

PRAWA FIZYKI A KATASTROFA SMOLEŃSKA

Zbigniew Jelonek

Abstract

It is shown that the laws of physics exclude the last turn of the aircraft TU 154M in Smolensk to happen, unless an additional external force was operating. This conclusion is independent of the degree of the wing damage, at least if one assumes the trees cutting line is such as given in the KBWL report. In our conclusion we rely on the TAWS system recording, or independently on ATM (polish) system recording. The last TAWS record (TAWS38) has been ignored in the official reports.

Keywords - ATM recording system, trajectory, TAWS.

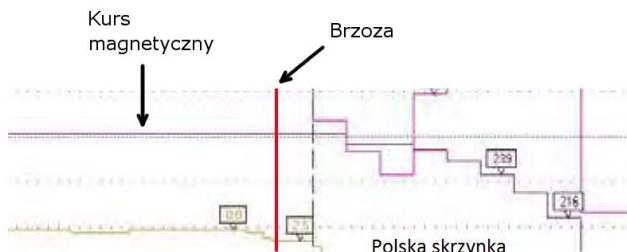
Streszczenie

Pokażemy, że ostatni zakręt samolotu TU 154M w Smoleńsku był niewykonalny bez udziału sił zewnętrznych, bez względu na stopień zniszczenia skrzydła, przynajmniej jeśli założymy, że zrobił on takie ślady na drzewach jak w raporcie KBWL. Opieramy się tutaj głównie na zapisie urządzenia TAWS lub niezależnie na odczytach polskich skrzynek ATM. Zapis TAWS 38 w oficjalnych raportach z nieznanym przyczyn pominięto.

Słowa kluczowe – Trajektoria, system ATM, TAWS.

1. WSTĘP

Jeśli spojrzymy na wysiłki mające na celu odtworzenie trajektorii TU 154M 101 w Smoleńsku, to widzimy, że zasadniczą trudnością jest tu wyjaśnienie ostatniego skrętu samolotu. Skręt ten wydaje się być zbyt ostry jak na możliwości aerodynamiczne tego samolotu. KBWL by poradzić sobie z tym kłopotem zignorowała nawet wskazania polskiej czarnej skrzynki (patrz. Rys. 1), wg. Której samolot nie zmienił kursu po minięciu brzozy.



Rys. 1. Wykres kursu magnetycznego (raport KBWL)[1].

KBWL zastosowała karkołomną ideę lokalnej bezwładności brzozy i twierdzi w swym raporcie, że samolot na skutek uderzenia w brzozę skręcił o 3,5 stopnia. Zobaczmy jak bardzo absurdalna jest ta teza. Policzmy zmianę pędu w poziomie

$$\Delta P_{poz} = mv_K - mv_P.$$

na początku brzozy i na jej końcu (tutaj v_P oznacza wektor prędkości w chwili dotknięcia brzozy, a v_K wektor prędkości po minięciu brzozy). Kąt między starą prędkością a nową prędkością jest równy 3,5 st. Ponieważ prędkość pionowa w tym miejscu wg rejestratorów była niewielka (około 6 m/s) możemy ją zaniedbać i rozważyć ruch tylko w poziomej płaszczyźnie. Z Rys. 4 (opisującego trochę inną sytuację) widać, że

$$\Delta P_{poz} = 2mv \sin(1,75^\circ).$$

Tutaj m to masa samolotu, szacujemy ją na 78600 kg. Z kolei $\sin(1,75^\circ) = 0,03$. Obliczymy czas Δt potrzebny na tą zmianę. Ponieważ średnica brzozy $d = 0,4$ m, a prędkość $v = 75$ m/s, zatem

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{0,4}{75} \text{ s} = 0,005 \text{ s}.$$

Teraz możemy oszacować średnią siłę F potrzebną do zmiany pędu korzystając ze znanego wzoru na zmianę pędu

$$\Delta P = \int F(t) dt.$$

Stąd

$$F \geq \frac{\Delta P_{poz}}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 0,03mv}{0,005} = 70740 \text{ kN}.$$

Oznacza to że brzoza wytrzymała działanie siły o wartości około 7000 ton. Zakładając, że grubość skrzydła to około 0,4 m dostajemy wytrzymałość brzozy na ścinanie rzędu

$$70740 / 0,16 \text{ kN/m}^2 = 442 \text{ Mpa}.$$

Jak wiadomo wartość ta wynosi w rzeczywistości około 2-6 MPa [2]. Zatem siła działająca na drzewo wg KBWL jest około 100 razy większa, niż to powinno być w rzeczywistości (np. w [2] siła ta jest oszacowana na maksymalnie 80 ton). Ponieważ $\sin(x)$ dla małych x jest funkcją liniową argumentu, zatem można oszacować ewentualną zmianę kursu „na brzozie” na

$$\frac{3,5^\circ}{100} = 0,035^\circ.$$

Taka zmiana byłaby niezauważalna. Idąc dalej tym tropem możemy zobaczyć, ile wynosi wyliczona przez KBWL zmiana kursu w TAWS 38. Ponieważ wg danych ATM zmiana ta wynosi 5°, a z tego 3,5 jest uzyskane w sposób niewłaściwy, zatem prawdziwa zmiana kursu (obliczona na podstawie przeciążeń poprzecznych samolotu) nie przekracza 1,5°. A zatem wyliczony prawidłowo kurs KBWL w punkcie TAWS 38 mniej więcej zgadza się z kursem zanotowanym tam przez TAWS. Do zagadnienia tego wrócimy w rozdziale 3.

Glenn Jorgensen opierając się na numerycznych obliczeniach pokazał, że trajektoria opisana w oficjalnych raportach jest fałszywa. Według niego sama utrata końcówki skrzydła w okolicy brzozy nie spowodowałaby rozbicia się samolotu. Do tego potrzebna by była dalsza destrukcja lewego skrzydła w okolicy punktu TAWS 38. Jednak trajektoria Jorgensena nie jest zgodna z punktem TAWS 38 jak również z polskimi czarnymi skrzynkami (samolot musi zacząć skręcać zaraz za brzozą wbrew danym ze skrzynki ATM), choć zgadza się np. z rosyjskimi danymi. Moim celem jest próba zbudowania trajektorii zgodnej z TAWS 38 jak i ze śladami na drzewach.

