany przez producenta (uzasadnienie opisane w analizie).
- 2) Niewykonanie przez Operatora biuletynu bezpieczeństwa SB 72-0886 w odniesieniu do rekomendowanego skróconego odstępu między-przegładowego

¹ Czas lokalny.

(przy założeniu, że przedmiotowy silnik spełniał kryteria po-naprawcze dla silników użytkowanych w Indiach).

- 3) Brak przeprowadzonego rekomendowanego badania RD 150-1551. W oparciu o zapisy naprawcze z Zakładu nr 23 w Singapurze, zostało stwierdzone, iż nie przeprowadzono badania RD 150-1551. Według stanu z naprawy z 2013 roku zakład odpowiadający za naprawę główną łopatek turbiny wysokiego ciśnienia (Zakład nr 23 w Singapurze) udostępnił zapisy naprawcze dotyczące łopatek HPT 1957M10P01 zamontowanych w silniku 874306 (silnik który uległ awarii). Według zawartych danych, procesowi naprawy poddano kompletny zestaw 80 łopatek, z czego naprawionych zostało 25 łopatek, w tym główna oddzielona łopatka SN BWHN9B01. Pozostałe 55 łopatek zostały z różnych przyczyn zezłomowane. Wśród przyczyn zezłomowania łopatek nie podano wymogu spełnienia warunków dokumentu naprawy RD 150-1551.

W fazie przygotowania raportu operator został zapoznany z wynikami przeprowadzonego badania oraz potencjalnymi rekomendacjami. Do momentu zamknięcia prac nad raportem operator potwierdził wykonanie zaleceń i przesłał stosowne potwierdzenie.

PKBWL nie formułowała zaleceń dotyczący bezpieczeństwa.

1. INFORMACJE FAKTOGRAFICZNE

1.1. Historia lotu

Dnia 15 sierpnia 2022 r. - zgodnie z grafikiem, załozce przydzielono lot na trasie EPGD-GCFV. Standardowym czas odlotu (STD) godz. 14:35 UTC². Według planu, załoga miała operować z EPGD, spoza swojej bazy macierzystej (EPPO). Załoga odpoczywała w odpowiednich warunkach hotelowych. Nie zgłoszono żadnych zakłóceń okresu odpoczynku. Załoga zgłosiła się w porcie lotniczym punktualnie. Otrzymałszy informację, że samolot wylądjuje z niewielkim opóźnieniem z poprzedniego lotu, piloci niezwłocznie poszli do statku powietrznego. Piloci spotkali się z poprzednią załogą. Nie zgłoszono żadnych usterek lub kwestii technicznych. Piloci zdecydowali, że pilotem lejącym (PF) na pierwszym sektorze lotu z EPGD do GCFV będzie FO. Kapitan wykonał obchód techniczny samolotu (zgodnie z wymogami). Przeprowadzono standardowe przygotowanie do lotu.

Samolot odleciał z EPGD o godz. 14:59. Rozbieg, oderwanie od ziemi i wznoszenie przebiegły bez odchyień. Po odlocie z RWY 11, według SID: DEXIR 2B, załoga otrzymała zezwolenie na wznoszenie do FL280. Samolot odleciał w kierunku południowym. Podczas wznoszenia piloci zwrócili się do ATC o zgodę na odchylenie od standardowej trasy i lot z HDG 220°, w celu ominięcia wybudowanych chmur. Następnie załoga poprosiła o HDG 230° i kontynuowanie lotu przez następne 20NM. Na poziomie około FL110, załoga stwierdziła nienormalny hałas dochodzący z silnika nr 2 oraz niestabilne parametry pracy silnika. Kapitan zdecydował o przejściu kontroli nad samolotem i roli PF. FO przejął rolę pilota monitorującego (PM).

Załoga poprosiła ATC o wstrzymanie dalszego wznoszenia i utrzymanie FL120 w strefie oczekiwania. Załoga dokonała analizy sytuacji i stwierdziła, że samolot jest sterowny. Po przeanalizowaniu wskazań parametrów silnikowych, załoga zdecydowała się zabezpieczyć silnik nr 2 zgodnie z listą kontrolną NNC. 8.2. *Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation* i podjęła decyzje o jego ponownym jego uruchomieniu. Nie było oznak pożaru. Załoga wykonała procedurę restartu silnika w locie, która się nie powiodła. W związku z obecnością komórek burzowych w pobliżu lotniska, załoga zwróciła się do ATC o zmianę pozycji oczekiwania i stwierdziła, że z powodu problemu technicznego chce powrócić na lotnisko EPGD. Ze względu na zbyt dużą masę samolotu do lądowania, piloci zdecydowali, że pozostaną w powietrzu w celu wypaleniu części paliwa, a tym samym zmniejszeniu masy samolotu. Początkowo samolot wszedł w procedurę oczekiwania nad punktem nawigacyjnym GD704, a następnie, z powodu przesuwających się komórek burzowych, załoga poprosiła o zmianę pozycji oczekiwania nad punktem nawigacyjnym GD531 (który znajduje się około 20 NM na południe od EPGD). Z powodu dynamicznych warunków pogodowych załoga miała problem ze znalezieniem dogodnej pozycji do oczekiwania. Ostatecznie, piloci zdecydowali o locie w kierunku północno-wschodnim od EPGD, gdzie obszar przestrzeni powietrznej wyglądał na stosunkowo pozbawiony chmur burzowych. Lecąc w tym obszarze, samolot znajdował się około 10 NM od granicy z Rosją, co zostało zgłoszone załozce przez ATC.

² Wszystkie godziny w raporcie podano wg. czasu UTC. LMT= UTC + 2 h.

Na tym etapie lotu, załoga zgłosiła PAN-PAN oraz wykonała procedury NITS i TDODAR. Załoga po raz kolejny sprawdziła wskazania silnika nr 2 i zdecydowała o ponownym uruchomieniu go w locie. Ponownie bezskutecznie. Wobec pogorszenia się warunków pogodowych (WX) nad lotniskiem w EPGD, piloci poprosili o informację o aktualnych warunkach WX dla EPSC, EPSY, EPBY i EPWO. Dodatkowo, ATC poinformowała pilotów, iż kontrola ruchu lotniczego TWR na lotnisku w EPBY jest aktualnie niedostępna. Piloci poprosili o aktualne warunki pogodowe z lotniska EPPO. ATC przekazała informacje o chmurach CB nad portem lotniczym EPSY oraz warunkach CAVOK w EPPO. ATC poinformowała załogę, że ich Oficer Operacyjny (EnterAir) zasugerował zmianę kierunku lotu do EPWA. Piloci odpowiedzieli, że ich głównym planem (po wypaleniu pewnej ilości paliwa w celu zmniejszenia ciężaru do lądowania), jest lądowanie w EPGD



Rys. 1. Widok ogólny początkowej trasy lotu ENT 427UM.
Źródło: <https://www.radarbox.com/> [dostęp: 11.05.2023].

Ewentualnie, kolejną z opcji był lot do EPPO. Piloci poprosili o przekazanie tej wiadomości Oficerowi Operacyjnemu EnterAir. Następnie ATC poinformowała załogę, że Oficer Operacyjny poprosił, aby w przypadku zmiany decyzji załoga kontynuowała lot do EPWA. Piloci oświadczyli ATC, że po wypaleniu odpowiedniej ilości paliwa podejmą próbę lądowania w EPGD. Gdyby warunki pogodowe na to nie pozwalały, to zgodnie z prośbą Oficera Operacyjnego EnterAir wykonają lot do EPWA. Załoga odebrała najnowszy raport pogodowy dla EPWA, który wskazywał warunki CAVOK³. Dodatkowo, załoga poprosiła o aktualne warunki na trasie z EPGD do EPWA. ATC poinformowała o niewystępowaniu chmur CB między portami lotniczymi EPGD i EPWA. Jednocześnie ATC poinformowała pilotów, że załoga samolotu Wizzair wykonująca lot

³ **CAVOK** – Grupy Widzialność, Chmury i Pogoda są zastępowane terminem CAVOK (chmury i widzialność OK) w przypadku jednoczesnego spełnienia następujących warunków: widzialność wynosi 10 km lub więcej, brak chmur CB i TCU oraz brak chmur poniżej 5000 stóp lub minimalnej sektorowej wysokości bezwzględnej (MSA) (w zależności od tego, która z tych wartości jest większa), brak znaczących zjawisk pogodowych na lotnisku lub w jego pobliżu.

na samolocie A-320, która rozpoczęła podejście do EPGD do RWY 29 zgłosiła na wysokości 3000ft, tylny wiatr o prędkości do 28 kt. Wiatr zmieniał prędkość do 8-10 kt na 1000 ft, jednocześnie zmieniając kierunek na wiatr boczny (z prawej). Po krótkiej analizie piloci lotu ENT472UM zdecydowali o zmianie kierunku lotu do EPWA. Piloci poinformowali ATC o godz. 17:48 o tym, że z powodu lądowania z jednym niepracującym silnikiem i konfiguracji z klapami 15, ich ostatecznym wyborem do lądowania jest EPWA.

Piloci podjęli decyzję o wykonaniu lotu do EPWA na FL120. Utrzymując początkowo HDG 160°, załoga zdecydowała o zmianie statusu lotu i zgłosiła kontroli ruchu lotniczego: MAYDAY. ATC poprosiła pilotów o ustawienie kodu transpondera na: 7700. Odlatując z EPGD w kierunku południowym, załoga otrzymała zezwolenie na lot bezpośrednio do punktu nawigacyjnego: GOSIT, który to punkt znajduje się 9,8 NM od progu RWY 11 w EPWA. Lot do EPWA przebiegł bezproblemowo i bez jakichkolwiek następstw. Po zgłoszeniu się do APP EPWA, załoga otrzymała zezwolenie na początkowe zniżanie do FL100, a następnie dalsze zniżanie zgodnie ze standardowym profilem. Kapitan polecił personelowi pokładowemu przekazanie pasażerom pełnej instrukcji bezpieczeństwa na wypadek lądowania awaryjnego. Załoga obliczyła osiągi do lądowania na RWY11, dla konfiguracji samolotu z klapami 15 i z jednym niepracującym silnikiem. O godz. 18:34, załoga otrzymała zezwolenie na podejście do lądowania według ILS-Y do RWY11. Samolot bezpiecznie wylądował na lotnisku EPWA o godz. 18:37. Po wylądowaniu, samolot przejechał do stanowiska postojowego nr 25R.

1.2. obrażenia osób

Urazy	Załoga	Pasażerowie	Inne osoby	Razem
Śmiertelne	-	-	-	
Poważne	-	-	-	
Lekkie	-	-	-	
Brak	6	171	0	177

1.3. Uszkodzenia statku powietrznego

1. Silnik #2, łopatką HPT #80 złamana w ~15% długości, przy uszkodzeniach wielu łopatek HPT i osprzętu za nimi spowodowanych uwolnionymi szczątkami.



Rys. 2. Wyniki badania boroskopowego HPT. Silnik #2, łopatką HPT #80 złamana w ~15% długości, przy uszkodzeniach wielu łopatek HPT i osprzętu za nimi spowodowanych uwolnionymi szczątkami.

Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. Str. 4.

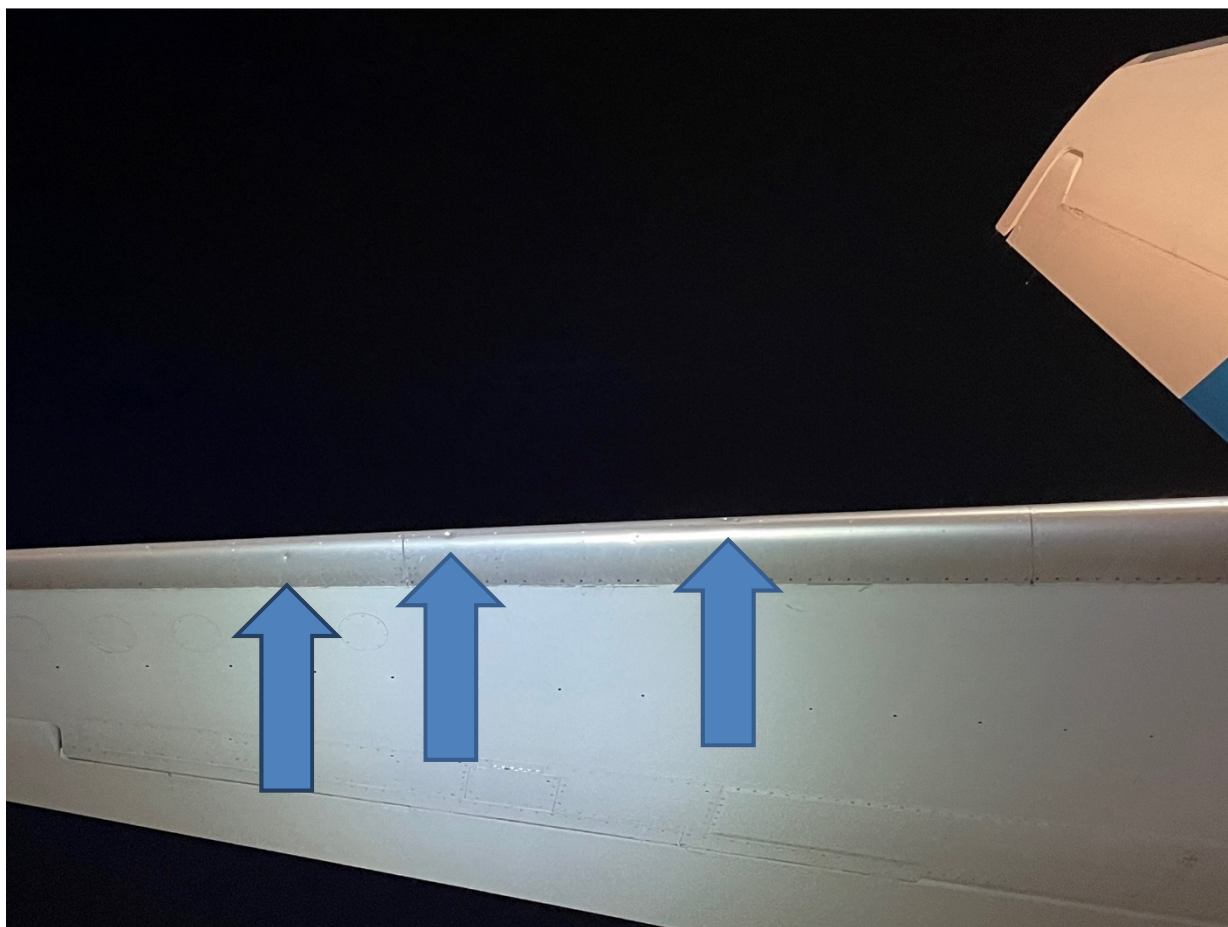




Rys. 3. Dwie fotografie uszkodzeń łopatek LPT stopnia 4 silnika #2 i osprzętu za nimi spowodowanych uwolnionymi szczątkami.

Źródło: Materiały operatora.

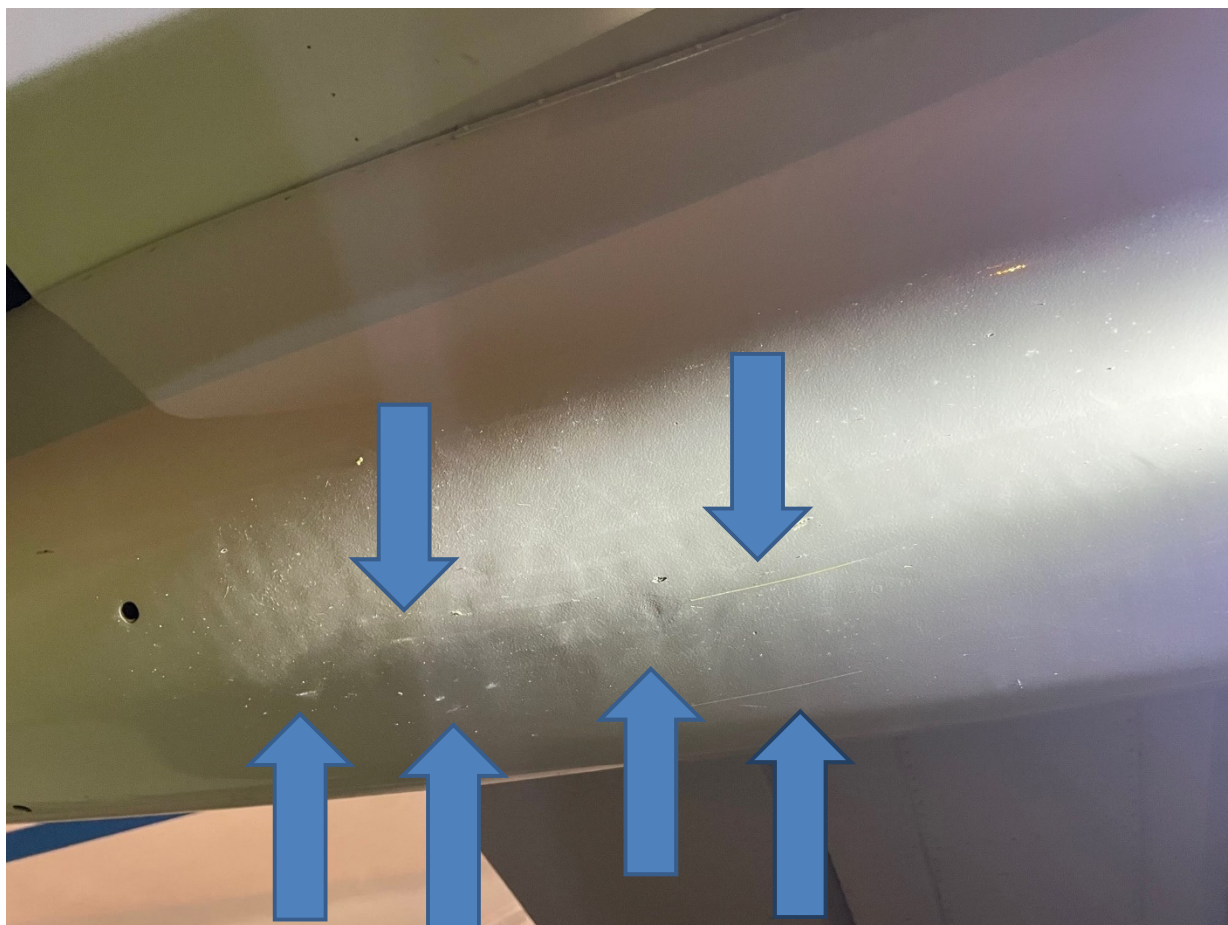
2. Wgniecenia po prawej stronie statecznika poziomego.



Rys. 4. Liczne wgniecenia po prawej stronie statecznika poziomego.

Źródło: Materiały operatora.

3. Zarysowania i wgniecenia po spodniej stronie oprofilowania wspornika kłapy na prawym skrzydle.



Rys. 5. Liczne zarysowania i wgniecenia po spodniej stronie oprofilowania wspornika kłapy na prawym skrzydle.

Źródło: Materiały operatora.

4. Wgniecenie i pęknięcie krawędzi natarcia po prawej stronie statecznika poziomego.



Rys. 6. Wgniecenie i pęknięcie krawędzi natarcia po prawej stronie statecznika poziomego.

Źródło: Materiały operatora.

1.4. Inne uszkodzenia

Brak.

1.5. Informacje o składzie osobowym (dane o załodze)

1.5.1. Kapitan (CPT)

Mężczyzna, wiek 47 lat, posiadacz:

- ATPL(A) z ważnymi uprawnienieniami do wykonywania lotów na samolocie Boeing B737 300-900;
- Orzeczenie lotniczo-lekarskie: Klasa 1, ważne – ograniczenia VDL (korekcja wady widzenia dali)⁴;
- Rola podczas lotu: Początkowo pilot monitorujący, następnie po awarii silnika: pilot lecący.

