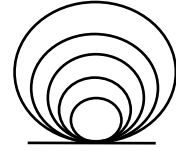


10 Coolawin Rd, Northbridge 2063, Australia  
Tel. (061) (2) 9967-0998  
E-mail: [ggg@bigpond.net.au](mailto:ggg@bigpond.net.au)  
**ANALYTICAL SERVICE Pty Ltd**



Raport No. 456

## NIEKTÓRE ASPEKTY TECHNICZNO-KONSTRUKCYJNE SMOLEŃSKIEJ KATASTROFY

Autor: Dr inż. Gregory Szuladzinski

Niezależny Doradca Techniczny  
Zespołu Parlamentarnego Ds. Zbadania Przyczyn Katastrofy TU-154 M z 10 kwietnia 2010 r.

Maj 2012

## SPIS TREŚCI

WSTĘP	3
STRESZCZENIE WYNIKÓW RAPORTU	3
1. OGÓLNY PRZEBIEG WYPADKU	4
2. OCZEKIWANE I FAKTYCZNE ROZBICIE KONSTRUKCJI; PORÓWNANIE	5
3. CO SIĘ STAŁO W OKOLICY PUNKTU K?	11
4. WIĘCEJ O LOSIE LEWEGO SKRZYDŁA	11
5. KINETYKA OSTATNIEJ FAZY LOTU	13
6. WYBUCH W KADŁUBIE	15
7. ODPADNIĘCIE CZĘŚCI OGONOWEJ KADŁUBA	20
8. JAKIE JESZCZE MOŻLIWOŚCI WYPADKU TRZEBA ROZWAŻYĆ?	20
9. STATYSTYKI ŚMIERTELNOŚCI W WYPADKACH LOTNICZYCH	21
Dodatek I KOLIZJA SKRZYDŁA SAMOLOTU Z DRZEWEK	21
Dodatek II ODŁAMKI	22
Dodatek III CO SIĘ DZIEJE Z PALIWEM W WARUNKACH SPECJALNYCH	27
Dodatek IV MECHANIKA WYBUCHU HE I POŻAR SAMOLOTU	27
Dodatek V OBRÓT SAMOLOTU WOKÓŁ OSI PODŁUŻNEJ	28
Dodatek VI RELACJE ŚWIADKÓW	29
Dodatek VII SPRAWY NIEZROZUMIAŁE	30
ZAKOŃCZENIE	31
INNE PRACE TEJ FIRMY	32

## WSTĘP

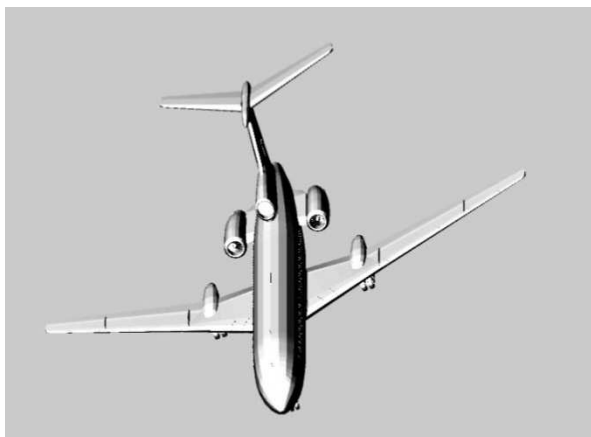
Rezultatem wypadku samolotu Tu-154M przy podejściu do lądowania była śmierć wszystkich 96 osób na pokładzie. Incydent ten miał miejsce 10 kwietnia 2010 r. Pasażerami byli m.in. Prezydent Rzeczypospolitej, jego współpracownicy, posłowie, senatorowie, najwyżsi dowódcy Sił Zbrojnych.

Celem rozważań w tym raporcie są fizyczne przyczyny katastrofy w świetle okoliczności, jakie miały miejsce. Główne kryteria to: ilość i wielkość szczątków oraz niektóre dane nawigacyjne. Większość informacji oraz materiału fotograficznego, których użył Autor, pochodzi od Zespołu Parlamentarnego i współpracujących z nim dr. Kazimierza Nowaczyka i prof. Wiesława Biniendy. Również znaczna ilość danych pochodzi od mgr inż. Marka Dąbrowskiego. Podejście ilościowe do rozrzutu przestrzennego szczątków nie jest podjęte w tym raporcie.

## STRESZCZENIE WYNIKÓW RAPORTU

Najwyraźniejszą przyczyną katastrofy były wybuchy w czasie podejścia do lądowania, które zapoczątkowały destrukcję samolotu jeszcze w powietrzu. Jeden z nich miał miejsce na lewym skrzydle, około jednej trzeciej długości, powodując wielkie lokalne zniszczenie, w efekcie rozdzielając skrzydło na dwie części. Efekt wtórny to naruszenie więzów między przodem kadłuba i resztą statku. Drugi wybuch, wewnątrz kadłuba, spowodował gruntowne zniszczenie i rozczłonkowanie tegoż. Samo lądowanie (czy upadek) w terenie zadrzewionym, wszystko jedno jak niekorzystne i pod jakim kątem, nie mogło w żadnym wypadku spowodować takiego rozczłonkowania konstrukcji, które zostało udokumentowane.

## 1. OGÓLNY PRZEBIEG WYPADKU

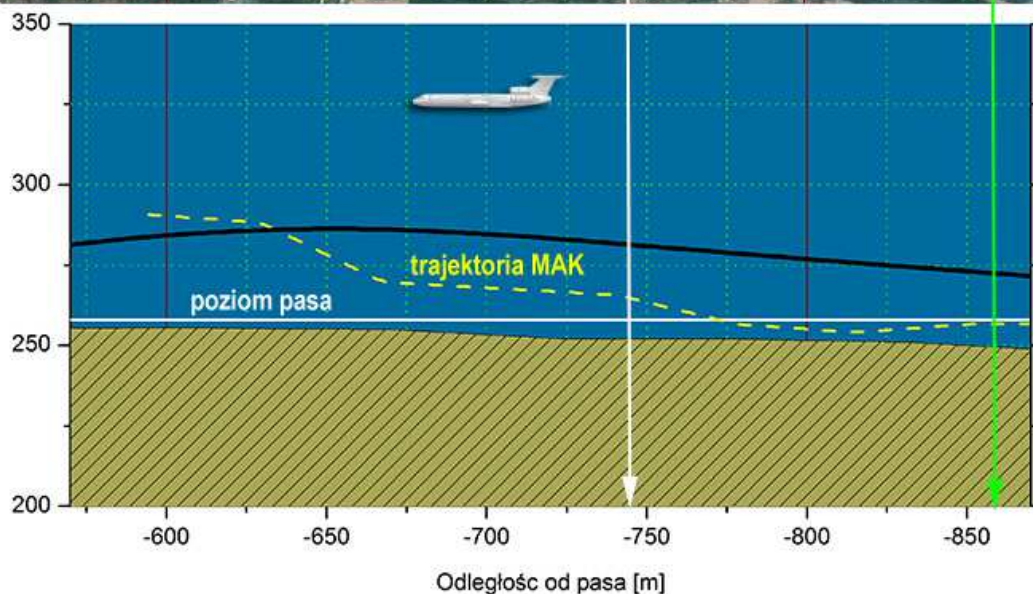


Część skrzydła lewego i prawego, przyległa do kadłuba i wyraźnie poszerzona, często jest nazywana centroptłem. Ta część przechodzi przez kadłub i jest, sama w sobie, bardzo solidnie zbudowana. W większości wypadków lotniczych, gdy maszyna w jakiś sposób uderza w płytę lotniska, ta część jest najmniej zniszczona w porównaniu z końcami skrzydeł czy końcami kadłuba.

Rys. 1. Sylwetka samolotu Tu-154M.



Rys. 2. Trajektoria samolotu, według ostatnich badań, jest oznaczona czarną linią. Górny wykres pokazuje ją w planie, a dolny w elewacji. Punkt oznaczony jako TAWS (nazywany dalej punktem krytycznym; w skrócie: punkt K) to miejsce, gdzie kierunek lotu uległ gwałtownej zmianie. Prawie pionowe pasma na górnym zdjęciu to ul. Gubienki po prawej i ul. Kutuzowa po lewej stronie.



W związku z Rys. 2 punkt TAWS (TAWS #38 zgodnie z raportem NTSB (załącznik 4 do raportu KBWL) będziemy nazywać punktem krytycznym, w skrócie Punkt K. (Plan trajektorii na Rys. 2 jest uproszczeniem. Ostatni odcinek między Punktem K i FMS naprawdę jest łukiem stycznym do poprzedniego odcinka. Znaczy to, że na ostatnim odcinku samolot wykonywał zakręt).

Punkt FMS oznacza położenie, gdzie zamrożona została pamięć komputera pokładowego spowodowana utratą zasilania. Ten samolot ma wielokrotne zabezpieczenie przeciw zanikowi zasilania, tak że wydarzenie prowadzące do tego musiało być poważne. Kwadraciki z napisami „skrzydło” i „statecznik” to miejsca, gdzie te elementy maszyny zostały znalezione. „Brzoza” odnosi się do drzewa, które było uważane za bezpośrednią przyczynę katastrofy. Przypuszczano mianowicie, że uderzenie skrzydła w brzozę spowodowało utratę części skrzydła i razem z tym stateczności lotu, co spowodowało rozbitcie się o ziemię.

Aby zbadać tę sprawę, prof. Binienda wykonał symulacje używając *MES* (Metody Elementów Skończonych) i wykazał, że przy odpowiedniej prędkości skrzydło było w stanie ściąć brzozę, nie na odwrót. Trzeba wspomnieć, że są dostępne zdjęcia brzozy wyglądającej jakby była ścięta tępym obiektem, ale związek tego z wypadkiem trudno ustalić.

Dokładniejsze badania trajektorii lotu wykonane w międzyczasie wykazują, że do żadnego kontaktu między samolotem a ową brzozą nie mogło dojść. Nie wyklucza to jednak roli innych drzew w całości wypadku.

W okolicy punktu FMS samolot rozbił się o ziemię.

## 2. OCZEKIWANE I FAKTYCZNE ROZBICIE KONSTRUKCJI; PORÓWNANIE

W okolicy Punktu K nastąpiło gwałtowne wydarzenie, powodujące zmianę kursu. (TAWS, Rys. 2). Wysokość była powyżej 30 m, prędkość pozioma - ok. 270 km/h. Drzewa, a następnie poszycie leśne w miejscu awaryjnego lądowania, miały tendencję do hamowania, do zmniejszania prędkości poziomej. („Awaryjne lądowanie” jest tu użyte jako luźny termin, oznaczający zetknięcie samolotu z ziemią, wszystko jedno w jak niepożądanym sposobie.) Własności sprężyste gruntu powinny działać w pewnym stopniu jak amortyzator, zmniejszając szczytowe przyspieszenia pionowe przy upadku. Nie było żadnych przeszkód prócz drzew, mogących gwałtownie maszynę wyhamować. Efekt nie powinien być dużo większy, niż przy wjechaniu samochodu w zagajnik z prędkością 150-250 km/h, co jest szacowaną prędkością przy uderzeniu o ziemię. (W zagajniku tym musiałyby rosnać cienkie drzewka, bowiem porównujemy samolot o długości ok. 50 m z samochodem o długości mniej niż 5 m).