2. TRAJEKTORIA

W tym rozdziale używamy w zasadzie wyłącznie danych zawartych w urzędzeniu TAWS i FMS. Dane te zostały odzyskane przez Amerykanów [3]. Przyjmujemy tu że samolot był w punkcie TAWS 38 z niezmiennym kursem, ale nasza konkluzja pozostaje w mocy nawet, gdy dopuścimy odchylenie od kursu rzędu 3 stopni (oczywiście wtedy różnica działających sił jest mniejsza).

W opracowaniu skupimy się jedynie na poziomej trajektorii środka ciężkości samolotu. Na samolot działają jedynie następujące siły:

- 1) siła ciągu silników
- 2) siła nośna
- 3) siła oporu powietrza (w zasadzie równoważona przez składową siłę ciągu silników)
- 4) siła ciężkości.

Będziemy rozważać jedynie ruch poziomy środka ciężkości samolotu, a zatem siłę 4) możemy pominąć. Policzmy siły działające na samolot w poziomej płaszczyźnie. Na cały samolot działa siła nośna N , siła oporu w kierunku ruchu O i siła ciągu F . Ta ostatnia jest szacowana z dokumentacji technicznej na 309 kN. Policzmy siłę nośną, mamy

$$N = \frac{1}{2} C S \rho v^2,$$

gdzie C to współczynnik siły nośnej, S pole powierzchni nośnej, ρ to gęstość powietrza, a v to prędkość samolotu. Ponieważ były wysunięte klapy (36°) przyjmujemy $C = 1,77$ (konfiguracja jak w Smoleńsku [4]). Z opisu tupolewa mamy $S = 201,5 \text{ m}^2$ (tutaj przyjmujemy wartość większą niż u Jorgensena, by tym bardziej pokazać słuszność naszych tez). Gęstość powietrza to $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$, co odpowiada temperaturze 0 st. C na poziomie morza. Prędkość v znamy, $v = 75 \text{ m/s}$ (zapis TAWS 38). Po obliczeniach otrzymujemy

$$N = 1296,98 \text{ kN}.$$

Zatem cała siła działająca w poziomie na samolot i powodująca jego skręt w lewo może być oszacowana przez

$$1296,98 \text{ kN} + \text{wkład od siły ciągu}.$$

Siła ciągu równoważy opory w kierunku chwilowego wektora prędkości, bo wartość v nie zmienia się, zatem może ona wesprzeć siłę nośną tylko w niewielkim procencie - faktycznie daje ona wkład nie większy niż

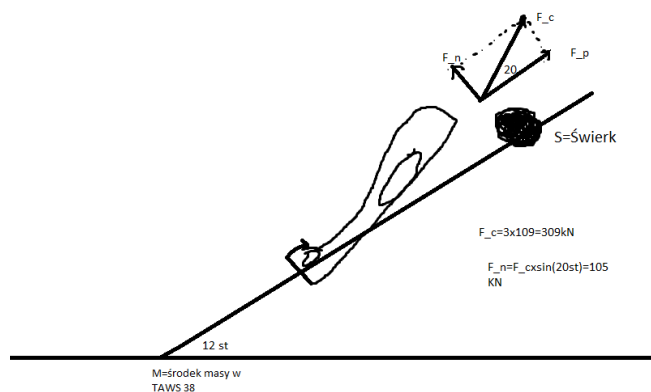
$$309 \text{ kN} \cdot \sin(20^\circ) = 309 \text{ kN} \cdot 0,340 = 105,06 \text{ kN},$$

patrz Rys. 2.

Zatem całkowita siła nośna nie przekracza 1402,04 kN. Siłę tę możemy zmniejszyć o około 10 %, jeżeli końcówka skrzydła była urwana w okolicy TAWS 38 (są argumenty na

to, że ta końcówka odpadła już w okolicy ulicy Gubienki, a zatem przed punktem TAWS 38).

Przyjrzyjmy się teraz ostatniej fazie lotu jak na Rys. 3.

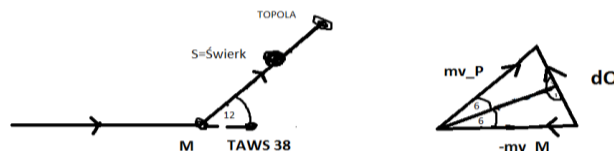


Rys. 2. Rozkład siły ciągu.



Rys. 3. Okolice TAWS 38.

Tutaj M to środek masy samolotu odpowiadający położeniu zanotowanemu w TAWS 38 (punkt ten leży około 15 m za antenami GPS wskazywanymi przez TAWS 38), a S oznacza środek świerka. Graficznie można tor lotu zilustrować jak na Rys. 4.



Rys. 4. Zmiana kierunku lotu.

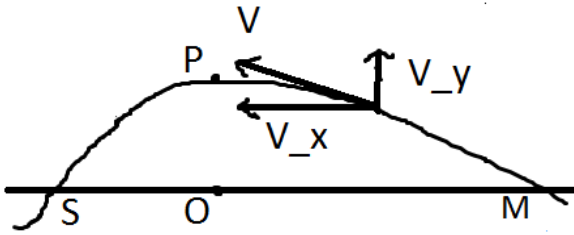
Z danych zawartych w TAWS i FMS wiemy, że samolot leciał prawie poziomo w okolicy TAWS 38 [5]. Zatem możemy założyć, że wektor prędkości leży w płaszczyźnie poziomej. Rzeczywiście, nawet jeśli założymy, że prędkość pionowa jest rzędu 8 m/s to i tak składowa pozioma prędkości jest równa

$$\sqrt{75^2 - 8^2} \text{ m/s} = 74,57 \text{ m/s} \approx 75 \text{ m/s}.$$

Rozważmy drogę od M do punktu P w którym wektor prędkości v jest równoległy do prostej MS - patrz Rys. 5. Odcinek $|M, S|$ to około 40 m (obliczamy to korzystając z mapki KBWL).

