

O BADANIACH EKSPERCKICH METALOWYCH ELEMENTÓW WRAKU SAMOLOTU TU-154

Andrzej Ziółkowski

Abstract

General principles, methodology, procedures and tools of running investigation of engineering failures are recalled in the work. There are indicated divergences between good norms of conduct in the case of failure analysis and actual measures of investigation taken in the case of catastrophe of TU-154M airplane in Smolensk. Attention is focused here on metallic fragments of aircraft wreckage. On the grounds of publicly available information there has been formulated Hypothesis 1 that key technical cause of TU-154M catastrophe in Smolensk has been explosion (a series of explosions) on the airplane board when it was in flight. Features of deformation of metallic elements specific for explosive damage - signatures of explosion, are specified and illustrated graphically. A preliminary survey of available photographic documentation of metallic elements of TU-154M wreckage has been performed in search of above listed features. It has been found several cases of metallic elements of TU-154M wreckage with deformations corresponding to patterns classified to be characteristic for damage in explosion. This delivers premises/evidence speaking for validity of Hypothesis 1.

Keywords - Smolensk catastrophe, expert examinations, metallic fragments, wreck of TU-154M, explosive damage characteristic features.

Streszczenie

W pracy podano ogólne zasady, metodologię, sposoby i narzędzia prowadzenia badań nieszczęśliwych zdarzeń. Wskazano rozbieżności pomiędzy dobrymi praktykami postępowania i faktycznie podjętymi/wykonanymi czynnościami śledczymi w przypadku badania katastrofy samolotu TU-154M w Smoleńsku. Uwagę skupiono na metalowych elementach wraku samolotu. Na podstawie publicznie dostępnych informacji sformułowano Hipotezę 1, że pierwotną techniczną przyczyną katastrofy TU-154M w Smoleńsku był wybuch/-chy na pokładzie samolotu, gdy znajdował się on w powietrzu. Podano i zilustrowano graficznie cechy charakterystyczne elementów metalowych, które w sposób jednoznaczny pozwalają stwierdzić, że dany element uległ zniszczeniu na skutek wybuchu. Dokonano wstępnego przeglądu dostępnej dokumentacji zdjęciowej wraku samolotu TU-154M pod kątem występowania ww. cech charakterystycznych. Wskazano na kilka przypadków metalowych elementów wraku samolotu TU-154M ze zniekształceniami odpowiadającymi wzorcom zaklasyfikowanym jako typowe dla zniszczenia na skutek eksplozji/wybuchu. Dostarcza to przesłanek/dowodów przemawiających za prawdziwością Hipotezy 1.

Słowa kluczowe – Katastrofa Smoleńska badania eksperckie, metalowe elementy, wrak TU-154M, cechy charakterystyczne zniszczenia na skutek wybuchu.

1. WPROWADZENIE

Katastrofa polskiego samolotu TU-154M w Smoleńsku, jaka miała miejsce dnia 10.04.2010 r. była niezwykle tragicznym wydarzeniem dla polskiego społeczeństwa. Jest faktem, że po ponad trzech latach od tego wydarzenia wciąż nie zbadano rzetelnie tej katastrofy, tj. nie określono: *kto, co, kiedy, dlaczego i jak*, w oparciu o istniejące dowody materialne. Osoby i organy państwa polskiego upoważnione i zobowiązane do badania katastrofy Smoleńskiej przez te trzy lata nie określiły przyczyn i okoliczności katastrofy, nie zrekonstruowały jej przebiegu. Przedłużający się stan stagnacji w postępowaniu wyjaśniającym wprawia w konsternację coraz szersze grupy społeczeństwa polskiego, w tym osoby ze środowiska akademickiego - również autora niniejszej pracy. Opinii publicznej, w miejsce rzetelnej wiedzy, regularnie dostarczane są wzajemnie sprzeczne dane bardziej o charakterze spekulacji niż informacji. W związku z powyższym autor zdecydował się przeanalizować dostępne informacje i podjąć pracę mającą na celu wyjaśnienie technicznych przyczyn katastrofy Smoleńskiej w formule akademickiego śledztwa, traktując ją jako problem naukowy i wykorzystując stosowaną w takim przypadku metodologię. Pełne, wiarygodne badanie katastrofy Smoleńskiej wymaga szeregu uporządkowanych czynności o charakterze wielodyscyplinarnym, gdyż pojedynczy analityk nie jest w stanie dysponować wystarczającą wiedzą z różnorodnych dziedzin. Dlatego z powodu wielu ograniczeń: czasowych, finansowych, dostępu do informacji i narzędzi badawczych, zawarte tutaj przemyślenia stanowią jedynie wstępne studium o charakterze cząstkowym, przyczynkowym. Uwaga autora została skupiona tylko na jednym zagadnieniu, pozostającym w ramach jego kompetencji zawodowych i zainteresowań, a mianowicie deformacji metalowych elementów wraku samolotu, co w oczywisty sposób pokrywa niewielki zakres czynności badawczych, jakie wciąż pozostają do wykonania przy badaniu katastrofy Smoleńskiej. Niemniej, zdaniem autora, zakres ten jest o tyle ważny, że upływ czasu - rzędu nawet kilkudziesięciu lat - nie spowoduje zatarcia charakterystycznych śladów pozwalających z dużą dozą prawdopodobieństwa określić okoliczności/sposób w jaki doszło do deformacji metalowych elementów. Okoliczności takie można ukryć tylko w jeden sposób - całkowicie niszcząc wrak samolotu. Jednak i ten sposób jest obecnie mocno ograniczony, z uwagi na istnienie dokumentacji fotograficznej wraku,

nawet jeśli jest ona fragmentaryczna i często nie spełnia wymagań jakościowych i proceduralnych.

2. METODOLOGIA, SPOSOBY I NARZĘDZIA PROWADZENIA BADAŃ

NIEPOŻĄDANYCH/NIESZCZĘŚLIWYCH ZDARZEŃ

Przykładowy zbiór wytycznych postępowania przy badaniu niepożądanych zajęć, wraz z szerokim ich omówieniem, można znaleźć w czwartym rozdziale książki Dennisa pt. *"Jak organizować i prowadzić badanie zdarzeń awaryjnych"* – por. [1]. Autor wymienia tam dziewięć kroków postępowania przy badaniu niepożądanych zdarzeń: *"... Krok 1: Zrozumieć i uzgodnić cele badania, Krok 2: Uzyskać dokładne zrozumienie niepożądanego zajścia, Krok 3: Obiektywnie i dokładnie zidentyfikować wszystkie możliwe źródłowe przyczyny, Krok 4: Obiektywnie ocenić prawdopodobieństwo każdej źródłowej przyczyny, Krok 5: Uzyskać zbieżność w zakresie najbardziej prawdopodobnej źródłowej przyczyny/-czyn, Krok 6: Obiektywnie i wyraźnie zidentyfikować wszystkie możliwe działania naprawcze, Krok 7: Obiektywnie ocenić każde działanie naprawcze, Krok 8: Wybrać optymalne działanie/-nia naprawcze, Krok 9: Ocenić efektywność wybranych działań naprawczych ..."*.

Są to bardzo ogólne zalecenia, mające zastosowanie w każdej niemal sytuacji, pozwalające na użycie całego szeregu różnych metod badawczych. Jak podaje Noon [2] przy badaniu awarii, wypadków, przestępstw i podobnych niepożądanych zdarzeń, powszechnie stosowane są następujące metody badawcze: metoda naukowa, analiza ścieżek uszkodzeń, metoda piramidy przyczyn, analiza zdarzeń i czynników sprawczych (ECFA), analiza ograniczeń, proces oceny jakości ludzkiego działania (HPEP), analiza zmian, analiza motywów, środków i sposobności, zarządzanie ścieżkami organizacyjnego ryzyka (MORT), Kepner-Tregoe, Apollo, Tap Root, i inne podobne, prawnie zastrzeżone metody.

W niniejszej pracy przyjęto metodologię naukową dla wyjaśnienia przyczyn katastrofy Smoleńskiej. Jednakże, niezależnie od tego na wykorzystanie której metodologii by się zdecydowano, w każdym przypadku *pierwszym, niezbędnym krokiem jest zebranie informacji faktograficznych z miejsca wypadku*. Zgodnie z wytycznymi jakie podają bardzo doświadczeni badacze wypadków lotniczych, por. np. Ramachandran et al. [3], członkowie zespołu badawczego winni dokonać inspekcji miejsca wypadku i dokonać *samodzielnej oceny zniszczeń*. Winno to być dokonane *bezwłocznie*. Członkowie zespołu badawczego winni sporządzić dokumentację zdjęciową (filmową), gdyż jest to najlepsza metoda zarejestrowania szkód i zniszczeń, umożliwiająca późniejsze rzetelne wykonanie czynności śledczych mających na celu wyjaśnienie źródłowych przyczyn wypadku. Jakakolwiek zwłoka może spowodować zmianę stanu uszkodzonego elementu z powodu np. nieumyślnego obchodzenia się z nim nieuprawnionych osób, wpływu warunków otoczenia, prób nieumyślnego odtworzenia stanu sprzed wypadku.

Jak podaje Ramachandran et al. [3], w wyniku przeprowadzenia inspekcji miejsca wypadku konieczne jest, w pierwszej kolejności, zebranie (udokumentowanie) informacji jak podano poniżej, które w wyniku ich analizy umożliwią odtworzenie kompletnej historii określonego, badanego zajścia (w szczególności katastrofy samolotu). Informacje, jakie muszą być zebrane, można podzielić na

dwie grupy: informacje o uszkodzonym elemencie/-tach, informacje o awarii/wypadku/katastrofie jako takiej.