Czego należało spodziewać się przy takim wypadku? Jeśli chodzi o samolot, to miejscowych rozdarć pokrycia i dużo pogniecionej blachy. Skrzydła mogły ulec poważnemu połamaniu, natomiast kadłub powinien mieć tylko ograniczoną strefę uszkodzeń i ubytków. Zdjęcia wraku samolotu pokazane na Rys. 3 i Rys. 4 nie zgadzają się z takimi przewidywaniami.



**Rys. 3a. Wrak samolotu zestawiony na lotnisku i widziany od tyłu. Lewe skrzydło jest po lewej stronie.**



**Rys. 3b. Jest to powiększony fragment Rys. 3a, pokazujący po lewej stronie wywinięcie krawędzi rozprutego kadłuba (poniżej okien).**



**Rys. 4. Wrak samolotu zestawiony na lotnisku i widziany od przodu. Po prawej stronie widać resztki lewego skrzydła. Wygląda na to, że nie ma ono wyraźnej łączności z resztą centroplata.**

Nie tylko skrzydła są połamane, ale także kadłub jest w kawałkach. Przednia część kadłuba, ta przed skrzydłami, znalazła się na miejscu upadku w pozycji normalnej, „na brzuchu”, reszta kadłuba natomiast spadła „na plecy”, czyli tylna część obróciła się w locie względem przedniej.

Rysunek 4 sugeruje też, że pokrycie góry przedniego kadłuba nie zostało odnalezione lub uległo fragmentacji na odłamki zbyt małe, by zestawić je w „obrysie”.

Na Rys. 5 – 9 pokazane są szczątki w miejscu upadku, wkrótce po ich odnalezieniu.

Obraz dewastacji jest dużo gruntowniejszy, niżby awaryjne lądowanie mogło spowodować, zarówno w zakresie przestrzennym, jak i w naturze uszkodzeń. Są dziesiątki części dużych i tysiące małych. **Mechaniczne uderzenie w grunt, po częściowym wyhamowaniu przez drzewa, nie uzasadnia takiego rozczłonkowania konstrukcji.** („Awaryjne lądowanie” jest tu użyte jako luźny termin, oznaczający zetknięcie samolotu z ziemią, wszystko jedno w jak niepożądany sposób).



*Rys. 5. Resztki salonki w prawidłowej pozycji na ziemi. Także resztki podwozia przedniego, oderwane od podstawy, pokazane z tyłu.*



**Rys. 6. Część kokpitu i przód kadłuba w prawidłowej pozycji na ziemi.**



**Rys. 7. Główna, pasażerska część kadłuba, rozerwana i odwrócona spodem do góry. Po lewej i prawej stronie wydmuchniętej części pasażerskiej kadłuba widać wywinięte na zewnątrz burty, a po prawej stronie część sufitu samolotu.**





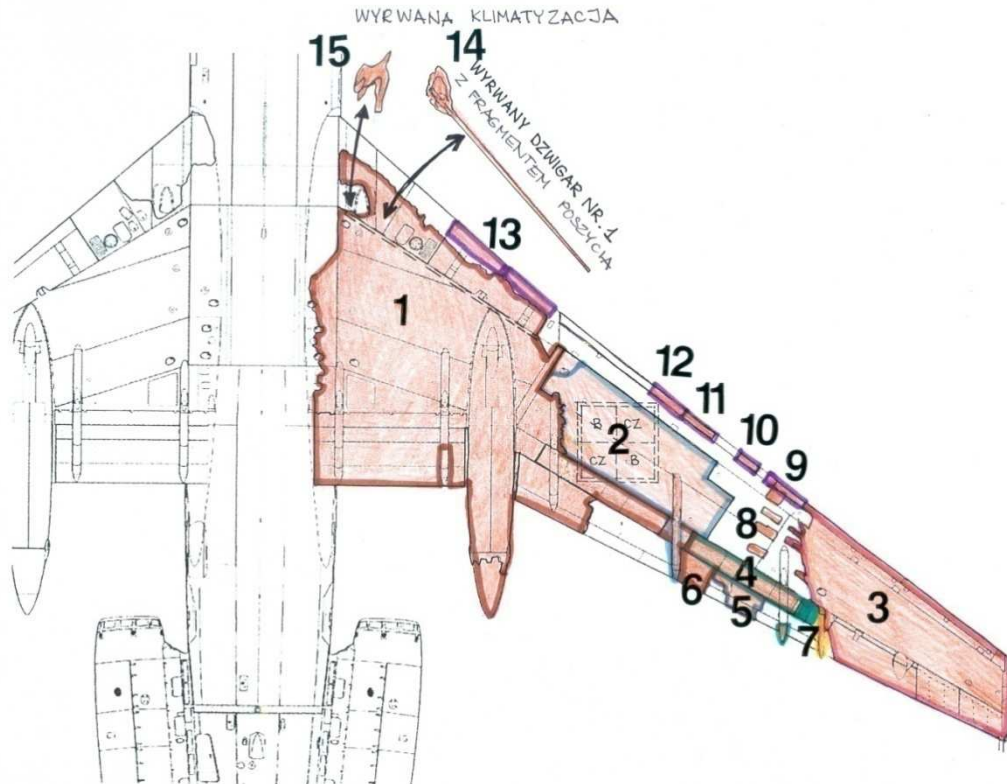
**Rys. 8. Fragment tylnej części kadłuba, która wylądowała odwrócona.**



**Rys. 9. Tylna część kadłuba i skrzydła, które wylądowały odwrócone.**



**Rys. 10. Poszycie górne (nr 16) i dolne (nr 2 wg Rys. 11) odejmowanej części lewego skrzydła na płycie lotniska. Uderzający jest brak konstrukcji nośnej skrzydła (dźwigarów i pasów) między poszyciami, która została „wydmuchnięta”. Na miejscu zdarzenia oba elementy pokrycia były od siebie oddalone o przeszło 40 metrów. Zniszczenie pokazane na Rys. 10 nie rozsądza tego, czy wybuch zaczął się we wnętrzu skrzydła, czy też przed jego krawędzią. Pokazuje jedynie skutki wejścia silnej fali uderzeniowej do wnętrza skrzydła.**



Rys.  
Widok lewego skrzydła od dołu. Zestawienie odnalezionych części.

11.

### LEWA CZĘŚĆ CENTROPŁATA I LEWE SKRZYDŁO

1	CENTROPŁAT LEWY
2	ODEJMOWANA CZĘŚĆ SKRZYDŁA LEWEGO (FRAGMENT POCZĄTKOWY POSZYCIA SPODNIEGO Z SZACHOWNICĄ)
3	ODEJMOWANA CZĘŚĆ SKRZYDŁA (KOMPLETNA CZĘŚĆ KOŃCOWA)
4	DEFLEKTOR (FRAGMENT KOŃCOWY)
5	FRAGMENT KOŃCOWEJ CZĘŚCI KLAPY OCZS.
6	FRAGMENT ŚRODKOWEJ CZĘŚCI KLAPY OCZS.
7	REDUKTOR MECHANIZMU WYSUWANIA LOTKI-INTERCEPTORA
8	FRAGMENTY POSZYCIA ODEJMOWANEJ CZĘŚCI SKRZYDŁA
9	SLOT ŚRODKOWY, SEKCJA 2 (FRAGMENT KOŃCOWY)
10	SLOT ŚRODKOWY, SEKCJA 2 (FRAGMENT ŚRODKOWY)
11	SLOT ŚRODKOWY, SEKCJA 2 (FRAGMENT POCZĄTKOWY)
12	SLOT ŚRODKOWY, SEKCJA 1 (FRAGMENT KOŃCOWY)
13	SLOT WEWNĘTRZNY
14	WYRwany DZWIGAR NR 1 CENTROPŁATA Z FRAGMENTEM POSZYCIA
15	WYRwany BLOK KLIMATYZACYJNY Z POSZYCIEM
16	ODEJMOWANA CZĘŚĆ SKRZYDŁA LEWEGO (FRAGMENT POCZĄTKOWY POSZYCIA GÓRNEGO NAD SZACHOWNICĄ)

### 3. CO SIĘ STAŁO W OKOLICY PUNKTU K?

Jest pewna wskazówka w zapisach dźwiękowych opublikowanych przez MAK i przez Komisję Millera oraz w transkrypcji zapisu dźwiękowego opracowanej na zlecenie polskiej prokuratury przez Instytut Ekspertyz Sądowych, którą wraz z innymi danymi można użyć do przyjęcia hipotezy wybuchu, mającego miejsce na skrzydle. Nagrania dźwiękowe wykazują, że niedaleko przed Punktem K pilot zaklął, a pasażerowie zaczęli krzyczeć. Nagranie to odpowiada opisowi dźwięków w kabinie, jaki w ostatnich chwilach lotu przekazał telefonicznie swojej żonie jeden z pasażerów.

Nie można skojarzyć tego momentu z wybuchem w kadłubie z tej prostej przyczyny, że po takim wydarzeniu pasażerowie nie byłoby już w stanie krzyczeć. Jeśli więc ten moment uznać za zbiegający się z wybuchem w skrzydle, to pasażerowie mieli powody do strachu: bardzo mocny wstrząs i początek przechyłu samolotu, a może nawet wstępne pęknięcia w kadłubie. (Zniszczenie pokazane na Rys. 10 ilustruje, jak potężny był impuls wybuchu).

W okolicy Punktu K nie tylko zaczął się zmieniać kierunek lotu, ale wystąpiło też przyspieszenie pionowe ok. 0.27 g, skierowane do góry względem samolotu, zanotowane przez przyrządy - Rys. 20. (Powyższa amplituda przyspieszenia nie odzwierciedla wielkości wstrząsu na skrzydle, ponieważ była zarejestrowana w kadłubie). System podwozia samolotu zareagował tak, jakby nastąpiło lądowanie.

Znany jest zestaw zdjęć zrobionych już po katastrofie z punktu przy ul. Gubienki, gdzie widać końcówkę skrzydła opartą o drzewo. Okoliczne drzewa noszą ślady, które można interpretować jako wynik bombardowania odłamkami. W pewnym obszarze mniejsze drzewka i gałęzie leżą pokodem, co mogło być spowodowane łącznym efektem eksplozji powietrznej i podmuchu silników przelatującego samolotu.

### 4. WIĘCEJ O LOSIE LEWEGO SKRZYDŁA



Miejsce upadku końcowego segmentu skrzydła na Rys. 12 było oznaczone kwadracikiem na Rys. 2 i opisane jako „skrzydło”. Ponieważ wszystko zajmuje czas, nawet reakcja systemu na eksplozję, ten wypadek musiał się więc zacząć trochę przed Punktem K. Powiedzmy dla uproszczenia, że było to mniej więcej nad kwadracikiem „skrzydło”.