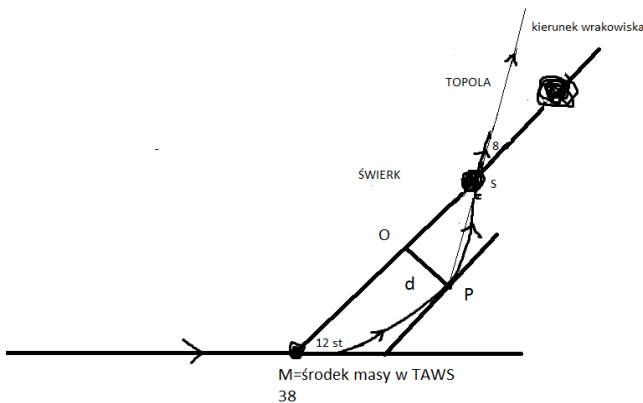
Z Rys. 5 wynika, że drogę s pomiędzy M a P można oszacować przez $MO + PO$ (O jest rzutem prostokątnym punktu P na MS). Istotnie tutaj zarówno v_y jak i v_x są dodatnie na łuku MP , a zatem

$$s = \int v dt = \int v_x dt + \int v_y dt = TO + PO.$$



Rys. 5. Zakręt.

Z kolei długość odcinka $PO = d$ szacujemy następująco. Zauważmy, że prosta PS tworzy kąt α nie większy niż 8° z prostą MS (por. Rys. 6).



Rys. 6. Szkic łuku MPS.

Istotnie wektor prędkości v w pewnym punkcie łuku PS musi być równoległy do prostej PS (inaczej punkt S nie byłby osiągnięty!). Wówczas v tworzy kąt $12+\alpha$ z pierwotnym kierunkiem ruchu. Ponieważ na końcu trajektorii ten kąt wynosi 20° [1], a samolot na skutek inercji cały czas lekko skręca w lewo, zatem musi być $12+\alpha \leq 20^\circ$. Stąd

$$d \leq 40 \cdot \text{tg}(8) = 40 \cdot 0,14 = 5,6 \text{ m}$$

i zatem $s \leq 45,6 \text{ m}$.

Możemy jednak ulepszyć to szacowanie jak następuje. Jeśli $MO \leq 20 \text{ m}$, to MP jest szacowana przez $20 \text{ m} + d = 25,6 \text{ m}$. Zatem możemy założyć, że $OS \leq 20 \text{ m}$ i wtedy długość łuku MP jest szacowana przez $TO + 20 \text{ m} \cdot \text{tg}(8^\circ) \leq 40 \text{ m} + 20 \text{ m} \cdot 0,14 = 42,8 \text{ m}$ (Rys. 6).

Czas potrzebny na przebycie przez samolot tej odległości wynosi $\Delta t = 0,57 \text{ s}$. Zauważmy tutaj, że wg Raportu KBWL ([1], strona 9/14) kąt obrotu samolotu nad świerkiem wynosił -90° (widać to też po śladzie cięcia gałęzi - por Rys. 7), a zatem środek masy samolotu powinien być na lewo od prostej MS (patrz z punktu M - por. Rys. 2 i Rys. 6).

Tutaj bierzemy środek drzewa jako środek masy samolotu (por. Rys. 6). Policzmy średnią siłę, jaka musiała działać na samolot. Przyjmujemy, że samolot od punktu M do punktu S (świerk) leciał z prędkością 75 m/s , co wynika z zapisu TAWS. Niech $Q = mv$ oznacza pęd samolotu. Policzmy zmianę pędu w poziomie

$$\Delta P_{\text{poz}} = mv_P - mv_M$$

w punktach P i M . Kąt między prędkością v_M w punkcie M a prędkością v_P w punkcie P jest równy 12° (kąt między prostą przechodzącą przez środek świerku i przez punkt M , a pierwotnym kierunkiem lotu).



Rys. 7. Świerk.

Z Rys. 4 widać, że

$$\Delta Q_{\text{poz}} = 2mv \sin(6^\circ).$$

Tutaj m to masa samolotu, szacujemy ją na 78600 kg . Z kolei $\sin(6^\circ) = 0,1046$. Ponieważ znamy $\Delta t = 0,57 \text{ s}$, możemy oszacować średnią siłę G potrzebną do zmiany pędu korzystając ze znanego wzoru na zmianę pędu

$$\Delta Q = \int G(t) dt.$$

Stąd

$$G \geq \frac{\Delta Q_{\text{poz}}}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 0,1046 mv}{0,57} = 2163,56 \text{ kN} > 1402,04 \text{ kN}.$$