Informacje o uszkodzonym elemencie winny zawierać: nazwę komponentu, numer identyfikacyjny, nazwę wytwórcy i użytkownika, umiejscowienie, pełnioną funkcję, czas użytkowania od zainstalowania, czas użytkowania do ostatniego przeglądu, obciążenia projektowe, rzeczywiste obciążenie użytkowe i zorientowanie obciążeń, częstotliwość obciążenia, parametry pracy takie jak temperatura, ciśnienie, obroty, etc., środowisko pracy, rodzaj materiałów konstrukcyjnych, specyfikacje i kodowania, odstępstwa od standardowych wymagań dla danego komponentu, parametry wytrzymałościowe, procesy produkcji, obróbki termomechaniczne, obróbki powierzchniowe, techniki inspekcji i prowadzone rejestry, rejestry obsługi technicznych, modyfikacje ad hoc.

Informacje o awarii, wypadku, katastrofie - jako takiej - winny zawierać: datę i czas awarii/wadliwego działania, rozległość zniszczeń konstrukcji, etc., warunki operacyjne tuż przed awarią, odchylenia od normy, szkice i zdjęcia uszkodzonego elementu i przestrzeni sąsiadujących, mapę szczątków wrakowiska, zeznania świadków.

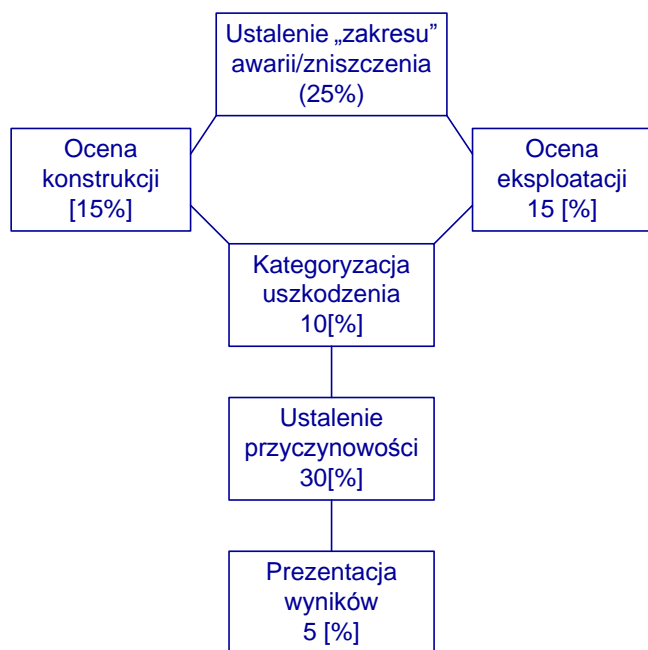
Jak z powyższego wynika – w przypadku każdego wypadku – w pierwszej kolejności musi być sporządzona szczegółowa dokumentacja wrakowiska, szczegółowa inwentaryzacja i uporządkowanie szczątków, i innych dowodów materialnych. Współcześnie wykorzystywane jest do tego celu specjalistyczne oprogramowanie pozwalające na sprawne gromadzenie, porządkowanie i przechowywanie informacji o wypadku. Oprogramowanie pozwala na generowanie pakietów danych o określonych obiektach zawierających dokumentację tekstową, fotograficzną i filmową, jak również posiada moduły analityczne umożliwiające efektywną analizę informacji w kontekście ich wzajemnych powiązań.

W przypadku poważniejszych katastrof i wypadków lotniczych obowiązkowo musi zostać dokonane kompletne i jak najbardziej szczegółowe odtworzenie wraku samolotu.

Wstępna analiza danych zgromadzonych w wyniku inspekcji miejsca wypadku pozwala na sporządzenie planu śledztwa i jego ukierunkowania, patrz np. Mathews [4]. *Plan śledztwa* pozwala na określenie jakiego rodzaju i jakie czynności badawcze winny być wykonane oraz jaki powinien być ich zakres - por. Rys. 1, gdzie podano typowe nakłady pracy na poszczególne etapy badania. Jedną z najważniejszych czynności przy sporządzaniu planu badania określonego wypadku jest sformułowanie szeregu najbardziej prawdopodobnych *hipotez odnośnie do źródłowych i wtórnych przyczyn wypadku i jego przebiegu*. Następnie hipotezy takie są weryfikowane/falsyfikowane, w oparciu o dowody materialne, aż zostanie zidentyfikowana prawdziwa źródłowa przyczyna wypadku - *wypadek zostanie zrekonstruowany*.

Wnosząc z dostępnych publicznie informacji osoby i organy państwa polskiego zobowiązane i upoważnione do badania katastrofy TU-154M w Smoleńsku nie dokonały inspekcji miejsca katastrofy zgodnie ze współcześnie powszechnie obowiązującymi zasadami, tak jak tego wymagają praktyki dobrego postępowania przy wyjaśnianiu wypadków, wskazane powyżej. W szczególności nie została sporządzona rzetelna dokumentacja wrakowiska, nie opracowano szczegółowej ewidencji pozostałości wraku samolotu TU-154M, jak również nie dokonano starannego odtworzenia samolotu, co stanowi rażące niedopełnienie

obowiązków przy prowadzeniu Badania Wypadku Lotniczego w Smoleńsku. Dowody materialne katastrofy, niemal od chwili gdy się wydarzyła, są w sposób notoryczny niszczone, zaś czynności badawcze prowadzone są w sposób niestaranny, wybiórczy i opieszaly.



Rys. 1. Schematyczny diagram typowego planu badania awarii/wypadku z podanymi wagami (czasowymi) jakie przyjmowane są zazwyczaj w przypadku komercyjnego/ubezpieczeniowego śledztwa, za Matthews'em [4].

3. UKIERUNKOWANIE BADANIA KATASTROFY TU-154M NA PODSTAWIE DOSTĘPNYCH PUBLICZNIE INFORMACJI

Obecnie powstaje uzasadnione pytanie, czy pomimo wszystkich zaniechań i zaniedbań badania katastrofy TU-154M już na jej pierwszym fundamentalnym etapie zbierania i zabezpieczania dowodów materialnych, i po upływie trzech lat, można coś wiarygodnie ustalić. Istotną rolę przy próbie rozstrzygnięcia tego problemu odgrywa konstytucyjne uprawnienie polskich obywateli do wolności słowa i dostępu do informacji publicznej. Każdy obywatel, o ile tylko zechce może dotrzeć, dzięki mediom i sieci internetowej, do chociażby dokumentacji fotograficznej katastrofy Smoleńskiej i analizując stosowne informacje samodzielnie wyciągać logiczne wnioski. Istotną rolę przy staraniach wyjaśnienia przyczyn katastrofy w Smoleńsku odgrywa rzetelne i metodyczne gromadzenie danych, praca dokumentacyjna i rozpowszechnianie informacji prowadzone przez członków Zespołu Parlamentarnego ds. Zbadania Przyczyn Katastrofy TU-154M z dnia 10.04.2010 kierowanego przez posła Macierewicza – por. np. [5], prace analityczne prowadzone przez grono ekspertów współpracujących z tym Zespołem, między innymi Szuladzińskiego – por. np. [6], czy Biniendy – por. np. [7]. Ważna jest praca wielu innych niezależnych osób, między innymi dziennikarzy i badaczy akademickich – por. np. materiały konferencyjne, I Konferencji Smoleńskiej [8].

Jak wspomniano w poprzedniej sekcji, przy sporządzaniu planu śledztwa badania katastrofy winno się sformułować szereg najbardziej prawdopodobnych hipotez określających

przyczynę/-ny katastrofy. W przypadku każdego poważnego wypadku lotniczego pierwszą hipotezą, jaką się przyjmuje przy jego badaniu, jest celowe dywersyjne działanie osób trzecich. Hipotezy tej nie odrzuca się dopóty, dopóki nie zostanie wykazane na podstawie dowodów materialnych, że można uznać ją za fałszywą. Śledczy wypadków lotniczych w pierwszej kolejności poszukują śladów pozwalających rozstrzygnąć; czy badany wypadek nie został spowodowany wybuchem/-ami na pokładzie samolotu. Taka praktyka wynika z wystąpienia wielu podobnych przypadków w niedalekiej przeszłości.

W przypadku katastrofy Smoleńskiej, zespół rządowy zajmujący się badaniem katastrofy Smoleńskiej, Komisja Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego - tzw. komisja Millera i organ państwa polskiego - Prokuratura Wojskowa, wbrew dobrym praktykom postępowania przy badaniu wypadków lotniczych, ograniczyły się w zasadzie do badania wyłącznie *jednej hipotezy*. Przyjęły w niej, że pierwotną techniczną przyczyną katastrofy TU-154M w Smoleńsku było uderzenie samolotu TU-154M w brzozę – por. np. [9]. Dopiero po upływie ponad roku, pod wpływem presji opinii publicznej, Prokuratura Wojskowa zaczęła brać pod uwagę możliwość innych technicznych przyczyn katastrofy.

Wspomniani powyżej niezależni badacze, formułując różne hipotezy odnośnie możliwych przyczyn katastrofy Smoleńskiej poczynili szereg obserwacji i ustaleń, między innymi wymienionych poniżej.

1. Stwierdzono bardzo dużą liczbę fragmentów wraku kadłuba samolotu TU-154M rozrzuconą na znacznym obszarze, a także liczne fragmenty samolotu wiszące na gałęziach drzew lub leżące na *dachach budowli* znajdujących się w obszarze wrakowiska.