1.5.2. Pierwszy oficer (FO)

Mężczyzna, wiek 28 lat, posiadacz:

- ATPL(A) z ważnymi uprawnieniami do wykonywania lotów na samolocie B737 300-900;
- Orzeczenie lotniczo-lekarskie: Klasa 1, ważne – ograniczenia VDL (korekcja wady widzenia dali);
- Rola podczas lotu: Początkowo pilot lecący, następnie po awarii silnika: pilot monitorujący.

1.6. Informacje o statku powietrznym

1.6.1. Informacje ogólne.

B738 należy do rodziny statków powietrznych B737. Model 737-800 jest wydłużoną wersją 737-700, która zastąpiła 737-400.

Dane techniczne:

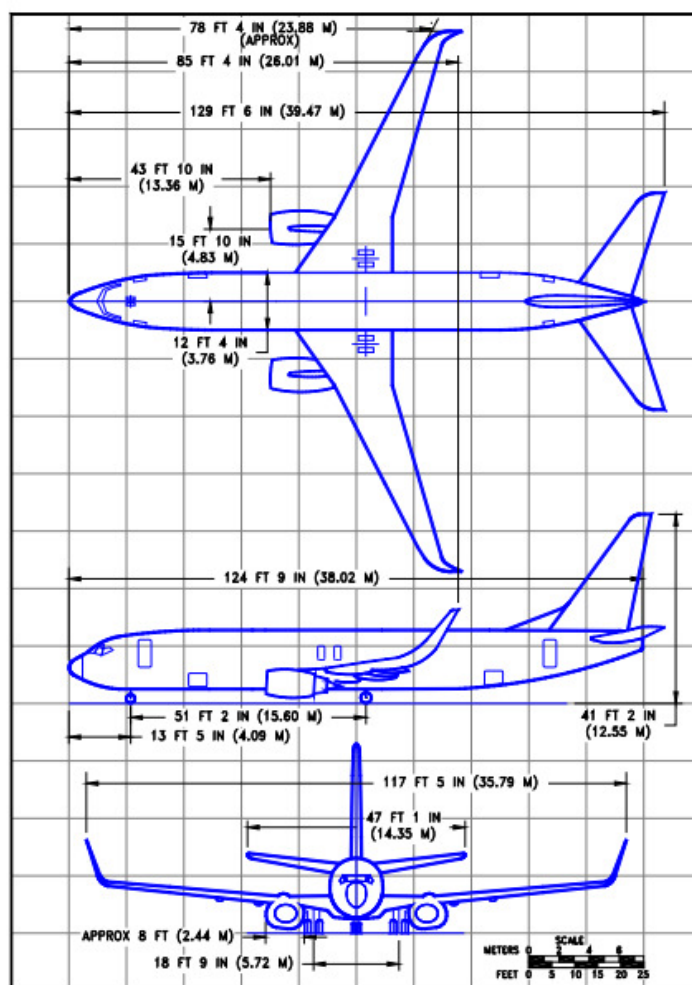
Rozpiętość skrzydeł (s. metryczny)	34,32 m
Długość (s. metryczny)	39,50 m
Wysokość (s. metryczny)	12,60 m

⁴ VDL Obowiązek noszenia szkieł korekcyjnych i posiadania okularów zapasowych. Korekcja widzenia dali podczas wykonywania czynności lotniczych wynikających z licencji powinna być spełniona poprzez noszenie okularów lub soczewek kontaktowych na zasadach wynikających z przeprowadzonego badania okulistycznego uznanego przez lekarza orzecznika medycyny lotniczej. Soczewki kontaktowe nie powinny być stosowane dopóki nie zostaną zaakceptowane przez lekarza orzecznika medycyny lotniczej. W przypadku stosowania soczewek pilot powinien posiadać zapasową parę okularów zaakceptowaną przez lekarza orzecznika medycyny lotniczej.



Rys. 7. Boeing 737-800 EnterAir, SP-ENU.

Źródło: <https://www.jetphotos.com/photo/8630848>



Rys. 8. Wymiary ogólne. Boeing 737-800 z wingletami.

Źródło: *737 Airplane Characteristics for Airport Planning. Boeing commercial airplanes. str. 39.*

Statek powietrzny:

Rok produkcji	Producent statku powietrznego	Numer seryjny	Znaki rejestracyjne	Numer rejestracyjny	Data rejestracji w Polsce
2001	Boeing Company	30 675	SP-ENU	4767	21 stycznia 2019 r.

Świadectwo techniczne ważne do: **15 maja 2023 r.**

Nalot płatowca od początku eksploatacji: **51 318,7 godzin.**

Liczba lotów od początku eksploatacji: **19 506 lotów.**

Nalot płatowca od ostatniej naprawy lub przeglądu: **Przegląd typu C (C-Check) 1081 godzin.**

Okres eksploatacji pozostały do następnej naprawy lub przeglądu: **4919 godzin/lub 3626 cykli lotu⁵ albo 20 miesięcy.**

Data wykonania ostatnich okresowych czynności przeglądowych: **Przegląd typu A (A-Check) 8 sierpnia 2022 r.**

- po nalocie całkowitym: **51 231,2 godzin.**

Wykonawca przeglądu: **Baza obsługi technicznej KTW.**

Następny przegląd okresowy:

- 48-godzinny: **pozostały 32 godziny.**
- Tygodniowy: **pozostały 2 dni.**

Silniki:

Silnik nr 1.

Rok produkcji	Producent silnika	Numer seryjny
1998	CFM	874539

Data zabudowania silnika **nr 1** na płatowcu: **9 lipca 2020 r.**

Maks. moc startowa: **117kN.**

Czas pracy silnika od początku eksploatacji: **69 557,5 godzin.**

Czas od ostatniej naprawy głównej: **13 816,6 godzin.**

Okres eksploatacji pozostały do następnej naprawy lub przeglądu: **6500 godzin.**

Data wykonania ostatniego okresowego przeglądu tygodniowego: **9 sierpnia 2022 r.**
po liczbie godzin pracy: **69 484,7 godzin.**

- **Następny okresowy przegląd tygodniowy: pozostały 2 dni.**

⁵ Cykl lotu: w przypadku statku powietrznego, cykl lotu oznacza ukończoną sekwencję startu i lądowania. Jako cykle lotu zaliczane są również tzw. konwojery.

Silnik nr 2.

Rok produkcji	Producent silnika	Numer seryjny
1998	CFM	874306

Data zabudowania silnika nr 2 na płatowcu: **9 października 2019 r.**

Maks. moc startowa: **117kN.**

Czas pracy silnika od początku eksploatacji: **59 223.6 godzin.**

Czas od ostatniej naprawy głównej: **4793 godzin.**

Okres eksploatacji pozostały do następnej naprawy lub przeglądu: **13 500 godzin.**

Data wykonania ostatniego okresowego przeglądu tygodniowego: **9 sierpnia 2022 r.**
po liczbie godzin pracy: **59 150.8 godzin.**

- **Następny okresowy przegląd tygodniowy: pozostały 2 dni.**

1.7. Informacje meteorologiczne

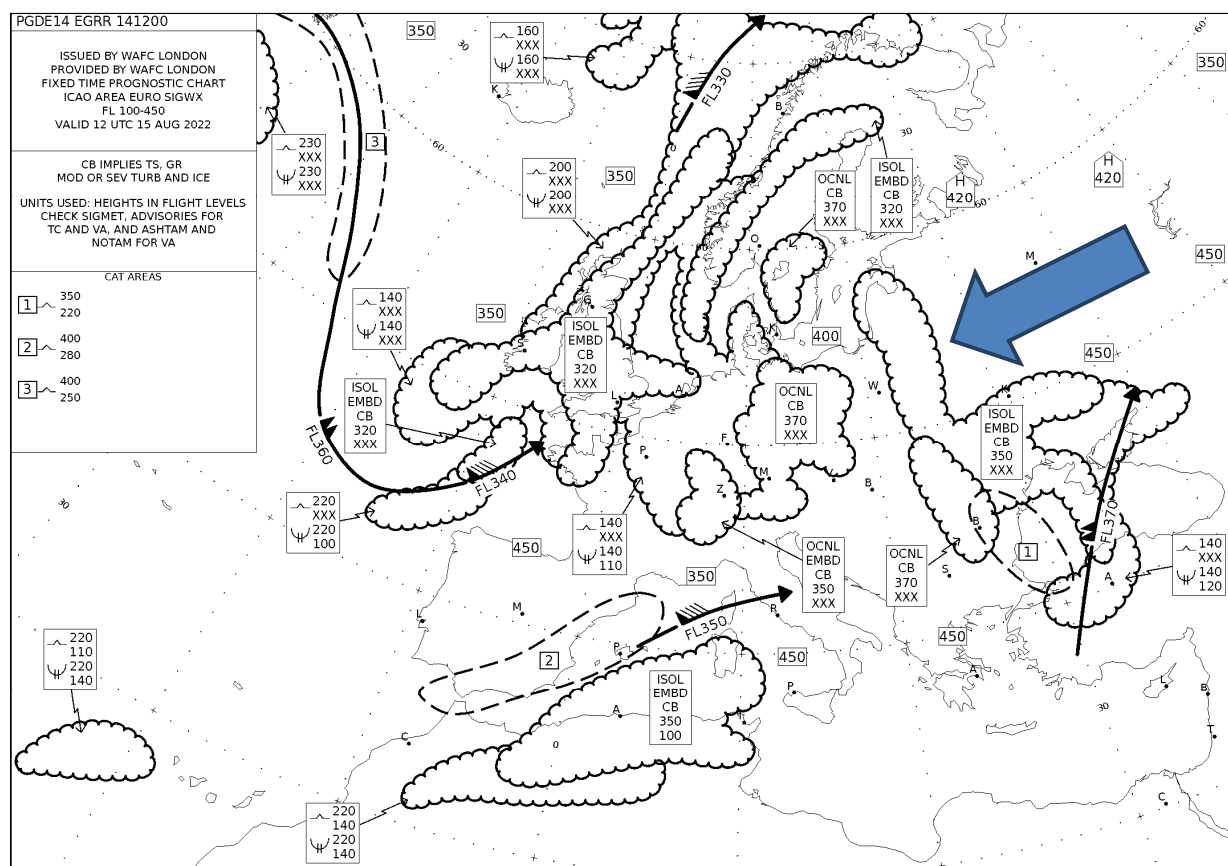
W dniu 15 sierpnia 2022 r. Polska znajdowała się pod wpływem pogody burzowej. O godz. 13:26, Biuro Meteorologiczne wydało dla Rejonu Informacji Powietrznej (FIR) Warszawa następującą informację SIGMET⁶ 1:

EPWW SIGMET 1 VALID 151330/151730 EPWA - EPWW WARSAW FIR FRQ TS OBS
WI N5420 E01855 - N5235 E01905 - N5210 E01645 - N5405 E01455 - N5450 E01820
- N5420 E01855 TOP FL390 MOV NW SLW NC=

Powyższe informacja SIGMET oznaczała, że w FIR Warszawa obserwowano częste burze na linii ze współrzędnymi: N5420 E01855 - N5235 E01905 - N5210 E01645 - N5405 E01455 - N5450 E01820 - N5420 E01855, z wierzchołkami chmur sięgającymi do FL390, przemieszczające się w kierunku północno-zachodnim. Opisane współrzędne linii burz pokrywają się z danymi zawartymi w prognozie istotnych zjawisk pogody (SIGWX) Światowego Ośrodka Prognoz Obszarowych (WAFIC)⁷ Mapa na godz. 12UTC, z 15 sierpnia 2022 r. (zob. niebieska strzałka na mapie poniżej).

⁶ Informacja **SIGMET** to informacja wydana przez meteorologiczne biuro nadzoru, dotycząca określonych zjawisk meteorologicznych występujących lub mogących wystąpić na określonej trasie, które mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo statków powietrznych. (Załącznik 3 ICAO: Meteorologia). SIGMET podaje zwięzły opis tych zjawisk tekstem otwartym, z użyciem obowiązujących skrótów. Przykłady zjawisk meteorologicznych, które mogą zostać opisane w informacji SIGMET: Burze z piorunami, cyklony (tropikalne burze wirowe), silne turbulencje, silne oblodzenie, silne fale górskie, burze pyłowe lub piaszkowe, pył wulkaniczny. Źródło: <https://www.skybrary.aero/articles/sigmet>, [dostęp: 01.06.2023].

⁷ WAFIC SIGWX - prognozy istotnych zjawisk pogody Światowego Ośrodka Prognoz Obszarowych są wydawane ze "stałym czasem obowiązywania". Zostało to określone w Załącznik 3 ICAO – Służba meteorologiczna dla międzynarodowej żeglugi powietrznej oraz dokumencie ICAO Doc 8896 – Podręcznik meteorologii lotniczej. Jednakże, jak zauważa ICAO w Doc 8896, prognozy WAFIC SIGWX są "przydatne" w okresie od 3 godzin przed do 3 godzin po podanym "ustalonym" czasie obowiązywania. Źródło: Guidelines for interpreting World Area Forecast Centre Significant Weather forecasts: <https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/services/transport/aviation/ga/sigwx-interpretation-guide.pdf>, [dostęp: 02.06.2023].



Rys. 9. WAFC SIGWX na godz. 12 UTC 15 sierpnia 2022 r.

Źródło: <https://awiacja.imgw.pl/sigmat/>

Aktualny komunikat METAR⁸ wydany o godz. 14:30 zawiera następujące dane:

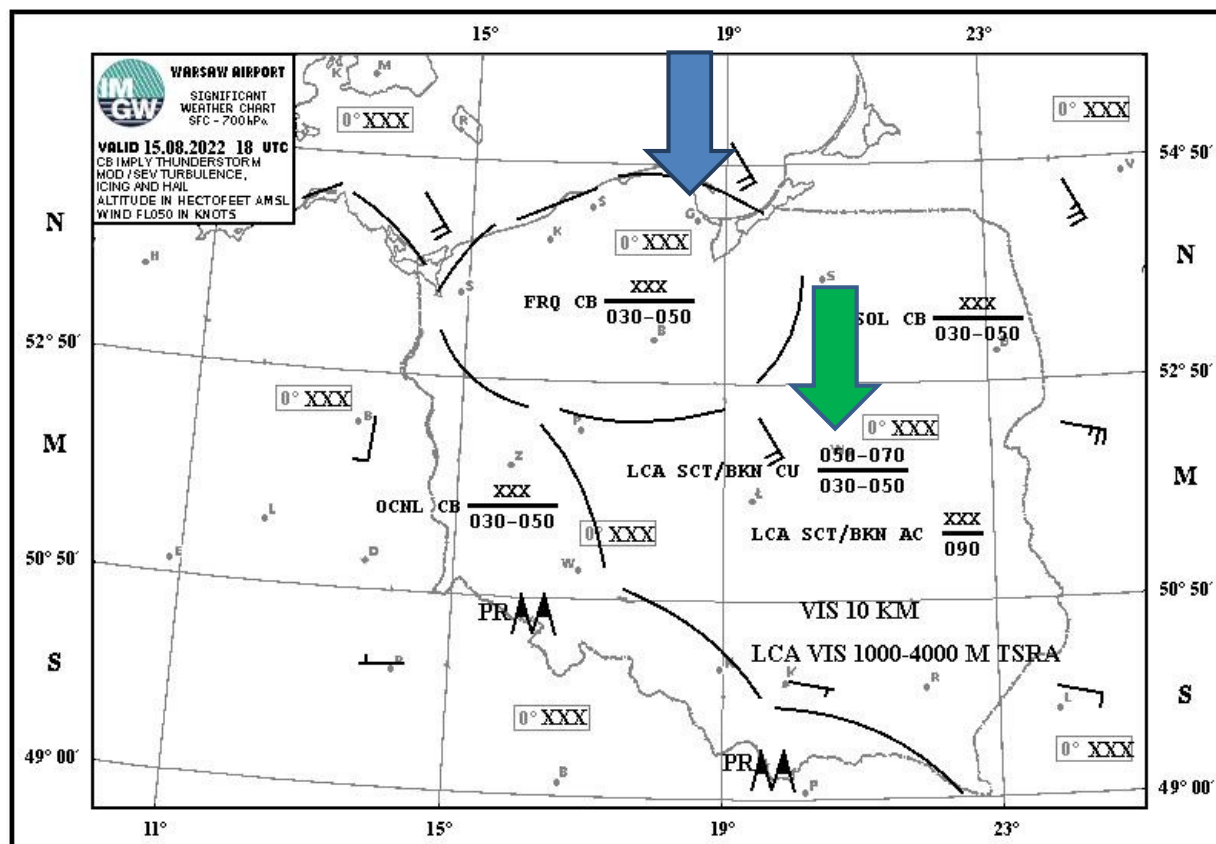
2022/08/15 14:30 EPGD 151430Z 03011KT 360V060 9999 -SHRA VCTS SCT048CB
23/20 Q1008 RETSRA.

Wiatr z kierunku 030°, 11 kt, zmienny od 360° do 060° Widzialność ponad 10 km. Zaobserwowano lekkie przelotne opady deszczu. W pobliżu lotniska: burza. Chmury 6-7/8 *Cumulonimbus*, podstawa chmur 4800 ft. Temperatura otoczenia +23°C, punkt rosy +20°C, QNH 1008 hPa. Aktualne warunki pogodowe po przejściu burzy z deszczem.

Wydany przez Polski Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) miejscowy SIGWX obowiązujący na godz. 18:00 UTC dnia 15 sierpnia 2022 r. wskazuje częste chmury *Cumulonimbus* na północnym-zachodzie i zachodzie Polski oraz pojedyncze chmury *Cumulonimbus* na północnym-wschodzie Polski o nieznannej wysokości wierzchołków chmur i podstawą chmur 3000-5000 ft. W środkowej części Polski chmury

⁸ Lotniskowy raport meteorologiczny (ang. *Meteorological Aerodrome Report*, **METAR**), znany również pod nazwami *Meteorological Terminal Aviation Routine Weather Report*, *Meteorological Terminal Air Report* lub *Meteorological Airfield Report* stanowi format sprawozdawczości pogodowej. Światowa Organizacja Meteorologiczna (ang. *World Meteorological Organisation*, WMO) opisuje METAR jako rutynowy lotniskowy raport meteorologiczny.

Cumuls 6-8/8 z pułapem chmur 3000-5000 ft. Niebieska strzałka wskazuje położenie portu lotniczego EPGD. Zielona strzałka wskazuje położenie portu lotniczego EPWA.



Rys. 10. Miejsowy SIGWX na godz. 18 UTC dnia 15 sierpnia 2022 r.

Źródło: <https://awiacja.imgw.pl/sigmat/>

1.8. Pomoce nawigacyjne

Załoga lotnicza wykonywała standardowy odlot z **EPGD** według wskazań przyrządów w oparciu o RNAV1.

Załoga lotnicza wykonała standardowe podejście do lądowania w **EPWA** według systemu ILS do RWY 11.

Rodzaj pomocy, kat. ILS/MLS (deklinacja dla VOR/ILS/MLS)	ID	Częstotliwość	Godziny pracy	Współrzędne posadowienia anteny nadawczej (WGS-84)/	DME ELEV	Uwagi
DME	WA	CH40X	H24	52°09'24.4" N 020°58'22.7" E	120 m AMSL	Wyznaczone pokrycie operacyjne: 25 NM (do FL100)
DME	WAS	CH36X	H24	52°10'16.2" N 020°57'05.9" E	120 m AMSL	Wyznaczone pokrycie operacyjne: 25 NM (do FL100)
DVOR/DME (6°E/Nov 20)	OKC	113,450 MHz CH81Y	H24	52°10'11.1" N 020°57'36.2" E	120 m AMSL	Wyznaczone pokrycie operacyjne: 80 NM (do FL250)
DVOR/DME (5°E/Oct 05)	WAR	114,900 MHz CH96X	H24	52°15'33.3" N 020°39'25.8" E	90 m AMSL	Wyznaczone pokrycie operacyjne: 150 NM (000°-090°), 80 NM (090°- 000°) - do FL500

ILS GP	-	333 800 MHz	H24	52°10'16.2" N 020°57'05.9" E	...	Pokrycie zgodne z Załącznikiem 10 ICAO, tom I. RDH: 53 ft. GP 3,0°
ILS GP	-	335,000 MHz	H24	52°09'24.4" N 020°58'22.7" E	...	Pokrycie zgodne z Załącznikiem 10 ICAO, tom I. RDH: 54 ft. GP 3,0°
ILS LOC (6°E/Nov 20)	WAS		H24	52°09'38.2" N 020°59'07.5" E	...	Pokrycie zgodne z Załącznikiem 10 ICAO, tom I. CAT. II
ILS LOC (6°E/Nov 20)	WA	110,300 MHz	H24	52°10'50.0" N 020°57'15.0" E	...	Pokrycie zgodne z Załącznikiem 10 ICAO, tom I. CAT. III A

Rys. 11. Pomoce nawigacyjne EPWA.