Jaką to niesie informację o trajektorii spadającego elementu? Gdyby wziąć pod uwagę tylko początek i koniec, to skrzydło spadło jak kamień w dół. Tylko że kamień lecący wraz z samolotem ma szybkość poziomą 270 km/h, czyli 75 m/s. Żeby spaść z wysokości 30 m, kamień potrzebuje niecałe 2.5 s. W tym czasie kamień powinien pokonać ponad 190 m w kierunku poziomym. Jednak

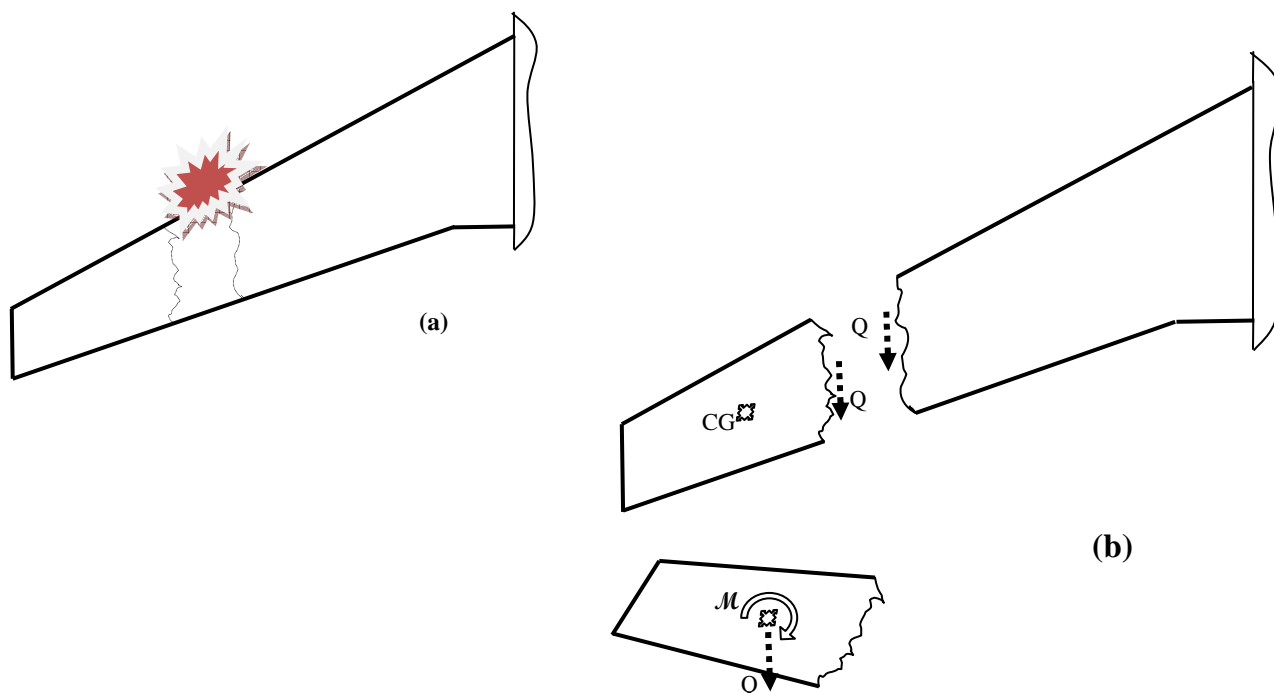
**Rys. 12. Końcowa część lewego skrzydła. (Widać spodnią powierzchnię).**

skrzydło to nie kamień i jeśli zdarzy się, że leci powierzchnią nośną, nie krawędzią w dół, doznaje dużego oporu powietrza. Nadal jednak, mimo bezładnego ruchu, można oczekiwać 90 czy 60 m. Ale nie zero.

Patrząc na fotografię skrzydła na Rys. 12, można zauważyć, zwłaszcza przy powiększeniu (możliwym przy wersji elektronicznej), że na powierzchni są dość równomiernie rozłożone małe fałdki. Ponieważ wyglądają na pochylone do osi skrzydła, można je kojarzyć z dużą siłą tnącą, powodującą oderwanie tego segmentu skrzydła. Czego nie widać dobrze na tym zdjęciu, to postrzępionych brzegów wzdłuż linii zerwania.

Na Rys. 3a, gdzie są zestawione szczątki, można zobaczyć (po powiększeniu) dużą ilość odłamków między tym segmentem końcowym i resztą skrzydła. Ta reszta też doznała wielkich uszkodzeń, jak pokazują Rys. 10 i 11. Wszystko wskazuje na ślady wybuchu, nad którego umiejscowieniem wzdłuż cięciwy trzeba się zastanowić.

Jedną możliwością, to wybuch tuż przed krawędzią natarcia skrzydła. (Rys. 13a). Wybuch, który w efekcie wypycha i rozbija krótki fragment skrzydła, przykładą siłę ścinającą  $Q$  po obu jego stronach. (Rys. 13b). (Siłę  $Q$  na rysunku można wstępnie oszacować jako iloczyn efektywnego przekroju skrzydła i wytrzymałości na ścinanie jego materiału).



**Rys.13. a) Wybuch tuż przed krawędzią natarcia. Cienka falista linia ogranicza wyrwany fragment. (Nie należy tej szerokości brać dosłownie).**

**b) Końcowy fragment rozerwanego skrzydła odlatuje wstecz, obracając się.**

Działanie na końcowy odcinek skrzydła powoduje, że odcinek ten zyskuje prędkość wsteczną względem ruchu samolotu. (Rys. 13b). Impuls siły tnącej daje też impuls momentu obrotowego wokół środka ciężkości, co powoduje wirowanie odcinka skrzydła względem osi pionowej. Taki stan ruchu pozwala osiągać znaczny zasięg lotu na tej samej zasadzie, jak działa bumerang. Ta hipoteza wyjaśnia, jak to się stało, że skrzydło „wróciło” do okolicy punktu K. Siła bezwładności pchała je w przód, natomiast siła wybuchu popchnęła je w tył, kręcąc nim jednocześnie.

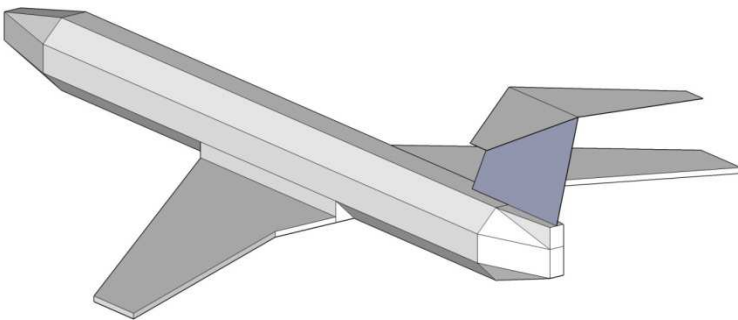
Druga siła  $Q$ , przyłożona do pozostałej, przykadłubowej części skrzydła, jest dodatkowym oporem z lewej strony, a więc wywołuje tendencję do skręcania w lewo. Silny impuls w około jednej trzeciej długości skrzydła miałby tendencję do nadrywania nasady skrzydła, co pokazuje Rys.11. Niezależnie od tego, impuls tej siły mógł naderwać połączenie frontowej części kadłuba z resztą statku.

Inna możliwość, to wybuch wewnątrz skrzydła, spowodowany ładunkiem detonującym między dźwigarami. Nie wyjaśnia to kinetyki zbyt dobrze, ponieważ składowa pozioma impulsu byłaby zbyt mała, by wysłać końcówkę w stronę przeciwną do ruchu samolotu.

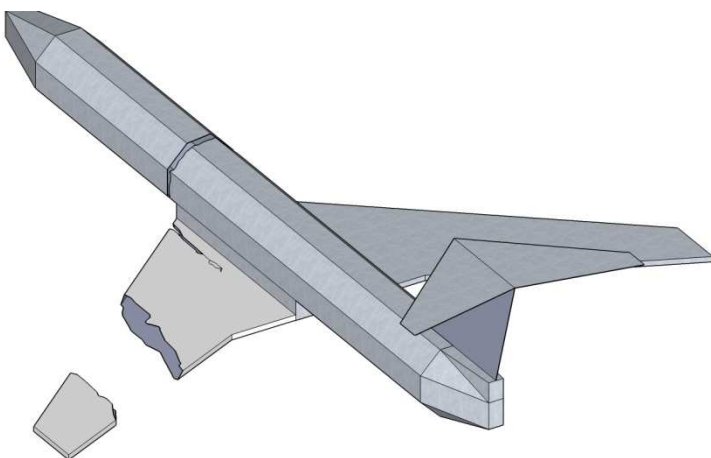
Do zmiany kierunku lotu końcówki skrzydła, spowodowanej wybuchem wewnętrznym, konieczne jest otwarcie pokrycia, by efekt odrzutu mógł mieć miejsce. Jednak w czasie niszczenia pokrycia fala uderzeniowa traci swą intensywność i działa dużo słabiej, niż wybuch zewnętrzny. Jest jednak możliwe, że ładunek umieszczony we frontowej części profilu dał tylko trochę mniejszy efekt, niż wybuch zewnętrzny.

Zniszczenie pokazane na Rys.10 nie rozsądza tego, czy wybuch zaczął się we wnętrzu skrzydła, czy też przed jego krawędzią. Pokazuje jedynie skutki wejścia silnej fali uderzeniowej do wnętrza skrzydła.

## 5. KINETYKA OSTATNIEJ FAZY LOTU



**Rys. 14. Zgrubny szkic samolotu w oryginalnej postaci.**



**Rys. 15. Samolot po wybuchu na skrzydle: odlamana końcówka skrzydła, uszkodzona nasada i uszkodzone połączenie przedniej części kadłuba z resztą.**

Szkic nieuszkodzonej maszyny jest przedstawiony na Rys. 14. Na Rys. 15 pokazano pęknięcie kadłuba i skrzydła. Dlaczego przyjmować, że kadłub mógł być (wstępnie) naderwany?

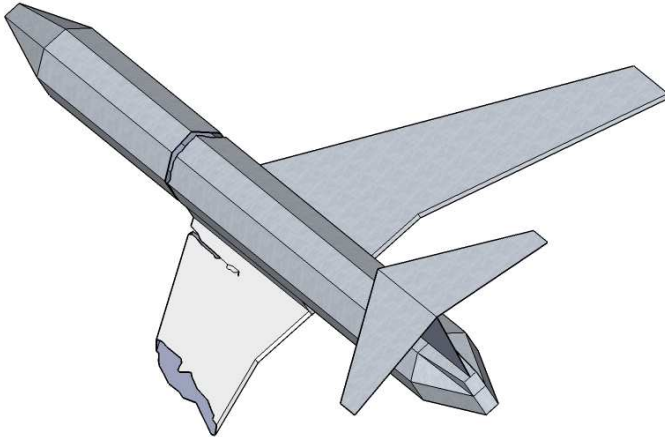
To ma wiele wspólnego z konstrukcją, gdzie mocno zbudowany centropłat przenika bryłę kadłuba. Znaczący to, że kadłub ma wykrój, który go osłabia. Na pewno jest dobre wzmocnienie i mocne połączenie między centropłatem i kadłubem, zupełnie wystarczające dla normalnych obciążeń. Jednak takie połączenia spisują się dużo gorzej w wypadku obciążeń udarowych, jakie występują w czasie wybuchu. Jest naturalnie kontrargument, mówiący że przecież w czasie lądowania też występują obciążenia udarowe, na które te połączenia są wystawione. Jednakże mamy tu do czynienia z zasadniczą różnicą: obciążenia występujące w czasie lądowania dociskają kadłub do centropłata,

podczas kiedy impuls ze skrzydła stara się je rozdzielić.

