

ANALIZA ZAPISÓW URZĄDZEŃ TAWS I FMS FIRMY UNIVERSAL AVIONICS ZAINSTALOWANYCH W RZĄDOWYM SAMOLOCIE TU-154M 101

Kazimierz Nowaczyk

Abstract

This paper analyses the data retrieved after the crash of Polish Air Force 101 near Smolensk, Russia on April 10, 2010 by the experts from the U.S. National Transportation Safety Board (NTSB). The sources of the retrieved data were the Terrain Awareness and Warning System (TAWS) and Flight Management System (FMS) devices manufactured by the Universal Avionics Systems used by the aircraft and found on the incident site. This data were compared with the data and conclusions presented in the official accident investigation reports prepared by MAK (Interstate Aviation Committee, Russian Federation) and KBWL (Committee for Investigation of National Aviation Accidents, Republic of Poland). The comparative analysis also includes from flight path visualization as well as (incomplete) results presented in the technical report prepared by the manufacturer of the Quick Access Recorder device, the Polish company ATM PP.

Keywords - ATM-QAR, FMS, TAWS, trajektorja

Streszczenie

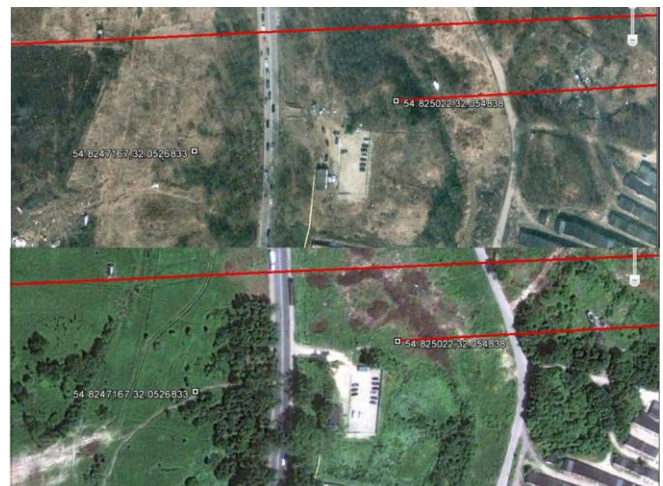
Przedmiotem opracowania jest analiza danych odzyskanych przez ekspertów powołanych przez NTSB (National Transportation Safety Board) po katastrofie w Smolensku z systemów komputerowych TAWS (Terrain Awareness and Warning System) i FMS (Flight Management System) zainstalowanych w TU-154M 101. Dane te, zamieszczone w raporcie NTSB dołączonym do załącznika nr 4 („Technika Lotnicza i Jej Eksploatacja”) do protokołu badania zdarzenia lotniczego nr 192/2010/11, zostały porównane z danymi i wnioskami przedstawionymi w raportach MAK (Interstate Aviation Committee) oraz KBWL LP (Komisja Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego). W procesie analizy porównawczej wykorzystane zostały również dane odczytane z wizualizacji ostatnich sekund lotu (załącznik 4.11) oraz najnowsze i niepełne informacje zawarte w raporcie technicznym z odzyskania danych z polskiego rejestratora szybkiego dostępu (QAR), przedstawione przez producenta ATM PP.

Słowa kluczowe – ATM-QAR, FMS, TAWS, , trajektorja

1. MATERIAŁY

Podstawowym źródłem danych przeprowadzonej analizy były raporty komisji MAK [1] i KBWL LP [2] oraz raport NTSB z przeprowadzonego przez ekspertów UA odczytu FMS i TAWS, zamieszczony w załączniku 4 do protokołu KBWL LP [3]. Wykorzystane również zostały dane z wizualizacji ostatnich sekund lotu, będącej załącznikiem do protokołu KBWL LP [3] oraz ekspertyza techniczna firmy

ATM PP [4] z odczytu rejestratora szybkiego dostępu (QAR). Już wstępne porównanie raportów MAK i KBWL wskazuje na znaczące odstępstwa pomiędzy nimi, mimo jednakowej konkluzji dotyczącej przyczyn katastrofy. W obu raportach trajektoria ostatnich sekund lotu odtworzona została w głównej mierze w oparciu o nieudokumentowane ślady widoczne w drzewostanie przed miejscem katastrofy. Obecnie ślady te są niemożliwe do odtworzenia, ponieważ już w pierwszych dniach po katastrofie zaczęto usuwać drzewa i krzewy (Rys. 1).