Źródło: https://www.ais.pansa.pl/aip/pliki/EP_AD_2_EPWA_en.pdf AIP Poland.

Rodzaj pomocy, kat. ILS/MLS deklinacja dla VOR/ILS/MLS Type of aid, CAT of ILS/MLS (for VOR/ILS/MLS give VAR)	Znak rozpoznawczy ID	Częstotliwość Frequency	Godziny pracy Hours of operation	Współrzędne posadowienia anteny nadawczej (WGS-84) Site of transmitting antenna coordinates (WGS-84)	Uwagi Remarks
NDB	GDA	322 kHz	H24	54°20'42.57"N 018°35'45.87"E	109°, 7.38 km FM THR 29
DME	IGDA	-	H24	54°22'18.22"N 018°29'06.44"E	DME IGDA CH40X ELEV 150 m AMSL
L	S	383 kHz	H24	54°22'03.90"N 018°30'21.22"E	109°, 1.00 km FM THR 29
ILS LLZ	IGDA	110.300 MHz	H24	54°22'57.08"N 018°26'46.16"E	CAT I RWY 29 289°, 0.42 km FM THR 11
ILS GP	-	335.000 MHz	H24	54°22'18.22"N 018°29'06.44"E	GP 2.9°, 0.12 km S FM RCL 0.42 km FM THR 29 along RWY RCL, RDH = 17.8 m

Rys. 12. Pomoce nawigacyjne EPGD.

Źródło: https://www.airport.gdansk.pl/UserFiles/file/EP_AD_2_EPGD_pl.pdf

1.9. Łączność

Łączność radiowa była prowadzona standardowymi środkami łączności, w jakie był wyposażony statek powietrzny. Zespół Badawczy miał dostęp do całości zapisu łączności między załogą lotniczą i ATC prowadzonej w polskiej przestrzeni powietrznej. Łączność była wyraźna i czytelna w obie strony.

1.10. Informacje o lotnisku

Lotnisko odlotu:

Port Lotniczy Gdańsk im. Lecha Wałęsy (EPGD) jest certyfikowany i przygotowany do przyjmowania wszystkich statków powietrznych do kodu referencyjnego 4D, nie większych niż MD11. Operacje VFR i IFR są dozwolone według systemu ILS kategorii I, II i III, natomiast LVTO przy RVR nie mniejszej niż 125 m. Usługa zarządzania płytą

postojową jest świadczona przez zarządzającego portem lotniczym. Służby ratowniczo-gaśnicze – kategoria 7.

1.	ARP - współrzędne WGS-84 i lokalizacja ARP - WGS-84 coordinates and site at AD	54°22'39.25"N 018°27'58.40"E Centralna linia RWY, 1800 m od THR 29./RWY centre line, 1800 m from THR 29.
2.	Odległość, kierunek od miasta Direction and distance from city	12 km (6.5 NM), BRG 285° GEO.
3.	Wzniesienie lotniska/Temperatura odniesienia Elevation/Reference temperature	149 m. 21.5°C (JUL).
4.	Undulacja geoidy w miejscu pomiaru wzniesienia lotniska/Geoid undulation at AD ELEV PSN	29 m.
5.	Deklinacja magnetyczna i jej roczna poprawka MAG VAR/Annual change	4°E (2007) +7°E
6.	Zarządzający lotniskiem, adres, telefon, faks, telex, AFS AD Administration, address, telephone, telefax, telex, AFS	Zarządzający lotniskiem/Aerodrome operator: Port Lotniczy GDAŃSK Sp. z o.o. Adres pocztowy/Postal address: Port Lotniczy GDAŃSK Sp. z o.o. ul. J. Słowackiego 200 80-298 Gdańsk 43 Adres telegraficzny/Telegraphic address: AFS - EPGDYDYX Telefony/Telephone numbers: Sekretariat/Office - +48-58-348-1154 +48-58-345-2283 faks/fax Dyżurny Portu/Aerodrome Duty officer - +48-58-348-1159 +48-606-268-370 kom./mobile +48-58-348-1459 faks/fax www: http://www.airport.gdansk.pl E-mail: airport@airport.gdansk.pl
7.	Dozwolony ruch lotniczy (IFR/VFR) Types of traffic permitted (IFR/VFR)	IFR/VFR
8.	Uwagi/Remarks	Telefony/Phones: TWR - +48-58-348-1152 +48-58-340-7469 faks/fax APP - +48-58-348-1109 +48-58-340-7479 faks/fax ARO - +48-58-348-1156 +48-58-340-7489 faks/fax FIS +48-58-340-7485 +48-58-340-7486 faks/fax Służba Ochrony Lotniska/Airport Security Services - +48-58-348-1132 +48-58-348-1267 faks/fax Catering - +48-58-348-1341 Biuro TAF/TAF Office - +48-58-628-8151

Rys. 13. Dane lotniska EPGD.

Źródło: https://www.airport.gdansk.pl/UserFiles/file/EP_AD_2_EPGD_pl.pdf

Lotnisko przylotu:

Port Lotniczy im. Fryderyka Chopina w Warszawie (EPWA) jest certyfikowany i przygotowany do przyjmowania wszystkich statków powietrznych do kodu referencyjnego 4E. Zarządzający portem lotniczym umożliwia użytkowanie statków powietrzny o wyższym kodzie referencyjnym (B-748, A-380, C-5B Galaxy, An-124) zgodnie z procedurą opisaną w Instrukcji operacyjnej lotniska (INOP). Operacje VFR i IFR są dozwolone według ILS kategorii I, II i III, natomiast LVTO przy RVR nie mniejszej niż 125 m. Dozwolone jest wykonywanie startów z odległości pośrednich zgodnie ze zgłoszonymi odległościami opublikowanymi w AIP Polska oraz INOP. Usługa

zarządzania płytą postojową jest świadczona przez zarządzającego portem lotniczym.
Służby ratowniczo-gaśnicze – kategoria 9.

1.	ARP - współrzędne WGS-84 i lokalizacja lotniska 52°09'57"N 020°58'02"E - skrzyżowanie dróg startowych.
2.	Odległość, kierunek od miasta 10 km (5,4 NM) BRG 205° GEO
3.	Wzniesienie lotniska/Temperatura odniesienia 362 ft./27,8°C
4.	Undulacja geoidy w miejscu pomiaru wzniesienia lotniska 103 ft.
5.	Deklinacja magnetyczna i jej roczna poprawka 6°E (2020)/ 9'E
6.	Zarządzający lotniskiem, adres, telefon, fax, telex, AFS Przedsiębiorstwo Państwowe "Porty Lotnicze" ul. Żwirki i Wigury 1 00-906 WARSZAWA +48-22-650-1555 (tel.) AFS: EPWAYDYX www.lotnisko-chopina.pl
7.	Dozwolony ruch lotniczy (IFR/VFR) IFR/VFR
8.	Uwagi Kierownik Zmiany Dyżurnych Operacyjnych Portu: +48-22-650-1555 +48-22-846-1100 +48-22-650-1343 +48-22-650-1428 Oddział celny: +48-22-650-3403 +48-22-650-2873 Kierownik Zmiany ATM: +48-22-574-5542, +48-81-452-5542 +48-22-574-5543, +48-81-452-5543 +48-22-574-7000, +48-81-452-7000 ACC: +48-22-574-7029, +48-81-452-7029 +48-22-574-5539, +48-81-452-5539 (fax) FMP: +48-22-574-5532, +48-81-452-5532 +48-22-574-7051, +48-81-452-7051 +48-22574-5539, +48-81-452-5539 (fax) APP: +48-22-574-5552, +48-81-452-5552 Kierownik Zmiany TWR: +48-22-574-5562, +48-81-452-5562 TWR: +48-22-574-5563, +48-81-452-5563 ARO: +48-22-574-7173, +48-81-452-7173 +48-22-574-7188, +48-81-452-7188 (fax) Placówka Straży Granicznej Warszawa-Okęcie im. gen. bryg. Waleriana Czumy: +48-22- 650-2244 Punkt pobierania opłat lotniskowych i handlingowych: +48-22-650-3878 Ambulatorium: +48-22-650-2444

Rys. 14. Dane lotniska EPWA.

Źródło: https://www.ais.pansa.pl/aip/pliki/EP_AD_2_EPWA_pl.pdf, AIP Polska.

1.11. Rejestratory parametrów lotu

Zgodnie z przepisami, statek powietrzny był wyposażony w dwa rodzaje rejestratorów:

- rejestrator parametrów lotu (FDR),
- pokładowy rejestrator rozmów w kabinie (CVR),

oraz dodatkowo rejestrator szybkiego dostępu (QAR).

FDR – rejestrator Honeywell o pamięci półprzewodnikowej, model SSFDR, P/N: 980-4700-042, S/N: 09283, prędkość zapisu 256 WPS. Dane z rejestratora zostały

odczytane przez operatora statku powietrznego i udostępnione Zespołowi Badawczemu PKBWL 25 sierpnia 2022 r. Odczytane dane obejmują okres ostatnich 25 godzin lotu. W pamięci rejestratora przechowywanych było 386 parametrów (142 dyskretne 244 analogowe). Pozyskane dane wykorzystano do analizy użytkowania jednostek zasilania statku powietrznego w celu odtworzenia sekwencji zdarzeń podczas startu i lotu na trasie z EPGD do EPWA. Do analizy wykorzystano oprogramowanie Insight Analysis 4.9 oraz FDS 9.

CVR – rejestrator półprzewodnikowy Honeywell, model SSCVR, P/N: 980-6022-001, S/N: CVR120-04013. Danych z rejestratora nie wykorzystano w badaniu, ponieważ od chwili wystąpienia awarii silnika do lądowania statku powietrznego na EPWA minęły ok. 4 godziny, przez co informacje interesujące Zespół Badawczy zostały nadpisane.

QAR - rejestrator z pamięcią półprzewodnikową Collins Aerospace, model ADM Lite Kit, P/N: 08716-0251-0015 S/N: 3-65728. Ponieważ QAR rejestruje te same dane co FDR, zapis z QAR został wykorzystany przez Zespół Badawczy PKBWL do analizy.

1.12. Informacje o szczątkach i zderzeniu

Nie dotyczy.

1.13. Informacje medyczne i patologiczne

Nie dotyczy.

1.14. Pożar

Pożar nie wystąpił.

1.15. Czynniki przeżycia

Nie dotyczy.

1.16. Testy i badania

Jedną z metod badawczych była analiza danych zarejestrowanych przez system monitorowania danych lotu (ang. *Flight Data Monitoring System*, FDMS). Zespół badawczy skompilował dane z FDMS z transkrypcją łączności radiowej i odwzorował działania wykonane przez załogę lotniczą względem położenia samolotu.

Początkowo metoda badania poszczególnych komponentów silnika, który uległ awarii polegała na ich wymontowaniu i przeglądzie. Na dalszym etapie badania, eksperci zastosowali specjalny zakres pracy badawczej oddzielenie profilu łopatk HPT + uszkodzenia LPT + szczątki w tylnej misce MCD (magnetyczny wykrywacz opiłków). Metoda badawcza jak poniżej:

- Wykonanie fotografii silnika.
- Przeprowadzenie spisu akcesoriów.
- Przeprowadzenie spisu QEC.
- Przeprowadzenie spisu brakujących części.
- Sprawdzenie i zbadanie filtrów, wykrywaczy opiłków i ekranów oczyszczających.
- Przeprowadzenie pełnego badania boroskopowego silnika.
- Wykonanie e-fotografii wszystkich znaczących ustaleń. W przypadku zebrania szczątków, użycie odpowiednich woreczków/pojemników i zaetykietowanie.
- Woreczki/pojemniki z odpowiednimi informacjami (np. nazwa części, położenie).

- Sprawdzenie swobodnego obrotu N1 i N2.
- Prowadzenie prac krok po kroku.

1.17. Informacje o organizacjach i zarządzaniu

Nie zbadano.

1.18. Informacje uzupełniające

Brak.

1.19. Przydatne lub skuteczne metody badania

Wykorzystano standardowe metody badań.

2. ANALIZA

2.1 Informacje ogólne

Raport został sporządzony na podstawie analizy zebranych materiałów i oświadczeń.

2.2 Operacje lotnicze

Analiza działań załogi lotniczej:

W dniu incydentu, obydwaj piloci posiadali ważne licencje z uprawnieniami na typ statku powietrznego B-737/300-900, potwierdzonymi standardowym wpisem i podpisem egzaminatora na typ statku powietrznego (TRE) wraz z podaniem numeru świadectwa egzaminatora. Orzeczenie wyniku badań lotniczo-lekarskich klasy I potwierdzone. Ograniczenia wynikające z orzeczenia badań lotniczo-lekarskich kapitana i pierwszego oficera: VDL - korekcja wady widzenia dali.

Obydwaj piloci zostali zaplanowani do wykonywania czynności lotniczych zgodnie z przepisami dotyczącymi ograniczenia czasu lotu. Dokonano sprawdzenia wszystkich szczegółów dotyczących ostatnich 90, 30 i 7 dni pracy załogi (poprzedzających zdarzenie). Według dostarczonego harmonogramu pracy, obydwaj piloci zostali zaplanowani do pracy razem w dniu 14 sierpnia 2022 r. na trasie EPPO-LGSA-EPGD, czas odlotu godz. 00:57. Załoga wylądowała w EPGD o godz. 07:52.

Dnia 15 sierpnia 2022 r. załodze przydzielono lot na trasie EPGD-GCFV. Standardowy czas odlotu (STD) godz. 14:35. Według planu, załoga miała operować z EPGD, spoza swojej bazy macierzystej (EPPO). Załoga odpoczywała w odpowiednich warunkach hotelowych. Nie zgłoszono żadnych zakłóceń okresu odpoczynku. Załoga zgłosiła się do wykonywania obowiązków wypoczęta i gotowa do pracy. Załoga zgłosiła się w porcie lotniczym punktualnie. Otrzymałszy informacje, że samolot wylądował z niewielkim opóźnieniem z poprzedniego lotu, piloci zdecydowali o natychmiastowym udaniu się do statku powietrznego. Piloci operujący spotkali się z poprzednią załogą. Nie zgłoszono żadnych kwestii technicznych. Piloci zdecydowali, że na pierwszym odcinku lotu (EPGD-GCFV) pilotem lejącym (PF) będzie FO. Kapitan dokonał przeglądu przedlotowego samolotu. Przeprowadzono standardowe przygotowanie do lotu.

Planowane paliwo do odlotu wynosiło (zgodnie operacyjnym planem lotu): 17 736 kg. Ze względu na warunki pogodowe załoga zdecydowała o zwiększeniu ilości paliwa na lot i zamówiła 18 500 kg. Przed lotem wykonano standardową kontrolę bezpieczeństwa. Załadowanie statku powietrznego wykonano na podstawie wykazu załadunkowego

(Load Sheet), według którego wszystkie parametry mieściły się w granicach. Według dokumentacji odnotowano 4394 kg wolego udźwigu, MACTOW wyniósł: 19,7%.

Załoga dokonała obliczeń osiągow do odlotu z RWY11. Na podstawie danych pogodowych: wiatr 040/20 kt, QNH 1008h hPa, OAT +24C, RWY: mokry, start z intersekcji drogi kołowania HOTEL. Na podstawie powyższych danych, system wyliczył możliwość startu z ATM +33°C, w wyniku czego silniki uzyskały N1 o wartości 98,17%. Prędkości dla Klap 5, z mokrego pasa odpowiednio: V1- 141kt, VR – 149kt, V2 – 155 kt.

Samolot odkołował ze stanowiska z 10 min. opóźnieniem (o godz. 14:45). Samolot wystartował z EPGD o godz. 14:59 (RWY11, SID: DEXIR 2H). Rozbieg, oderwanie od ziemi i wznoszenie samolotu odbyło się bez odchyień. Po odlocie, załoga otrzymała zezwolenie na wznoszenie do FL280. Samolot odleciał w kierunku południowym. Podczas wznoszenia piloci zwrócili się do ATC z prośbą o zgodę na odejście od SID i lot z kursem 220° - w celu ominięcia chmur. Następnie załoga poprosiła o korektę kursu, kontynuowanie zakrętu i lot z kursem 230° przez następne 20 NM. W trakcie wznoszenia, około FL110 załoga usłyszała nienormalny hałas dochodzący z silnika nr 2 oraz odnotowała niestabilne parametry pracy silnika. Samolot nieznacznie przechylił się na prawą stronę. Dowódca podjął decyzję o przejściu kontroli i objął rolę pilota lecącego (PF). Pierwszy oficer objął rolę pilota monitorującego (PM). Kapitan rozłączył A/P i A/T oraz powoli przesunął dźwignię mocy silnika nr 2 do pozycji IDLE. Załoga zgłosiła ATC prośbę o przerwaniu dalszego wznoszenia i utrzymywanie FL120 w strefie oczekiwania (holding pattern). Załoga dokonała analizy sytuacji i stwierdziła, że samolot jest sterowny, a silnik, który uległ awarii – według załogi, może zostać ponownie uruchomiony. Według oświadczenia załogi, zaobserwowano wskazania N1 i N2 (w niniejszej sekcji, w dalszej części, ujęto analizę danych z systemu obiektywnej kontroli lotu). Ze względu na nienormalny dźwięk usłyszany podczas wystąpienia usterki, wibracje oraz niestabilne parametry silnika nr 2, załoga podjęła decyzję o wykonaniu czynności na podstawie listy kontrolnej: *NNC. 8.2. Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation*. W trakcie wykonywania w/w listy kontrolnej załoga nie stwierdziła pożaru i pozostawiła wyłącznik przeciwpożarowy (Engine Fire Switch Warning) w pierwotnej pozycji. Poniżej wyciąg z Boeing 737 QRH, *NNC. 8.2. Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation*. Zgodnie z listą kontrolną, pkt 4, wyłącznik przeciwpożarowy silnika musi zostać wyciągnięty – czego załoga nie wykonała.

8.2



737 Flight Crew Operations Manual

**ENGINE FIRE ()
or
Engine Severe Damage
or Separation ()**

Condition: One or more of these occur:

- Engine fire warning
- Airframe vibrations with abnormal engine indications
- Engine separation.

- 1 Autothrottle (if engaged) Disengage
- 2 Thrust lever
(affected engine) Confirm Close
- 3 Engine start lever
(affected engine) Confirm CUTOFF
- 4 Engine fire switch
(affected engine) Confirm Pull

To manually unlock the engine fire switch, press
the override and pull.
- 5 **If** the engine fire switch or ENG OVERHEAT light is
illuminated

Engine fire switch
(affected engine) Rotate to the stop
and hold for 1 second

Rys. 15. Wyciąg z Boeing 737 QRH. Fragment listy kontrolnej:
NNC. 8.2. Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation.

Źródło: Quick Reference Handbook, 737 Flight Crew Operations Manual.

W związku z obecnością komórek burzowych w pobliżu lotniska, załoga zwróciła się do ATC o zmianę pozycji oczekiwania i stwierdziła, że z powodu problemu technicznego zamierza powrócić do EPGD. Ze względu na zbyt dużą masę samolotu do lądowania, piloci podjęli decyzję o wypaleniu części paliwa w celu zredukowania LW. Piloci zadecydowali o redukcji masy do lądowania mimo, że producent samolotu zezwala na lądowanie przeciążonym samolotem. Poniżej wyciąg z 737 FCTM.