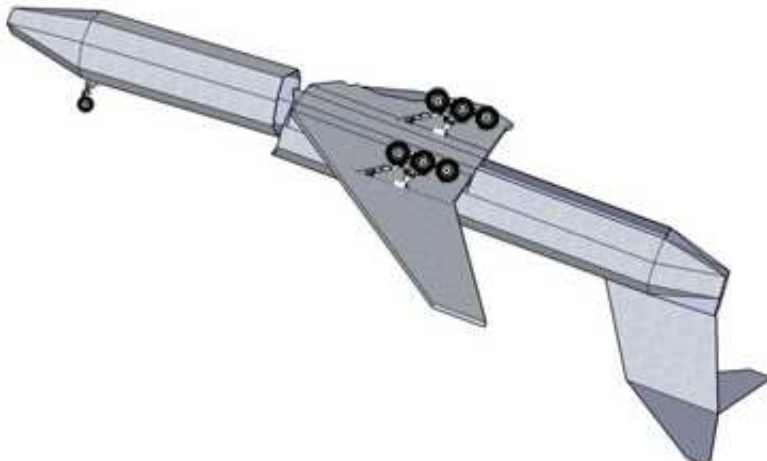
Strata krawędzi natarcia przy kadłubie i częściowe oddzielenie skrzydła dają dwa ważne efekty aerodynamiczne: utratę siły nośnej na lewym skrzydle i wzrost oporu

aerodynamicznego. Ten pierwszy powoduje obrót samolotu wokół osi podłużnej, natomiast drugi zmusza samolot do skrętu w lewo. Rysunek 16 pokazuje kontynuację przechyłu uszkodzonego samolotu i pozostającą w tyle końcówkę skrzydła.

Rysunek 17 ilustruje rozpad kadłuba już po wewnętrznym wybuchu, opisanym poniżej.



**Rys. 16. Bardziej pochylony samolot kontynuuje podróż, zostawiając końcówkę skrzydła z tyłu.**



**Rys. 17. Wzajemne położenie przedniej części kadłuba i reszty samolotu po wybuchu w kadłubie.**

Wybuch wewnętrzny działający na już uszkodzony kadłub, w obecności aktywnego momentu obrotowego, powoduje rozdzielenie tych dwóch części. Przednia część kadłuba nadal się obraca wokół osi podłużnej, ale już tylko z powodu bezwładności. Tylna część jest wciąż „napędzana” przez nierówny rozkład siły nośnej na skrzydłach. To powoduje wzajemny obrót tych części składowych tak, że w końcu ich względne położenie, pokazane na rysunku, przypomina to, co zostało znalezione na miejscu upadku.

Nie jest to ważne, czy kąt obrotu każdej z tych dwóch części był dokładnie wielokrotnością  $180^{\circ}$ . Wystarczy, że kąt obrotu tylnej części zbliży się do  $90^{\circ}$ , a w wyniku dużej bezwładności centroplata lądowanie tylnej części „na plecach” jest umożliwiające.

Mówiąc o położeniu na ziemi, przednia część kadłuba ostatecznie zatrzymała się na ziemi w pozycji zbliżonej do normalnej. Centropląt uderzył w ziemię w pozycji plecowej, ulegając dalszej fragmentacji. Ostatecznie części centroplata zatrzymały się w okolicy kokpitu po obrocie w poziomie, czyli po wykonaniu dodatkowo niepełnego obrotu wokół osi pionowej maszyny.

Bardziej szczegółowo rozpad samolotu jest pokazany na Rys. 21, stworzonym przez inż. Marka Dąbrowskiego. Ponieważ był stworzony niezależnie, nie wszystkie szczegóły tutaj opisane pokrywają się z rysunkiem.

## 6. WYBUCH W KADŁUBIE

W ciągu kilku sekund od hipotetycznego wybuchu na skrzydle, została zerwana łączność z samolotem, a jego urządzenia kontrolne i rejestrujące przestały działać. To wydarzenie można utożsamić z wybuchem w kadłubie, chociaż prokuratura wojskowa mówiąc:

*Rejestratory Tu-154 M przestały działać na ok. 1,5 do 2 sekund przed zderzeniem samolotu z ziemią. Przyczyną (według biegłych) było uszkodzenie instalacji elektrycznej. Rejestratory w Tu-154M nie mają awaryjnego zasilania. Prokuratura nie wie, jaka była przyczyna awarii elektryczności. To zagadnienie nie mogło być przedmiotem opinii biegłych badających rejestratory, bo tego typu parametru się nie rejestruje.<sup>i</sup>*

stara się następnie zbagatelizować wagę tego wydarzenia. Wracając więc do Rys. 2, wybuch na skrzydle miał miejsce w okolicy Punktu K, podczas kiedy w kadłubie nastąpiła eksplozja w pobliżu FMS (wg Rys. 2).

Wybuch we wnętrzu samolotu, który jeszcze jest w powietrzu, jest jedynym logicznym wytłumaczeniem skutków częściowo uwidoczniionych na powyższych zdjęciach, mianowicie:

- rozrzucenie fragmentów samolotu na dużej przestrzeni. (Rys. 19),
- duża ilość odłamków (kilkucentymetrowych fragmentów), jakie odnaleziono. (Dodatek II, Rys. 22),
- rozprucie segmentu kadłuba z charakterystycznym rozwarciem i wywinięciem krawędzi pęknięcia (Rys 3b i 7). Stopień rozwarcia blach kadłuba jest miarą energii materiału, który eksplodował,
- wygląd fragmentów kadłuba widzianych wzdłuż osi. Główne części wyglądają tak, jakby niewiele zostało we wnętrzu poza samą konstrukcją. Zawartość została „wydmuchnięta” (Rys. 7 i 10). (Brak dobrego oświetlenia utrudnia bardziej szczegółowe sformułowanie.),
- Zniszczenie wręgi ogonowej części. (Rozdz. 7),
- ilość zapalonych i niezapalonych szczątków. (Dodatek IV – Pożar samolotu),
- gwałtowne przyspieszenie pionowe, ok. 0.78 g, skierowane w dół względem samolotu, jakie zanotowały przyrządy. (Rys. 20),
- niektóre ciała rozerwane na kawałki. Wielka ilość ludzkich szczątków. Ubrania czasem zerwane, a czasem poszarpane na charakterystyczne strzępy. (Rys.18). Wszystkie te skutki obserwuje się, gdy koło grupy ludzi następuje wybuch ładunku typu HE.

**Ostatni punkt zasługuje na szczególną uwagę, ponieważ nie ma innego zjawiska fizycznego prócz wybuchu, które mogłoby takie skutki spowodować.** (Gwałtowne zderzenie, w zakresie prędkości występujących tutaj, może spowodować zerwanie odzieży, ale nie takie jej postrzępienie. Z relacji świadków wynika, że wystąpiła cała gama stopni zniszczenia odzieży. Podobnie z ludzkimi ciałami. Zderzenie może spowodować utratę ciągłości, ale nie rozpad na wiele fragmentów).

Jaka mogła być natura wybuchu? Pierwsza rzecz, którą trzeba wziąć pod uwagę, to substancje wiezione w samolocie, a więc tlen czy opary paliwa. Wybuch w czasie lotu w częściowo opróżnionych zbiornikach mógł nastąpić tylko z powodu jakiegoś iskrzenia, co jest mało prawdopodobne. (Zbiorniki są konstruowane tak, by wszelką możliwość iskrzenia wykluczyć). Możliwość przedostania się oparów do kabiny w takich ilościach,

by mogły spowodować potężny wybuch, wydaje się niewielka. Ilość gazu potrzebna do osiągnięcia odpowiedniego stężenia mogłaby zatruć pasażerów, którzy w międzyczasie podnieśliby alarm.

Poza tym wybuchy tego rodzaju są stosunkowo łagodne; powstaje „rozszczerzenie” raczej niż „rozprysnięcie” konstrukcji/pojemnika, który zawiera takie gazy (w tym wypadku mowa o kadłubie.) Wynika to z bardziej równomiernego rozkładu materiału w objętości pojemnika, niż mają materiały *HE*, co powoduje raczej rozszczerzenie na niewiele części, niż wytworzenie odłamków. Więcej szczegółów o zachowaniu się paliwa podany jest w Dodatku III.

Wybuch mógł zostać też spowodowany przez materiał stały w rodzaju dynamitu, czy przez inny wysokoenergetyczny (*HE*) materiał wybuchowy. Takie wydarzenie wiąże się z rozchodzeniem się fali uderzeniowej, niszczącej wszystko na swej drodze. Odległość od źródła wybuchu jest miarą tego zniszczenia. Znaczy to, że jeśli wybuch miał miejsce w części centralnej statku, to osoby w odległych miejscach miały większe szanse na przetrwanie. (Mogły być też w pewnym stopniu osłaniane przez fotele innych pasażerów). Tak czy inaczej, charakter zniszczenia kadłuba sugeruje efekt działania fali uderzeniowej i podmuchu, który za nią idzie. Są i inne możliwości, ale ustalenie sposobu, w jaki materiał wybuchowy dostał się do samolotu nie należy do zakresu tego raportu.

Czy daje się zauważyć jakiś związek między powyższym, a wybuchem w skrzydle? Trudno przyjmować taki związek, ponieważ ogniska były dość odległe i mocna fala uderzeniowa nie mogła łatwo przejść z jednego miejsca do drugiego, nawet gdyby była wspomagana przez paliwo. Centropląt ma w sobie wiele żeber, które stanowią poważną przeszkodę. Fala może niektóre zniszczyć, a także przedostać się przez otwory ulgowe w żebrach, ale w trakcie tego zostaje poważnie osłabiona.

Rola paliwa w katastrofach jest najlepiej znana w następującej sytuacji: samolot uderza w ziemię, zbiornik pęka, paliwo się rozlewa i, ewentualnie, w chwilę później następuje zapłon. Jaki materiał był użyty, gdzie się znajdował w chwili wybuchu i jaka była jego łączna masa czy energia, można określić, przeprowadzając symulację przy pomocy Metody Elementów Skończonych (*MES*). Jej wyniki, skonfrontowane z aktualnymi uszkodzeniami konstrukcji, powinny doprowadzić inżyniera do właściwych odpowiedzi. Po przeprowadzeniu takiej symulacji będzie wiadomo na przykład, jaką prędkość poprzeczną uzyskały fragmenty rozpadającego się kadłuba. Dopiero wtedy można to będzie skojarzyć z położeniem szczątków na ziemi.



**Rys. 18a. Nadpalone i poszarpane ubranie pasażera z saloniku nr 3.**<sup>ii</sup>





**Rys. 18b. Poszarpany i marginesowo nadpalony mundur pasażera z saloniku nr 3.**

Wpływ wybuchu na rozczłonkowanie kadłuba zależał też od geometrii tego „pojemnika”. Stan szczątków ludzkich wskazuje, że ognisko mogło znajdować się w pobliżu salonki nr 3, około środka długości części pasażerskiej.

Oprócz otwarcia góry kadłuba, fala uderzeniowa poszła też wzdłuż osi kadłuba. Fala idąca w stronę ogona miała niewiele przeszkód na drodze do tylnej ściany. Wygląda na to, że odbicie od tej ściany było na tyle silne, by pokrycie kadłuba pękło po obwodzie i cała tylna część samolotu poleciała do tyłu. Dzięki czystemu aerodynamicznie kształtowi mogła odlecieć dość daleko. Dzięki zwartej budowie mogła przetrwać upadek w dobrym stanie, co potwierdzają zdjęcia, z tym tylko, że oderwane zostały silniki i statecznik.

Trochę inaczej to wyglądało dla fali idącej w kierunku dzioba samolotu. Po drodze było kilka ścianek działowych między pomieszczeniami, co spowodowało jej osłabienie, nawet mimo otwartych drzwi. Możliwe oderwanie kokpitu przez falę należy przypisać temu, że wszystkie ścianki, z wyjątkiem tej ostatniej, zostały zniszczone.