Rys. 1. Zdjęcia satelitarne z kwietnia (górne) i czerwca (dolne) 2010 r. w pobliżu ostatniego alarmu TAWS.

Podam znamieny przykład, który podważa wiarygodność raportu rosyjskiego i polskiego. W obu raportach podano czasy i miejsca wystąpienia alarmów TAWS (Tab. 1), zgodnie pomijając ostatni zapis TAWS #38. Komisja KBWL nie ujęła również danych odczytanych z zamrożonej pamięci FMS.

Zapisy dokonane w TAWS #38 odgrywają bardzo istotną rolę przy wyznaczaniu zarówno trajektorii poziomej jak i pionowej. Ten zapis jest szczególnie ważny z jeszcze jednego powodu – nie jest to alarm, ale standardowy zapis uruchamiany podczas każdego lądowania samolotu po jego zetknięciu z ziemią. Uruchamia go sensor znajdujący się w goleniach podwozia, a według zapisanych w pliku log informacji, samolot znajdował się wówczas na wysokości barycznej 35 metrów ponad poziomem początku pasa startowego.

Tab. 1. Synchronizacja odczytów FMS oraz TAWS według raportu MAK i KBWL.

TAWS	Czas UTC	MAK +4 h 3 s	KBWL + 6 s	Odległość od pocz. pasa [m]
FMS	6:41:02	10:41:05	6:41:08	575
#38	6:40:59	10:41:02	6:41:05	714
#37	6:40:43	10:40:46	6:40:49	1941
#36	6:40:36	10:40:39	6:40:42	2505
#35	6:40:29	10:40:32	6:40:34,5	3077
#34	6:40:03	10:40:06	6:40:09	5406

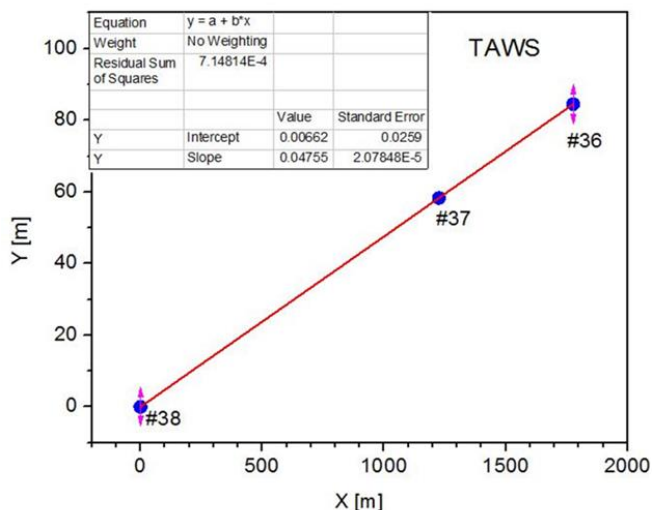
2. TRAJEKTORIA POZIOMA

W zapisach w raporcie NTSB (s. 452-454) oprócz pozycji geograficznej utrwalony został również kierunek podejścia i odchylenie od niego podane w stopniach na sekundę. Dla ostatnich trzech zapisów wynoszą one:

Tab. 2. True Track i Track Rate dla ostatnich alarmów TAWS. Dla True Track wartości w układzie biegunowym podane są kursywią.

	TAWS #36	TAWS #37	TAWS #38
True Track [deg]	91.757813 268.242187	93.032227 266.967773	92.988281 267.011719
Track Rate [deg/sec]	0.034652	-0.190988	-0.064736

Według ostatnich zapisów TAWS (z dokładnością wyznaczenia pozycji geograficznej) można, z bardzo dobrym przybliżeniem, opisać trajektorię poziomą samolotu przy pomocy prostej (Rys. 2).

**Rys. 2. Trajektorija samolotu w ostatnich sekundach.**

Zarówno raport MAK jak i KBWL podają natomiast na wykresach Magnetic Header (kurs magnetyczny) odchylenie około 10° w punkcie TAWS #38. Rysunek Rys. 3 pokazuje trajektorię TU-154M wyznaczoną z uwzględnieniem ostatniego zapisu TAWS, pominiętego w obu raportach. Trajektorija pozioma nie zmienia się aż do 140 metrów za brzoza, na której samolot miał stracić fragment skrzydła. Utrata skrzydła i wywołana tym zdarzeniem rotacja

samolotu wzdłuż osi podłużnej musiałyby skutkować zmianą kursu, czemu zaprzecza zapis TAWS #38.