2. Analizując zdjęcia satelitarne wrakowiska stwierdzono, że fragmenty szczątków samolotu rozrzucone są na znaczną odległość w kierunku prostopadłym do ścieżki lotu samolotu.

3. Nie stwierdzono „bruzdy lądowania”, jaka musiałaby zostać wydrążona w stosunkowo miękkim ziemnym podłożu obszaru wrakowiska, gdyby samolot spadł na ziemię jako jednolita konstrukcja.

4. Zaobserwowano, że duże fragmenty kadłuba samolotu są rozerwane *wzdłuż jego osi* podłużnej, oraz że burty rozerwania są wywinięte na zewnątrz tych fragmentów kadłuba, por. Rys. 16 i Rys. 17.

5. W październiku 2012 roku zostały wykryte ślady materiałów wybuchowych na licznych elementach wraku samolotu wewnątrz pozostałości kadłuba.

6. Analiza trajektorii lotu samolotu odtworzona na podstawie zapisów rejestratora ATM QAR wykazała, że co najmniej kilkanaście przyrządów pokładowych samolotu przestało funkcjonować w jednej chwili, gdy znajdował się on w powietrzu około 20-30 m nad powierzchnią ziemi.

7. Analiza stanu zwłok niektórych pasażerów samolotu, jak również ich odzieży (ubranie porozrywane na drobne długie paski) wykazała że posiadają one cechy charakterystyczne znacznie odbiegające od tych, jakie wystąpiłyby gdyby śmierć tych pasażerów nastąpiła na skutek tylko uderzenia całego samolotu w ziemię.

8. Wykryto nit wbity w ciało jednej z ofiar katastrofy.

9. Wyniki symulacji komputerowych procesu zniszczenia samolotu TU-154M z użyciem najnowszej generacji oprogramowania inżynierskiego umożliwiającego symulację dynamicznego zachowania obiektów inżynierskich (LsDyna

3D), którego wiarygodność była wielokrotnie weryfikowana doświadczalnie, wykazały iż:

- przy parametrach lotu samolotu TU-154M, jakie posiadałby on w chwili hipotetycznego zderzenia z brzozą przy podchodzeniu do lotniska w Smoleńsku, niemożliwe byłoby oderwanie dużego fragmentu skrzydła na skutek uderzenia w brzozę – por. Binienda w [8];
- tryb zniszczenia fragmentu kadłuba samolotu poprzez jego rozerwanie wzdłuż osi i wywinięcie burt na zewnątrz jest możliwy wyłącznie na skutek obciążenia w postaci ciśnienia wewnętrznego o znacznej wartości;
- upadek samolotu jako jednolitej konstrukcji na ziemię, czy to podwoziem do dołu, czy w pozycji „na plecach”, wiązałyby się z wyryciem w glebie „bruzdy lądowania”.

Wystąpienie powyżej wskazanych okoliczności i obserwacji nie daje się logicznie wytłumaczyć hipotezą stwierdzającą, że: samolot TU-154M po uderzeniu w drzewo i oderwaniu fragmentu skrzydła jako jednolita konstrukcja rozbił się uderzając w ziemię. Więcej, pozwalają one taką hipotezę jako *pierwotną techniczną przyczynę katastrofy samolotu TU-154M wykluczyć*. Z kolei obserwacje i ustalenia 1÷9 pozwalają *ukierunkować badanie katastrofy Smoleńskiej* (pozwalają na określenie rodzaju i zakresu koniecznych prac badawczych i analitycznych) poprzez sformułowanie następującej Hipotezy 1:

Pierwotną techniczną przyczyną katastrofy samolotu TU-154M w Smoleńsku dnia 10.04.2010 r. była eksplozja (seria eksplozji) na pokładzie tego samolotu, gdy znajdował się on jeszcze w powietrzu.

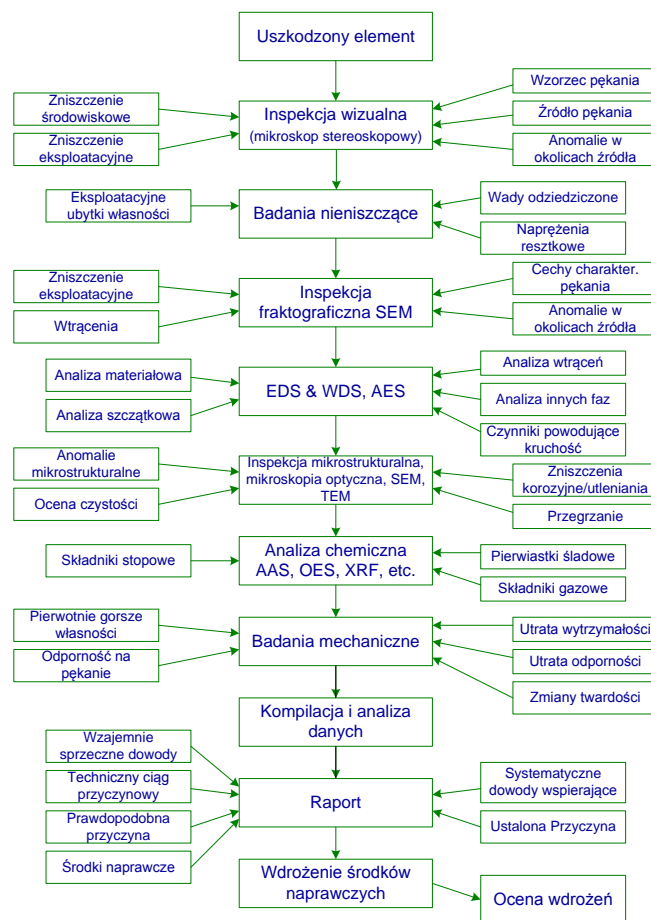
Istnieje bogata dokumentacja wypadków lotniczych, podczas których doszło do wybuchu na pokładzie samolotu, a jednak samolot był w stanie wylądować jako zintegrowana konstrukcja. Na przykład w 1979 roku na pokładzie samolotu Boeing 737, na trasie Trivandrum – Madras, doszło do eksplozji w powietrzu na około 20 minut przed lądowaniem, co spowodowało liczne obrażenia załogi i pasażerów, zniszczenia kokpitu i oprzyrządowania samolotu, a jednak samolot wylądował i znaczna część pasażerów tego lotu przeżyła, por. [3]. Zatem prawdziwość Hipotezy 1 oznaczałaby, że wybuch/-chy na pokładzie samolotu TU-154M musiał być *bardzo silny*, gdyż dnia 10.04.2010 w Smoleńsku samolot Tu-154M nie zdołał wylądować jako zintegrowana konstrukcja.

Potwierdzenia jako prawdziwej lub odrzucenia jako fałszywej, sformułowanej powyższej hipotezy roboczej (Hipoteza 1) można dokonywać w oparciu o analizę wielu różnorodnych danych obejmujących szeroką gamę dziedzin i obszarów wiedzy, np. wykorzystując takie dowody materialne jak zapisy rejestratorów, zeznania świadków, pozostałości szczątków katastrofy, m.in.: fragmenty konstrukcji samolotu, stan ubrań ofiar, stan ciał ofiar, i wielu innych. W tej pracy uwaga jest skoncentrowana na badaniach *metalowych elementów/fragmentów wraku samolotu TU-154M*. W szczególności dyskutowane jest: czy i jakie badania, testy i analizy metalowych fragmentów wraku samolotu można/należy przeprowadzić, na co zwracać szczególną uwagę, czy i jakie jednoznaczne wnioski można wyciągnąć, czy wpływ czasu rzędu kilku/kilkunastu lat mógł spowodować nieodwracalne zatarcie śladów, uniemożliwiając w ten sposób ujawnienie pierwotnej technicznej przyczyny katastrofy Tu-154M w Smoleńsku.

4. ANALIZA EKSPERCKA METALOWYCH FRAGMENTÓW

4.1. Uwagi ogólne

Czynności postępowania, jak również rodzaje analiz jakie można/należy wykonać przy badaniu jakiegokolwiek metalowego elementu konstrukcji inżynierskiej, który uległ awarii/zniszczeniu są dobrze znane. Przykładowy schemat blokowy takiego postępowania, narzędzi i technik pokazano na Rys. 2, por. Reddy [10]. Uszkodzony element poddawany jest kolejno: oględzinom wzrokowym, testom nieniszczącym, badaniom fraktograficznym, mikroanalizie, analizie chemicznej, badaniom mikrostrukturalnym, testom mechanicznym.



Rys. 2. Schemat blokowy przeprowadzania analizy metalowego elementu, który uległ awarii/zniszczeniu, za Reddy'm [10].

Naturalnie, nie zawsze i nie wszystkie dostępne narzędzia i techniki badawcze są wykorzystywane, lecz są one selektywnie dobierane w zależności od sytuacji. Już na etapie inspekcji wizualnej na wrakowisku współpracujący ze sobą eksperci dokonując oględzin kwalifikują metalowe elementy wraku do wykonania określonych badań, czy analiz, np. chemicznych. Na Rys. 1 znajduje się fotografia ekspertów, specjalistów z różnych dziedzin, kolejno przekazujących sobie do oględzin elementy wraku samolotu Boeing 757, który uległ katastrofie w Lockerbie, por. Beveridge [11]. Niestety, tego typu działań nie wykonał żaden zespół polskich ekspertów badających katastrofę TU-154M w Smoleńsku.

Pierwszą po oględzinach wzrokowych czynnością badawczą - w przypadku wykrycia na szczątkach wraku śladów mechanicznych charakterystycznych dla wybuchu -

jest przeprowadzenie analiz chemicznych ich powierzchni. Naturalnie element metalowy noszący mechaniczne ślady wybuchu powinien być do czasu wykonania analiz chemicznych właściwie zabezpieczony.