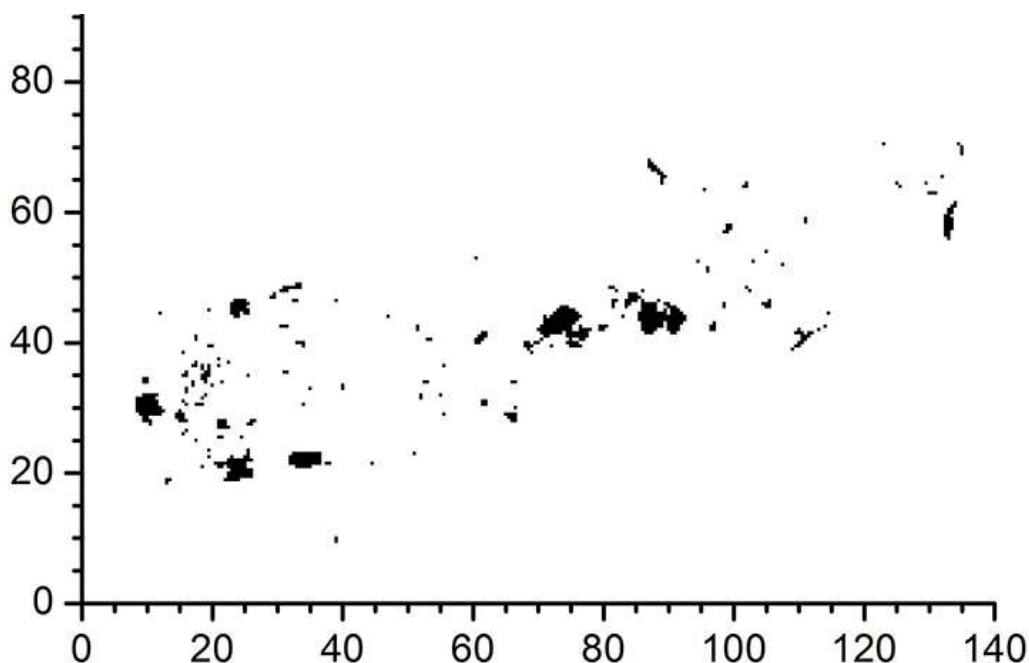
Zarejestrowany wykres przyspieszeń w czasie (Rys. 20) pokazuje dwa szczyty przyspieszenia skierowane w dół. Jeden z nich jest trochę słabszy, ale bardziej rozciągnięty. O ile pierwszy można kojarzyć z początkiem wybuchu w kadłubie (pierwsze uderzenie fali o podłogę), o tyle drugi może być śladem rozprucia kadłuba i odrzutu, a także późniejszego oderwania się frontowej i tylnej części kadłuba). Przy pierwszym, ostrym szczycie przyspieszenia, mamy początek niszczenia konstrukcji, ale zasilanie czujników przyspieszeń jeszcze trwało, bo zapis był kontynuowany. Dopiero po tej drugiej, dłużej trwającej chwili, wykres przyspieszenia się urywa, co oznacza zniszczenie zasilania i praktyczne unicestwienie konstrukcji.

Jednym z ważnych pytań jest pytanie o bezpośredni wpływ wybuchu na ruch samolotu. Otóż, gdyby wybuch miał miejsce wyłącznie we wnętrzu kadłuba, nic by to nie zmieniło, jeśli chodzi o trajektorię. Jeżeli natomiast eksplozja rozpruła górę kadłuba, to część gazów uszła w górę z dużą szybkością. Na skutek tego powstał efekt odrzutu, który popchnął kadłub wywołując przyspieszenia zanotowane w czasie lotu. Rozpadanie się kadłuba opisane poprzednio spowodowało gwałtowne zmiany prędkości pionowej w okolicy punktu FMS. Rozerwanie konstrukcji w opisany sposób musiało także zerwać kable zasilające.

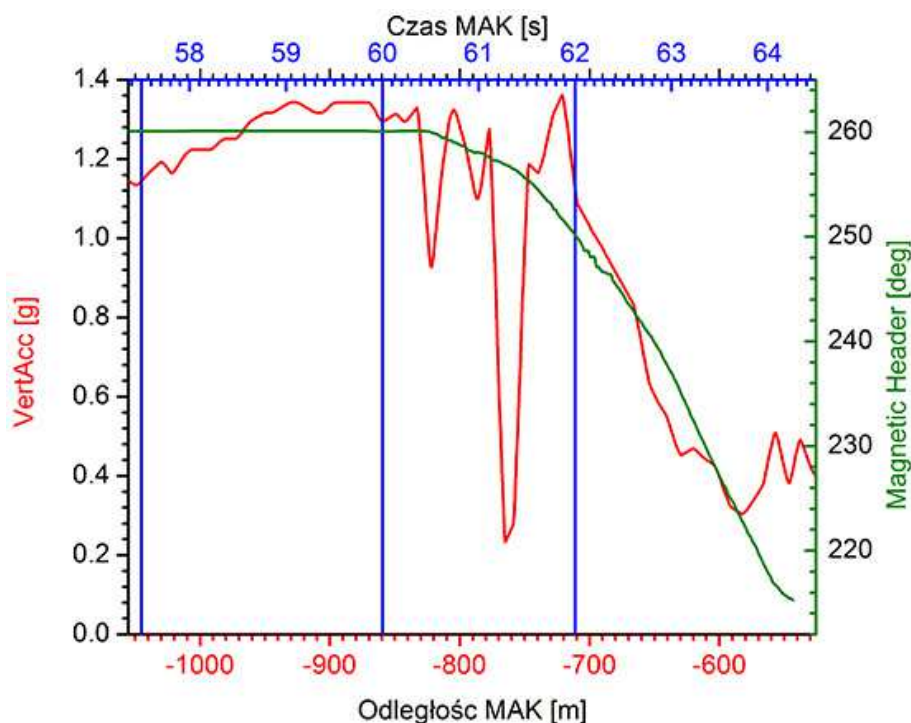
Jest też, być może marginesowa, sprawa słyszalności wybuchu. Jeśli byłby to wybuch zupełnie zamknięty we wnętrzu kadłuba, nie byłby w ogóle słyszany przez naziemnych obserwatorów. Jeśli górna część kadłuba została otwarta przez tę eksplozję, to fala uderzeniowa albo to, co z niej zostało, poszło głównie w górę. Co doszło do ziemi, to wynika tylko z dyfrakcji fali wokół brzegów rozdartego kadłuba. **Obserwator naziemny**

mógł usłyszeć tylko łagodny dźwięk, w porównaniu do części pasażerów, którym musiałyby popękać bębrenki (sekcja zwłok powinna to wykazać). Trochę lepsza słyszalność byłaby w wypadku, gdy samolot leciał kołami do góry. Zwiększony ryk silników nie sprzyjałby jednak słyszalności.

Relacje świadków obecnych w tym czasie w pobliżu miejsca zdarzenia potwierdzają, że słyszeli oni „grzmot”, „huki”, „wybuchy” lub „detonacje”. (Dodatek VI)



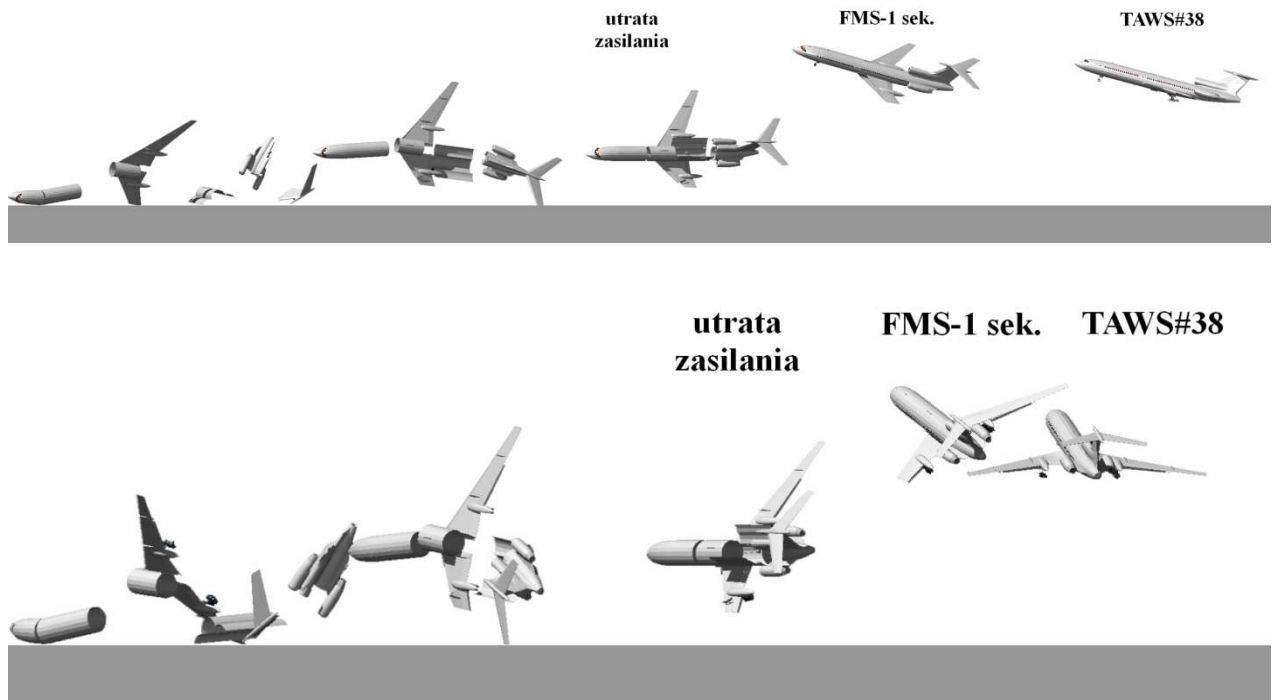
Rys. 19. Wyskalowany w metrach obszar rozrzutu większych części wraku na podstawie zdjęcia satelitarnego z 11 kwietnia (rozdzielczość 50 cm na 1 piksel).



Rys. 20. Historia przyspieszeń pionowych w krytycznym okresie czasu. W locie normalnym występuje przeciążenie 1.0 g. Jeśli jego wartość jest większa niż 1.0 g, to przyspieszenie jest skierowane do góry. (maksymalne 0.27 g). Jeśli mniejsza, to do dołu. (maksymalne 0.78 g).

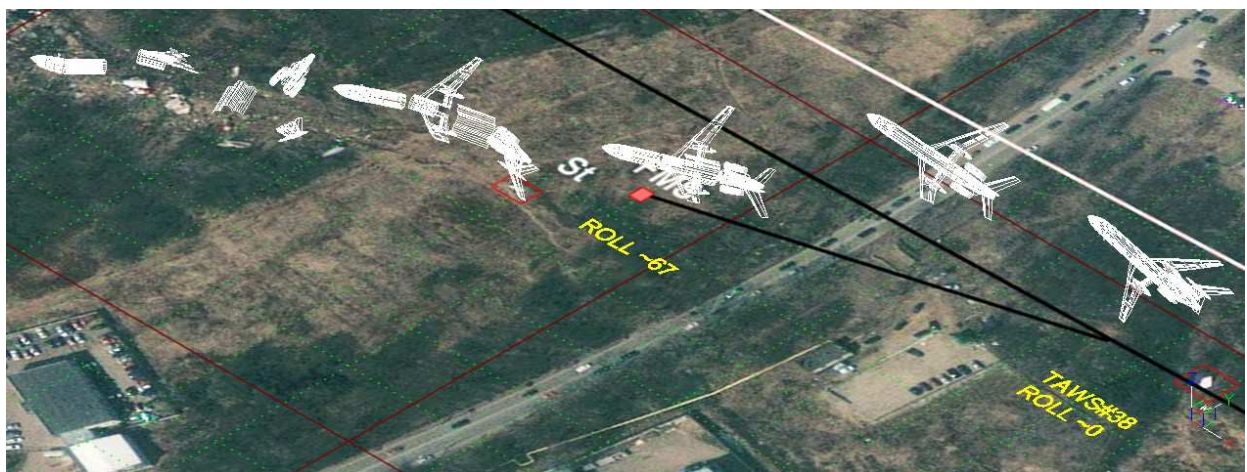
Na obraz zniszczenia wpływają dodatkowo wydarzenia końcowe, takie jak uderzenia o drzewa czy o ziemię, czy też kolizje między fragmentami. Jeśli kadłub był uprzednio rozczłonkowany, to takie kolizje zwielokrotnią ilość fragmentów.