**Rys. 3. Trajektorija pozioma w ostatnich sekundach lotu oparta na odczytach Universal Avionics.**

3. TRAJEKTORIA PIONOWA

Szczegółowa analiza trajektorii pionowej zawarta jest w artykule mgra Michała Jaworskiego pt. „Próba interpretacji wybranych parametrów lotu – trajektorija pionowa oraz kąt przechylenia” [5]. Dlatego w tym opracowaniu zwrócę szczególną uwagę na dodatkowe informacje, które ukazały się już po opublikowaniu raportów MAK i KBWL LP. Pierwsza z nich ukazała się w załączniku 4.11 do protokołu KBWL LP. W przedstawionej tam wizualizacji na ekranie widoczne są trzy zegary pokazujące wysokość samolotu w oparciu o rzeczywiste odczyty z trzech wysokościomierzy [6] przedstawionych na Rys. 4. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę każdego z tych wysokościomierzy.

Wysokościomierz WBE-SWS – wskazuje wysokość barometryczną bezwzględną lub względną. Współpracuje z systemami TAWS i FMS. Wskazania w [m] lub [ft]. Przy odczytywaniu wskazań z tego wysokościomierza uwzględniona została korekta -168 m, wynikająca z przestawienia przez pierwszego pilota ciśnienia 993 hPa na standardowe 1013 hPa (raport KBWL s. 213). Dokładność tego wysokościomierza dla wysokości bliskich poziomowi pasa wynosi ± 4 m [7].

Wysokościomierz UWO-15M1B – wskaźnik wysokości barometrycznej z kompletem systemu sygnałów powietrznych SWS-PN-15-4B. Wskazania w [m].

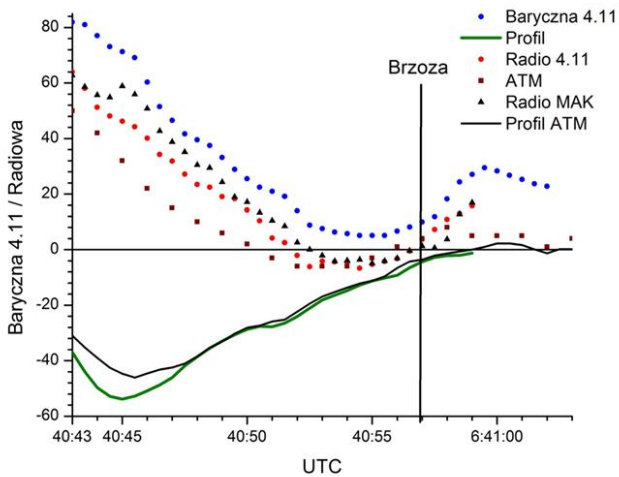
Radiowysokościomierz UW-5M – wskaźnik wysokości rzeczywistej (nad terenem). Dodatkowo sygnalizuje przekroczenie niebezpiecznej wysokości lotu, ustawionej przez załogę. Wskazania w [m].

**Rys. 4. Od lewej: wysokościomierz WBE-SWS, UWO-15M1B oraz UW-5M.**

Analiza tych odczytów i porównanie ich z danymi zawartymi w raportach MAK i KBWL wskazuje na znaczne rozbieżności, przekraczające dokładność pomiarów, szczególnie w pobliżu brzozy, która miała urwać fragment lewego skrzydła. Najlepiej ilustruje to poniższy wykres (Rys. 5) i tabela (Tab. 3).

Zastanawiające są rozbieżności pomiędzy trzema raportami, przyjmującymi tak różne wysokości początku

pasu. Chyba należałoby przyjąć, że jest to wartość stała i mierzalna z dokładnością większą od siedmiu metrów ?



Rys. 5. Trajektoria pionowa wyznaczona w oparciu o dane odczytane z załącznika 4.11 i raportu MAK.

Tab. 3. Podsumowanie wysokości radiowych przy brzozie, 855 metrów od początku pasu.