Overweight Landing

Overweight landings may be safely accomplished by using normal landing procedures and techniques. There are no adverse handling characteristics associated with overweight landings. Landing distance is normally less than takeoff distance for flaps 30 or 40 landings at all gross weights. However, wet or slippery runway field length requirements should be verified from the landing distance charts in the PI chapter of the QRH. Brake energy limits will not be exceeded for flaps 30 or 40 normal landings at all gross weights.

Note: Use of flaps 30 rather than flaps 40 is recommended to provide increased margin to flap placard speed.

Piloci weszli w procedurę oczekiwania nad punktem nawigacyjnym: GD704, a następnie, z powodu przemieszczania się burzy, zmienili pozycję oczekiwania nad punktem nawigacyjnym GD531, który to punkt znajduje się około 20 NM na południe od

lotniska. Z powodu dynamicznie zmieniających się warunków pogodowych, załoga miała problem ze znalezieniem odpowiedniej, bezpiecznej przestrzeni powietrznej do wykonywania procedury oczekiwania. Ostatecznie, piloci podjęli decyzję o locie na północny-wschód od EPGD, gdzie na podstawie pokładowego radaru pogodowego nie obserwowano komórek burzowych. Operując w tym obszarze, samolot znajdował się około 10 NM od granicy z Rosją (FIR Kaliningrad), co zostało zakomunikowane załodze przez ATC.

Załoga zgłosiła PAN-PAN i wykonała TDODAR i NITS briefing dla personelu pokładowego. Załoga w ciągły sposób – za pomocą ATC, monitorowała aktualne warunki pogodowe panujące nad lotniskiem w EPGD. Po wykonaniu procedur NITS i TDODAR, załoga po raz kolejny sprawdziła wskazania silnika nr 2 i zdecydowała o ponownym jego uruchomieniu. Piloci rozpoczęli wykonywanie listy kontrolnej *QRH NNC. 7.24 Engine In-Flight Start*. Silnik nr 2 nie uruchomił się. Piloci ponownie wykonali czynności z listy kontrolnej *QRH NNC 8.2 Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation*. Ponownie nie wykonali pkt 4 z w/w listy kontrolnej. Piloci po raz kolejny dokonali oceny warunków pogodowych. Ponieważ pogoda w pobliżu lotniska EPGD pogorszyła się, piloci poprosili ATC o podanie aktualnych warunków pogodowych z portów lotniczych: EPSC, EPSY, EPBY, EPMO. Dodatkowo, ATC poinformowała o wyłączeniu z użytku TWR na lotnisku w EPBY. W związku z tym, piloci poprosili również o podanie warunków pogodowych dla EPPO.

ATC przekazała informacje o chmurach CB nad portem lotniczym w EPSY oraz warunkach CAVOK nad EPPO. ATC oświadczyła załodze, że skontaktowała się z Oficerem Operacyjnym EnterAir, który zasugerował zmianę trasy lotu do EPWA. Wypalając paliwo i zmniejszając LW, załoga lotu ENT72UM poinformowała ATC, że jej głównym planem jest lądowanie na EPGD, ewentualnie zmiana kierunku lotu do EPPO. Piloci poprosili o przekazanie tej informacji swojemu Oficerowi Operacyjnemu.

ATC ponownie skontaktowała się z pilotami i przekazała, że Oficer Operacyjny EnterAir (w przypadku lotu na lotnisko zapasowe) zasugerował, aby załoga zamiast do EPPO, leciała do EPWA, ze względu na lepsze wsparcie techniczne. Piloci oświadczyli ATC, że po początkowym wypaleniu paliwa będą lądować na lotnisku w EPGD. Gdyby warunki pogodowe na to nie pozwalały, to zgodnie z rekomendacją Oficera Operacyjnego EnterAir zmienią kierunek lotu do EPWA.

Załoga odebrała najnowszy raport pogodowy dla lotniska EPWA, gdzie panowały warunki CAVOK. Dodatkowo, załoga poprosiła o aktualne warunki na trasie z EPGD do EPWA. ATC poinformowała, że między EPGD i EPWA nie występują chmury CB. Jednocześnie ATC poinformowała pilotów, że załoga samolotu Wizzair, Airbus A-320, która rozpoczęła podejście do EPGD na RWY 29 zgłosiła na wysokości 3000ft, tylny wiatr o prędkości do 28kt. Na wysokości 1000ft, prędkość wiatru spadała do 8-10kt, jednocześnie zmieniając kierunek na wiatr boczny (z prawej strony). W takich warunkach na RWY 29 wylądowały dwa samoloty typu A-320. Po otrzymaniu informacji, piloci ENT72UM podjęli decyzję o zmianie kierunku lotu do EPWA. O godz. 17:48 piloci wyjaśnili ATC, że z powodu konieczności lądowania w konfiguracji na kłapach 15 z jednym niepracującym silnikiem, ich ostateczną decyzją jest lot i lądowanie na lotnisku w EPWA.

Piloci podjęli decyzję o locie do EPWA na FL120. Utrzymując początkowo HDG 160°, załoga zdecydowała o zmianie swojego statusu lotu i zgłosiła MAYDAY. ATC poprosiła o zmianę kodu transpondera na 7700. Mijając port lotniczy EPGD w kierunku południowym, załoga otrzymała od kontroli ruchu lotniczego zezwolenie na lot bezpośrednio do punktu nawigacyjnego GOSIT, który znajduje się 9,8 NM przed RWY 11 na lotnisku EPWA. Lot do EPWA został wykonany bez zakłóceń. Po zgłoszeniu się do APP EPWA, załoga otrzymała zezwolenie na początkowe zniżanie do FL100, a następnie dalsze zniżanie już zgodnie ze standardowym profilem. Dowódca samolotu polecił personelowi pokładowemu przekazaniu pasażerom pełnej instrukcji bezpieczeństwa na wypadek lądowania awaryjnego. Załoga obliczyła osiągi do lądowania na RWY 11 dla konfiguracji klap 15, z jednym niepracującym silnikiem. O godz. 18:34, załoga otrzymała zezwolenie na podejście do lądowania do RWY 11 według ILS-Y. Samolot wylądował bezpiecznie o godz. 18:37, a następnie przeokołował na stanowisko postojowe: 25R.

Przed lotem, piloci byli wypoczęci, zgodnie z obowiązującymi przepisami FTL. Obydwaj byli gotowi do pracy/lotu i nie zgłaszali żadnych problemów. Przygotowanie do lotu odbyło się pod pewną presją czasu z powodu spóźnionego przylotu statku powietrznego z poprzedniego lotu, ale fakt ten nie miał żadnego wpływu na efektywność działań załogi. Działanie poza bazą macierzystą i przygotowanie do lotu poza standardowym środowiskiem w pokoju briefingowym jest normalną procedurą dla załóg EnterAir.

Start samolotu z masą bliską MTOW w warunkach burzowych z występującymi turbulencjami może być dla załogi czynnikiem stresującym. Biorąc pod uwagę fakt, że piloci spodziewali się spędzić w powietrzu 5h i 25min, a także byli przygotowani na długą podróż, oczywistym jest, że awaria silnika we wczesnej fazie wznoszenia wywołała efekt zaskoczenia. Dodatkowym zagrożeniem, zidentyfikowanym przez załogę, była burzowa pogoda. Skomplikowała ona działania załogi i skutkowała dodatkowymi zadaniami związanymi z koniecznością znalezienia odpowiedniej przestrzeni powietrznej tak, aby móc skupić się na opracowaniu usterki związanej z awarią silnika. Kolejnym zagrożeniem i czynnikiem limitującym była bliskość rosyjskiej przestrzeni powietrznej.


W trakcie wystąpienia usterki, piloci odnotowali nietypowy hałas i niestabilne parametry pracy silnika nr 2. Po krótkiej analizie załoga zaklasyfikowała zdarzenie jako: *Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation*. (rys. 15. wyciąg z QRH) i w konsekwencji odniosła się do referencji zawartej w liście kontrolnej *QRH NNC 8.2 Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation*. W pierwszej części w/w listy kontrolnej zawarte są warunki, które determinują w/w zdarzenie: *Drgania płatowca wraz z nieprawidłowymi wskazaniami silnika [Airframe vibrations with abnormal engine indications]*. Dlatego załoga wykonała odpowiednią listę kontrolną, ale ominała jej pkt 4, który nakazywał załodze wyciągnięcie wyłącznika przeciwpożarowego silnika (EFS). Wyciągnięcie EFS daje następujące skutki:

- uzbraja spłonki na każdej gaśnic silnika,
- **zamyka dopływ paliwa** oraz zawór odcinający hydraulikę i zawór upustu powietrza z silnika,
- wyłącza odwracacz ciągu silnika,

- odłącza generator,
- dezaktywuje pompę hydrauliczną.

Wyciągnięcie EFSW jest procesem nieodwracalnym.

Na końcu listy kontrolnej (pkt 17 – zob. rys. 16) jest zawarte, że lądowanie należy wykonać w najbliższym odpowiednim porcie lotniczym, przy czym załoga jest kierowana do listy kontrolnej *QRH NNC 7.32 One Engine Inoperative Landing* ().

 8.5
737 Flight Crew Operations Manual

▼ ENGINE FIRE or Engine Severe Damage or Separation continued ▼

12 Choose one:

- ◆ APU is **available** for start:
 - APU START
 - When APU is running:**
 - APU GEN switch
(affected side) ON
 - ▶▶ **Go to step 13**
- ◆ APU is **not** available:
 - ▶▶ **Go to step 13**

13 Balance fuel as needed.
YC476 - YC489, YD304 - YJ480, YJ931, YK139

14 Transponder mode selector TA
This prevents climb commands which can exceed single engine performance capability.

YC056 - YC207, YC731, YJ910, YK101 - YK104

15 Transponder mode selector TA ONLY
This prevents climb commands which can exceed single engine performance capability.

16 ISOLATION VALVE switch
(after the fire has been extinguished) AUTO
This step ensures bleed air is available to both wings if wing anti-ice is needed.

17 Plan to land at the nearest suitable airport.

Note: Do not use FMC performance predictions.

▼ Continued on next page ▼

Rys. 16. Wyciąg z QRH Boeing. Fragment listy kontrolnej: Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation.

Źródło: Quick Reference Handbook, 737 Flight Crew Operations Manual..

Podjęta przez załogę próba uruchomienia w locie silnika nr 2 pokazuje rozbieżność i niepełne wykonanie poprzedniej listy kontrolnej⁹. Pomimo, że piloci stwierdzili, że silnik nr 2 wykazuje oznaki uzasadniające wykonanie *QRH NNC 8.2 Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation* podjęli decyzję o ponownym uruchomieniu silnika w locie. Bardzo dynamiczne warunki pogodowe oraz przekazane przez ATC instrukcje Oficera Operacyjnego EnterAir, który zasugerował zmianę kierunku lotu do EPWA, odwróciły uwagę załogi od procesu decyzyjnego i wykonania podjętych decyzji.

Piloci pracowali w stresującej sytuacji, w której musieli zabezpieczyć silnik, który uległ awarii oraz po ich decyzji, zająć się wypracowaniem paliwa w celu zmniejszenia ciężaru samolotu do lądowania. To zwiększyło nakład wykonywanych zadań, ale załoga poradziła sobie z tym w profesjonalny sposób. Szerokie spektrum raportów o warunkach pogodowych w portach lotniczych w północnej Polsce, o podanie których zwróciła się załoga, pokazuje bardzo dobrą świadomość sytuacyjną i dobry proces planowania. Krótco po wystąpieniu awarii silnika, kapitan, jako bardziej doświadczony, przejął stery i objął rolę pilota lecącego (PF), co zostało zaakceptowane przez pierwszego oficera (FO).

Obydwaj piloci współpracowali w oparciu o przetrenowany model CRM i obaj uczestniczyli w procesie podejmowania decyzji, jednocześnie wykazując dobre umiejętności komunikacji z ATC i personelem pokładowym. Operowanie ciężkim samolotem z jednym pracującym silnikiem w pobliżu burzy zostało wykonane przez załogę we właściwy sposób. Tym samym zademonstrowano dobre umiejętności lotnicze zwane potocznie: *airmanship*.

Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatkki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306.

Podsumowanie zdarzenia, ESN 874306

Data zdarzenia: 15 sierpnia 2022

Szczegóły zdarzenia: SP-ENU, IFSD dla silnika nr 2 ESN 874306, co skutkowało otwarciem badania zdarzenia zgodnie z Załącznikiem 13.

Badanie BSI przeprowadzone po zdarzeniu wykazało jedną łopatkę HPT z oderwanym/oddzielonym profilem. Zestaw łopatek HPT zwrócono do ośrodka technicznego General Electric celem wykonania oceny laboratoryjnej. Zestaw łopatek HPT stanowił kombinację PN 1957M10P01, P03 oraz P04. (5) łopatek PN 1957M10P01, w tym łopatkę, która uległa oddzieleniu, zostały przeglądane/naprawione w 2013 roku, zgodnie z kalendarzem napraw. Łopatkę HPT 1957M10P01, TSN/CSN: 46428 godzin/ 19411 cykli.

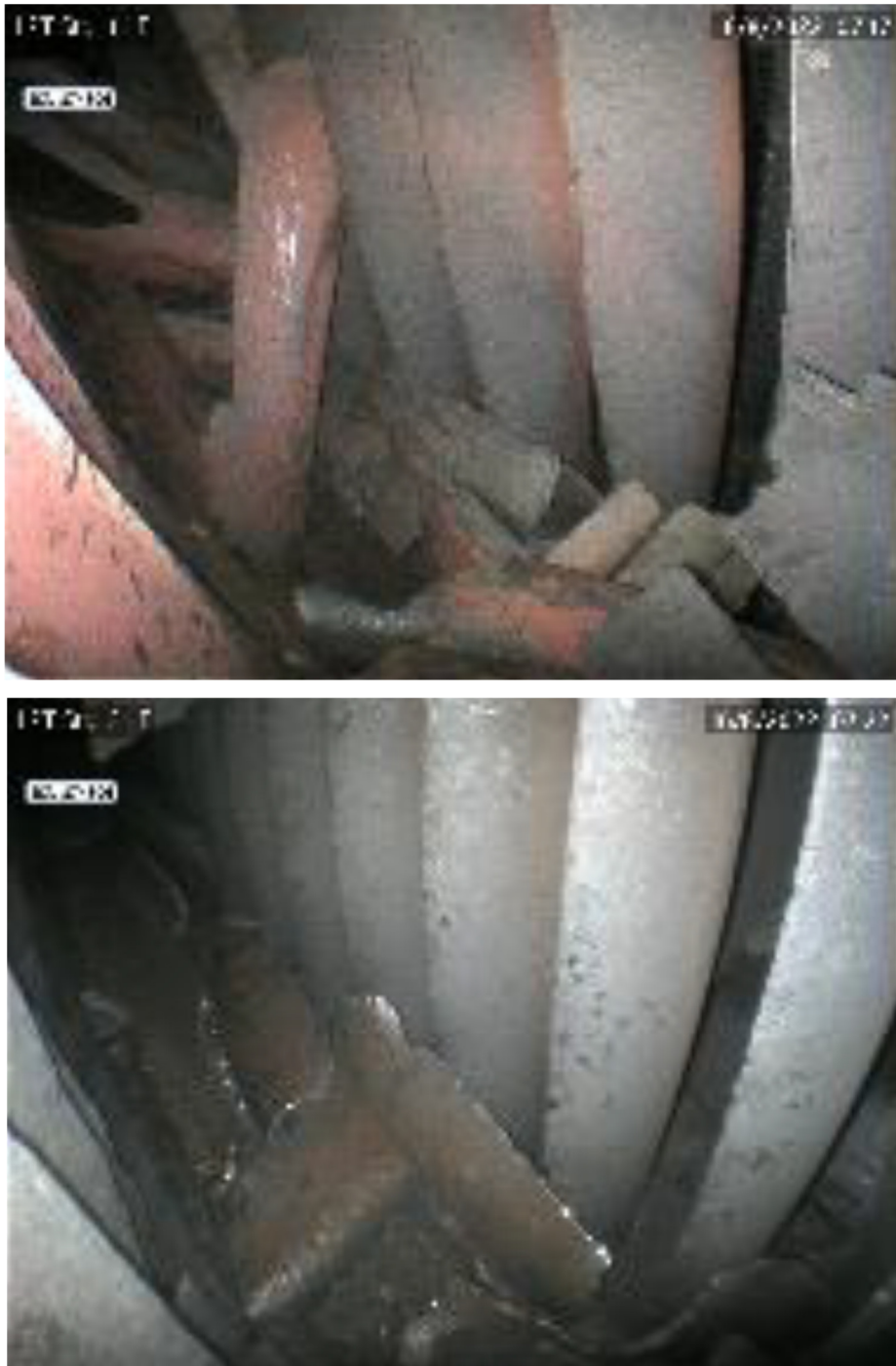
⁹ Wyciągnięcie EFS zamyka dopływ paliwa. Działanie to jest nieodwracalne.

Ustalenia:

- Łopatką HPT nr 80 (PN 1957M10P01, SN BWHN9B01) wykazuje oddzielenie profilu na ~15% długości radialnej.
- Ocena metalurgiczna pokazuje pęknięcia zainicjowane w łopatkę główną w jamie krawędzi natarcia profilu przy wewnętrznym otworze przejściowym żebra. Pęknięcia propagowały w LCF do przodu i tyłu wklęsłych i wypukłych powierzchni profilu do oddzielenia się profilu. Ustalenie jest zgodne z wcześniejszymi doświadczeniami praktycznymi z CFM56 dla tej konfiguracji łopatek HPT.

Ustalenia z badania boroskopowego silnika statku powietrznego:





Rys. 17. Trzy fotografie: Wyniki badania BSI turbiny HPT. Łopátka #80 złamana w ~15% długości, przy uszkodzeniach wielu łopatek LPT i osprzętu za nimi spowodowanych uwolnionymi szczątkami.

Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopátki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 4.

Rozmontowanie silnika:





Rys. 18. Trzy fotografie. Fotografie przeglądowe na ekspozycji HPT. Łopatka #80. Liczne łopatki uległy uszkodzeniu w wyniku zderzenia z uwolnionymi szczątkami profilu.

Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 5.