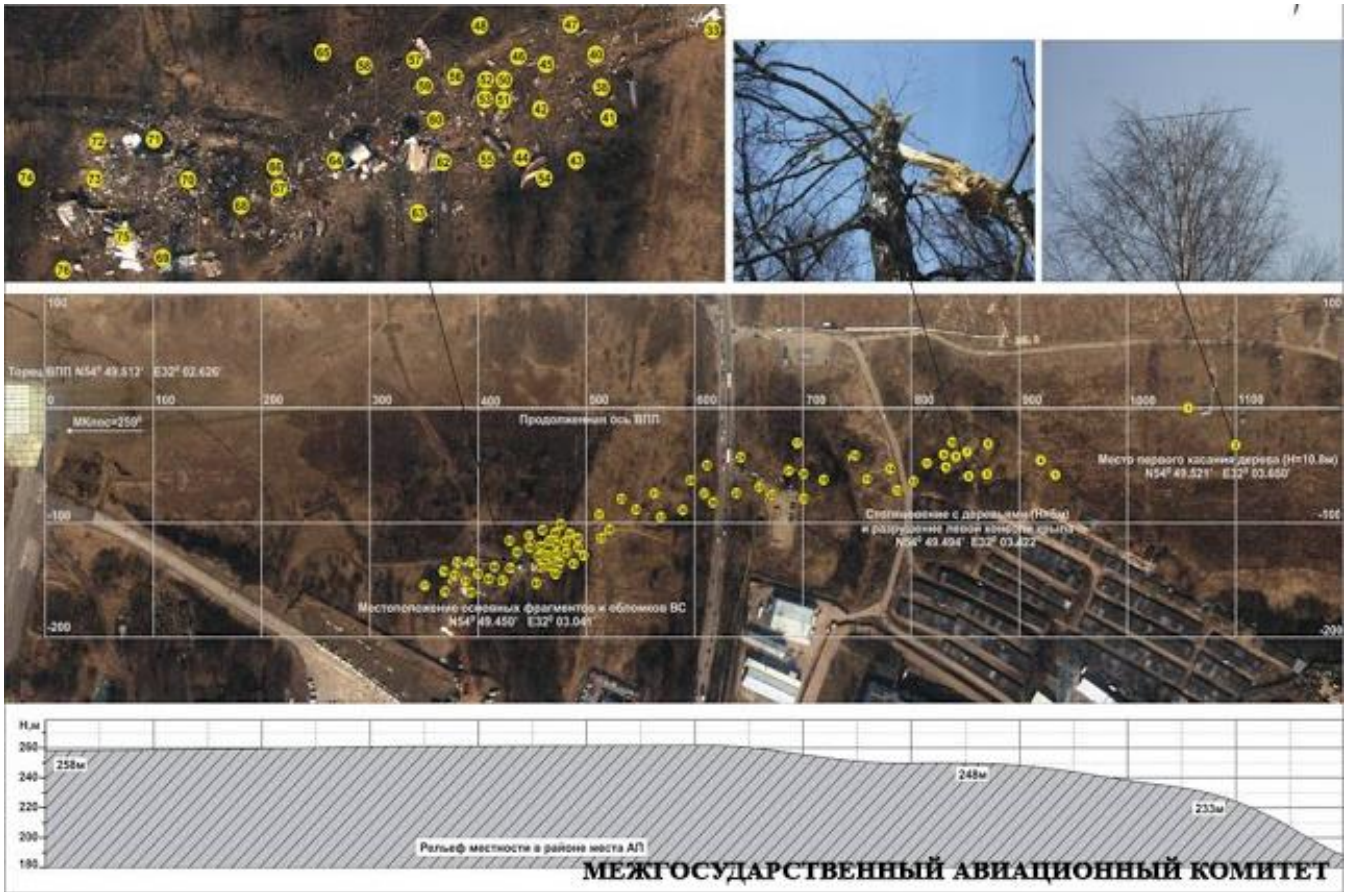
Widzimy więc, że wymagana do skrótu średnia siła znacznie przewyższa maksymalną siłę aerodynamiczną działającą na samolot lecący o własnych siłach.

KONKLUZJA. W punkcie TAWS 38 na samolot zadziałała siła zewnętrzna, która gwałtownie zmieniła kierunek lotu samolotu (w lewo), jak również nadała mu prędkość obrotową w lewo. Siła ta była na tyle duża, że siła bezwładności (wywołana obrotem samolotu wokół osi) działająca na lewy wózek podwozia została zinterpretowana przez TAWS jako przyziemienie samolotu na lotnisku. Innym efektem działania tej siły jest naderwanie mocowania lewego silnika [3].

- Najprawdopodobniej siła ta została wywołana wybuchem w prawej środkowo-dolnej części samolotu (lub w prawej części centroplatu).
- Mniej prawdopodobny wydaje się być wybuch na zewnątrz samolotu z prawej jego strony.
- W końcu możliwe, że trajektoria samolotu była inna, niż w raporcie KBWL oraz że ślady na drzewach nie zostały zrobione przez Tu-154 M 101, choć zeznania świadków wydają się potwierdzać przelot samolotu nad budką autokomisu, a zatem i nad świerkiem.

Oczywiście taki wybuch z prawej strony samolotu musiał zostawić ślady. Takich śladów nie ma na zdjęciach satelitarnych, ale to nie powinno dziwić. Wiadomo, że szczątki samolotu były przenoszone. Zatem po jednym dniu już na pewno takich śladów nie było. W pewnym sensie rozkład szczątków wydaje się popierać słuszność naszej tezy o ostrym skręceniu samolotu w okolicy TAWS 38 -Rys. 8.

Innym dowodem na wybuch w okolicy TAWS 38 jest rosyjski raport [6] z oględzin terenu katastrofy, w którym stwierdzono, że w strefie 3 koło autokomisu (patrz Rys. 9) znajdowało się wiele szczątków samolotu a w tym elementy poszycia kadłuba samolotu, które znajdowały się koło ulicy Kutuzowa na prawo od trajektorii samolotu [6]. Zdjęcia tu umieszczone (Rys. 9 i Rys. 10) pochodzą z artykułu Piotra Witakowskiego [7].



Rys. 8. Rozkład szczątków (raport MAK) [8].



Rys. 9. Strefy rozłożenia szczątków samolotu - strefa 3 koło autokomisu ([7]).



Rys. 10. Strefa trzecia (z prawej strony trajektorii samolotu). Reporter agencji CNN Nic Robertson prezentuje duży fragment poszycia samolotu (kadłuba)[9].

W końcu mamy zeznania Anatolija Żujewa [10]. Ten świadek ostatnich sekund lotu Tupolewa znajdował się na drodze przy garażach (pozycja (3) na Rys. 11). Z tego miejsca widział samolot od tyłu. Jak twierdzi, za jego ogonem dostrzegł wielki rozbłysk przypominający olbrzymie żółtko jajka. Było to już za brzozą, właśnie w okolicy TAWS 38.