Rys. 3. Zespół ekspertów prowadzących badania niewielkich fragmentów wraku samolotu bezpośrednio na wrakowisku katastrofy Lockerbie. Elementy przekazywane są od prawej do lewej, od biegłego sądowego chemika (Beveridge), poprzez eksperta w sprawach powybuchowych (Vermette) do inżyniera specjalizującego się w zagadnieniach zniszczenia (Garstang), por. Beveridge [11].

Gdy materiał wybuchowy eksploduje w pobliżu konstrukcji, to jego dekompozycja nigdy nie jest całkowita i dlatego pozostałości wybuchowej substancji chemicznej lub produktów jej rozkładu odkładają się na pobliskich powierzchniach. Nowoczesne materiały wybuchowe takie jak TNT - trotyl, RDX - heksogen, HMX - oktogen, PETN – pentryt, bądź ich mieszaniny zawierają grupy nitrowe i nitroaminowe. Istnieje cały szereg technik mikro-analitycznych i testów punktowych umożliwiających precyzyjną detekcję i zidentyfikowanie takich pozostałości, nawet śladowych. Należy też wykonać testy na występowanie takich materiałów jak metal Wood'a używany jako absorbent dynamitu, jak również pierwszorzędowych materiałów wybuchowych wykorzystywanych w detonatorach/zapalnikach np. azydki ołowiu i innych, por np. Beveridge [11].

Jeśli, z kolei, w wyniku oględzin wzrokowych ekspert/-ci stwierdzi, że w przełomie metalowego elementu występują cechy charakterystyczne dla zniszczenia zmęczeniowego, to kolejne etapy badania i wykorzystywane narzędzia będą już ograniczone do tego podobszaru wiedzy w celu wykrycia *pierwotnej przyczyny uszkodzenia*. W przypadku zniszczenia zmęczeniowego elementu może nią być skutek np. złej obróbki cieplnej, niewłaściwego składu chemicznego, czy też może niewłaściwej eksploatacji elementu. Wyniki testów i badań są analizowane i kompilowane, opracowywany jest raport zawierający nie tylko opinię jaka jest najbardziej prawdopodobna *pierwotna przyczyna katastrofy, czy uszkodzenia*, lecz także formułowane są zalecenia naprawcze.

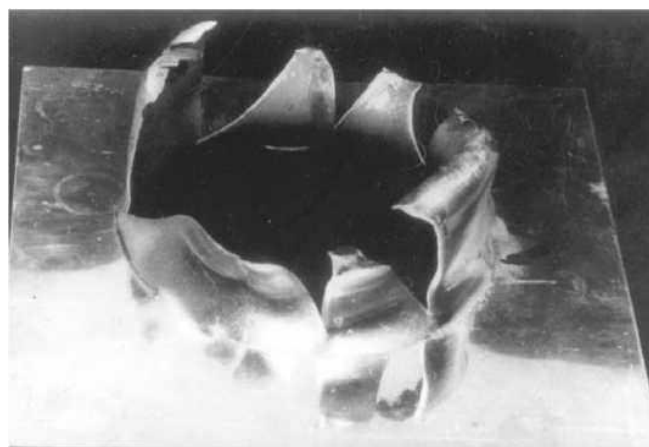
Sformułowana powyżej hipoteza robocza - Hipoteza 1, pozwala skoncentrować zakres prac badawczych nad *elementami metalowymi wraku samolotu TU-154M* na poszukiwaniu - *cech zniszczenia charakterystycznych dla eksplozji*, „podpisów” uwierzytelniających eksplozję. Wykrycie występowania takich cech deformacji, *choćby tylko w jednym przypadku*, metalowych elementów wraku samolotu TU-154M pozwoli z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że Hipoteza 1 jest prawdziwa. Z kolei, nie wykrycie diagnostycznych śladów wybuchu na badanym

materiale nie pozwoli niestety tej hipotezy jednoznacznie odrzucić. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy są zaniechania i zaniedbania czynności powypadkowych, w szczególności brak całkowitego, jak najdokładniejszego odtworzenia samolotu TU-154M z jego szczątków.

4.2. Cechy charakterystyczne zniszczenia metalowych elementów w wyniku eksplozji

Cechy charakterystyczne i efekty towarzyszące zniszczeniu elementów metalowych na skutek eksplozji w postaci uporządkowanej listy podane są w pracy Ramachandrana et al. [3], a są to:

- rozrywanie materiału, powstawanie metalowych „płatków”, i ich zawijanie się – ang. *petaling and curling*, przy mniejszej mocy ładunku wybuchowego powstają wybrzuszenia lub „tylko” wrywane są otwory bez występowania rozszczepień materiału,



Rys. 4. Blacha, która uległa zniszczeniu na skutek wybuchu odkształciła się do postaci pozwijanych metalowych „płatków”, które powstały po stronie przeciwnej do tej gdzie umieszczony był ładunek wybuchowy, za Ramachandran'em et al [3].

- istnienie pozostałości chemicznych materiałów wybuchowych i produktów ich spalania,
- występowanie metalowych fragmentów, urywków, odłamków o podłużnej „paskowej” postaci o proporcjach 20:1 do 50:1 (stosunek długości do wymiaru poprzecznego),
- występowanie pozwijanych fragmentów, w których formowaniu się istotną rolę odgrywają obciążenia udarowe/efekty bezwładnościowe,
- występowanie pozakrzywianych fragmentów o stosunkowo niewielkiej krzywiznie powstające w wyniku szoku termicznego skutkującego pojawieniem się odkształceń plastycznych,
- występowanie odprysków po grubości blaszanych elementów – ang. *spalling*.

Cechy charakterystyczne zniszczenia na krawędziach:

- występowanie naprzemiennego nachylenia krawędzi przełomu pod kątem około 45°,
- występowanie charakterystycznych kolców.

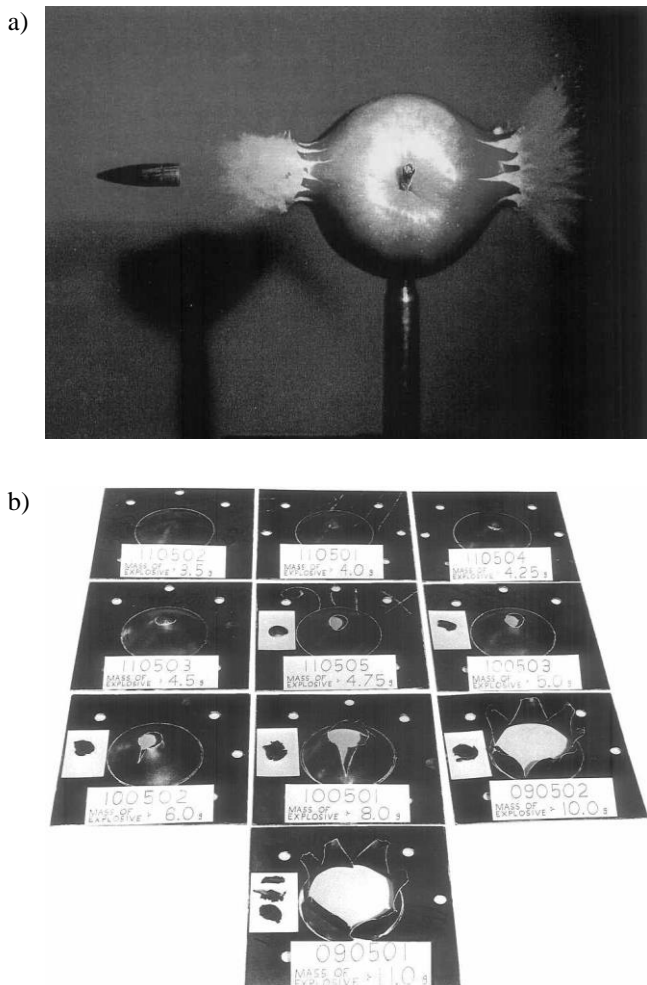
Cechy charakterystyczne występujące na powierzchni metalu to:

- kratery,
- złogi metaliczne,
- erozja powierzchniowa,
- pomarszczenia,
- rozszczepienia, rozstępy.

Cechy charakterystyczne mikrostrukturalne to:

- występowanie adiabatycznych pasm ścinania,
- występowanie bliźniakowania mechanicznego w elementach wykonanych ze stopów aluminium.

Wyszczególnione powyżej cechy deformacyjne, charakterystyczne dla zniszczenia elementów metalowych na skutek wybuchu, są poniżej omówione nieco szerzej i zilustrowane graficznie. Dzięki temu praca niniejsza stanowi pewną całość, która ułatwi czytelnikowi samodzielne wyszukiwanie opisanych tutaj cech charakterystycznych dla śladów eksplozji, np. w ogólnie dostępnym materiale fotograficznym z wrakowiska katastrofy TU-154M w Smoleńsku. Na Rys. 4 pokazano zdjęcie blachy, w pobliżu której spowodowano eksplozję ładunku wybuchowego. W następstwie eksplozji blacha uległa zniszczeniu odkształcając się w charakterystyczny sposób; tworząc pozwijane metalowe „płatki” blachy – pozostawiając „podpis wybuchu”. Fotografia pokazana na Rys. 5a) doskonale ilustruje "mechanizm" powstawania płatków, które formują się na skutek oddziaływania fali uderzeniowej na niszczonego obiekt, por. Wierzbicki [12]. Na Rys. 5b) pokazano kolejne stadia, czy też ewolucję zniszczenia wybuchowego metalowej blachy w zależności od rosnącej siły ładunku wybuchowego - od wybruszenia, poprzez wyrwanie otworu, aż po w pełni rozwinięty „kwiat wybuchu”, przytoczone za Nurickiem i Radfordem w [12].