Przegląd zestawu łopatek:

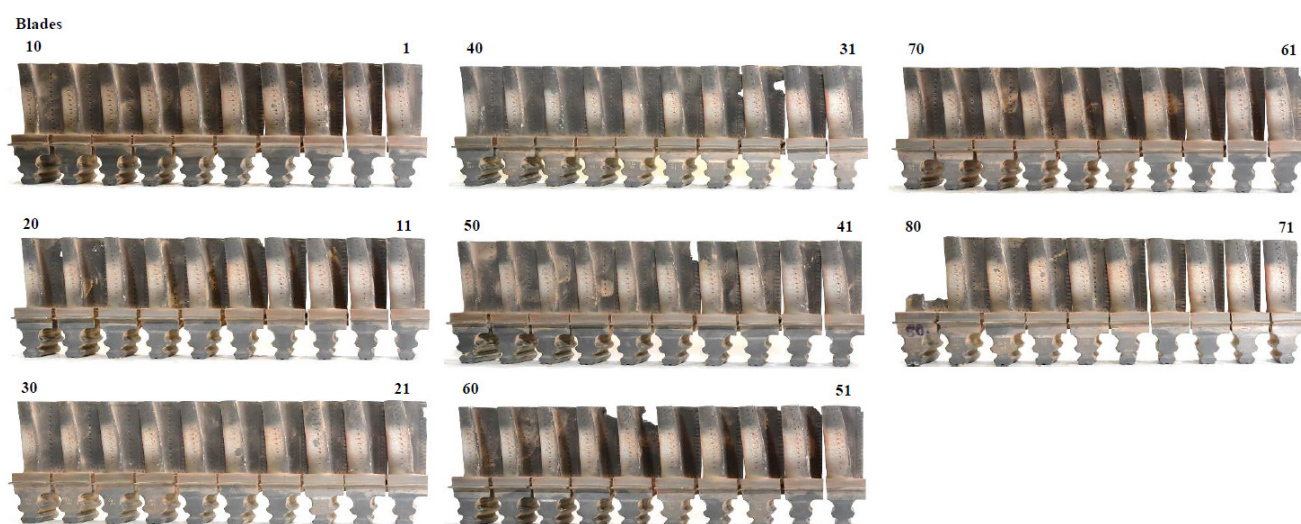
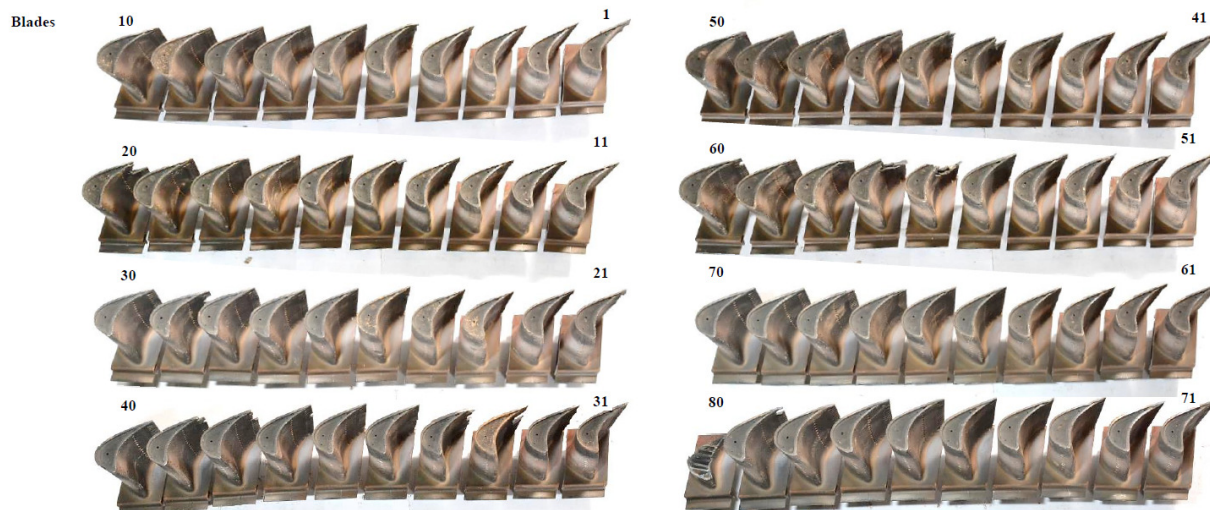


Fig. 19. Fotografie krawędzi natarcia kompletnego zestawu łopatek odesłanego do oceny, stan w jakim zostały odebrane. Łopatka #80 (SN BWHN9B01) wykazuje uwolnienie profilu, natomiast pozostałe łopatki wykazują zróżnicowany stopień uszkodzenia krawędzi spływu.

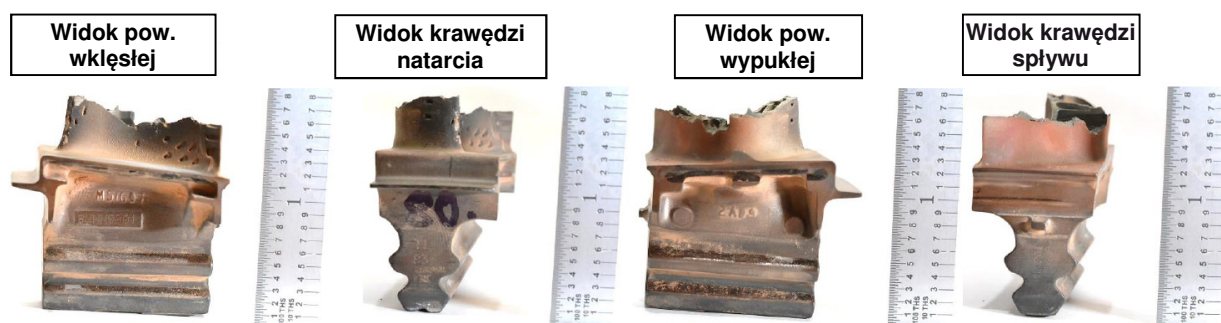
Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 6.



Rys. 20. Wykonane z góry fotografie krawędzi natarcia kompletnego zestawu łopatek odesłanego do oceny, stan w jakim zostały odebrane.

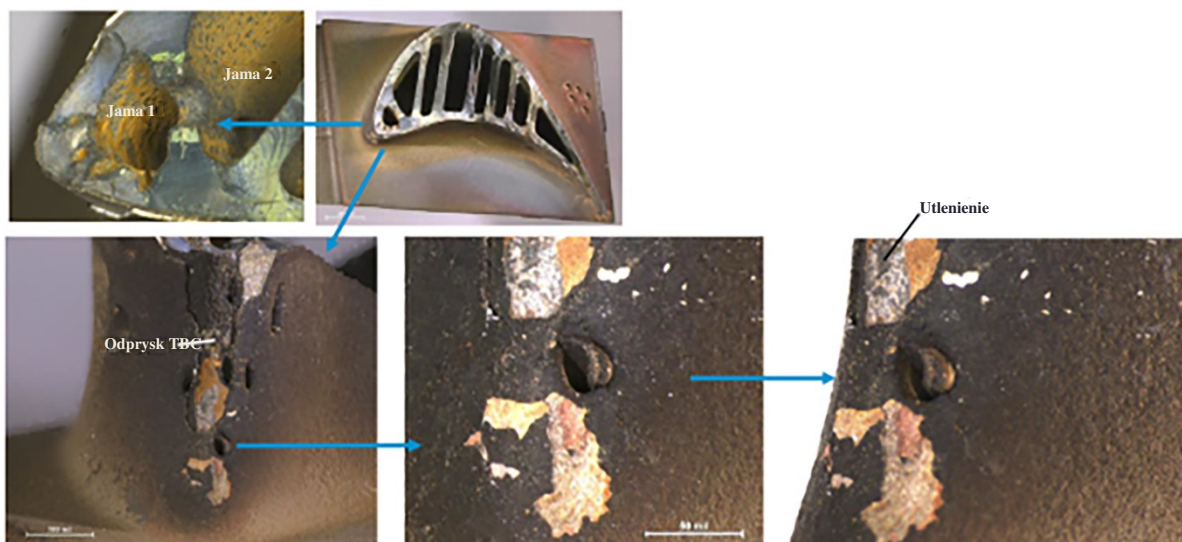
Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 7.

Uwolnienie profilu głównej łopatki #80:



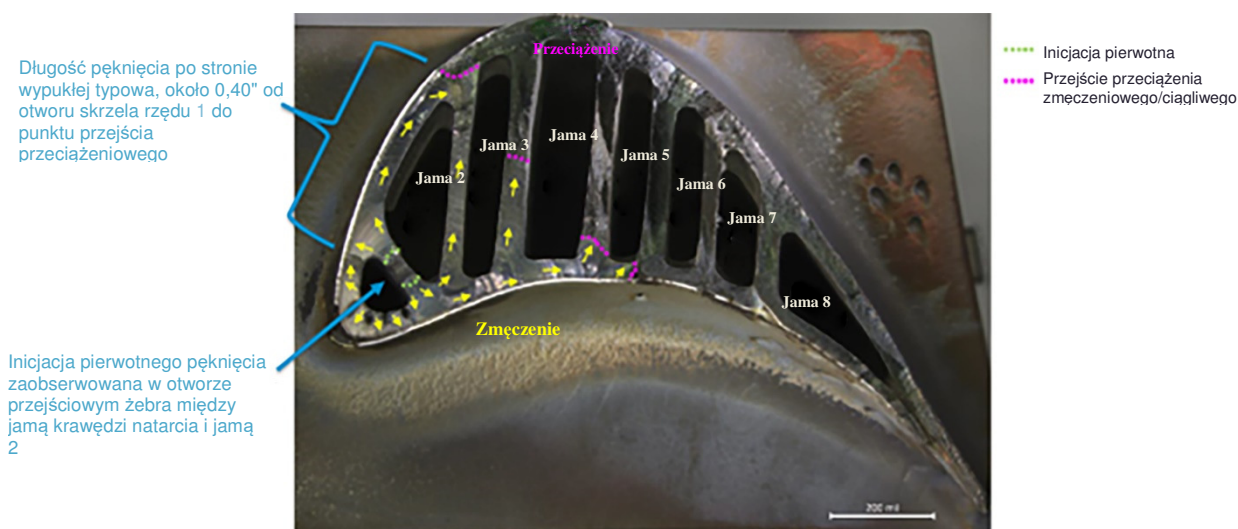
Rys. 21. Fotografie przeglądowe łopatki #80 (S/N BWHN9B01) w stanie w jakim została odebrana, pokazujące uwolnienie profilu.

Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 8.



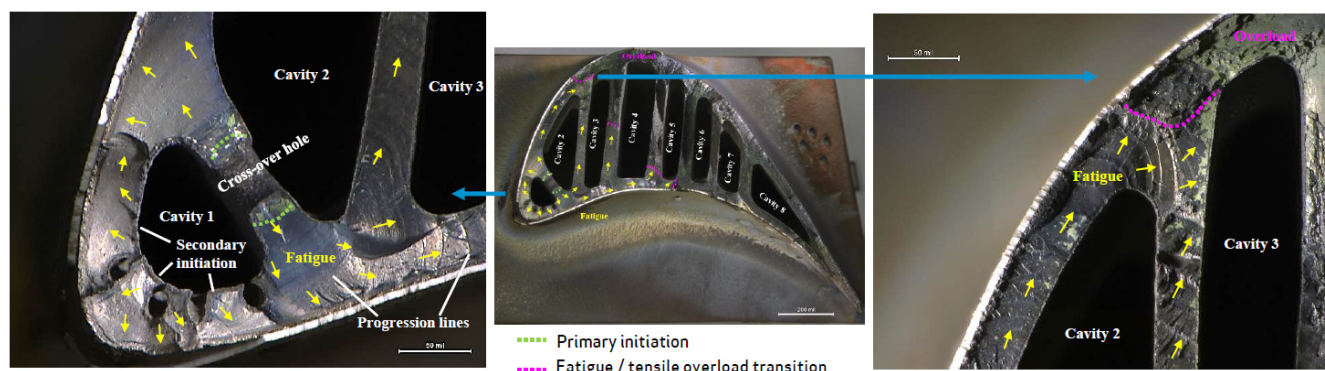
Rys. 22. Fotografie z góry i z zewnątrz powierzchni uwolnienia łopatki #80 (S/N BWHN9B01) w stanie, w jakim została odebrana. Stwierdzona utrata TBC wzdłuż krawędzi natarcia poniżej powierzchni ułamania. Na wewnętrznej ścianie jamy 1 widoczne znaczne nagromadzenie pyłu, co jest zgodne z wcześniejszymi obserwacjami dotyczącymi łopatek HPT użytkowanych w trudnych warunkach środowiskowych.

Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 9.



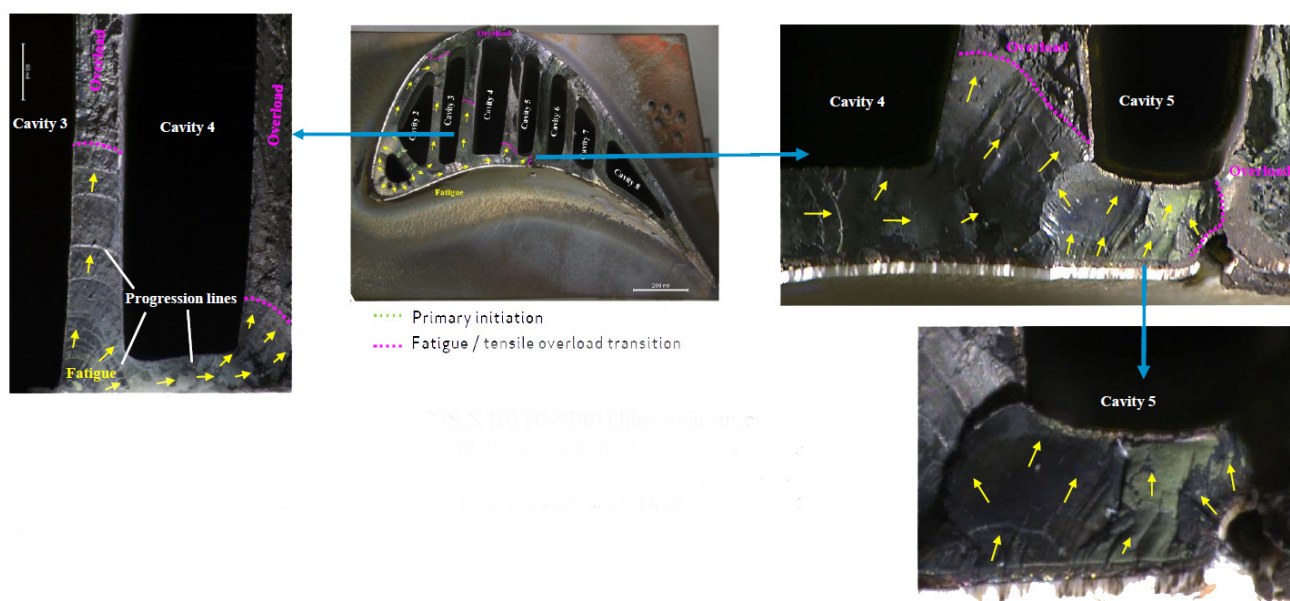
Rys. 23. Fotografia od góry oczyszczonej powierzchni uwolnienia łopatki #80 (S/N BWHN9B01). Pierwotna inicjacja wystąpiła w otworze przejściowym żebra jama 1-2 otwór i propagowała w kierunku krawędzi natarcia i do tyłu przez żebro jama 2-3 po wypukłej stronie oraz jama 5 po wklęsłej stronie. Zaobserwowane linie progresji i utlenianie na całej długości powierzchni złamania są zbieżne ze zmęczeniem niskocyklowym.

Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 10.



Rys. 24. Fotografie powierzchni złamania oczyszczonej powierzchni uwolnienia łopatki #80 (S/N BWHN9B01) pokazujące pierwotną inicjację od otworu przejściowego. Zaobserwowane linie progresji i utlenianie wzdłuż całej propagacji złamania są zbieżne ze zmęczeniem niskocyklowym. W pobliżu jamy 3 widoczne przejście ściany wypukłej do przeciążenia.

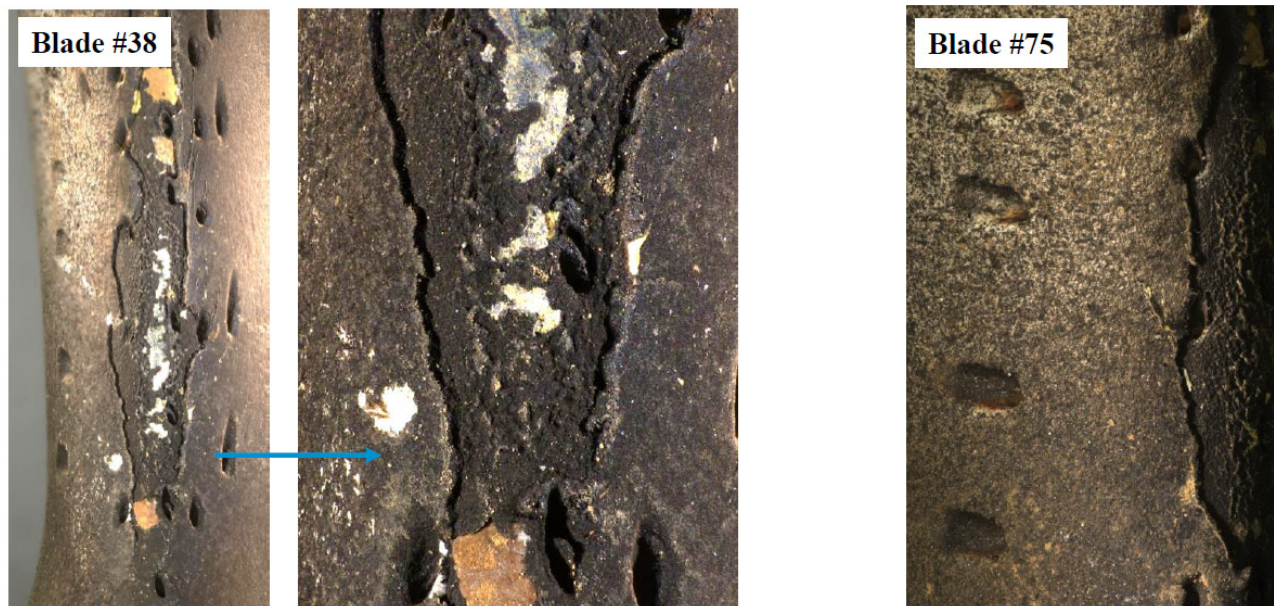
Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 11.



Rys. 25. Fotografie powierzchni złamania powierzchni uwolnienia łopatki #80 (S/N BWHN9B01) pokazujące przejścia ścianki wklęsłej i żebra do przeciążenia. Zaobserwowane linie progresji i utlenianie wzdłuż propagacji złamania są zbieżne ze zmęczeniem niskocyklowym. W pobliżu jamy 5 zaobserwowano dodatkowe wtórne miejsca inicjacji od powierzchni zewnętrznej i sąsiedniego otworu chłodzącego.

Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 12.

Obserwacje dotyczące łopatkki 1957M10P01:



Rys. 26. Widoczne naprężenia i potencjalne niebezpieczeństwo zaobserwowano również na innych łopatkach 1957M10P01. Łopatkka #75 (S/N BWHN6B89, P01) i łopatkka #38 (S/N BWHN7C53, P01) wykazują wysokie utlenienie krawędzi natarcia, co podlega ograniczeniom AMM w zakresie skróconych okresów wykonywania BSI.

Źródło: Raport: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatkki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 3.

Ustalenia z badania:

Historia 5 łopatek PN 1957M10P01

- 2004: zamontowanie w silniku; HPTB CSN = 0 FC.
- 2008: SV silnika i naprawa główna HPTB; HPTB CSN = 8 151 FC.
- Początek 2013: wycofanie silnika z floty Jet Airways HPTB CSN ~ 9 600 FC.
- Maj 2013: SV silnika w Tureckim Centrum Silnikowym (TEC) HPTB CSN = 13 504 FC.

~9 600 cykli
lotu
w Indiach



• Łopatkki HPT przysłano z Tureckiego Centrum Silnikowego do Zakładu 23 w Singapurze w celu przeglądu i naprawy.

• Ocena wewnętrznych żeber łopatek HPT zgodnie z Biuletynem bezpieczeństwa (SB) 72-0886, Dokumentem naprawy (RD) 150-1551 była przeglądem wymaganym na podstawie historii użytkowania tego silnika, który spełniał kryteria SB w zakresie "lotów operacyjnych w rejonie Indii" (HPTB > 5 000 CSN & 2,5 k odlotów z Indii).