Jeden z trudnych do zrozumienia aspektów tej sprawy to długotrwałość niektórych zjawisk. Na Rys. 20 przyspieszenie dużo wyższe niż 1.0 g trwa znacznie dłużej, niż ślad impulsu fali sprężystej dochodzącej od łamanego skrzydła. Podobnie dźwięki, które można interpretować jako odgłosy pęknięcia w nagraniu wymienionym w Rozdz. 3 trwają przez kilka sekund. Możliwe wytłumaczenie jakie się nasuwa, to działanie pewnej liczby małych, skoordynowanych ładunków wybuchowych, których zadaniem jest naruszyć, a nie rozbić konstrukcję. Ale to jest tylko myśl wstępna.



**Rys. 21a, b. Próba rekonstrukcji rozpadu płatowca. Po oderwaniu się od reszty samolotu, kabina pilotów i resztki salonki ostatecznie zatrzymały się na miejscu upadku w pozycji zbliżonej do normalnej.**

**Charakter i stopień zniszczenia maszyny wymaga użycia do symulacji rozpadu zaawansowanych metod numerycznych.**



**Rys. 21c. Próba rekonstrukcji rozpadu płatowca.**

## 7. ODPADNIĘCIE CZĘŚCI OGONOWEJ KADŁUBA

Rysunek 23 jest tylko jednym ze zdjęć, na których jest pokazana część ogonowa, spoczywająca w miejscu upadku. Rysunki konstrukcyjne pokazują, że wręga, wokół której nastąpiło pęknięcie i oddzielenie się od reszty kadłuba, była solidna, dobrze zbudowana i posiadała wklęsłą (patrząc z przodu samolotu) ściankę metalową.

Jeśli kadłub spadałby w tym miejscu nie rozdzielony i gdyby uderzył w ziemię tą tylną częścią, to ścianka wręgi mogłaby się wyboczyć, a nawet pęknąć. Ale musiałyby się to wiązać z owalizacją przekroju kadłuba. Tymczasem jednak obrys, w części widocznej na dokumentacji fotograficznej z miejsca zdarzenia, jest okrągły, przynajmniej dla gołego oka. Kadłub nie wygląda na odkształcony z powodu mocnego zewnętrznego uderzenia. Za to ścianka wręgi jest zniszczona i poszarpana. Jedynie duże ciśnienie wewnętrzne może to wyjaśnić. Ten stan rzeczy idealnie pasuje do hipotezy wybuchu.

Niezależnie od tego trzeba zauważyć, że lewa część dźwigara łączącego obydwie silniki na Rys. 23, jest wgięta do środka ogonowej części kadłuba. To może być skojarzone z uderzeniem w ziemię, chociaż wydaje się, że w takim wypadku wygięcie powinno być w przeciwną stronę.

Znowu pytanie: wybuch oparów paliwa, czy też materiału *HE*? Jest różnica między charakterem fali uderzeniowej w tych dwóch przypadkach. Ten drugi materiał daje cieńszą, ale bardziej intensywną falę. Przy odbiciu od przeszkody, takiej jak ścianka, następuje gwałtowny wzrost ciśnienia w pobliżu ścianki. To powoduje, że działanie poosiowej siły odrywającej ogonową część, było wspomagane przez lokalne zginanie (osiowo-symetryczne) wokół całego obwodu dotkniętego wybuchem. (Prosta analogia z bardziej znanych konfiguracji to stan naprężeń w walcowym naczyniu ciśnieniowym w pobliżu ścianki zamykającej przekrój.) Powstanie tego wtórnego zginania bardzo ułatwiło oderwanie się części ogonowej.

W wypadku paliwa fala jest bardziej rozmyta i nie aż tak bardzo wzmocniona przy odbiciu. W związku z tym wtórne zginanie jest słabsze, a siła osiowa odgrywa stosunkowo większą rolę. W tej sytuacji lepszym miejscem na zerwanie może być przekrój przez ostatnie okienka w kadłubie. Chociaż strata pola przekroju spowodowana okienkami nie jest wielka, ale wykroje okienne powodują spiętrzenie naprężeń, którego wpływ przy obciążeniach dynamicznych jest większy niż przy statycznych.

Czy oddzielenie ogonowej części mogło mieć miejsce na ziemi? Jeśli oddzielenie miało miejsce przez wybuch, to nie ma na ziemi rozpoznawalnego śladu wybuchu.

## 8. JAKIE JESZCZE MOŻLIWOŚCI WYPADKU TRZEBA ROZWAŻYĆ?

Przy rozważaniach tego typu jest zawsze trochę niepewności odnoszących się do dostępnych informacji. Powiedzmy sobie, że ktoś nie wierzy w informacje czasowo-przestrzenne i pyta: *Dlaczego nie jest możliwe, by wybuch miał miejsce po uderzeniu w ziemię?*

Odpowiedź jest prosta: części samolotu zostały rozrzucone na znacznym obszarze o szerokości około 40 m i długości 130 m. Tak, wybuch naziemny też może coś takiego spowodować, ale wtedy scena wybuchu wyglądałaby inaczej: drzewa wokół centrum wykoszone, a pod centrum wyraźny odcisk w ziemi, a może nawet i krater. **Poza tym nie**

**bylibyśmy wtedy w stanie wytłumaczyć obrotu głównej części kadłuba względem jego osi podłużnej.**

## 9. STATYSTYKI ŚMIERTELNOŚCI W WYPADKACH LOTNICZYCH

Większość ludzi wyobraża sobie, że gdy samolot spada w ten czy inny sposób, to wszyscy na pokładzie giną. To wyobrażenie jest spowodowane przez media, które przede wszystkim opisują te najbardziej tragiczne wypadki. Jednak prawda jest inna. **Ogólnie dostępne statystyki wykazują, że w większości wypadków część pasażerów uchodzi z życiem.** Pewne podobieństwo do katastrofy smoleńskiej nosiło rozbicie samolotu Airbus A320 w r. 1988, w czasie pokazu lotniczego. Na skutek zbiegu kilku pomyłek w ustawieniu urządzeń kontrolnych, samolot stracił moc silników i był zmuszony do lądowania w lesie. Kosząc drzewa wylądował, ale pod koniec nastąpił wybuch paliwa i wielki pożar. Statek uległ dość dokładnemu wypaleniu. Na pokładzie było 136 osób, ale zginęły tylko trzy (3). Być może pasażerowie mieli wyjątkowe szczęście, ale ten wypadek potwierdza, że lądowanie w terenie zalesionym nie zawsze musi mieć tragiczne konsekwencje. (W internecie: *ASN aircraft accident Airbus A320-111<sup>iii</sup>*).

Był też w ostatnich latach wypadek z innym modelem samolotu Tupolewa. Maszyna była zmuszona do lądowania w lesie. W trakcie tego powstała kilkusetmetrowa przesieka. Samolot nie odniósł zniszczeń widocznych na odległość.

### Dodatek I

#### KOLIZJA SKRZYDŁA SAMOLOTU Z DRZEWEM

Zagadnienie ma trochę szerszy aspekt, niż dotychczas to rozpatrywano. Mianowicie wynik takiej kolizji zależy między innymi od szybkości uderzenia. Jeżeli prędkość jest duża, powiedzmy 100 m/s czy więcej, skrzydło będzie przecinać drzewa i mocniejsze niż drzewa objekty. Jeżeli szybkość jest mała, powiedzmy 10 m/s, skrzydło prawdopodobnie zostanie złamane przez drzewo. Jeśli ta sprawa będzie jeszcze ważna, można ją całkiem pewnie rozstrzygnąć, używając Metody Elementów Skończonych w sposób opisany poniżej.

Najważniejszy aspekt kolizji skrzydła samolotu z drzewem to zjawisko lokalne, a mianowicie który z tych dwóch obiektów bardziej niszczy pozostały w rejonie zderzenia. Wystarczy więc, używając *MES*, zamodelować stosunkowo krótki segment skrzydła i drzewa. Taki model powinien być stosunkowo tani w przygotowaniu i obliczeniach. (Tani pod względem czasowym). W kolejnych etapach obliczeń trzeba tak zmniejszać prędkość uderzenia, aż dojdzie się do pewnej prędkości krytycznej, kiedy skrzydło jest słabsze niż drzewo.

Jest też coś ważniejszego przy takim zderzeniu. Typowa kolizja „na krzyż” dwóch smukłych obiektów kończy się złamaniem lub ścięciem tylko jednego z nich. Jest niska szansa, by obydwa objekty zostały złamane. **Znaczy to, że jeśli drzewo zostało ścięte, to skrzydło ocalało (z powierzchniowymi uszkodzeniami) i na odwrót.** To powinno zamknąć dyskusje dotyczące ewentualnej roli brzozy w tym wypadku. Jeśli nawet MAK ma rację i wbrew ostatnim badaniom był kontakt skrzydła z brzozą, to ani zmiana kursu nie była zauważalna, ani skrzydło wiele nie ucierpiało, więc rola brzozy powinna być zupełnie usunięta z rozważań.

Mimo bardzo przewlekłych dyskusji na temat co było mocniejsze, brzoza czy skrzydło, nikt nie zrobił prostego obliczenia opartego o nominalną statyczną wytrzymałość. Zarówno dla brzozy jak i dla skrzydła ta wytrzymałość jest iloczynem efektywnego przekroju i wytrzymałości materiału na ścinanie. Od tego analiza powinna się zaczynać, zanim zostaną użyte metody zaawansowane. Różnica w wytrzymałości tych dwóch elementów może być tak duża, że obliczenie dynamiczne będzie zbędne. Należy przy tym dodać, że szybki ruch czyni przekrój skrzydła bardziej wytrzymałym.

## **Dodatek II**

### **ODŁAMKI**

Wyobraźmy sobie pojemnik, jak np. stalowa beczka, użyty do celów doświadczalnych. Beczka jest wypełniona wodą, której ciśnienie stale rośnie. W pewnym momencie beczka pęka. Jeśli ciśnienie rośnie powoli, pęknięcie jest typowo wzdłuż jednej linii. Jeśli natomiast ciśnienie wzrasta gwałtownie, beczka może rozpaść się na kilka części. Jeśli zamiast wody włożymy do beczki ładunek wybuchowy, to im więcej tego materiału jest, tym na więcej części beczka się rozpadnie. Przy silnym (lub dużym) ładunku, fragmenty beczki będą miały bardzo różne rozmiary. Najmniejszy może mieć 2 cm<sup>2</sup>, a największy będzie znaczną częścią beczki. Te małe kawałki nazywamy odłamkami. **Są one charakterystycznym skutkiem działania materiałów wybuchowych.**

Jedyna inna możliwość wytworzenia odłamków z konstrukcji lotniczych to uderzenie o sztywną przeszkodę z dużą prędkością. Sztywnej przeszkody w omawianym wypadku nie było, a 270 km/h jest niedostateczną szybkością, by powstały odłamki.