	MAK	KBWL	ATM
Poziom pasu [m npm]	258	254	251
Brzoza [m npm]	248	250	250
Wysokość nad poziomem pasu:	-4.3	1.1	6.5
Wysokość ścięcia brzozy:	5.7	5.1	7.5

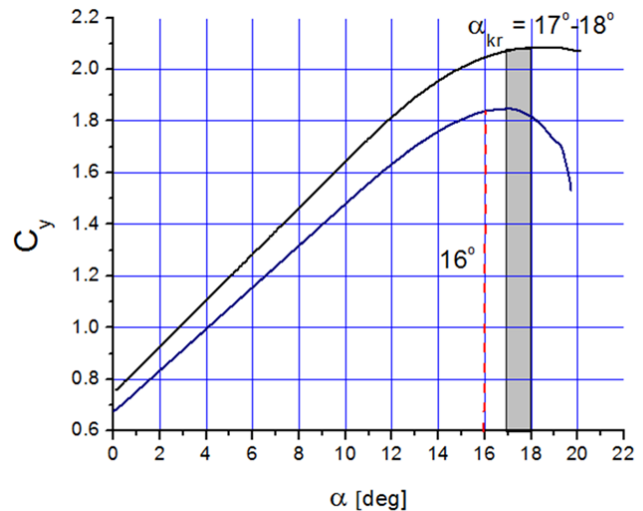
Z przedstawionego na Rys. 5 zestawienia wynika, że zgodnie z odczytaną z wysokościomierza WBE-SWS wysokością baryczną, samolot przeleciał nad brzozą na wysokości 20 metrów nad ziemią, nie zderzył się z drzewem, a co za tym idzie, nie utracił końcówki lewego skrzydła w wyniku kolizji z brzozą. Przez następne dwie sekundy leciał zgodnie z kursem i wznosił się, osiągając w miejscu zapisu TAWS #38 wysokość 35 metrów nad ziemią. Ekspertyza ATM wyjaśniła intrygującą rozbieżność zanotowanej wysokości barycznej (35 m) i radiowej (12 m) w ostatnim alarmie TAWS, podając, że zgodnie z zapisem QAR, krótko przed jego wystąpieniem, nastąpiła awaria obu radiowysokościomierzy.

4. ROTACJA

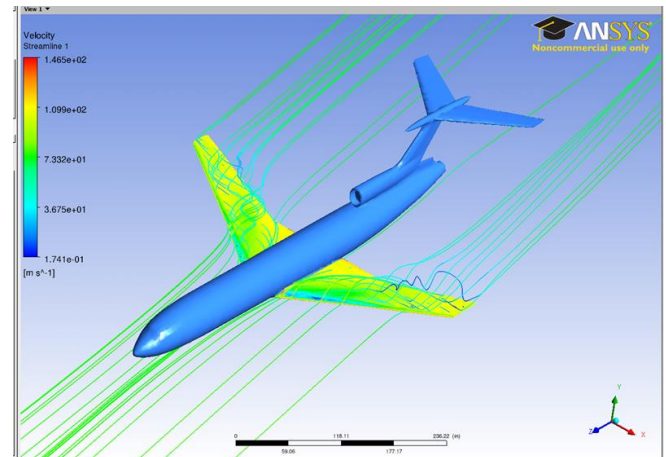
Współczynniki siły nośnej C_y i oporu aerodynamicznego C_x samolotu TU-154M w konfiguracji podejścia do lądowania zamieszczone w książce „Практическая аэродинамика самолета Ту-154М” [8, 9], pozwalają na wyznaczenie współczynnika siły nośnej w zależności od kąta natarcia α (Rys. 6) po uprzednim uwzględnieniu zmiany kąta obrotu samolotu (Roll left z raportu MAK) oraz oderwania końcówki skrzydła.

Z zamieszczonego wykresu wyraźnie widać, że zmniejsza się krytyczny kąt natarcia i znacznie wzrasta możliwość przepadnięcia samolotu po przekroczeniu tej wartości. Dlatego podana przez komisję Millera maksymalna wartość kąta natarcia po utracie fragmentu lewego skrzydła i

wynosząca 20° jest nierealna i spowodowałaby gwałtowne przepadnięcie samolotu około 100 metrów za brzożą.