3. POLSKIE SKRZYŃKI I SKĄD SIĘ WZIĘŁO 3,5 STOPNIA W RAPORCIE KBWL

W tym rozdziale pokażemy, że wskazania TAWS 38 i wskazania polskich czarnych skrzynek są podobne, co potwierdza prawidłowość danych w TAWS 38. Zauważmy, że wskazanie brzozy na osi czasowej wykresu polskiej czarnej skrzynki odbyło się za pomocą odsłuchania rosyjskiej czarnej skrzynki, w trakcie którego jakoby zidentyfikowano uderzenie samolotu w brzozę. Ponieważ jest wątpliwe czy samolot faktycznie miał kontakt z tą brzozą, zatem i wątpliwe jest położenie samej brzozy, a co za tym idzie położenie TAWS 38 na wykresie zaprezentowanym przez KBWL.



Rys. 11. Miejsce postoju Żujewa (3), TAWS 38 to (6). Mapa skopiowana z artykułu [10].

Tutaj spróbuję zidentyfikować to położenie w inny sposób. Spójrzmy na wykres parametrów skrzynki ATM w pobliżu czasu 8.41.00 -Rys. 12.

Mniej więcej o 8.41.00,5 następuje zmiana kursu magnetycznego o około 5 stopni. Ze względu na specyfikę skrzynki ATM wiemy, że ta zmiana musiała się dokonać w czasie nie dłuższym niż 0,5 s. W czasie od 8.41.00 do 8.41.00,5 przeciążenie poprzeczne wg ATM wynosi 0,41 i potem się ono zmniejsza. Zatem, jeżeli od 8.41.00 do 8.41.00,5 nie nastąpiło jakieś dramatyczne zjawisko

fizyczne, to możemy oczekiwać, że ze względu na inercję średnie przeciążenie poprzeczne samolotu nie przekracza 0,41.

Zobaczmy, jaka jest spodziewana zmiana kursu samolotu α (w radianach). Wartość siły poprzecznej to

$$F = 0,41mg$$

(g to około 10 m/s^2), a zmiana pędu to około mva .

Stąd

$$mva < 0,41mg \cdot 0,5 \text{ s}$$

i zatem

$$\alpha \leq 0,41g \cdot 0,5 / 75 = 0,027.$$

Stąd w stopniach $\alpha \leq 1,57^\circ$ (dokładniejsze obliczenia pokazują, że $\alpha \leq 1,55^\circ$). Natomiast prawdziwa zmiana zanotowana w skrzynce ATM to około 5° . Zatem brakuje $5 - 1,5 = 3,5^\circ$ i zatem widać, skąd KBWL wziął tą wspomnianą we wstępie bezwładność brzozy - po to by rachunki zgadzały się ze skrzynką ATM!

Jedynym wyjaśnieniem tej sprzeczności jest fakt, że w czasie od 8.41.00 do 8.41.00,5 na samolot zadziałała siła zewnętrzna skierowana na lewo. Faktycznie musiała ona działać w czasie krótszym niż pół sekundy. Wygląda też na to, że potem rejestratory odmówiły posłuszeństwa i np. dalszy skręt w lewo już nie był rejestrowany, a powinien, bo przechył samolotu był tam wciąż duży. Jak wiemy właśnie w okolicy TAWS 38 zarejestrowano działanie siły (na wózek podwozia), a potem nastąpiła seria awarii. Zatem można oczekiwać, że TAWS 38 wydarzył się na badanym przez nas 0,5 sekundowym odcinku czasu. To zgadza się z fantastycznym wykresem roll, który jest tutaj sprzeczny z prawami fizyki (patrz Rys. 13). Prawdopodobnie wykres ten powinien wyglądać, jak na Rys. 14.

Również zachowanie innych parametrów staje się wówczas zrozumiałe - urządzenia nie pracowały już prawidłowo.

Z tych rozważań najbardziej prawdopodobna wartość TAWS 38 jest ta na początku załamania roll (patrz Rys. 13). Tutaj nowa wartość TAWS 38 jest oznaczona na niebiesko, a wartości wg KBWL na czerwono. Przesunięcie jest równe około 1 sekundy. Jeżeli spojrzmy na kurs magnetyczny dla tak znalezionej wartości TAWS 38, to mamy kurs 261 stopni, taki sam jak we wskazaniach urządzenia TAWS!

Zatem wielkości wskazywane przez polską skrzynkę i TAWS są takie same, o ile prawidłowo zinterpretuje się wykresy. Zatem nasza teza o działaniu siły zewnętrznej jest też potwierdzona przez skrzynki ATM.