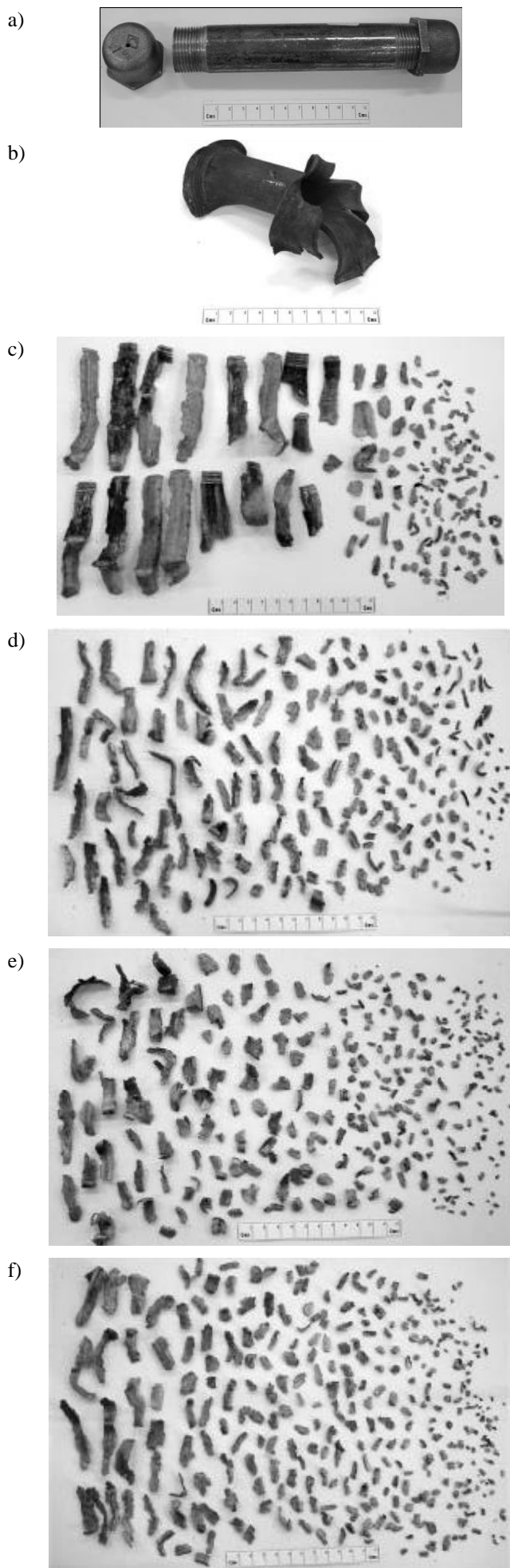


Rys. 5. a) Ilustracja mechanizmu powstawania płatków wybuchu; b) Kolejne stadia zaawansowania zniszczenia wybuchowego blachy stalowej w zależności od mocy umieszczonego w jej pobliżu ładunku wybuchowego, za Nurickiem i Radfordem przytoczone w pracy Wierzbickiego [12].

Kadłub samolotu pasażerskiego z technicznego punktu widzenia stanowi zamknięty zbiornik ciśnieniowy, w którym utrzymywane jest stałe ciśnienie o wartości bliskiej ciśnieniu atmosferycznemu na powierzchni ziemi ($1 \text{ atm} = 0,1 \text{ MPa}$ - standardowe ciśnienie atmosferyczne). Naturalnie, w stosunku do ciśnienia panującego na zewnątrz samolotu, lecącego na wysokości np. 10000 metrów, ciśnienie wewnątrz kabiny samolotu stanowi nadciśnienie. Z tego powodu kadłub samolotu jest tak zaprojektowany, aby mógł wytrzymać nadciśnienia rzędu kilku atmosfer. W przypadku, gdy nadciśnienie panujące w zbiorniku przekroczy dopuszczalne przewidziane projektowo wartości - tak jak to ma miejsce w przypadku silnej eksplozji wewnątrz kadłuba samolotu - następuje jego rozerwanie. Skutki eksplozji nie tylko w sposób ilościowy, ale także jakościowy zależą od „siły” eksplozji. W przypadku „umiarkowanej” siły wybuchu nastąpi „tylko” wyrwanie dziury w kadłubie por. Rys. 14. Bardzo silny wybuch spowoduje rozczłonkowanie całej konstrukcji kadłuba na dużą ilość drobnych fragmentów. Rozkład ilościowy i wymiarowy fragmentów powstających na skutek rozpadu zbiorników ciśnieniowych, w wyniku eksplozji materiałów wybuchowych, był i jest przedmiotem zainteresowania wielu badaczy. Aby zilustrować, jak kształt, wielkość i ilość fragmentów rozpadu bomby rurowej, którą można potraktować jako zbiornik ciśnieniowy, zależy od mocy i ilości eksplodującego materiału wybuchowego, poniżej przedstawiono wyniki badań doświadczalnych Deana i Edwardsa, por. [13]. Na Rys. 6a) pokazano początkowy kształt i wymiary bomb rurowych, które po wypełnieniu ich różnymi materiałami wybuchowymi poddawano eksplozji.

Na Rys. 6b)-f) pokazano stan kilku bomb po eksplozji. W przypadku „słabego” materiału wybuchowego, za jaki uważany jest obecnie proch błyskowy w porównaniu do współczesnych militarnych materiałów wybuchowych, nastąpiło rozerwanie rury i uformowanie charakterystycznego „kwiatu wybuchu” – por. Rys. 6b). W przypadku materiałów wybuchowych o większej mocy następowało całkowite rozerwanie bomby rurowej na wiele fragmentów. Generalna tendencja, jaką można zaobserwować i prawidłowość, jaką można sformułować jest taka, że im mocniejszy ładunek wybuchowy, tym powstaje i więcej i drobniejszych odłamów/fragmentów. W szczególności można stwierdzić, że nowoczesne materiały wybuchowe o zastosowaniach militarnych powodują powstawanie dużej ilości drobnych fragmentów, por. [13]. Bardzo ważnym zagadnieniem jest odpowiedź na pytanie, jaka jest prędkość początkowa fragmentów rozpadu powstałych na skutek eksplozji. Istnieją obecnie dobrze ugruntowane teorie w tym zakresie, których omawianie wykracza poza zakres tego opracowania, zainteresowany czytelnik może znaleźć stosowne odwołania do literatury np. w pracy [13].

Fala uderzeniowa, jaka powstaje na skutek eksplozji, powoduje udarowe obciążenia termomechaniczne metalowych elementów. Gdy spowodowane zostanie wtedy pęknięcie/rozerwanie blachy, to swobodny koniec tak powstałej wstęgi metalu poddawany jest działaniu dużych sił bezwładnościowych, podczas gdy jej drugi koniec podlega więzom głównego arkusza. Skutkuje to uformowaniem się ciasno zwiniętych zwojów, zjawisko to ilustruje zdjęcie pokazane na Rys. 7a). Gdy dominującym czynnikiem powodującym deformację jest szok termiczny, a nie obciążenie bezwładnościowe, wtedy występuje niewiel-

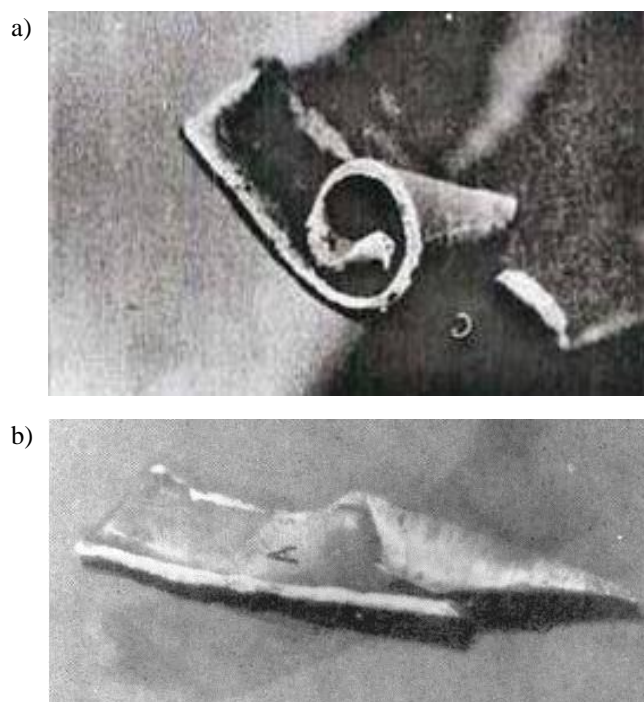


Rys. 6. Kształty, rozkład ilościowy i wymiarowy odłamków powstałych z bomby rurowej na skutek eksplozji materiałów wybuchowych o różnej sile: (a) Bomba rurowa wykonana z rury stalowej przed eksplozją (średnica rury 25 mm); Stany po eksplozji: (b) proch błyskowy (ang. flash powder), (c) Gelamex, (d) PE4, (e) PE4/Mg, (f) PE4/Al, za Dean'em i Edwardsem [13].