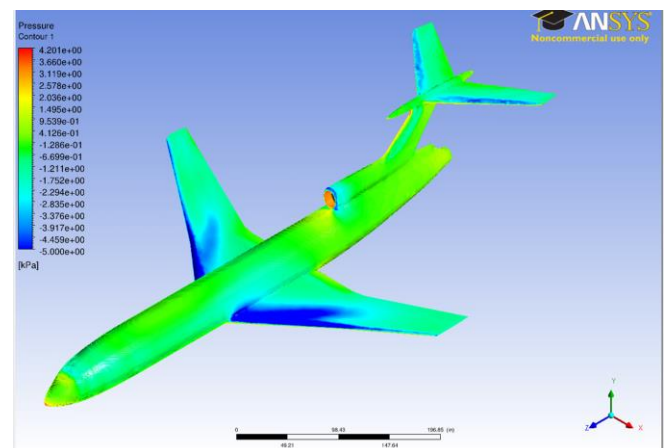


Rys. 6. Krzywa literaturowa (linia górna) i przeliczona dla TU-154M w Smoleńsku (linia dolna).



Rys. 7. Przepływ strug powietrza po urwaniu końcówki lewego skrzydła.

Profesor Minel Braun z Uniwersytetu w Akron policzył przy pomocy programu ANSYS CFX przepływ strug powietrza i rozkład ciśnień na obu skrzydłach samolotu po urwaniu lewej końcówki (Rys. 7 i Rys. 8).



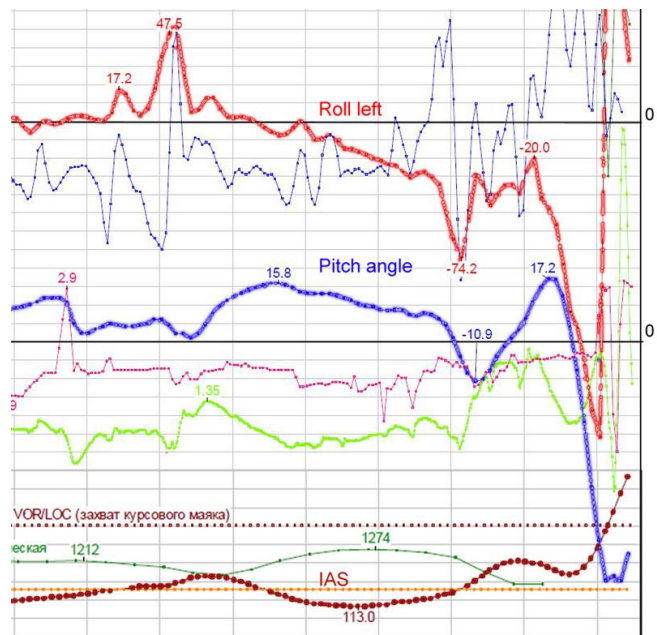
Rys. 8. Rozkład ciśnień powietrza po urwaniu końcówki lewego skrzydła.

Jak widać, przepływ staje się turbulentny nie tylko na lewym, ale również na prawym skrzydle. Wykorzystując rozkład ciśnień na skrzydłach można policzyć przyspieszenia działające na samolot. Należy przy tym uwzględnić dodatkowy opór powietrza wywołany rotacją samolotu. Zasymulowany on został wiatrem wiejącym na skrzydła z prędkością 5 m/s. Istotą obliczeń nie było uzyskanie dokładnych wartości zmiany przyspieszenia, ale znalezienie tendencji tych zmian. Okazało się, że samolot rotuje w lewo z początkowym przyspieszeniem -23.9 , spadającym do -2.5 deg/s^2 po uwzględnieniu oporu powietrza związanego z ruchem obrotowym, nos samolotu natomiast gwałtownie opada w dół (zmiana z 1.3 do 6.1 deg/s^2). Obliczenia te ponownie zaprzeczają wnioskowi podanym w raportach MAK i KBWL, według których po utracie fragmentu lewego skrzydła samolot wpada w rotację i jednocześnie wznosi się z kilku do kilkudziesięciu metrów nad ziemią. Wnioski prof. Brauna znajdują jednak potwierdzenie w raporcie MAK z katastrofy samolotu Boeing 737 w 2008 r. niedaleko lotniska w miejscowości Perm [10].

Jak widać występuje tutaj wyraźna współzależność pomiędzy kątami pochylenia i przechylenia, zgodna z wynikami opisaną wcześniej symulacji.