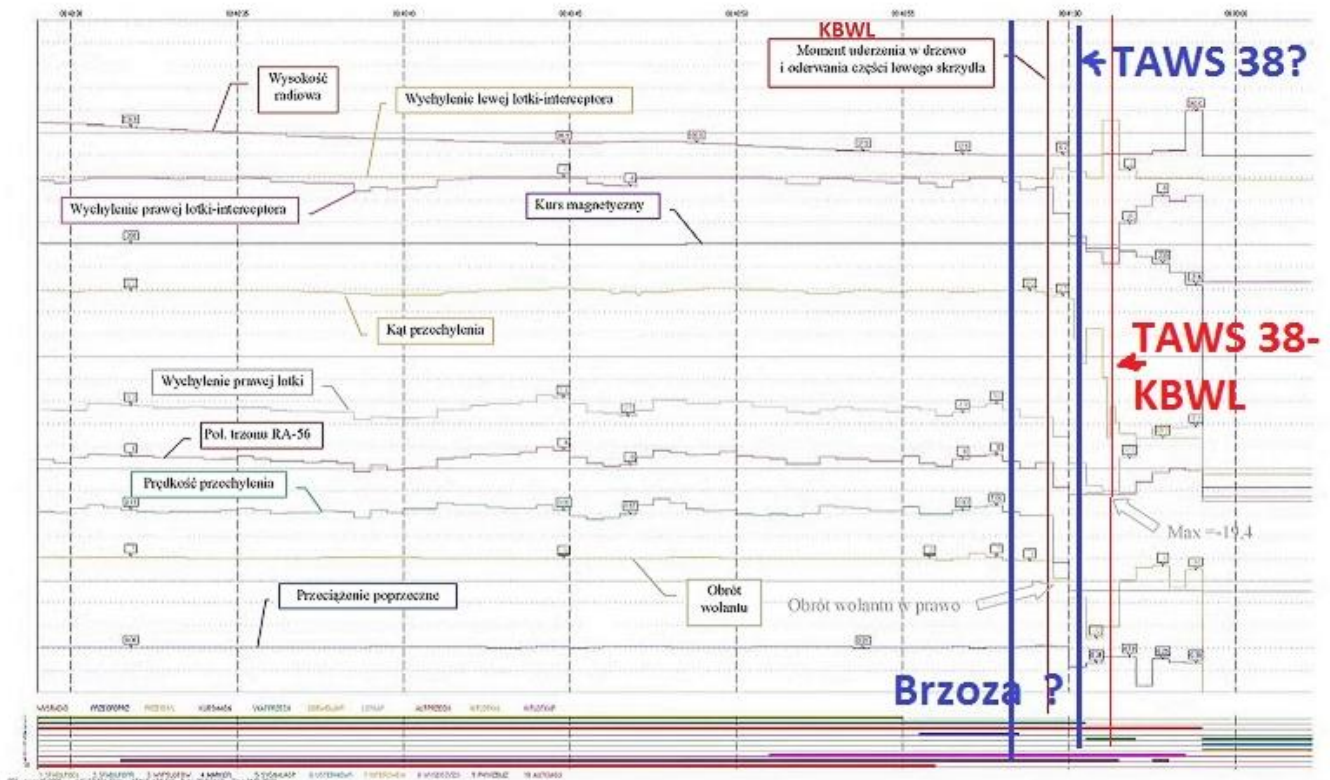
Podsumowując - przeprowadzona tu analiza zachowania samolotu w czasie 8.41.00 a 8.41.00,05 pokazuje działanie gwałtownej siły zewnętrznej.

Fakt działania siły zewnętrznej działającej w czasie od 8.41.00 do 8.41.00,05 można też pokazać rozumując jak w rozdziale 2. Mianowicie w tym czasie nastąpiła zmiana kierunku magnetycznego o 5 stopni w czasie mniejszym niż 0,5 s. Wymaga to działania średniej siły poziomej równej

$$F = \frac{2mv \sin(2,5^\circ)}{0,5 \text{ s}} =$$

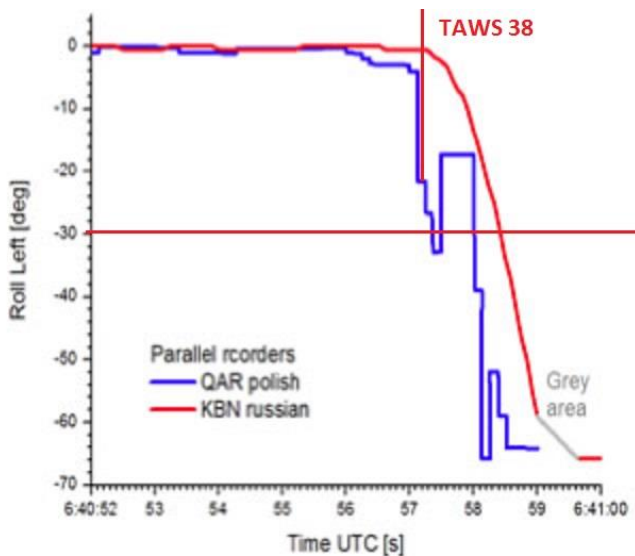
$$= 4 \cdot 78600 \text{ kg} \cdot 75 \text{ m/s}^2 \cdot 0,0436 = 1028 \text{ kN}.$$

Jednak ze skrzynki ATM wynika, że przechylenie samolotu w tym czasie nie przekraczało 30 st, a zatem składowa pozioma całkowitej siły nośnej nie mogła być



Rys. 17. Przebieg wybranych parametrów na ścieżce podejścia do lądowania – kanał poprzeczny – sterowanie lotkami

Rys. 12. Wykres ze skrzynki ATM [1].



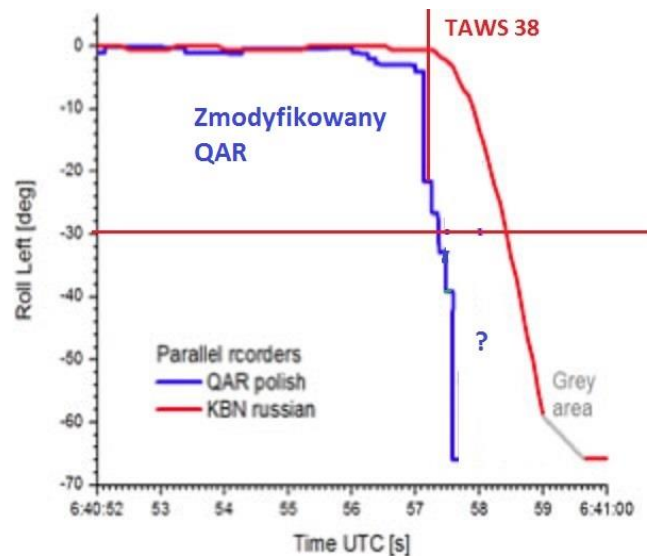
Rys. 13. Wykres roll (raport KBWL) [1].

większa niż połowa tej siły, tzn. nie przekraczała ona tam 701 kN. Stąd na samolot musiała zadziałać siła zewnętrzna o wartości przynajmniej 327 kN i działała ona przez 0.5 s (lub większa siła działała krócej).