Mechanizm powstawania wielokrotnych pęknięć przy gwałtownych obciążeniach i związany z nimi proces tworzenia się odłamków, został opisany w Rozdziale 15 książki Autora pt. *Formulas for mechanical and structural shock and impact* (CRC Press 2010).

**Rys. 22a-g. [Fotografie małych odłamków, znajdujących 10 kwietnia 2010 r. w okolicach ulic Gubienki i Kutuzowa.](#)<sup>IV</sup> W niektórych odłamkach (Rys. 22a,b) widać otwory po nitach, co czyni mało prawdopodobnym ich powstanie wskutek działania sił stycznych do poszycia.**











**Rys. 23. Stan zniszczenia wręgi ogonowej, zamykającej tylną część kadłuba.**

### **Dodatek III**

#### **CO SIĘ DZIEJE Z PALIWEM W WARUNKACH SPECJALNYCH**

Poniższe uwagi dotyczą zachowania paliwa w awaryjnych warunkach.

- O ile paliwo w stanie ciekłym można zapalić, o tyle łatwopalne są tylko jego opary.
- Do zapłonu potrzebna jest iskra, sam wstrząs nie wystarczy.
- Początkowo palenie jest dość łagodne z płomieniem posuwającym się z prędkościami poddźwiękowymi (mniej niż 340 m/s). To jest tzw. deflagracja. Przy sprzyjających warunkach, m.in. dostatecznym stężeniu oparów, płomień będzie przyspieszał, czasem osiągając bardzo duże prędkości. To sprzyja detonacji, czyli początkowi wybuchu. Jednak by detonacja miała miejsce, potrzebny jest splot warunków.
- Wybuchy paliwa mają typowo bardziej równomierny rozkład w objętości pojemnika, niż materiały *HE*, co powoduje raczej rozszczepienie pojemnika na niewiele części, niż rozprysnięcie się tegoż i wytworzenie odłamków.

### **Dodatek IV.**

#### **MECHANIKA WYBUCHU *HE* I POŻAR SAMOLOTU**

Lądujący samolot normalnie posiada znaczny zapas paliwa. Jeśli w czasie awaryjnego lądowania paliwo to ulegnie zapłonowi, to często powstaje wielki pożar, który spali, a przynajmniej opali, cały statek.

Inaczej wygląda skutek detonacji bomby. (Słowo „bomba” jest tu jedynie skrótem myślowym pojęcia „materiał wybuchowy, który ma ulec detonacji”.) Jeśli bomba jest zawieszona w powietrzu, w celach doświadczalnych, wybuch jest jednoczesny z powstaniem kuli ognia. (Przy znanej masie ładunku można rozmiar tej kuli obliczyć). Powierzchnia tej kuli to fala uderzeniowa. Gdy średnica kuli osiągnie pewną wielokrotność średnicy bomby, wtedy fala oddziela się od kuli i kontynuuje swój szybki ruch, atakując wszystkie przeszkody na drodze. Krótko mówiąc, ogień ma ograniczony zasięg.

Jeśli wybuch nastąpi wewnątrz konstrukcji, kula rozplywa się zgodnie z kształtem wnętrza, chyba że tę konstrukcję w jakimś rejonie wybuch przerwie. Jeśli bomba rozerwie konstrukcję na części, to odlatujące fragmenty będą omyte ogniem. Po zetknięciu się z ziemią, będą się przez jakiś czas palić. Elementy dalsze od źródła wybuchu lub osłonięte od wybuchu pozostaną niezapalone.

**Rozprucie powierzchni kadłuba w tym wypadku sugeruje wybuch wewnętrzny. Potwierdza to zasięg pożaru.** W związku z tym należy patrzeć na charakter pożaru jako na jeszcze jedną przesłankę wybuchu we wnętrzu samolotu.

Taki wybuch zostawia też trudny do usunięcia „podpis”. Na powierzchniach bezpośrednio dotkniętych zostają trwałe ślady chemiczne, które będą wykryte przez analizę metalurgiczną.

**Osoby znajdujące się w pobliżu źródła wybuchu mogą być dotknięte uderzeniem fali i działaniem ognia albo tylko uderzeniem.** To ostatnie jest tym bardziej prawdziwe,

im dalej od ogniska wybuchu. Są jednak możliwe pożary wtórne, które komplikują wyniki wypadku.

Słowo „bomba” użyte w tym raporcie jest jedynie skrótem myślowym pojęcia „materiał wybuchowy, który ma ulec detonacji”.

## Dodatek V

### OBRÓT SAMOLOTU WOKÓŁ OSI PODŁUŻNEJ

Obrót zaczął się w okolicy punktu krytycznego (K) i był spowodowany utratą siły nośnej na skrzydle. Poniższe obliczenie jest orientacyjne i uproszczone. Zakłada niezmiennie dane bezwładnościowe maszyny mimo wypadku, podczas którego siła nośna znika na lewym skrzydle wraz z tym skrzydłem lub jego częścią.

masa startowa:  $M_0 = 110.5$  t

masa w punkcie K:  $M = 78.6$  t

moment bezwładności względem osi podłużnej, przy starcie:  $I_0 = 1928$  t·m<sup>2</sup>

moment bezwładności względem osi podłużnej, punkt K:  $I = 1371$  t·m<sup>2</sup>

(przyjęty proporcjonalnie do masy)

szacowana siła nośna na skrzydło P  $\approx 0.4 Mg = 0.4 \times 78,600 \times 9.81 = 308,400$  N

szacowana odległość środka aero skrzydła od osi podłużnej:  $r = 8.2$  m

Skrzydło poruszające się do góry (prawe) rozwijać będzie siłę nośną mniejszą, niż to samo skrzydło w locie normalnym, ponieważ zmniejsza się efektywny kąt natarcia. Poniżej zakładamy stratę o 20%.

moment obrotowy  $\mathcal{M} = 0.8Pr = 0.8 \times 308,400 \times 8.2 = 2.023 \times 10^6$  N·m

przyspieszenie kątowe:  $\varepsilon = \mathcal{M} / I = 1.476$  rad/s<sup>2</sup>

czas t potrzebny do obrotu o kąt  $\theta$ :  $\theta = \varepsilon t^2 / 2$ , czyli dla  $\theta = 90^\circ$ :

$$t = \sqrt{\frac{2\theta}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{2 \left(\frac{\pi}{2}\right)}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\pi}{1.476}} = 1.459 \text{ s}$$

W miarę upływu czasu stan konstrukcji będzie się zmieniał i jest mało prawdopodobne, by takie przyspieszenie mogło być kontynuowane. Wobec tego przyjmujemy, że powyżej kąta  $90^\circ$  prędkość kątowna jest stała:

$$\omega = \varepsilon t = 1.476 \times 1.459 = 2.153 \text{ rad/s}$$

czas na osiągnięcie  $120^\circ$ : ( $\Delta\theta=30^\circ$ ),  $\Delta t = \Delta\theta/\omega = 0.243$  s,  $t_{120} = 1.459 + 0.243 = 1.70$  s

czas na osiągnięcie  $200^\circ$ : ( $\Delta\theta=110^\circ$ ),  $\Delta t = \Delta\theta/\omega = 0.892$  s,  $t_{200} = 1.459 + 0.892 = 2.35$  s

Można oczywiście uzyskać bardziej precyzyjne wyniki, jeśli zamiast powyższych, intuicyjnych założeń, użyć danych dokładniejszych, które można otrzymać z programu aerodynamicznego.

Według raportu MAK czas na osiągnięcie  $200^\circ$  obrotu wynosił 6 s, nie wiadomo jednak, czy ten czas był obliczany w sposób zgodny z powyższym rachunkiem. Oczywiście, jeśli nie cała siła nośna została na skrzydle stracona, obrót był wolniejszy, niż powyższy rachunek wskazuje, a czas niezbędny do obrotu - dłuższy.

## **Dodatek VI** **RELACJE ŚWIADKÓW**

Relacje świadków obecnych 10 kwietnia w pobliżu miejsca zdarzenia potwierdzają, że słyszeli oni „grzmot”, „huki”, „wybuchy” lub „detonacje”.

*Stojąc przy swoim samolocie usłyszeliśmy dźwięk silników Tu-154M podchodzącego do lądowania. Rozpoznałem to po charakterystycznym dźwięku przy pracy silników tego modelu samolotu. Nadmieniam, że go nie widziałem, a jedynie słyszałem. Był dźwięk podejścia do lądowania na ustalonym zakresie pracy silników. W pewnym momencie usłyszałem, że silniki zaczynają wchodzić na zakres startowy, tak jakby pilot chciał zwiększyć obroty silnika, a tym samym wyrównać lot lub przejść na wznoszenie. W tej chwili zastanawiam się co mogło ich skłonić do takiego działania. **Po dodaniu obrotów po upływie kilku sekund usłyszałem głośne trzaski, huki i detonacje. Do tego doszedł milknący dźwięk pracującego silnika, a następnie nastąpiła cisza.** Dla mnie były to przerażające dźwięki, których mam nadzieję nigdy więcej w życiu nie usłyszę. Te dźwięki dobiegały z kierunku podejścia do lądowania. (por. Artur Wosztyl, pilot polskiego samolotu wojskowego Jak-40, który wylądował w Smoleńsku 94 minuty przed katastrofą Tu-154M i w chwili katastrofy stał 700-800 metrów od miejsca upadku)*

**Nagle usłyszałam taki grzmot, jakby coś wybuchło. (...) Wie pan, jakby wybuch.** (Anna Nikołajewa-Nosarczuk, mieszkanka domu przy ul. Kutuzowa, którego okna skierowane są w stronę miejsca katastrofy, była 300 metrów od miejsca upadku)

**Słyszałam tylko huk.** (Tatiana NN, mieszkanka domu przy ul. Kutuzowa, którego okna skierowane są w stronę miejsca katastrofy, była 300 metrów od miejsca upadku)

**Słyszę dziwny dźwięk, nietypowy dla lądowania, taki świszczący. Samolotu nie było widać, tylko zarys. Ogon tylko widziałem. Poczuję, że coś się stanie. I takie maleńkie jakby od komety, takie coś. (...) Mgła była wszędzie dookoła, a za ogonem taki płomień na 5 metrów. (...) Ogon był w pozycji normalnej.** (Rustam NN, pracownik Hotelu „Nowyj”, był 300 metrów od miejsca upadku)

*Słyszę głos silnika, tylko ten dźwięk był trochę inny, patrzę we mgłę i widzę, że idzie samolot nisko, lewym skrzydłem prawie że w dół. (...) Przez okno **usłyszałem tak straszny huk i dwa błyski ognia, ale nie jakiś wielki wybuch.** (Sławomir Wiśniewski, monter filmowy polskiej telewizji publicznej TVP S.A., przebywał w Hotelu „Nowyj”, był 300 metrów od miejsca upadku)*

*Staliśmy na skraju garaży (...) **i taki wybuch był jak żółtko, żółtko jajka, okrągłe i nic więcej** [pokazuje rękoma owal o średnicy około 120 cm]. (Anatol Żujew, stał przy garażach 300 metrów od miejsca upadku)*