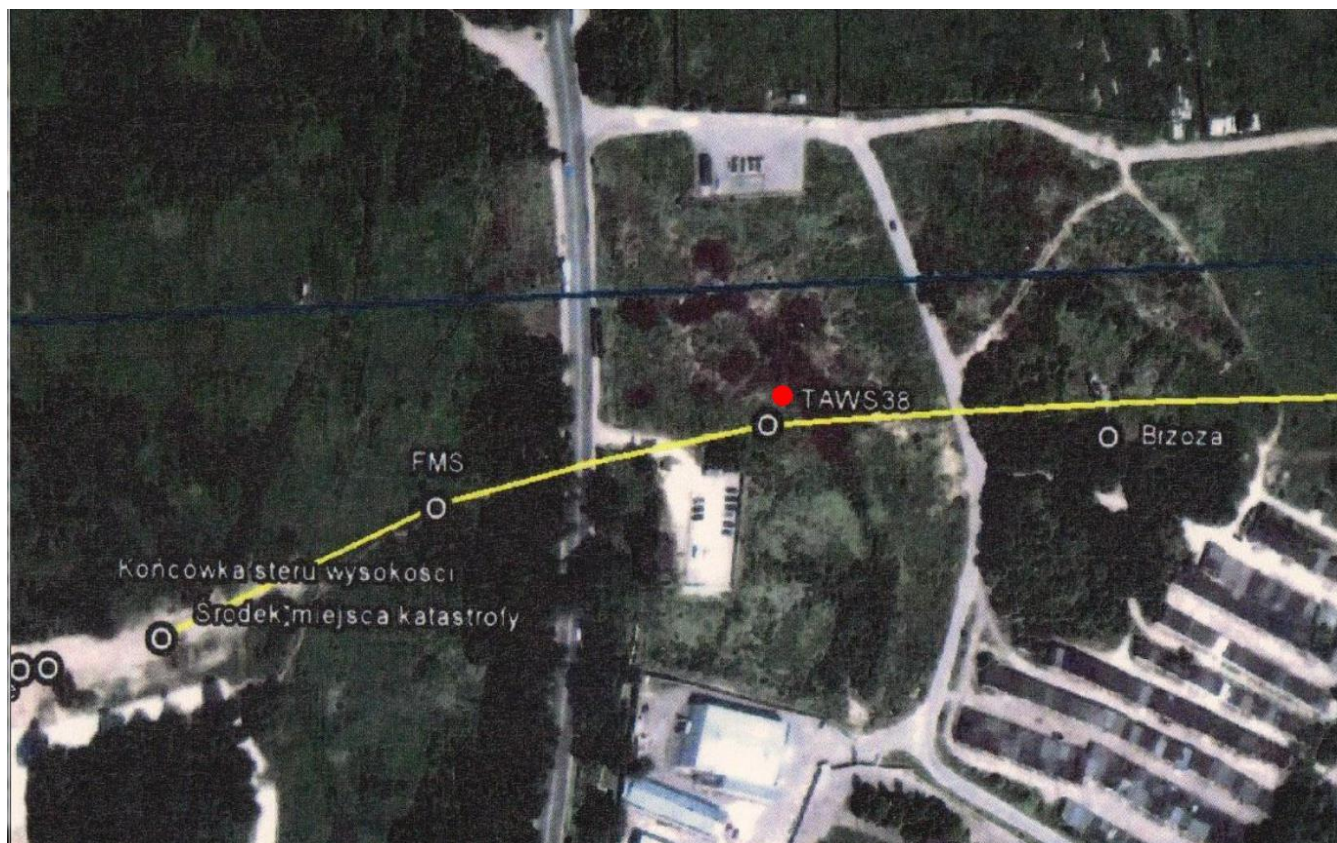
5. UWAGI KOŃCOWE

W opracowaniu niniejszym po raz pierwszy uwzględnione zostały informacje z przekazanego Komitetowi Organizacyjnemu Konferencji Smoleńskiej raportu technicznego firmy ATM z odczytu parametrów lotu zapisanych w polskiej skrzynce szybkiego dostępu (QAR).