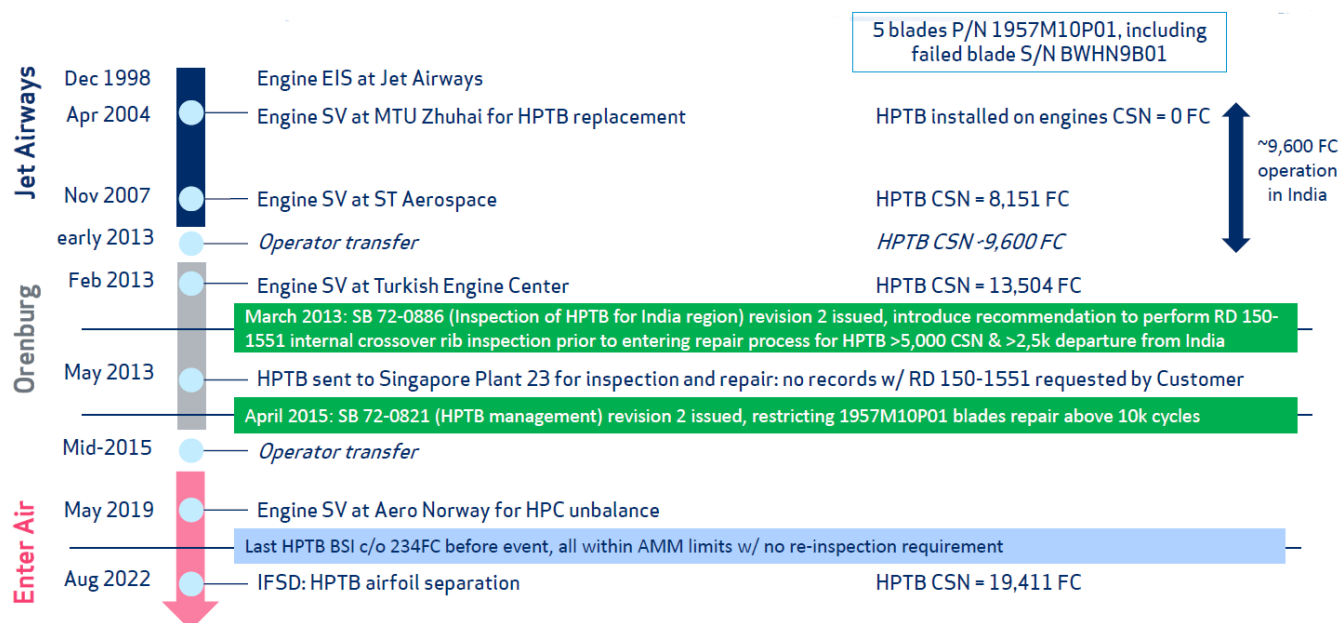
• Zakład 23 w Singapurze nie posiada zapisów stwierdzających, że klient zlecił RD 150-1551 podczas naprawy głównej silnika w 2013 r.:

- sierpień 2022: IFSD HPTB CSN = 19 411 FC.

• RRT wynosi 25 000 FC, wg. SB 72 0821.

- Ostatnie BSI HPTB po 234 cyklach przed zdarzeniem, wszystko w granicach Podręcznika obsługi technicznej statku powietrznego (AMM), bez wymogu ponownego przeglądu.

Historia silnika SN 874306:



Rys. 27. Historia silnika SN 874306.

Źródło: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 15.

BSI przed zdarzeniem:

EnterAir przedstawił raport z badania BSI z dnia 13 czerwca 2022 r., które było ostatnim badaniem BSI HPT (wykonanym po 234 cyklach) przed zdarzeniem IFSD

- Wszystkie zgłoszone ustalenia mieszczą się w granicach AMM.

Doświadczenia praktyczne potwierdzają, że wydłużony okres eksploatacji prowadzi do inicjacji i propagacji pęknięć krawędzi natarcia (LE), aż do awarii, co jest zbieżne z ograniczeniami AMM i planem przeglądów SB.

- PSE nie przewiduje inicjacji i propagacji pęknięć wypukłych podczas 234 cykli od ostatniego BSI do zdarzenia.

Według analizy po zdarzeniu, najbardziej prawdopodobnym jest fakt, iż potencjalnie podczas tego BSI pęknięcia na głównej łopatce SN BWHN9B01 mogły być widoczne, ale potencjalnie nie zostały wykryte.

Jednakże operator stwierdził, że "pęknięcia nie wykryto".

Dla wyjaśnienia zaprezentowanego wniosku, poniżej z lewej strony przedstawiono wykonane badanie BSI silnika 874306, a z prawej strony prawidłowy kąt widzenia podczas BSI. Jednakże, według oświadczenia operatora: "przegląd został wykonany,

a łopatki zostały sprawdzone z kilku stron, również przy użyciu soczewek prostych i kątowych, które znajdowały się na wyposażeniu EnterAir od 4 lat". Operator oświadczył, że fotografia na rys. 26 "służy wyłącznie do zilustrowania (...), że dany sektor silnika został sprawdzony, albo do zilustrowania wszelkich stwierdzonych uszkodzeń".



Rys. 28. Technika BSI.

Źródło: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. STR.17.

Praktyczne doświadczenia dotyczące pęknięcia krawędzi natarcia:

oddzielenie się profilu z powodu pęknięcia krawędzi natarcia jest znaną awarią w przypadku łopatek HPT w konfiguracji 1957M10. Historia CFM pokazuje liczne wcześniejsze zdarzenia, zarówno w przypadku użytkowania w warunkach neutralnych, jak i trudnych środowiskowo.

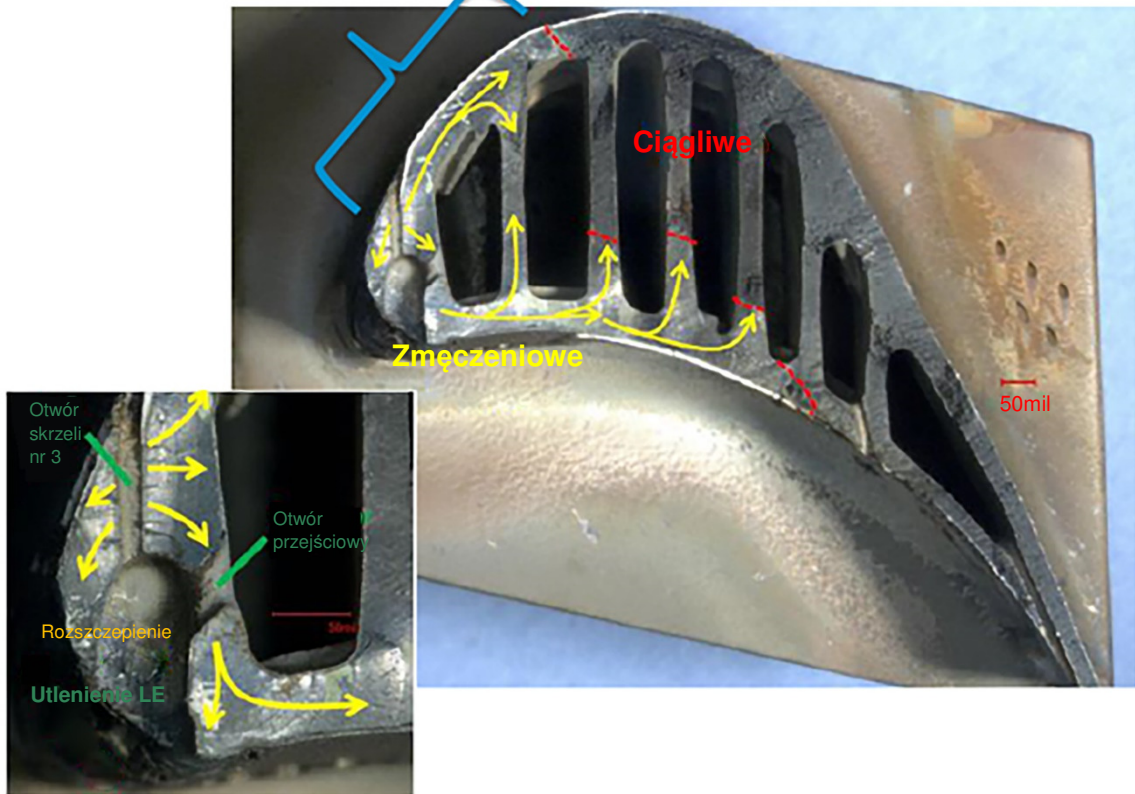
- ~ 35% z nich skutkowało tak znaczącymi zdarzeniami jak IFSD.
- ~ 65% z nich skutkowało wykryciem sygnatury drgań i późniejszym nieplanowym wymontowaniem silnika (UER).

Poprzednia ocena Metlab jest spójna z ustaleniami dla silnika SN 874306.

- Do inicjacji pęknięć dochodzi w jamie krawędzi natarcia przy otworze chłodzącym lub otworze przejściowym żebra.
- Następnie pęknięcia propagują w zmęczeniu niskocyklowym (LCF) do 3. lub 4. żebra wewnętrznego, co poprzedza oddzielenie się profilu z powodu przeciążenia ciągłego. Kryteria przeglądu w AMM i SB okazały się skuteczne w zarządzaniu awariami z powodu pęknięcia krawędzi natarcia.

Nie jest to ESN 874306 - tylko dla przykładu

Przed oddzieleniem, pęknięcia
osiągają długość zazwyczaj



Rys. 29. Praktyczne doświadczenia z pękaniem krawędzi natarcia - przykład.

Źródło: Podsumowanie oceny Metlab dotyczącej oderwania profilu łopatki turbiny HPT w silniku CFM56-7B o numerze seryjnym 874306. str. 18.

Podsumowanie analizy:

Łopatka HPT #80 (S/N BWHN9B01) wykazuje oddzielenie profilu na ~15% długości radialnej. Ocena metalurgiczna pokazuje pęknięcia zainicjowane w łopatce głównej w jamie krawędzi natarcia profilu przy wewnętrznym otworze przejściowym żebra. Pęknięcia propagowały w LCF do przodu i tyłu wklęsłych i wypukłych powierzchni profilu do oddzielenia się profilu.

Historia użytkowania łopatki pokazuje potencjalne niewykorzystanie okazji do wykrycia pęknięcia krawędzi natarcia:

- Łopatki M10P01 były użytkowane w rejonie indyjskim ~9600 FC → SB 72 0886 zaleca powtórzenie BSI co 800 cykli po naprawie części. W tym przypadku nie przestrzegano planu przeglądów.
- Widoki z BSI dostarczone przez klienta nie są optymalne dla wykrycia pęknięć krawędzi natarcia na wklęsłości rzędu skrzeli 1.
- SB 72 0886 zaleca kontrolę wewnętrznego przejścia żebra zgodnie z RD 150 1551 przed naprawą/przeoględem z 2013. Kontroli nie wykonano zgodnie z poniższymi zaleceniami:

- (2) W przypadku silników CFM56-7B, które użytkowano w Indiach i które są kierowane do warsztatu, należy postępować w następujący sposób:
- (a) jeżeli łopatki HPT osiągnęły ponad 5 000 cykli od początku eksploatacji (CSN) oraz 2 500 lub więcej z całkowitej liczby odlotów miało miejsce w Indiach, przy kierowaniu do naprawy należy zlecić przegląd wewnętrznych żeber krawędzi natarcia w celu oceny inicjacji pęknięć i dopuszczalności naprawy zgodnie z RD 150-1551. Dla zapewnienia, że zakład naprawczy wie o konieczności przeprowadzenia przeglądu, należy zlecić wykonanie przeglądu RD 150-1551 na dokumencie zlecającym naprawę. Łopatki HPT, które przejdą przegląd sprawności CFM56-7B ESM oraz przeglądy określone w RD 150-1551 z wynikiem pozytywnym będą identyfikowane znakiem X po określeniu liczby cykli. W przypadku tych łopatek, po zwróceniu do użytkowania, należy przestrzegać okresu wykonania badania boroskopowego na skrzydle podanego w ust. 3.A.(1)(a)3 oraz 3.A.(1)(a)4.
- (...)
- 3 W przypadku łopatek HPT spełniających podane wyżej kryteria dotyczące cykli użytkowania w Indiach, które zostały wymontowane i poddane naprawie podczas wizyty w warsztacie, a następnie zwrócone do użytkowania w Indiach, należy nadal przestrzegać skróconych okresów wykonywania badania boroskopowego obowiązujących przez odesłaniem do warsztatu.
- 4 W przypadku łopatek HPT spełniających podane wyżej kryteria dotyczące cykli użytkowania w Indiach, które zostały wymontowane i poddane naprawie podczas wizyty w warsztacie, a następnie zwrócone do użytkowania poza Indiami, należy nadal przestrzegać skróconego okresu wykonywania badania boroskopowego wynoszącego 800 cykli.

Rys. 30. Dokument naprawy (RD) 150-1551 (S1 lub wyższy), wirnik turbiny wysokiego ciśnienia
Zespół - Łopatki wirnika turbiny wysokiego ciśnienia - Przeróbka - Ocena
możliwości naprawy łopatek użytkowanych w środowisku piaszczystym/zapylnym

Źródło: Wyciąg z Biuletynu bezpieczeństwa 72 0886: SILNIK - Łopatki HPT (72-52-01) - Przegląd
Łopatek HPT - Region Indii.

Proponowana przyczyna źródłowa to pęknięcie krawędzi natarcia łopatki HPT, co jest zbieżne z wcześniejszymi doświadczeniami praktycznymi z silnikami CFM56 dla tej konfiguracji łopatek HPT.

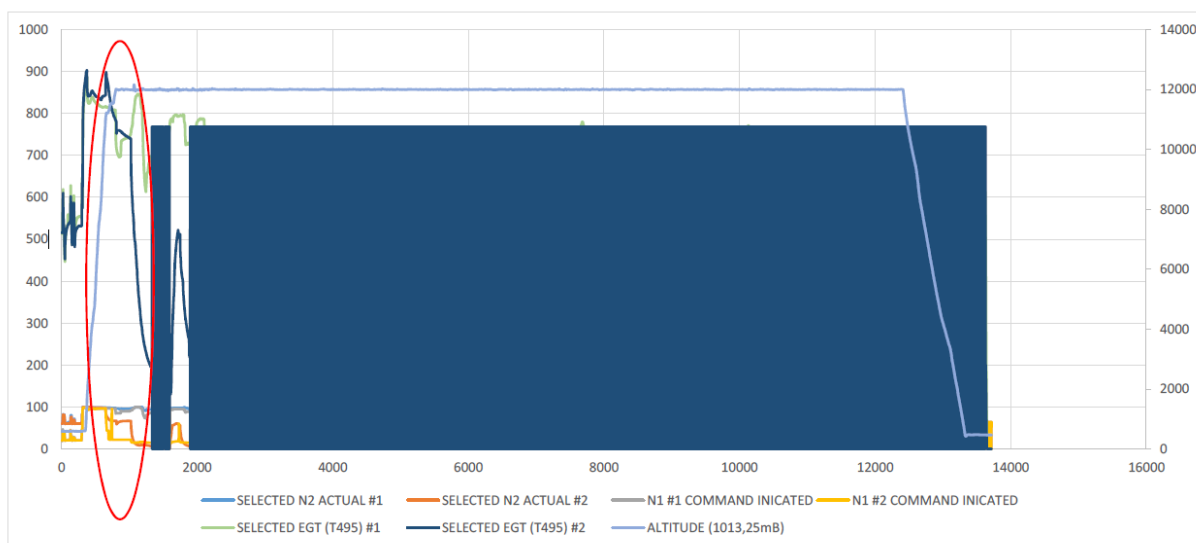
Analiza monitorowania danych lotu.

Skrócony opis:

Dnia 15 sierpnia 2022 r. doszło do zdarzenia co w efekcie doprowadziło do wyłączenia w locie silnika #2 ESN 874306 w samolocie SP-ENU. 737-800 SP-ENU wystartował o godz. 14:59 UTC z EPGD i miał wylądować na GCFV. Po starcie z EPGD, załoga statku powietrznego zgłosiła uszkodzenie silnika i podjęła decyzję o powrocie do EPGD - zgodnie z procedurami. Jednakże, ze względu na pełne zbiorniki paliwa i w efekcie

przekroczoną MLW, według załogi natychmiastowe lądowanie w EPGD nie było możliwe (mimo, że producent samolotu zezwala na lądowanie z przekroczoną MLW). W celu spalenia paliwa i zmniejszenia LW, statek powietrzny pozostawał w strefie oczekiwania. Warunki pogodowe w pobliżu EPGD uległy znaczącemu pogorszeniu zanim zdołano spalić wystarczającą ilość paliwa. Ponieważ lądowanie w EPGD okazało się niebezpieczne, samolot z 171 pasażerami na pokładzie skierował się do EPWA. Samolot wylądował bezpiecznie w EPWA o godz. 18:37UTC.

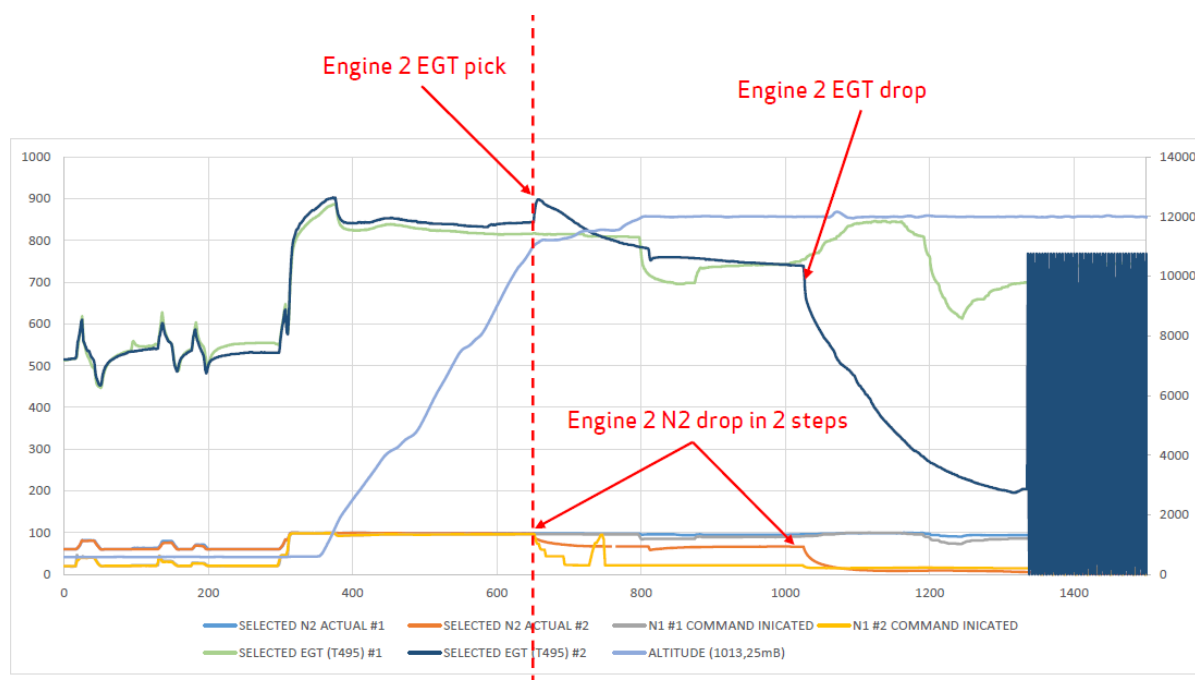
Na poniższych wykresach przedstawiono szczegółowe dane parametrów silnika wraz z odpowiednią legendą.



Rys. 31. Wykres dla obu silników. Wyróżniono początkową część lotu wraz ze szczegółowym wskazaniem wybranych parametrów opisanych w legendzie wykresu.

N1 – Prędkość obrotowa wirnika niskiego ciśnienia,
N2 – Prędkość obrotowa wirnika wysokiego ciśnienia,
EGT - Temperatura gazów wylotowych.