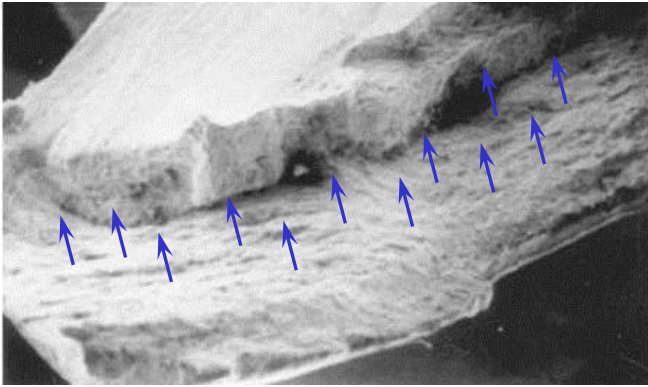
kie zakrzywienie elementów z wklęsłością występującą po stronie wysokiej temperatury, jak to pokazano na Rys. 7b). Wystąpienie w szczątkach wyłącznie deformacji o charakterze tych zilustrowanych na Rys. 7 nie stanowi bezwzględnego dowodu dla wystąpienia wybuchu, gdyż pojawiają się one także przy mniej ekstremalnych typach obciążeń.

Dostatecznie silna fala uderzeniowa może spowodować pojawienie się zniszczenia poprzez odpryskiwanie fragmentów elementów blaszanych po ich grubości – ang. *spalling*. Mechanizm zniszczenia tego typu polega na tym, że ściskająca fala uderzeniowa porusza się od jednej powierzchni blachy (w kierunku do niej prostopadłym, tj. po grubości blachy) do jej drugiej powierzchni, przy czym w wyniku odbicia się od drugiej powierzchni blachy następuje zmiana fali ściskającej na falę rozciągającą. Gdy amplituda naprężenia fali rozciągającej przekroczy wytrzymałość materiału blachy na rozciąganie, wtedy następuje odprysnięcie fragmentu blachy po grubości, por. Rys. 8.

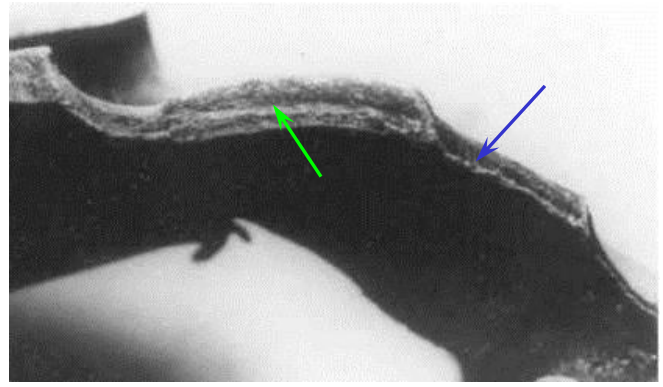
Prędkości deformacji przy obciążeniach eksplozyjnych osiągają wartości rzędu 10^6 [s⁻¹]. Przy tak dużej prędkości deformacji w deformowanym materiale generowane są wieloosiowe stany naprężenia ścinająco-rozrywające, uruchamiane są szybkie fizyczne mechanizmy deformacji i zniszczenia, do których należy między innymi formowanie się ustrukturalizowanych sekwencji adiabatycznych pasm ścinania. Przejawem tych zjawisk deformacyjnych, widocznych nieuzbrojonym okiem, jest pojawianie się na krawędziach przełomów niszczonego wybuchowo elementów bardzo charakterystycznego „grzebień”



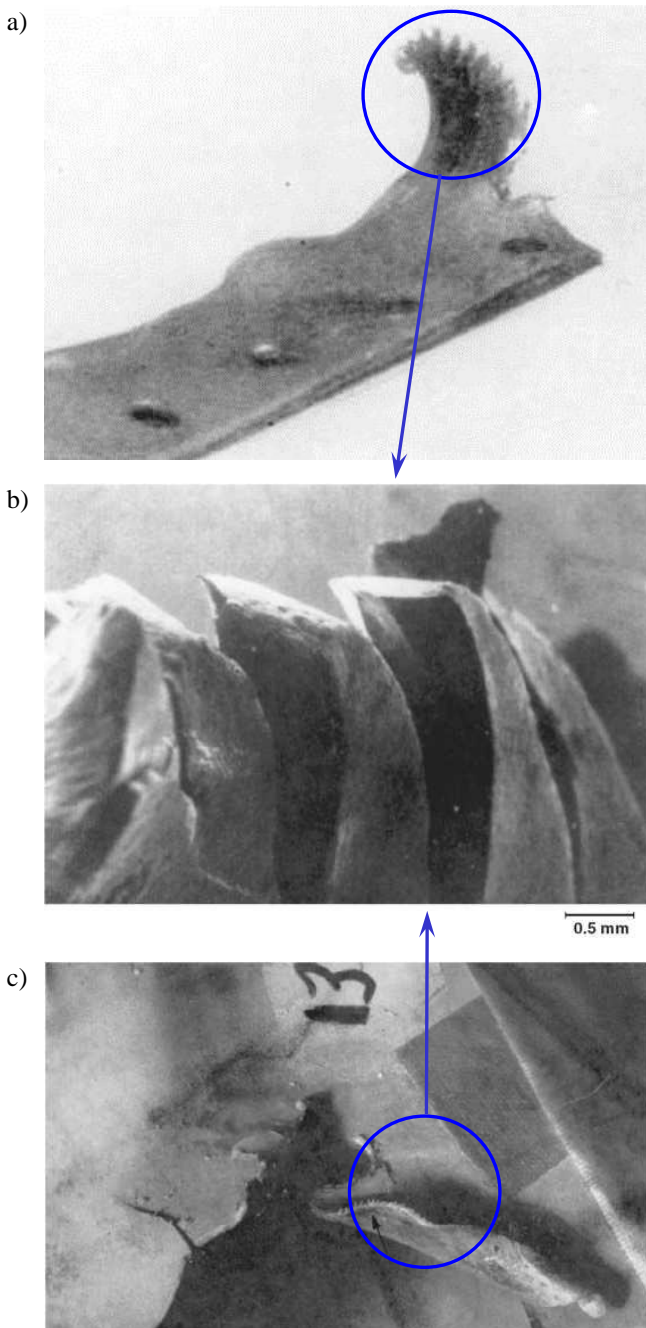
Rys. 7. Metalowe fragmenty zdeformowane na skutek udarowego obciążenia termomechanicznego; a) ciasno zwinięta wstęga uformowana w wyniku działania obciążenia dynamicznego/bezwładnościowego, b) fragment zakrzywiony na skutek szoku termicznego, za Ramachandran'em et al [3].



Rys. 8. Fragment z odpryskami po grubości powstałymi na skutek działania na element blaszany silnej fali uderzeniowej – ang. *spaling*. Strzałkami zaznaczono kierunek odprysku, za [3].



Rys. 10. Naprzemienne nachylenie krawędzi przelomu pod kątem około 45°, za Ramachandran'em et al [3].



Rys. 9. a) Kolce na krawędzi przelomu oderwanego fragmentu b) Zdjęcie kolców wykonane za pomocą mikroskopu skaningowego (SEM) c) Kolce wzdłuż krawędzi przelomu naderwania, za [3].

kolców - patrz Rys. 9a)-c). *Kolczasty przelom zniszczeniowy powstaje wyłącznie na skutek działania sił eksplozyjnych, nie powstaje zaś przy obciążeniach o innym charakterze. Stanowi więc rozstrzygający dowód zniszczenia powybuchowego.*

Jeśli przy obciążeniu wybuchowym dochodzi do deformacji metalowego elementu w wyniku poślizgów plastycznych, to występuje wtedy charakterystyczny dla obciążeń udarowych lokalny efekt deformacyjny polegający na gwałtownej, często wielokrotnej zmianie płaszczyzny poślizgu plastycznego z +45° na -45° na krawędzi przelomu zniszczonego elementu, patrz Rys. 10.

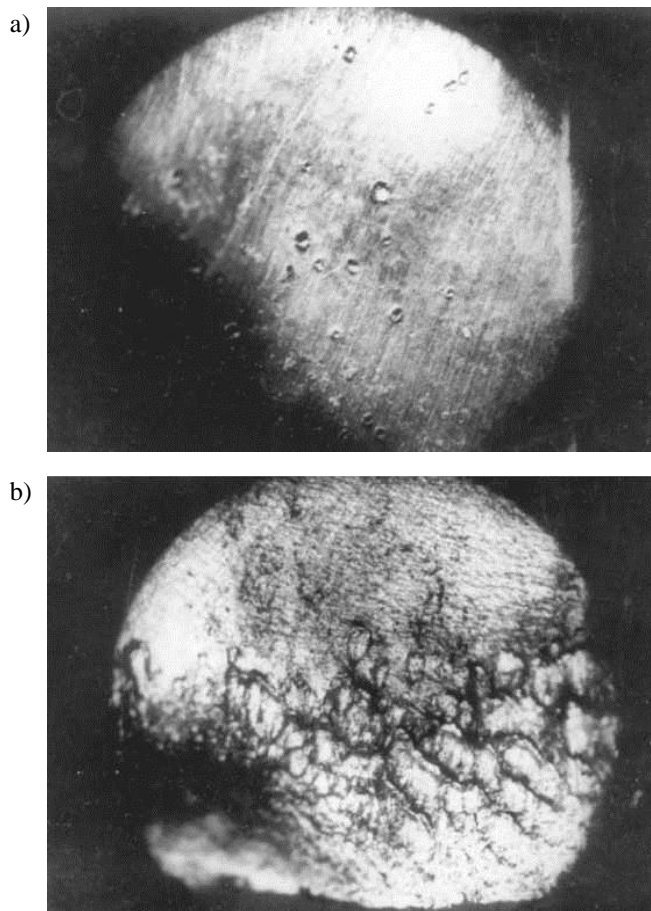
Na skutek oddziaływania, powstałej wskutek eksplozji, fali uderzeniowej zawierającej stałe pozostałości ładunku wybuchowego z powierzchnią metalowych elementów dochodzi do powstawania charakterystycznych kraterów, złogów metalicznych, pomarszczeń i rozstępów na powierzchniach metalowych elementów - por. Rys. 11.