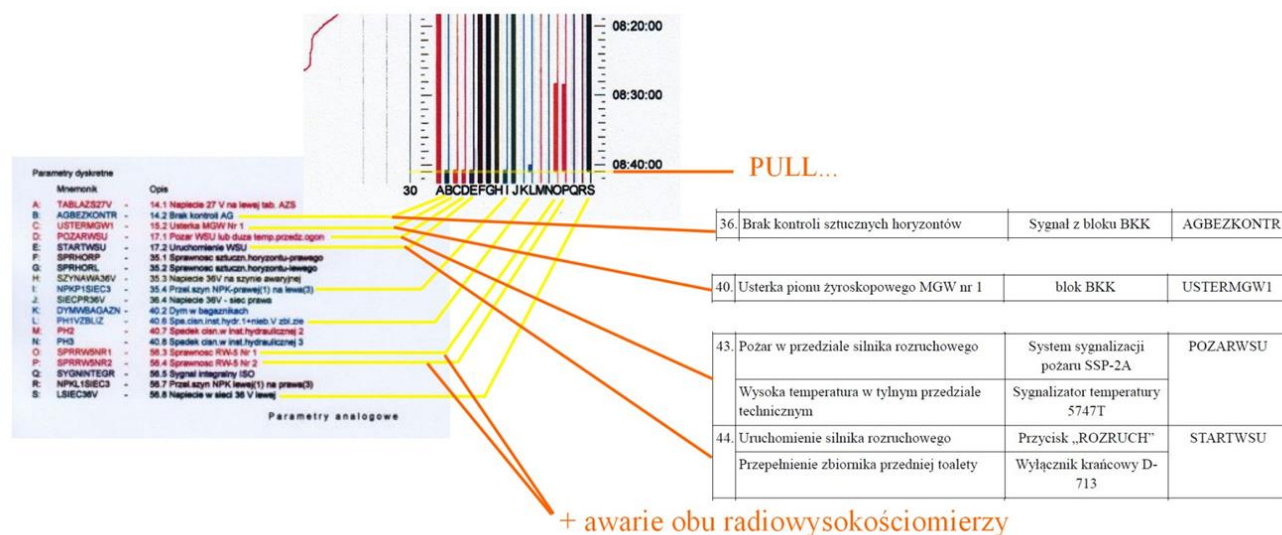


Rys. 9. Wykresy zależności pomiędzy kątem pochylenia (Pitch angle) i przechylenia (Roll left) podczas dwukrotnej rotacji samolotu Boeing 737.

Kopię tego raportu otrzymałem na tydzień przed konferencją, dlatego analiza zawartych w nim informacji jest ograniczona i niepełna. Dodatkowym utrudnieniem jest brak pełnej wersji zapisów, które w oryginale dołączone były na czterech płytach CD, a których kopii prokuratura nie dostarczyła. Mimo tych braków można dostrzec, że w raporcie końcowym KBWL pominięto, a niejednokrotnie fałszywie zinterpretowano, cały szereg danych, wykresów i analiz przedstawionych w raporcie ATM.



Rys. 10. Końcowy fragment trajektorii TU-154M zamieszczony w raporcie ATM. Czerwonym punktem zaznaczona właściwa pozycja geograficzna ostatniego TAWS38.



Rys. 11. Uszkodzenia zapisane przez rejestrator ATM-QAR.

Na zamieszczonym powyżej zdjęciu Rys. 10 widać zaznaczony TAWS #38 nieobecny w rosyjskim i polskim raporcie. Podczas prezentacji raportów i na późniejszych konferencjach prasowych opinia publiczna była informowana, że samolot był sprawny do końca, czyli aż do zderzenia z ziemią. Po ponad dwóch latach od katastrofy prokuratura dostarczyła ekspertyzę techniczną, w której napisano, że samolot był sprawny jedynie do godziny 08:40:59,5 czasu FDR (06:40:56,5 czasu UTC). Później, jeszcze w powietrzu, nastąpiła cała seria poważnych awarii przedstawionych na diagramie przygotowanym przez inż. arch. Marka Dąbrowskiego - Rys. 11.

Tu zostały potwierdzone zapisy dokonane przez komputery TAWS w plikach Fault log. Zanotowanych tam zostało kilka głównych awarii (np. brak komunikacji z sensorami położenia klap na skrzydłach) i kilkanaście dodatkowych informacji, niestety nie rozkodowanych przez firmę Universal Avionics.