*Przyjechałem może 15 minut przed tym wydarzeniem. Zobaczyłem samolot, który leciał bardzo nisko. Ewidentnie było coś nie tak. Zaczął ścinać czubki drzew i tam w oddali **usłyszeliśmy duży huk – jak wybuch bomby.** (Marif Ipatow, był przy garażach 300 metrów od miejsca upadku)*

*Samoloty tutaj lądują często i jesteśmy przyzwyczajeni do ich dźwięków. Ten samolot lądował **z przerywanym szumem silników i głośnymi trzaskami.** (...) Przechylał się*

*raz w jedną, raz w drugą stronę, potem upadł [pokazuje dłonią, jak samolot przechylał się na boki]. (Dmitry Zakharkin vel Janis Ruskuł [w rosyjskojęzycznej edycji wypowiedzi dla państwowej agencji informacyjnej RIA Novosti przedstawiony pierwszym a w anglojęzycznej wersji drugim nazwiskiem], miał być przy garażach 300 metrów od miejsca upadku)*

*...na poczcie głosowej zarejestrowane było nagranie głosu mojego męża, który krzychał „Asia, Asia”. W tle słychać było trzaski, a właściwie to głos mojego męża był w tle, a dominujące były **huk i trzaski**. Słychać było też głosy ludzi, jakby głos tłumu. Nie było to wyraźne. Nie rozpoznałam jakichkolwiek słów. Był to krzyk ludzi. Nagranie to trwało dwie, trzy sekundy. Głos męża był niewyraźny. Trzaski to były krótkie, ostre dźwięki. Tak, jakby łamał się wafel lub plastik plus dźwięk przypominający hałas wiatru w słuchawce telefonu. (Joanna D., żona posła Leszka D., który tuż przed śmiercią uzyskał połączenie z telefonem żony i nagrał słowa pożegnania na poczcie głosowej; po odsłuchaniu przez żonę relacja została skasowana a Agencja Bezpieczeństwa Wewnętrznego twierdzi, że kopia nagrania nie zachowała się).*

*Ten dzień zapadnie w mojej pamięci do końca życia. Na własne oczy widziałem katastrofę. Do tragedii doszło przed moim własnym domem. Mieszkam zaledwie 400 metrów od miejsca katastrofy. W sobotę rano byłem przed domem. **Nagle usłyszałem straszny huk** . Na zamglonym niebie pojawił się samolot. Samolot jak samolot-pomyślałem. Mieszkając kilkaset metrów od lotniska, do takiego widoku można się przyzwyczaić. Jedno mnie jednak zdziwiło – **w pewnej chwili ten huk po prostu zamarł. Dosłownie na ułamek sekundy nad lasem zawisła grobowa cisza**. Odwróciłem głowę i zobaczyłem spadający samolot. Nogi się pode mną ugięły. **Po chwili rozległ się okropny huk** i wśród drzew pojawiła się tona ognia. (...) Nie mogę uwierzyć w to co się stało. Zwłaszcza, że tragedia ta wydarzyła się na moich oczach, tuż przed moim domem.” (Siergiej Wandierow, stał na podwórku swojego domku jednorodzinne go około 800 metrów od miejsca upadku)*

(Słowa „wybuch” i „detonacja”, użyte w przywołanych oraz w innych relacjach bezpośrednich świadków opisujących zdarzenia towarzyszące katastrofie, mogą – lecz nie muszą – opisywać detonacje materiałów wybuchowych.)

## **Dodatek VII**

### **SPRAWY NIEZROZUMIAŁE**

Ponieważ jest tylko luźna łączność zdrowego rozsądku z oficjalnym postępowaniem w dochodzeniu przyczyn katastrofy, Autor pozwala sobie zadać następujące, retoryczne pytania:

1. Zważywszy, że ostrożny człowiek zdaje sobie sprawę z poziomu niebezpieczeństwa podróży lotniczych, jak to było możliwe, by do jednego samolotu rządowego wsadzono prezydenta, generalicję, wielu członków rządu i instytucji państwowych? Przecież sprawa przetrwania kataklizmów, zachowania ciągłości władzy, jest częścią strategii każdego rządu.
2. Każdy, kto interesował się wypadkami lotniczymi i kto ma dostęp do materiału fotograficznego, powinien zauważyć po namyśle, że takie rozczłonkowanie konstrukcji nie jest uzasadnione przez lądowanie w lesie, wszystko jedno jak nieudane. W żadnym z dwóch oficjalnych raportów wybuch nie jest traktowany

nawet jako hipotetyczna przyczyna katastrofy, mimo zeznań świadków w tej sprawie.

3. Wyjeżdżało kilka delegacji z Polski, by oglądać szczątki samolotu. Wszystkie ograniczyły się do robienia zdjęć, tak jakby nie było między nimi człowieka kompetentnego technicznie, który by im podsunął myśl, by wziąć trochę próbek, chociażby odłamków. Analiza metalurgiczna mogłaby niektóre domysły zamienić w pewność.
4. Sposób, w jaki funkcjonariusze państwowi Federacji Rosyjskiej traktowali resztki samolotu. Ciężkie maszyny, jakich używano do przemieszczania szczątków, wlokły je po ziemi a potem zrzucały na ciężarówki, jedno na drugie, jakby to był złom. (Film jest dostępny na YouTube<sup>V</sup>.) Takie postępowanie powodowało dodatkowe uszkodzenia, które utrudniają śledztwo. Wybijania okien łomem przez rosyjskiego żołnierza przed obiektywami kamer telewizyjnych nie należy chyba traktować jako indywidualnego wybryku wandalizmu<sup>VI</sup>.
5. Jak można było czyścić szczątki samolotu i w jakim celu? Przecież to bardzo utrudnia diagnozę przyczyn katastrofy poprzez zacieranie części jej śladów.

## ZAKOŃCZENIE

Przednia część kadłuba wylądowała normalnie, natomiast reszta samolotu upadła kołami do góry. Znaczy to, że rozpad konstrukcji miał miejsce w powietrzu. Niniejszy raport zakłada, że powodem rozpadu były wybuchy.

Gdy kadłub upada w całości, może pęknąć, chociaż pęknięcie wzdłuż osi jest rzadkie. Natomiast wywinięcie burt kadłuba na zewnątrz może być przypisane tylko wybuchowi wewnętrznemu.

Ze wszystkich śladów najważniejsze są dwa: duża ilość odłamków a także rozczłonkowanie ludzkich ciał.

Dopóki nikt nie wystąpi z lepszą hipotezą, zgodną z okolicznościami, jest to jedyne wyjaśnienie przyczyn katastrofy.

### Źródła zdjęć:

Rys. 18a: [http://www.se.pl/wydarzenia/kraj/to-jest-mundur-gen-blasika-szokujace-zdjecia-rzeczy-ofiar-smolenskiej-katastrofy-fragmenty-ksiadzki-k\\_161590.html](http://www.se.pl/wydarzenia/kraj/to-jest-mundur-gen-blasika-szokujace-zdjecia-rzeczy-ofiar-smolenskiej-katastrofy-fragmenty-ksiadzki-k_161590.html)

Rys. 18b: <http://www.se.pl/multimedia/galeria/53445/98137/gen-basik-kona-kilka-minut-oto-jego-mundur-i-ubrania-innych-ofiar-katastrofy/>

Rys. 22a-g: <http://krohis.livejournal.com/238416.html>

<http://www.flickr.com/photos/globovision/4507693591/>

<http://media.photobucket.com/image/smolensk/ciscazarmansyah/74-1.jpg?o=307>

## INNE PRACE TEJ FIRMY

Analytical Service już od wielu lat rozwiązuje zadania związane z mechaniką rozpadu konstrukcji, często z udziałem materiałów wybuchowych. Opisy niektórych prac można znaleźć na stronie internetowej:

[www.simulate-events.com](http://www.simulate-events.com)

Bardziej na żywo można oglądać krótkie filmy na YouTube:

[www.youtube.com/user/g98765432](http://www.youtube.com/user/g98765432)

Zalecamy użycie słuchawek.

Pytania techniczne związane z tym Raportem należy kierować do Zespołu Parlamentarnego A. Macierewicza<sup>vii</sup>. Po sortowaniu (by uniknąć powtórzeń) pytania te zostaną przekazane Autorowi do odpowiedzi.

---

<sup>i</sup> Oświadczenie płk Ireneusza Szelağa, szefa prowadzącej śledztwo Wojskowej Prokuratury Okręgowej w Warszawie, przedstawione w dniu 26 lipca 2011 r. na konferencji prasowej w Warszawie; omówione i cytowane m.in. przez będącą własnością rządu Polską Agencję Prasową w depeuszach nadanych o godz. 13:39, 14.19, 16.33 i 19.34; najszersza wersja depeszy PAP cytowana była m.in. przez telewizję publiczną TVP1: <http://tvp.info/informacje/polska/kolejny-polski-raport-w-sprawie-smolenska/4969091> oraz m.in.: [http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/1,114873,10011320,Beda\\_zarzuty\\_w\\_sledztwie\\_prowadzonym\\_przez\\_NPW.html](http://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/1,114873,10011320,Beda_zarzuty_w_sledztwie_prowadzonym_przez_NPW.html)

<sup>ii</sup> [http://www.se.pl/wydarzenia/kraj/to-jest-mundur-gen-blasika-szokujace-zdjecia-rzeczy-ofiar-smolenskiej-katastrofy-fragmenty-ksiazki-k\\_161590.html](http://www.se.pl/wydarzenia/kraj/to-jest-mundur-gen-blasika-szokujace-zdjecia-rzeczy-ofiar-smolenskiej-katastrofy-fragmenty-ksiazki-k_161590.html)

<sup>iii</sup> <http://www.bea.aero/docspa/1988/f-kc880626/pdf/f-kc880626.pdf> (*Raport komisji badającej przyczyny zdarzenia w dniu 26 lipca 1988 r. w Mulhouse-Habsheim z udziałem samolotu Airbus A 320*; Journal Officiel de La République Française. Documents Administratifs No 28/1990 z 24 kwietnia 1990 r.)

<sup>iv</sup> <http://krohis.livejournal.com/238416.html>  
<http://www.flickr.com/photos/globovision/4507693591/>  
<http://media.photobucket.com/image/smolensk/ciscazarmansyah/74-1.jpg?o=307>

<sup>v</sup> [http://www.youtube.com/watch?v=uWEPV\\_Zzf4E](http://www.youtube.com/watch?v=uWEPV_Zzf4E) (program „Misja specjalna” Anity Gargas nadany przez publiczną telewizję TVP1 w dniu 21 września 2010 r.; ok. 2.05 min. nagrania)

<sup>vi</sup> [http://www.youtube.com/watch?v=uWEPV\\_Zzf4E](http://www.youtube.com/watch?v=uWEPV_Zzf4E) (program „Misja specjalna” Anity Gargas nadany przez publiczną telewizję TVP1 w dniu 21 września 2010 r.; ok. 1.50 min. nagrania)

<sup>vii</sup> Poseł Antoni Macierewicz, Przewodniczący Zespołu Parlamentarnego ds. Zbadania Przyczyn Katastrofy Tu-154M z 10 kwietnia 2010 r., Sejm Rzeczypospolitej Polskiej, ul. Wiejska 2/4/6, 00-902 Warszawa, [Antoni.Macierewicz@sejm.pl](mailto:Antoni.Macierewicz@sejm.pl)