4. TAWS 38 A ŚLADY NA DRZEWACH

Innym sposobem identyfikacji TAWS 38 są ślady na drzewach. Tutaj posłużę się zdjęciem (Rys. 15) przedstawiającym kąt przechylenia samolotu zamieszczonym w raporcie KBWL.

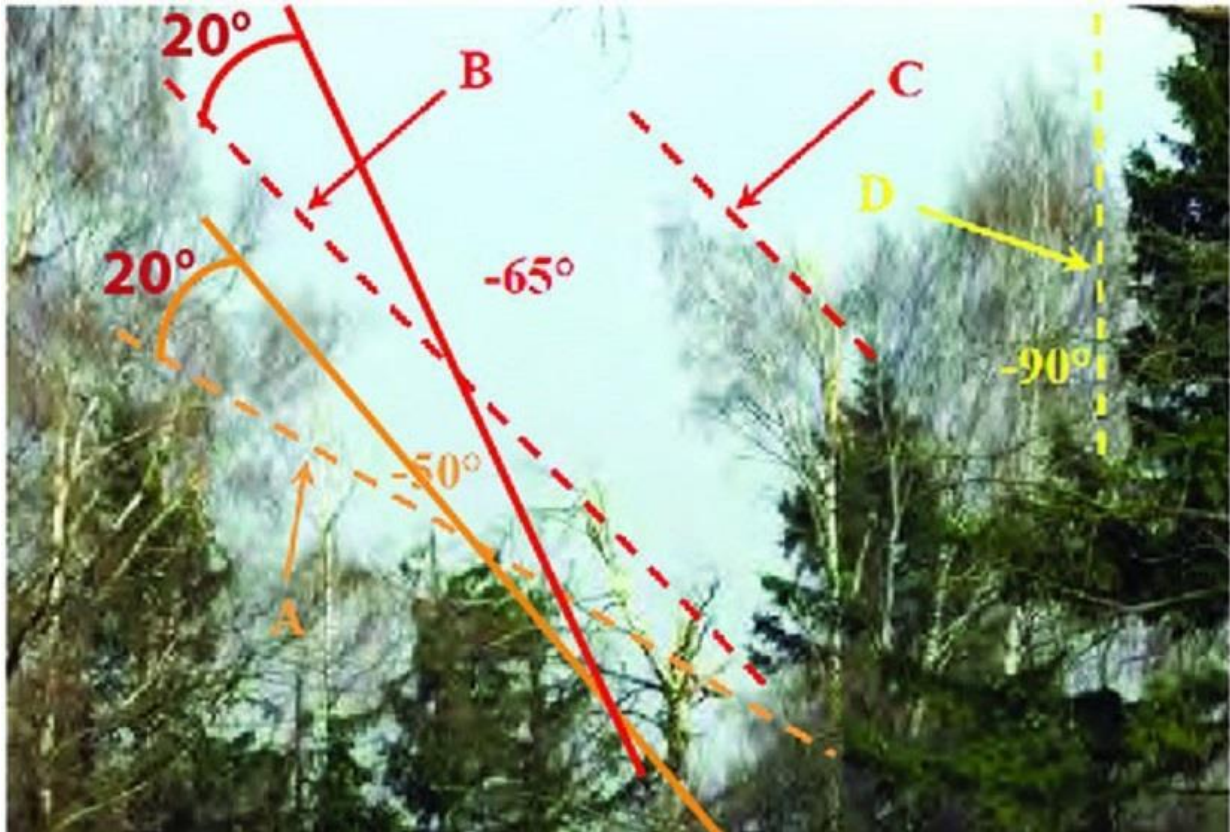
Linie cięcia drzew są narysowana przerywaną linią. Jak zauważyło już wielu obserwatorów miary kątów podane przez KBWL są fałszywe. Faktycznie kąt A to 30°, a kąt C



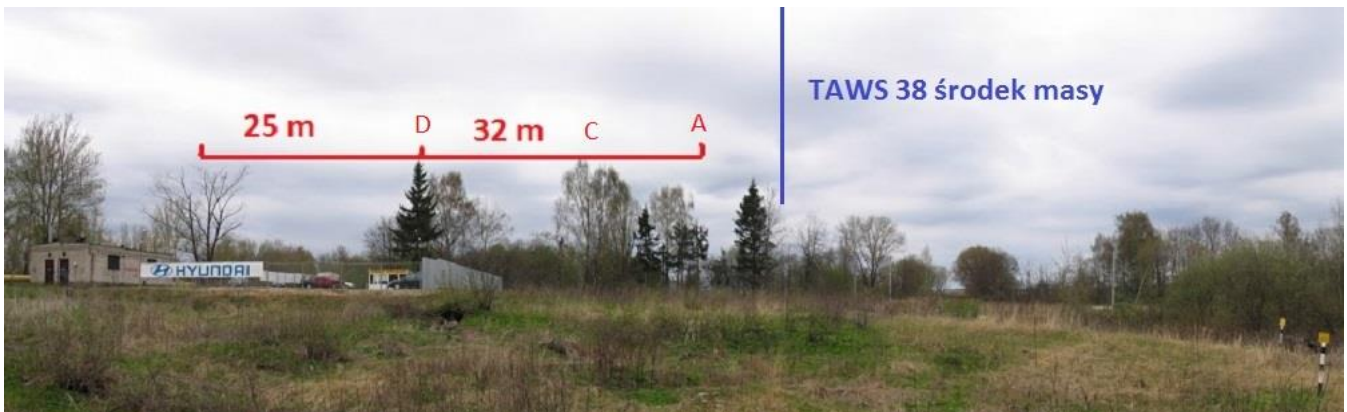
Rys. 14. Prawdopodobny wykres roll.

(i B) to 45° (obok narysowane linie ciągle pod kątami 50° i 65° - widać znaczną różnicę). Zlokalizujemy te miejsca A, C i D w terenie-patrz Rys. 16.