Obciążenia metalowych elementów na skutek eksplozji skutkują uruchomieniem fizycznych mechanizmów deformacji, które pozwalają na osiągnięcie prędkości deformacji rzędu 10^6 [s⁻¹], tj. adiabatycznych pasm ścinania i bliźniakowania mechanicznego. Mechanizmy te powodują występowanie w niszczonych eksplozyjnie metalowych elementach charakterystycznych zmian mikrostrukturalnych. Zmiany te łatwo jest rozpoznać poddając odpowiednio przygotowany zgląd metalograficzny obserwacji pod mikroskopem optycznym i/lub elektronowym. Przykładowo charakterystyczne mikrostruktury, jakie pojawiają się w trakcie formowania adiabatycznego pasma ścinania w próbce wykonanej ze stali nierdzewnej 316L pokazano na Rys. 12, por. Bronkhorst et al. [14].

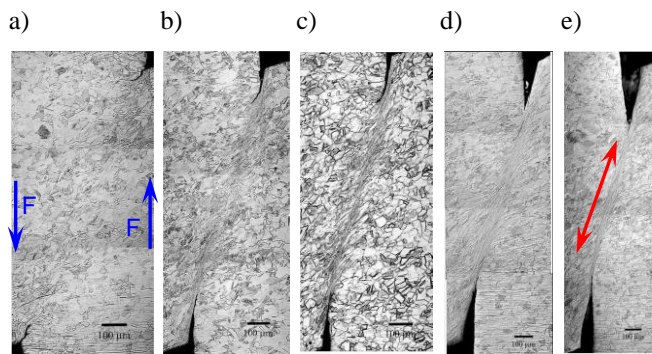
We w pełni rozwiniętym, zlokalizowanym – por. Rys. 12d)-e), adiabatycznym paśmie ścinania ciepło odkształcenia plastycznego nie może być szybko odprowadzone, przez co w paśmie często osiągana jest temperatura topnienia metalu, co w praktyce oznacza całkowitą utratę nośności mechanicznej elementu i może prowadzić do jego lokalnego zniszczenia poprzez rozszczepienie, przy znikomym obciążeniu. Jednakże, występowanie *tylko pasm ścinania nie może stanowić rozstrzygającego dowodu zniszczenia eksplozyjnego*, ponieważ adiabatyczne pasma ścinania mogą się uformować także przy mniej ekstremalnych obciążeniach, Ramachandran por. [3].

Przy prędkościach deformacji występujących przy wytwarzaniu metalowych elementów konstrukcji inżynierskich i przy typowych warunkach ich pracy,

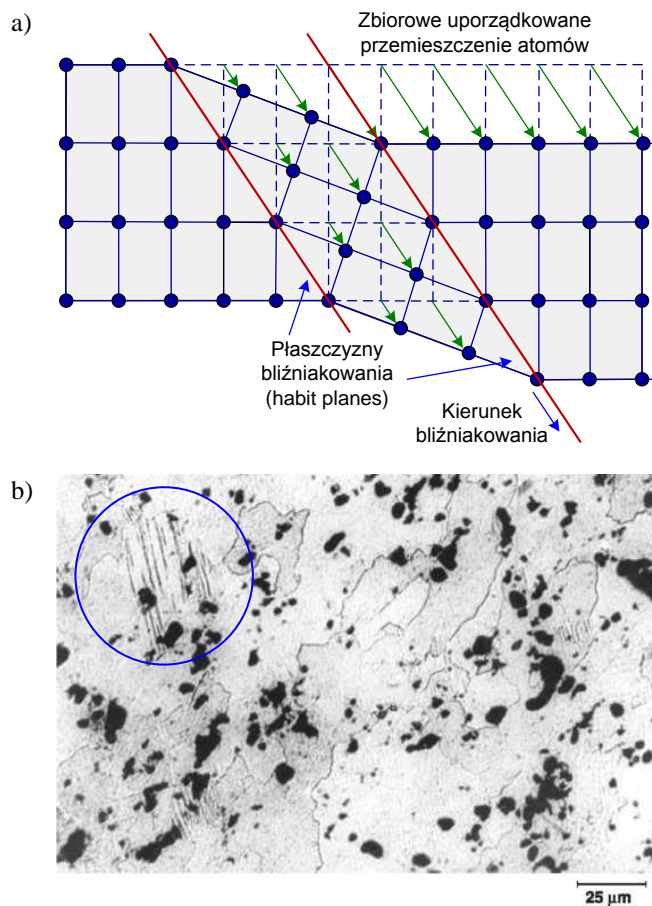
prędkości deformacji z reguły nie przekraczają $\dot{\epsilon} = 1 \text{ [s}^{-1}\text{]}$ (są *milion razy* wolniejsze niż w warunkach eksplozji). Deformacja metali konstrukcyjnych z takimi prędkościami zachodzi poprzez ruch dyslokacji na określonych płaszczyznach poślizgu, tj. z wykorzystaniem mechanizmu *poślizgu plastycznego*. Aktywowany termicznie mechanizm deformacyjny poślizgu plastycznego jest relatywnie nieuporządkowany, gdyż związany z *przypadkowym ruchem* wielu dyslokacji. Przy wymuszonych olbrzymich prędkościach deformacji nie ma wystarczająco dużo czasu, by aktywowany termicznie proces ruchu dyslokacji mógł sobie poradzić z zapewnieniem dostatecznie dużej prędkości deformacji materiału. W takich warunkach operuje *mechanizm bliźniakowania mechanicznego*, które odbywa się poprzez skoordynowany ruch wielu atomów podobny do przegrupowania jednostki wojskowej- por. Rys. 13a). Ten skoordynowany ruch zapewnia osiągnięcie olbrzymiej szybkości deformacji materiału, takiej jaka jest wymuszana przy obciążeniach eksplozyjnych. Standardowym materiałem wykorzystywanym do wytwarzania powłok kadłubów samolotów pasażerskich są stopy aluminium. Charakterystyczną cechą tych materiałów metalicznych jest to, że posiadają wiele systemów poślizgu plastycznego i wysoką energię błędów ułożenia. Powoduje to, że stopy aluminium przy niskich prędkościach deformacji deformują się z wykorzystaniem *wyłącznie mechanizmu poślizgu plastycznego*, nie są zaś podatne na deformację poprzez bliźniakowanie mechaniczne. Mechanizm bliźniakowania w przypadku stopów aluminium operuje wyłącznie przy bardzo dużych prędkościach deformacji.



Rys. 11. a) Typowe kratery poeksplozyjne, b) Powierzchnia metalowej blachy zawierająca pomarszczenia powstałe w wyniku oddziaływania fali uderzeniowej, za [3].



Rys. 12. Formowanie się adiabaticznego pasma ścinania w próbce o początkowej temperaturze 25 °C wykonanej ze stali nierdzewnej 316L. Mikrostruktury pokazane na zdjęciach od a) do e) odpowiadają czasom deformacji 31,0, 36,1, 41,2, 51,6 i 61,8 [μs] odpowiednio, za Bronkhorst'em et al. [14]. Czerwoną strzałką zaznaczono kierunek w pełni rozwiniętego, zlokalizowanego adiabaticznego pasma ścinania.

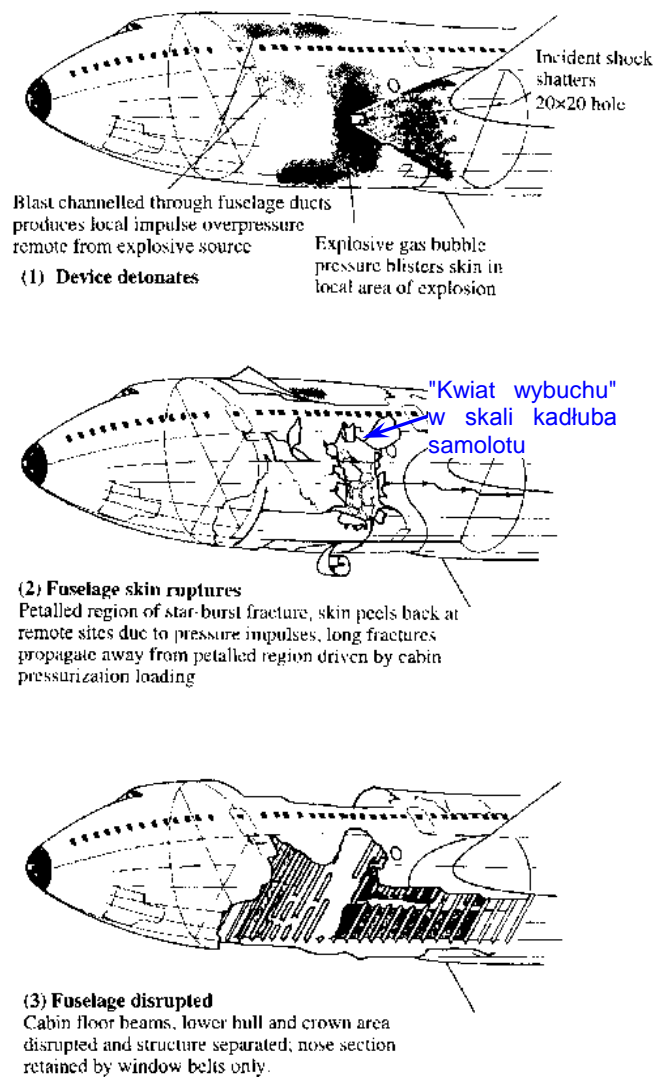


Rys. 13. a) Schemat mechanizmu bliźniakowania w skali atomowej, b) Metalowy fragment wykonany ze stopu aluminium 2024 z ujawnioną mikrostrukturą zawierającą bliźniaki mechaniczne, za Ramachandran'em et al [3].