W Załączniku nr 2 do protokołu KBWL [3] „Organizacja Lotów i Szkolenia Lotniczego”, na stronie 67 znalazła się enigmatyczna informacja:

Instrukcja HEAD w sposób bardzo ogólnikowy opisuje zasady prowadzenia nadzoru operacyjnego w trakcie trwania operacji. Zasady nadzoru operacyjnego powinny być jednakowe zarówno dla lotów krajowych jak i zagranicznych. Szczególną uwagę powinno poświęcić się sprecyzowaniu zasad łączności operacyjnej. Zasady powinny określać:

- środki łączności (VHF, HF, ACARS, SATCOM);
- czas i okoliczności prowadzenia takiej łączności;
- informacje przekazywane w ramach takiej łączności;
- sposób dystrybucji informacji uzyskanych w ramach tej łączności w ośrodkach prowadzących nadzór nad przebiegiem operacji.

Z instrukcji FMS UNS-1D [11, 12] wynika, że ACARS (Airborne Communications Addressing and Reporting System) jest integralną częścią instalowanego zestawu komputerowego Universal Avionics. ACARS może się porozumiewać obustronnie z siecią naziemnych stacji odbiorczo-nadawczych za pomocą fal ultrakrótkich. Można go jednak sprząc z zewnętrznymi urządzeniami łączności satelitarnej typu SATCOM. Oba te systemy zostały

wyszczególnione w załączniku nr 2. Dlatego istotne staje się pytanie czy ACARS miał łączność satelitarną, czy też był wyłączony, podobnie jak obie radiostacje ratownicze (Załącznik nr 4 do protokołu KBWL):

KBI stwierdziła, że przyczyną incydentu było zakłócenie pracy odbiorników satelitarnych podczas autotestów wewnętrznych nowo zabudowanej radiostacji ratowniczej ARM 406AP. Prawdopodobnie przyczyną zakłóceń jest zbyt mała odległość pomiędzy antenami GPS a ELT. Szef STL podjął decyzję o dalszej eksploatacji samolotu. Do czasu rozwiązania problemu przez zakład remontowy, który wykonał modernizację statku powietrznego (zabudowa ELT), zalecił wykonywanie lotów z wyłączoną radiostacją ratowniczą. Włączenie może nastąpić w sytuacjach zagrożenia. Szef STL powiadomił telefonicznie zakład remontowy w Samarze o zaistnieniu w/w problemu.

Literatura cytowana

- [1] Interstate Aviation Committee, *Final Report TU-154M tail number 101, Republic of Poland*, January 2011
- [2] Komisja Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego, *Raport Końcowy z badania zdarzenia lotniczego nr 192/2010/11 samolotu Tu-154M nr 101 zaistniałego dnia 10 kwietnia 2010 r. w rejonie lotniska Smoleńsk Północny*, lipiec 2011.
- [3] Komisja Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego, *Protokół badania zdarzenia lotniczego nr 192/2010/11 – wypadku ciężkiego (katastrofy) samolotu Tu-154M numer 101, zaistniałego w 36 specjalnym pułku lotnictwa transportowego z Warszawy, dnia 10 kwietnia 2010 r., w sobotę, o godz. 6:41 UTC, w dzień IFR*, lipiec 2011.
- [4] ATM PP Sp. z o.o., *Ekspertyza Techniczna – Deszyfracja i analiza danych z pokładowych rejestratorów parametrów samolotu TU155M nr boczny 101 Sił Powietrznych RP, który uległ katastrofie 10 kwietnia 2010 r.*, 25 lipiec 2011.
- [5] Michał Jaworski, *Próba interpretacji wybranych parametrów lotu – trajektoria pionowa oraz kąt*

- przechylenia*, Konferencja Smoleńska, Warszawa 22 października 2012.
- [6] Anita Gargas, *Komisja Millera sfalszowała raport smoleński*, Gazeta Polska, Nr 26 z 27 czerwca 2012.
- [7] German Federal Bureau of Aircraft Accidents Investigation, *Investigation Report AX001-1-2/02*, May 2004.
- [8] В.П.Бехтир, В.М.Ржевский, В.Г.Ципенко, *Практическая аэродинамика самолета Ту-154М*, Москва 1997.
- [9] Пуминова Г.С. *Практическая аэродинамика самолета Ту-154В (Ту-154М)*, Санкт Петербург 1995.
- [10] Interstate Aviation Committee, *Final report B 737-505 VP-BKO*, May 2009.
- [11] Universal Avionics, *UNS-1D Flight Management System Technical Manual*, October 2009.
- [12] Universal Avionics, *UNSI Operator's Manual*, January 1998.