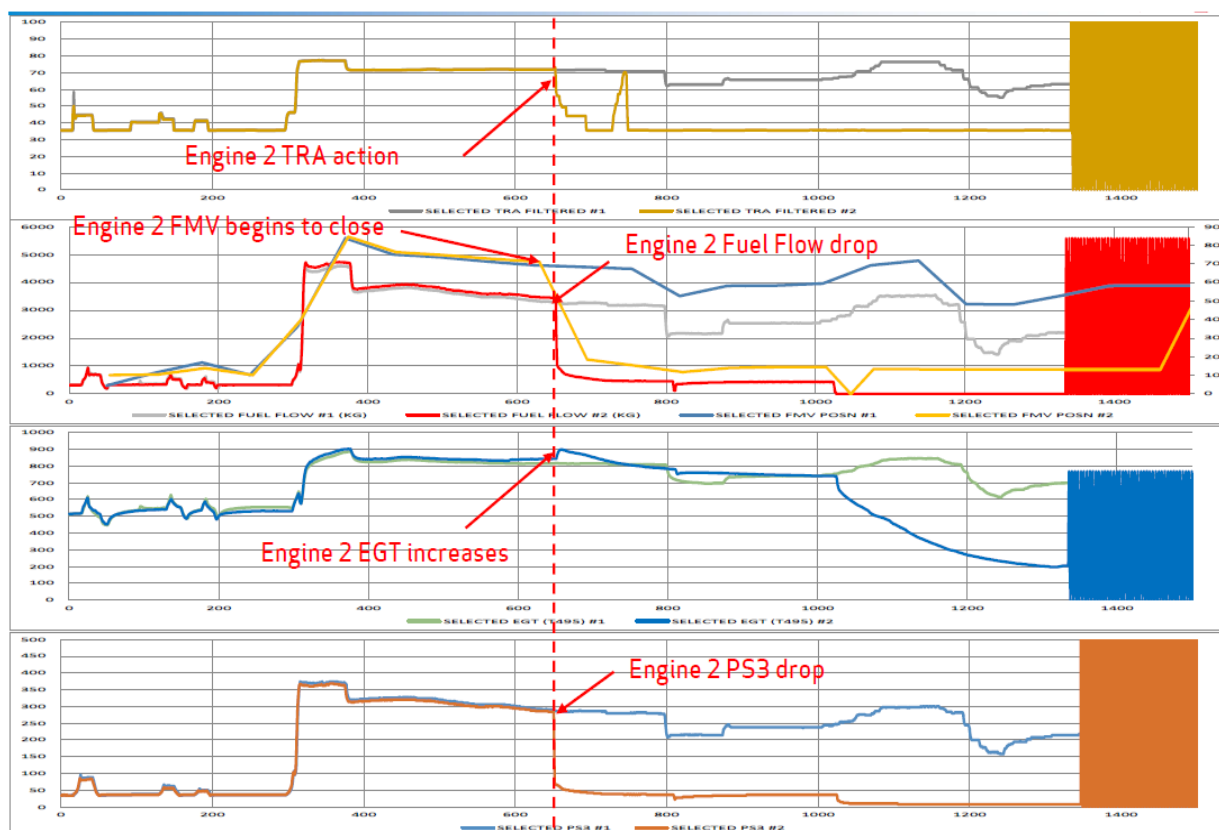
Źródło: Analiza monitorowania danych lotu. ENTER AIR CFM56-7B
STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.



Rys. 32. Wykres dla obu silników. Wyodróżniono czas wystąpienia incydentu (czerwona linia przerywana) ze szczegółowym wskazaniem wybranych parametrów opisanych w legendzie wykresu.

Źródło: Analiza monitorowania danych lotu. ENTER AIR CFM56-7B

STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.



Rys. 33. Wykres dla obu silników. Wyodróżniono czas wystąpienia incydentu (czerwona linia przerywana) ze szczegółowym wskazaniem wybranych parametrów opisanych w legendzie wykresu.

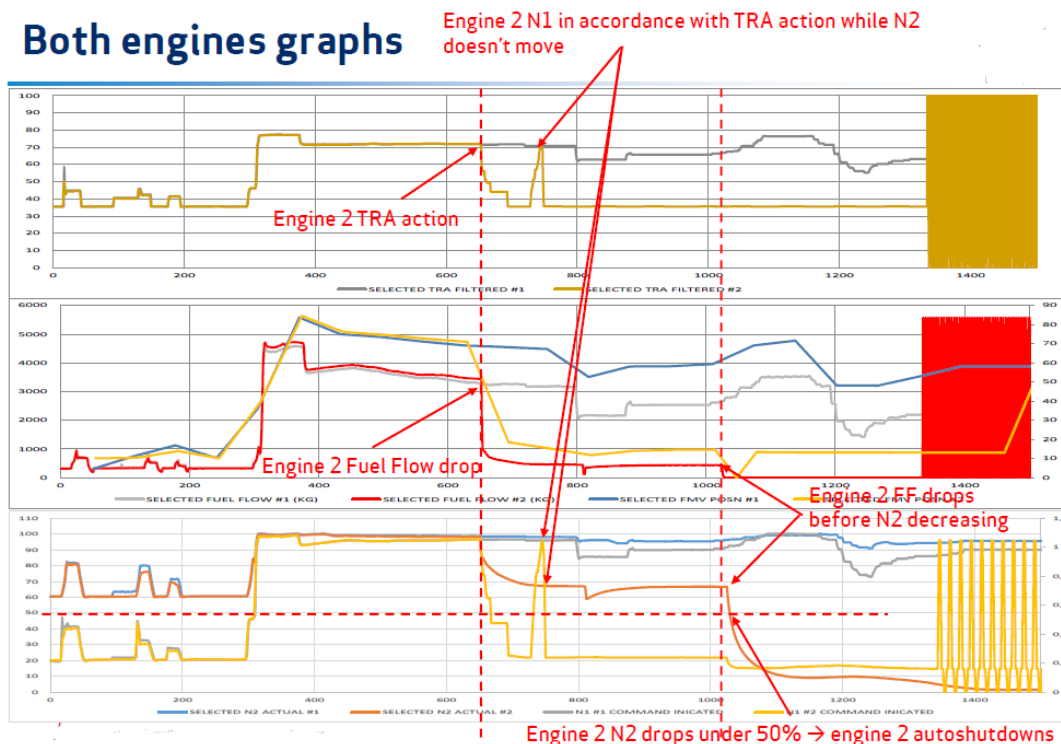
TRA – Kąt resolvera przepustnicy,¹⁰

FMV – Zawór dozujący paliwo,¹¹

PS3 - Ciśnienie statyczne na wylocie ze sprężarki.¹²

Źródło: Analiza monitorowania danych lotu. ENTER AIR CFM56-7B

STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.



Rys. 34. Wykres dla obu silników. Wyróżniono czas wystąpienia incydentu (czerwona linia przerywana) ze szczegółowym wskazaniem wybranych parametrów opisanych w legendzie wykresu.

TRA – Kąt resolvera przepustnicy,

N2 – Prędkość obrotowa wirnika wysokiego ciśnienia.

Źródło: Analiza monitorowania danych lotu. ENTER AIR CFM56-7B

STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.

¹⁰ **TRA** należy do parametrów dostarczanych do układu sterowania zaworem zmiennych łopatek kierownicy (VSV). Układ VSV ustawia łopatki kierownicy sprężarki wysokiego ciśnienia (HPC) pod odpowiednim kątem w celu zoptymalizowania wydajności HPC. Poprawia również margines przeciągnięcia podczas przejściowych operacji silnikiem.

¹¹ **FMV** - dostarcza sygnał do systemu FADEC, który jest wbudowanym urządzeniem testującym (BITE). Oznacza to, że może wykrywać własne usterki wewnętrzne, a także usterki zewnętrzne.

¹² **PS3** - dostarcza sygnał do systemu FADEC, który jest wbudowanym urządzeniem testującym (BITE). Oznacza to, że może wykrywać własne usterki wewnętrzne, a także usterki zewnętrzne.

Time (secs)	SELECTED N2 ACTUAL #1	SELECTED N2 ACTUAL #2	N1 #1 COMMAND INDICATED	N1 #2 COMMAND INDICATED	v
1024,75	96,25	66,62	91,5	20,97	
1024,875	96,25	66,62	91,5	20,8	
1025	96,25	66,62	91,5	20,62	
1025,125	96,25	65,88	91,5	20,45	
1025,25	96,25	65,12	91,5	20,28	
1025,333	96,25	64,63	91,5	20,17	
1025,375	96,25	64,38	91,5	20,11	
1025,5	96,25	63,62	91,5	19,94	
1025,625	96,25	62,88	91,5	19,77	
1025,666	96,25	62,63	91,5	19,71	
1025,75	96,25	62,12	91,5	19,59	
1025,875	96,25	61,38	91,5	19,42	
1026	96,25	60,62	91,5	19,25	
1026,125	96,25	60,16	91,57	19,16	
1026,25	96,25	59,69	91,64	19,08	
1026,333	96,25	59,38	91,69	19,02	
1026,375	96,25	59,22	91,71	18,99	
1026,5	96,25	58,75	91,78	18,91	
1026,625	96,25	58,28	91,85	18,82	
1026,666	96,25	58,13	91,87	18,79	
1026,75	96,25	57,81	91,92	18,73	
1026,875	96,25	57,34	91,99	18,65	
1027	96,25	56,88	92,06	18,56	
1027,125	96,28	56,44	92,13	18,48	
1027,25	96,31	56	92,2	18,39	
1027,333	96,33	55,71	92,25	18,33	
1027,375	96,34	55,56	92,27	18,3	
1027,5	96,38	55,12	92,34	18,22	
1027,625	96,41	54,69	92,41	18,13	
1027,666	96,42	54,54	92,44	18,1	
1027,75	96,44	54,25	92,48	18,05	
1027,875	96,47	53,81	92,55	17,96	
1028	96,5	53,38	92,62	17,88	
1028,125	96,52	53	92,62	Zone de g	
1028,25	96,53	52,62	92,62	17,77	
1028,333	96,54	52,38	92,62	17,73	
1028,375	96,55	52,25	92,62	17,71	
1028,5	96,56	51,88	92,62	17,66	
1028,625	96,58	51,5	92,62	17,6	
1028,666	96,58	51,38	92,62	17,58	
1028,75	96,59	51,12	Engine 2 shutdown	17,5	
1028,875	96,61	50,75	92,62	17,49	
1029	96,62	50,38	92,62	17,44	
1029,125	96,62	50,05	92,62	17,38	
1029,25	96,62	49,72	92,62	17,33	

Rys. 36. Dane silnika w czasie ze wskazaniem wyłączenia Silnika 2.

Źródło: Analiza monitorowania danych lotu. ENTER AIR CFM56-7B

STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.

Analiza danych wskazuje, że:

- W 649. sekundzie po starcie, zawór VBV silnika nr 2 zaczął się otwierać,
- W 651. sekundzie po starcie, EGT w silniku nr 2 zaczęła rosnąć i 657 sekund po starcie osiągnęła 898°C (poniżej granicy w AMM). W tej samej sekundzie, PS3 silnika zaczęło spadać.
- Jednocześnie, w 652. sekundzie po starcie, można zauważyć spadek przepływu paliwa w silniku nr 2 pod koniec wznoszenia.
- W 653. sekundzie po starcie, można zauważyć działanie TRA w silniku nr 2.
- Zauważono również działanie TRA w silniku 2 kilka sekund później (około 75 sekund po pierwszym działaniu TRA) bez zmiany innych parametrów (N2, przepływ paliwa).

- W 1028. sekundzie po starcie, przepływ paliwa w silniku nr 2 spadł definitywnie po raz drugi i zaobserwowano automatyczne wyłączenie silnika nr 2 (w 1029. sekundzie po starcie).

Wniosek:

W rezultacie, w krótkim czasie (około 2 sekundy) doszło do otwarcia VBV, wzrostu EGT oraz spadku PS3 i przepływu paliwa, co potwierdza, że silnik przestał pracować.

Dodatkowo, odnotowano, że mimo zauważonego działania TRA, parametry N2 i przepływu paliwa nie powróciły do stanu normalnego, zatem można uznać, że wyłączenie silnika było nieodwracalne.

Jako że przepływ paliwa spadł bez powrotu do stanu normalnego po próbie uruchomienia TRA, z analizy można wysnuć podejrzenie, że jedną z przyczyn źródłowych tego zdarzenia mógł być tkz. *fuel package* (FMV, HMU¹³, pompa paliwa).

Obserwacja:

Parametr dźwigni głównej nie został udostępniony w analizowanym pliku excel z danymi lotu.

Dodatkowa analiza techniczna i obserwacje dotyczące napędu.

Start statku powietrznego w 00:07:55 s. od początku zapisu¹⁴.

Znaczniki czasu:

- Pierwszy znacznik czasu (żółty)¹⁵ pokazuje kiedy zaczyna spadać prędkość silnika 2 – 00:12:51.
 - PS3 spada z 248 PSI do 68 PSI, a następnie dalej spada.
 - EGT wzrasta z 844°C do 898°C, a następnie zaczyna spadać.
 - Następuje otwarcie zaworu upustowego (VBV) (z 0 stopni do 34 stopni).
 - Następuje zamknięcie zaworu zmiennych łopatek kierownicy (VSV) (z -0,5 stopnia do 26 stopni).
 - Przepływ paliwa około 7584 PPH i zaczyna spadać.
 - Nieznaczne wahania wibracji HPT (spadły, a następnie zaczęły rosnać). Jednakże wszystkie wibracje silnika były poniżej 1,0 jednostki.
 - Różnice w regulatorach sterujących (planowanie paliwa) silników.
 - Regulator sterujący Silnika 1 = 3 (N1/N2 kontrola prędkości).
 - Regulator sterujący Silnika 2 = 9 (PS3 granica przyspieszenia).
- Drugi znacznik czasu (niebieski) pokazuje kiedy ustawiony został sygnał awarii Silnika nr 2 – 00:15:48.
 - PS3 jest stałe w przedziale 30-36 PSI.
 - EGT jest stała ok. 760°C.
 - Paliwo wciąż przepływa ok. 816 PPH.

¹³ HMU – jednostka hydromechaniczna – element systemu FADEC, który przetwarza sygnały elektryczne z jednostki sterowania elektronicznego na ciśnienie hydrauliczne poruszające zaworami i siłownikami silnika.

¹⁴ Wszystkie czasy podane w tym punkcie podano na podstawie zapisu rejestratora parametrów lotu. Początek zapisu 00:00:00.

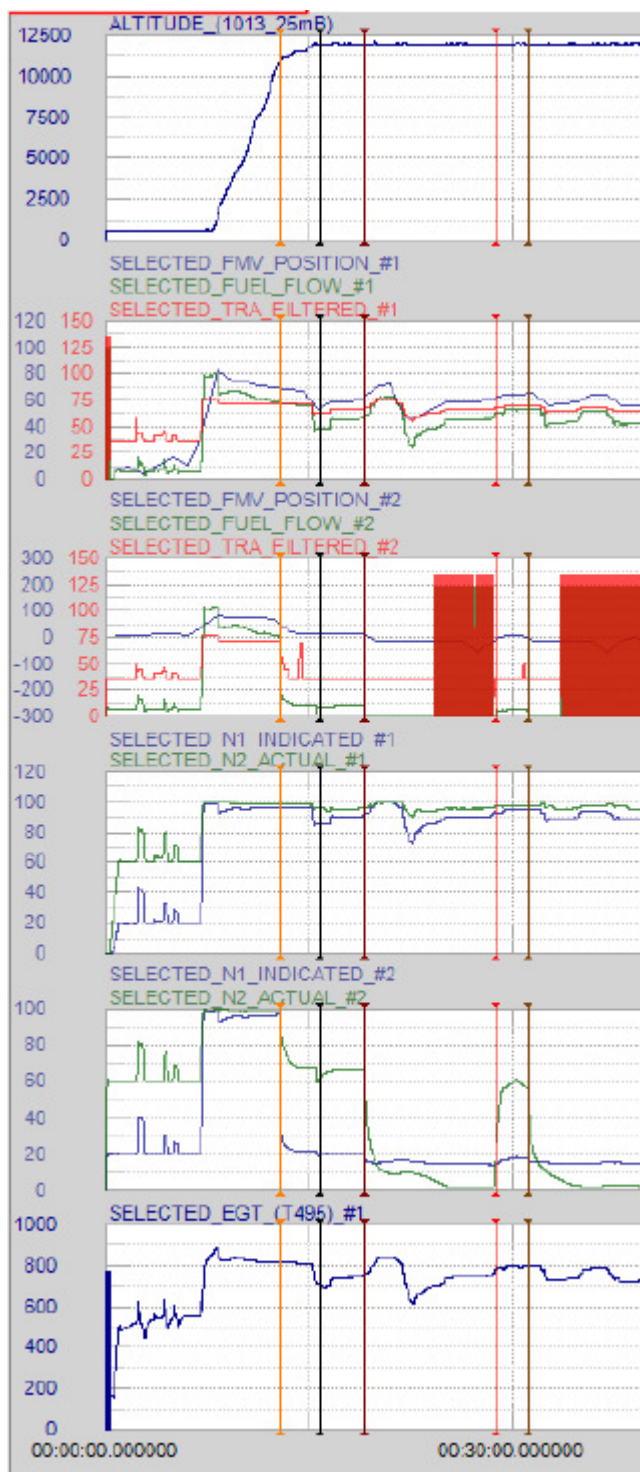
¹⁵ Zob. wszystkie wykresy pod analizą.

- Trzeci znacznik czasu (bordowy) pokazuje kiedy dźwignia uruchomienia Silnika nr 2 została przesunięta do położenia CUTOFF – 00:19:05.
- Czwarty znacznik czasu (czerwony) pokazuje kiedy załoga lotnicza wykonuje próbę ponownego uruchomienia – 00:28:35.
 - Zawór powietrza rozruchowego (SAV) otwiera się w 00:28:35, a dźwignia rozruchu w położeniu RUN w 00:28:49 (~14 sekund po otwarciu SAV).
 - W chwili ustawienia dźwigni rozruchu w położeniu RUN, N2 wynosiła 23%.
 - Silnik 2 przyspieszył do 61% N2, a następnie zaczął powoli zwalniać.
- Piąty znacznik czasu (brązowy) pokazuje kiedy załoga lotnicza przerwała próbę uruchomienia silnika, dźwignia rozruchu w położeniu CUTOFF – 00:31:10.
 - W chwili ustawienia dźwigni rozruchu w położeniu CUTOFF, Silnik nr 2 spadł do 56% N2.

Inne obserwacje:

- Przed awarią, silnik nr 2 zużywał więcej paliwa niż silnik nr 1, a EGT było nieznacznie wyższe (średnio około 20 stopni wyższa).
- Awaria Silnika nr 2 oraz późniejsze zachowanie N2 podczas próby ponownego uruchomienia silnika wydają się spójne z awarią łopatkki HPT zaobserwowaną w silniku CFM56-7B.
- Z zapisów wynika, że silnik nr 1 reagował podczas lotu normalnie.
 - Przepływ paliwa odpowiada położeniu FMV, które odpowiada dźwigniom przepustnicy/TRA.
 - Wibracje w granicach normy, bez przekroczeń.
 - Praca na ~ 90% N1 przez pozostały czas lotu.
- A/T rozłączono około 2 minuty przed tym jak prędkość silnika nr 2 zaczęła spadać.
- W obydwu silnikach EEC¹⁶ działał w trybie normalnym bez i bez przekroczeń.

¹⁶ **Elektroniczne Sterowanie Silnikiem (EEC)** Każdy silnik posiada całkowicie autonomiczny system cyfrowego sterowania silnikiem. Każdy EEC posiada dwa niezależne kanały sterowania, automatycznie przechodząc na drugi kanał w przypadku awarii pierwszego. Przy każdym uruchomieniu lub próbie uruchomienia silnika, EEC wykorzystuje kanały naprzemiennie. EEC wykorzystuje otrzymywane sygnały z dźwigni przepustnicy do automatycznego sterowania ciągiem do przodu i ciągiem odwróconym. N1 jest wykorzystywana przez EEC do ustawiania ciągu w dwóch trybach sterowania: normalnym i alternatywnym. Ręczny wybór trybu sterowania odbywa się przy użyciu przełączników EEC na panelu silnika. Pełny znamionowy ciąg startowy dla zamontowanego silnika jest dostępny przy ustawieniu dźwigni ciągu poniżej granicznego położenia do przodu. Wartości ciągu do startu ze stałą lub założoną temperaturą i ciągu obniżonego są ustawiane przez położenie dźwigni ciągu poniżej pełnego ciągu do startu. Maksymalny ciąg znamionowy jest dostępny w granicznym położeniu do przodu. EEC ogranicza maksymalny ciąg odpowiednio do modelu samolotu.