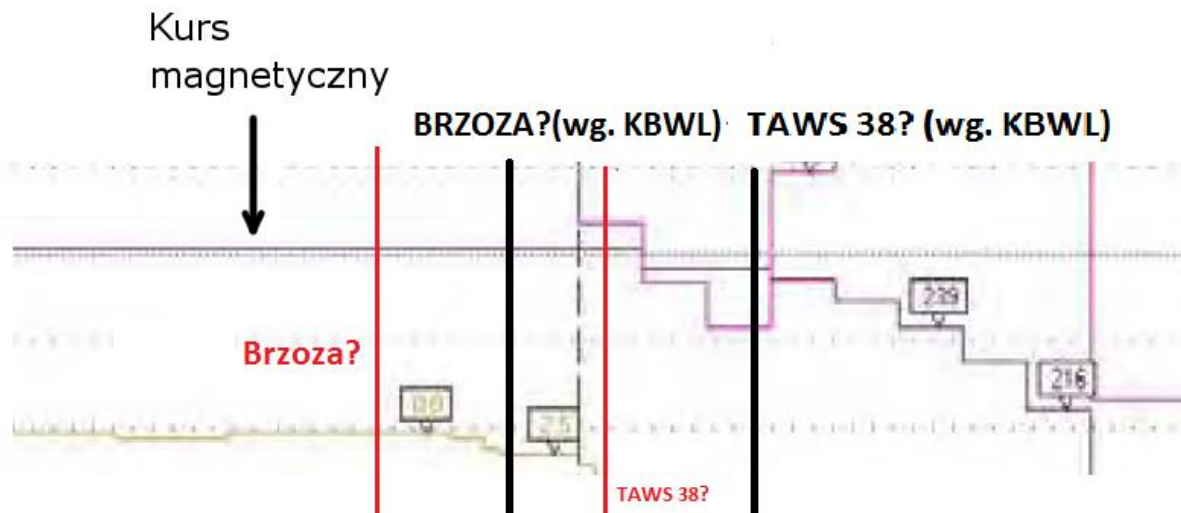
Widzimy, że położenie A samolotu odpowiada położeniu środka masy samolotu około 8 m za położeniem środka masy samolotu w punkcie TAWS 38, tj. TAWS 38 jest na 0,1 s przed miejscem gdzie samolot miał przechylenie 30° (patrz Rys. 16). Używając wykresu "roll" możemy teraz zlokalizować miejsce TAWS 38 na wykresie polskich skrzynek (patrz Rys. 14): Tutaj nowa wartość TAWS 38 jest oznaczona na czerwono, a wartości wg. KBWL na czarno. Jest to wartość dokładnie taka sama jak pokazana poprzednio! (patrz Rys. 17).



Rys. 15. Cięcia drzew (raport KBWL)[1].



Rys. 16. Okolice TAWs 38.



Rys. 17. Wykres kierunku magnetycznego (raport KBWL) [1].

5. PODSUMOWANIE

W opracowaniu pokazano, że wskazania urządzenia TAWS jak i wskazania polskiej skrzynki ATM wskazują niezależnie na zaistnienie siły zewnętrznej działającej na samolot z prawej strony. Siła ta wymusiła skręt samolotu na lewo w ostatniej fazie lotu. Najprawdopodobniej siła ta została spowodowana przez wybuch w kadłubie samolotu. Przeprowadzona tu analiza sugeruje również, że zdarzenie zapisane w skrzynce ATM (zmiana kursu magnetycznego o 5 stopni) w czasie pomiędzy 8.41.00 a 8.41.00.05 (wg. czasu na wykresie z Rys. 12) pokrywa się w czasie ze zdarzeniem TAWS 38. Tym samym komisja KBWL błędnie umieściła te zdarzenia na wykresach danych ze skrzynki ATM. TAWS 38 został tam przesunięty o 1 sekundę do przodu, podobnie jak moment w którym samolot przeleciał nad brzożą.

Literatura cytowana

- [1] KBWL, Załącznik do raportu końcowego. <http://dlapilota.pl/wiadomosci/komisjasmolenskgovpl/raport-koncowy-dot-katastrofy-samolotu-tu-154m-nr-101-pod-smolenskiem>
- [2] Jan Błaszczak „Brzoza Smoleńska -aspekty wytrzymałościowe struktury skrzydła samolotu Tu 154”, Konferencja Smoleńska 22.10.2012, Materiały Konferencyjne, Warszawa 2013
- [3] Kazimierz Nowaczyk „Analiza zapisów urządzeń TAWS i FMS firmy Universal Avionics zainstalowanych w rządowym samolocie TU-154M 101”, Konferencja Smoleńska 22.10.2012, Materiały Konferencyjne, Warszawa 2013
- [4] Glen Jorgensen „CFD Assessment of aerodynamic degradation of the TU-154M plane”, III Konferencja Smoleńska 20.10.2014. Materiały Konferencyjne, Warszawa 2015,
- [5] Michał Jaworski „Próba interpretacji wybranych parametrów lotu - trajektoria pionowa oraz kąt przechylenia”, Konferencja Smoleńska 22.10.2012, Materiały Konferencyjne, Warszawa 2013
- [6] Raport z oględzin wrakowiska, na stronie Zespołu Parlamentarnego www.smolenszczespol.sejm.gov.pl.
- [7] Piotr Witakowski, „Geotechniczne aspekty katastrof lotniczych a katastrofa smoleńska”, II Konferencja Smoleńska 21-22.10.2013. Materiały Konferencyjne, Warszawa 2014.
- [8] Raport MAK, <http://www.eostroleka.pl/raport-mak-polsku,art22344>
- [9] <http://www.gp24.pl/apps/pbcs.dll/article?AID=/20100412/KRAJ/801175539>
- [10] Mapa katastrofy Tu-154, [http://niezalezna.pl/26832 - mapa-katastrofy-tu-154](http://niezalezna.pl/26832-mapa-katastrofy-tu-154)