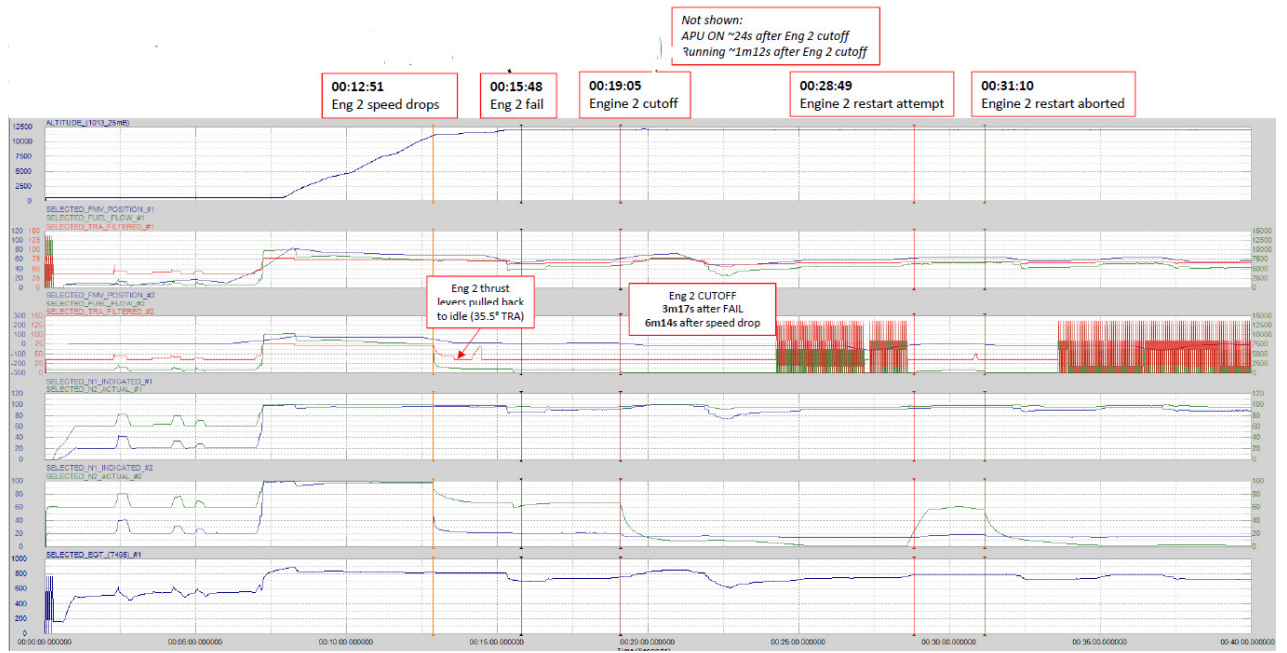
Rys. 37. Przegląd danych lotu 1/2.

Źródło: Podsumowanie napędu. ENTER AIR CFM56-7B
STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.



Rys. 38. Przegląd danych lotu 2/2.

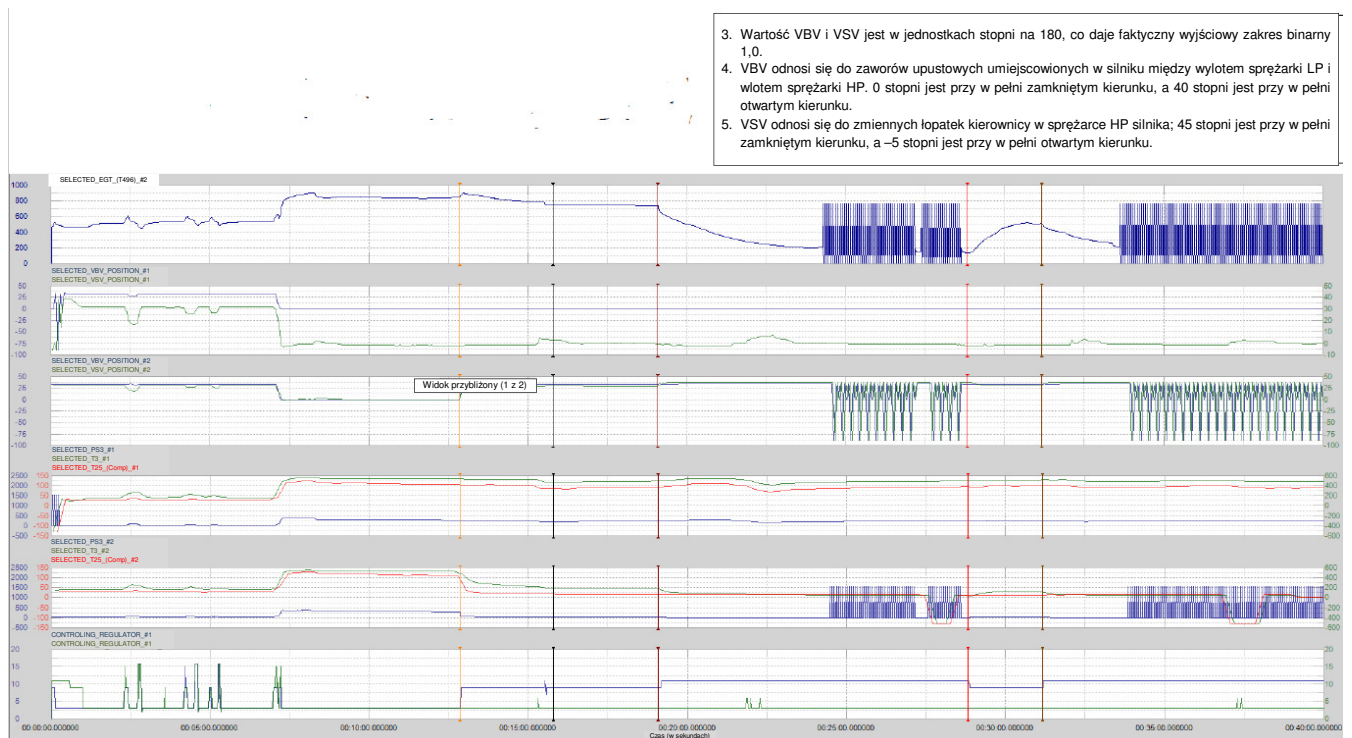
Źródło: Podsumowanie napędu. ENTER AIR CFM56-7B
STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.



Rys. 39. Przybliżenie – widok 1/2.

Źródło: Podsumowanie napędu. ENTER AIR CFM56-7B

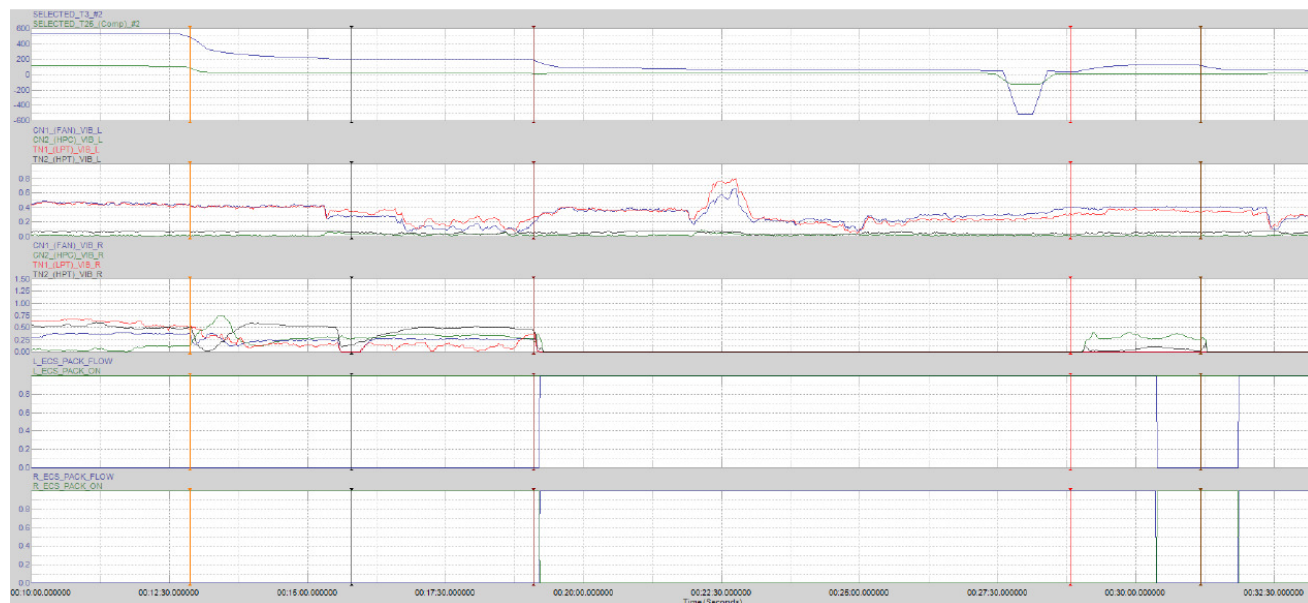
STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.



Rys. 40. Przybliżenie – widok 2/2.

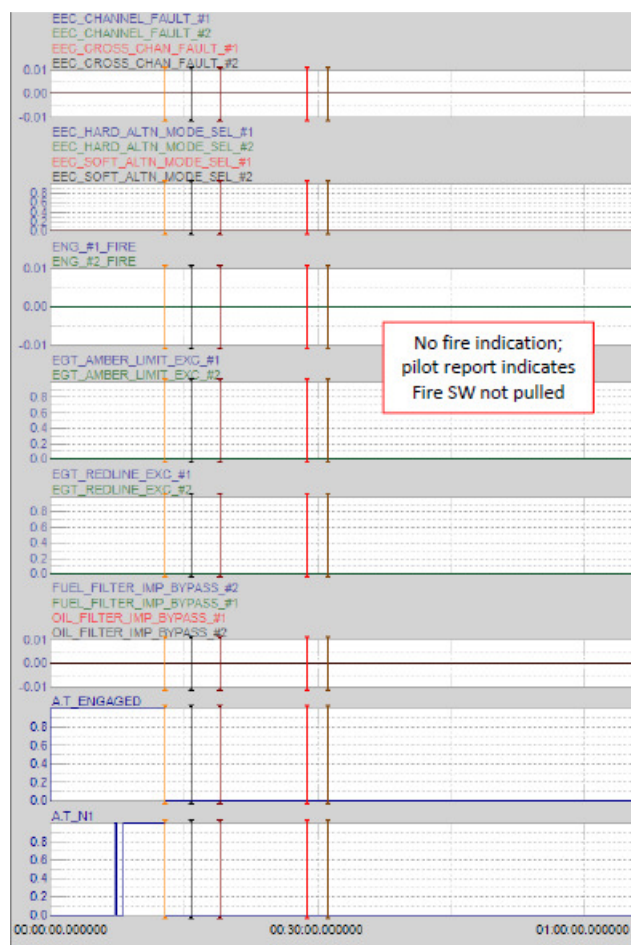
Źródło: Podsumowanie napędu. ENTER AIR CFM56-7B

STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.



Rys. 41. Drgania.

Źródło: Podsumowanie napędu. ENTER AIR CFM56-7B
STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.



Rys. 42. EEC działało w trybie normalnym bez usterek EEC, A/T rozłączono podczas lotu.

Źródło: Podsumowanie napędu. ENTER AIR CFM56-7B
STATEK POWIETRZNY SP-ENU - ESN 874306, Pozycja silnika 2, Zdarzenie z 15 sierpnia 2022 r.

Analiza dokumentacji technicznej.

Operator dostarczył dokumentację techniczną statku powietrznego. Analiza wspomnianej dokumentacji wskazuje, że o godz. 14:35 wykwalifikowany inżynier, a o godz. 14:36 dowódca lotu, podpisali dokument i obaj poświadczyli, że określona praca, o ile nie wskazano inaczej, została wykonana zgodnie z przepisami Part-145, w związku z czym statek powietrzny uznaje się za zdatny do dopuszczenia do użytkowania. Samolot był w pełni sprawny. Inżynier uzupełnił 3 kwarty oleju w silniku nr 1 i silniku nr 2. Całkowita ilość oleju do odlotu: silnik nr 1: 18 kwart i silnik nr 2: 18 kwart. Płyn hydrauliczny do odlotu: system A: 90%, system B: 92%. Tlen dla załogi do odlotu: 1450 PSI. Paliwo do odlotu: 18 570kg (zbiornik w lewym skrzydle: 3810kg, zbiornik w prawym skrzydle: 3800kg, zbiornik centralny: 10 960kg).

Ostatnia kontrola przed odlotem: 15 sierpnia 2022 r., godz. 14:35.

Ostatnia zakończona kontrola 48-godzinna: 15 sierpnia 2022 r., godz. 01:48.

Ostatnia zakończona kontrola tygodniowa: 9 sierpnia 2022 r., godz. 23:45.

Analiza masy i wyważenia.

Wszystkie parametry dotyczące masy i wyważenia w granicach.

3. WNIOSKI

3.1. Ustalenia

- 1) Samolot w pełni sprawny do odlotu z wykonanymi i ważnymi kontrolami przed odlotem, 48-godzinną i tygodniową.
- 2) Członkowie załogi lotniczej i personelu pokładowego byli wypoczęci i przydzieleni zgodnie z FTL.
- 3) Obydwaj piloci mieli ważne licencje i uprawnienia na typ.
- 4) Obydwaj piloci mieli ważne badanie medyczne Klasy 1 z ograniczeniami VDL - korekcja wady widzenia dali).
- 5) Masa i wyważenie samolotu w granicach limitu.
- 6) Do odlotu, pierwszy oficer (FO) był pilotem lecącym (PF), a kapitan był pilotem monitorującym (PM).
- 7) Załoga lotnicza zidentyfikowała awarię silnika jako poważną i podjęła decyzje o wykonaniu listy kontrolnej *QRH NNC. 8.2. Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation*.
- 8) Pożaru nie wykryto.
- 9) Po wystąpieniu awarii silnika, piloci zamienili się rolami. Kapitan przyjął rolę pilota lecącego (PF), a pierwszy oficer (FO) przyjął rolę pilota monitorującego (PM).
- 10) Załoga lotnicza zadeklarowała sytuację awaryjną na pokładzie, zgłaszając PAN-PAN.

- 11) Wykonując procedurę z QRH *NNC. 8.2. Engine Fire or Engine Severe Damage or Separation* pominęła pkt 4 listy kontrolnej: *Wyłącznik przeciwpożarowy silnika (silnik, który uległ awarii)...potwierdzić...wyciągnąć, (Engine Fire Switch (affected engine)...confirm...pull).*
- 12) Po wykonaniu niepełnych czynności z NNC 8.2. załoga lotnicza podjęła decyzję o ponownym uruchomieniu silnika w locie.
- 13) Silnik nr 2 nie uruchomił się ponownie.
- 14) Załoga lotnicza początkowo zamierzała lądować na EPGD.
- 15) ATC poinformowała załogę, że Oficer Operacyjny EnterAir sugeruje zmianę kierunku lotu do EPWA.
- 16) Załoga lotnicza wykonała listę kontrolną *QRH NNC 7.32 One Engine Inoperative Landing.*
- 17) Załoga lotnicza opóźniła lądowanie w celu spalania paliwa i zmniejszenia LW, chociaż procedury szkolenia załóg lotniczych 737 przewidują możliwość bezpiecznego lądowania z przekroczoną masą maksymalną¹⁷.
- 18) Załoga lotnicza zmieniła kierunek lotu do EPWA mimo, iż było możliwie wybranie odpowiednich lotnisk, które były w mniejszej odległości niż EPWA.
- 19) Załoga lotnicza zadeklarowała sytuację niebezpieczną na pokładzie, zgłaszając MAYDAY.
- 20) Samolot wylądował bezpiecznie w EPWA.
- 21) Czas lotu 3 godziny 41 minuty.
- 22) 10 min. i 45 sek. po odlocie, rejestratory parametrów lotu wskazały odchylenia od standardowych wskazań parametrów silnika nr 2 (na wysokości 11 159ft).
- 23) Badanie BSI przeprowadzone po zdarzeniu wykazało jedną łopatkę HPT z urwanym/oddzielonym profilem.
- 24) Łopaska HPT nr 80 (PN 1957M10P01, SN BWHN9B01) wykazuje oddzielenie profilu na ~15% długości radialnej.
- 25) Ocena metalurgiczna wskazuje pęknięcia zainicjowane w łopasce głównej w jamie krawędzi natarcia profilu przy wewnętrznym otworze przejściowym żebra. Pęknięcia propagowały w LCF do przodu i tyłu wklęsłych i wypukłych powierzchni profilu do oddzielenia się profilu. Ustalenie jest zgodne z wcześniejszymi doświadczeniami praktycznymi z CFM56 dla tej konfiguracji łopatek HPT.
- 26) Silnik nr 2, łopaska HPT #80 złamana w ~15% długości, przy uszkodzeniach wielu łopatek HPT i osprzętu za nimi, spowodowanych uwolnionymi szczątkami.
- 27) Łopaska #80. Liczne łopatki uległy uszkodzeniu w wyniku zderzenia z uwolnionymi szczątkami profilu.

¹⁷ Na podstawie 737 Flight Crew Training Manual – Boeing podaje wytyczne dla wykonania bezpiecznego lądowania z przekroczoną masą maksymalną samolotu.

- 28) Łopatką HPT #80 wykazuje oddzielenie profilu.
- 29) Łopatką #75 i łopatką #38 wykazują najbardziej utlenione końcówki krawędzi natarcia.
- 30) Historia użytkowania łopatki HPT wskazuje niewykorzystanie okazji do wykrycia pęknięcia krawędzi natarcia łopatki.
- 31) Łopatki M10P01 były użytkowane w rejonie indyjskim ~9600 FC, gdzie SB 72 0886 zaleca powtórzenie BSI co 800 cykli po naprawie/przebiegu części.
- 32) Widoki z BSI dostarczone przez operatora nie są optymalne dla wykrywania pęknięć krawędzi natarcia na wklęsłości rzędu skrzeli 1.
- 33) SB 72-0886 zaleca kontrolę wewnętrznego przejścia żebra zgodnie z RD 150 1551 przed naprawą z 2013. Przebiegu nie wykonano zgodnie z zaleceniami zawartymi w SB.

3.2. Przyczyny incydentu i czynniki sprzyjające:

Przyczyną awarii silnika i związanych z nią uszkodzeń było pęknięcie łopatki głównej SNBWHN9B01.

Czynniki sprzyjające.

- 1) Na podstawie analizy raportu z badania boroskopowego z dnia 13 czerwca 2022 r., które było ostatnim badaniem BSI turbiny wysokiego ciśnienia (wykonanym po 234 cyklach) przed wystąpieniem IFSD, jest możliwym, iż w badaniu BSI łopatki głównej SNBWHN9B01 mógł zostać zastosowany niewłaściwy kąt widzenia, który jest zalecany przez producenta (uzasadnienie opisane w analizie).
- 2) Brak przeprowadzonego rekomendowanego badania RD 150-1551. W oparciu o zapisy naprawcze z Zakładu nr 23 w Singapurze, zostało stwierdzone, iż nie przeprowadzono badania RD 150-1551. Według stanu z naprawy z 2013 roku zakład odpowiadający za naprawę główną łopatek turbiny wysokiego ciśnienia (Zakład nr 23 w Singapurze) udostępnił zapisy naprawcze dotyczące łopatek HPT 1957M10P01 zamontowanych w silniku 874306 (silnik który uległ awarii). Według zawartych danych, procesowi naprawy poddano kompletny zestaw 80 łopatek, z czego naprawionych zostało 25 łopatek, w tym główna oddzielona łopatką SN BWHN9B01. Pozostałe 55 łopatek zostały z różnych przyczyn zezłomowane. Wśród przyczyn zezłomowania łopatek nie podano wymogu spełnienia warunków dokumentu naprawy RD 150-1551.

4. ZALECENIA

Nie sformułowano.

KONIEC

Nadzorujący badanie

.....
(podpis na oryginale)