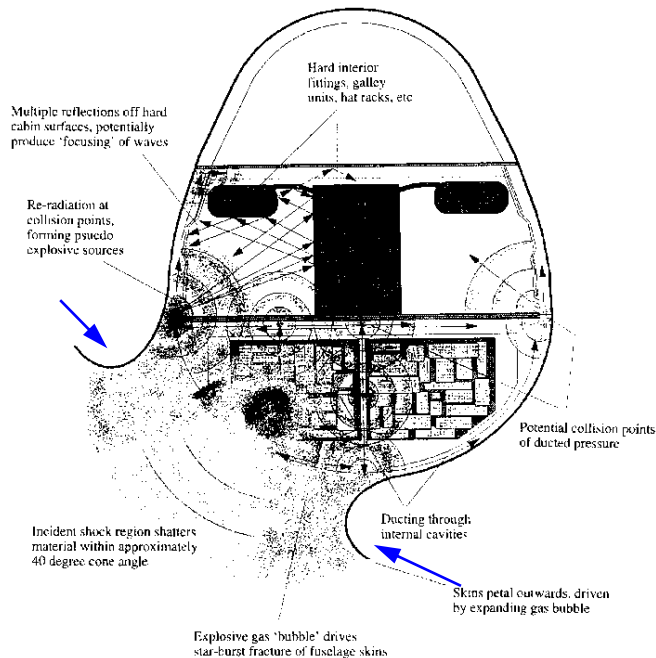
Zatem, zaobserwowanie bliźniaków w mikrostrukturze aluminiowych fragmentów wraku samolotu stanowi rozstrzygający dowód zniszczenia wybuchowego, por [3].

Podczas katastrofy, oprócz deformacji elementów metalowych w skali lokalnej czy mikroskopowej, mogą także wystąpić charakterystyczne wzorce deformacji o skali proporcjonalnej do całkowitych wymiarów geometrycznych konstrukcji, która ulega zniszczeniu. Właśnie z tego powodu w przypadku każdej poważnej katastrofy lotniczej konieczne jest odtworzenie pierwotnej postaci samolotu z fragmentów znalezionych na wrakowisku, tak dokładnie jak to jest tylko możliwe.

Jak wskazują dotychczasowe doświadczenia wielu komisji do spraw badania wypadków lotniczych, stan odtworzonej konstrukcji samolotu dostarcza bezcennych informacji pozwalających zrekonstruować przebieg katastrofy, a często - w sposób rozstrzygający - pozwala ustalić jej przyczynę/-ny. Na przykład odtworzenia takiego dokonano w przypadku katastrofy samolotu Boeing 747, który uległ katastrofie pod miasteczkiem Lockerbie w Anglii. Drobiazgowo odbudowano bryłę tego samolotu, co pozwoliło na uwidocznienie charakterystycznych wzorców i lokalizacji odkształceń niszczących, zrekonstruowanie przebiegu katastrofy, a w końcu ustalenie, że pierwotną przyczyną katastrofy była eksplozja ładunku wybuchowego umieszczonego w luku bagażowym samolotu. Na Rys. 14 przedstawiona jest schematycznie sekwencja zdarzeń kolejnych stadiów zniszczenia kadłuba samolotu Boeing 747, jaką udało się ustalić zespołowi badającemu przyczyny katastrofy, por. Smart [15]. Jak ustalono eksplozja spowodowała początkowo wyrwanie niewielkiego otworu w dolnej części poszycia kadłuba, jednakże fala uderzeniowa przemieszczając się wewnątrz kadłuba spowodowała również powstanie lokalnych nadciśnień w miejscach znacznie oddalonych od położenia ładunku wybuchowego



Rys. 14. Schemat sekwencji zdarzeń zniszczenia kadłuba samolotu Boeing 747 podczas katastrofy w Lockerbie, na skutek eksplozji w luku bagażowym, za Smart'em [15].



Rys. 15. Charakterystyczne wywiniecie na zewnątrz poszycia kadłuba samolotu Boeing 747, który uległ katastrofie pod Lockerbie na skutek eksplozji w luku bagażowym, za Smart'em [15].

i w konsekwencji oderwania, oraz naderwania poszycia także w górnej części kadłuba. Uformowany został „kwiat wybuchu” z charakterystycznymi „płatkami wybuchowymi” pozawijanymi na zewnątrz kadłuba. Później nastąpiło zniszczenie dużego fragmentu przedniej, dolnej konstrukcji szkieletowej kadłuba i jego separacja wraz poszyciem luku bagażowego, por. Rys. 14 (1)-(3).

Niezwykłe charakterystyczne dla zniszczenia na skutek wybuchu jest wystąpienie wywinieć poszycia kadłuba samolotu na zewnątrz, przyjmujące formę „kwiatu wybuchu” – zaznaczone niebieskimi strzałkami, por. Rys. 14 i Rys. 15. Na Rys. 15 zaznaczone są też schematycznie ścieżki propagacji fali uderzeniowej uformowanej przez gazy powybuchowe. W miejscach odbić fali uderzeniowej mogą pojawić się lokalne oderwania bądź naderwania poszycia kadłuba nawet w znacznym oddaleniu od miejsca ulokowania ładunku wybuchowego.

4.3. Analiza zniszczenia metalowych elementów wraku samolotu TU-154M, który uległ katastrofie dnia 10.04.2010 pod Smoleńskiem – wyłącznie na podstawie materiałów fotograficznych

Znajomość przedstawionych powyżej wzorców deformacyjnych charakterystycznych dla zniszczenia wybuchowego pozwala na określenie zakresu prac i podjęcie badań mających na celu potwierdzenie lub odrzucenie Hipotezy 1 stwierdzającej, że pierwotną techniczną przyczyną katastrofy samolotu TU-154M w Smoleńsku była eksplozja. W tym celu należałoby wykonać czynności badawcze metalowych elementów wraku TU-154M zgodnie z procedurą podaną na Rys. 2. Dzięki temu można by w niepodważalny sposób stwierdzić występowanie „podpisów” zniszczenia wybuchowego lub też brak ich występowania. Taką procedurę winne były wykonać, lecz nie wykonały, osoby i organy państwa polskiego zobowiązane i uprawnione do badania katastrofy TU-154M w Smoleńsku. Osoby takie nie wykonały wielu

innych koniecznych czynności, takich jak bezzwłoczna inspekcja wrakowiska, zebranie i właściwe zabezpieczenie szczątków wraku samolotu, sporządzenie ich inwentaryzacji, wykonanie stosownych badań dowodów materialnych i opracowanie dokumentacji. Bardzo ciężkim zaniedbaniem było - i jest - nie wykonanie szczegółowego odtworzenia całego kadłuba wraku samolotu z zebranych na wrakowisku szczątków. *Procedura badania metalowych elementów wraku samolotu TU-154M zgodna z tzw. dobrymi praktykami postępowania wciąż pozostaje do wykonania.* Wszystko to znacząco ogranicza możliwości wiarygodnego ustalenia pierwotnej przyczyny katastrofy w Smoleńsku.

Autor podczas przygotowywania niniejszej pracy nie miał innego dostępu do metalowych elementów wraku samolotu TU-154, niż dokumentacja zdjęciowa. Jednak, dzięki istnieniu nawet tak szczątkowej dokumentacji metalowych elementów wraku samolotu TU-154M, możliwa jest przynajmniej częściowa weryfikacja prawdziwości Hipotezy 1. Wiedza podana w punkcie 4.1 dostarcza wskazówek czego, w celu walidacji/falsyfikacji Hipotezy 1 poszukiwać na zdjęciach metalowych fragmentów wraku samolotu.

Niektórych spośród wskazanych poniżej obserwacji dokonali już wcześniej inni badacze katastrofy Smoleńskiej, jednakże tutaj zebrano je wspólnie i przedyskutowano w kontekście weryfikacji prawdziwości Hipotezy 1.

Na Rys. 16 pokazano zdjęcie dużego fragmentu kadłuba samolotu TU-154M nr 101 znajdującego się pierwotnie pomiędzy centroplatem i ogonem, jakie zostało zamieszczone w Raporcie Zespołu Parlamentarnego posła Macierewicza, por. [5]. Fragment ten obrócił się w

powietrzu i upadł na ziemię „do góry nogami”, tj. z dolną częścią poszycia luku bagażowego u góry. Na zdjęciu widoczne jest, że poszycie tego fragmentu kadłuba zostało rozerwane wzdłuż osi podłużnej kadłuba samolotu, zaś powstałe w ten sposób płyty powłok burtowych zostały wywinięte na zewnątrz, i w takim ułożeniu spadły na ziemię – schematyczny mechanizm kinematyczny tego zniszczenia wskazano strzałkami.

Na Rys. 17 pokazano zdjęcie pochodzące z Raportu Szuladzińskiego, por. [6], na którym pokazany jest duży fragment kokpitu i przedniej części kadłuba TU-154M, który spadł na ziemię w prawidłowej pozycji „kołami do dołu”. Również ten fragment jest rozerwany wzdłuż osi podłużnej kadłuba samolotu, zaś płyty pasów okiennych stanowiące fragmenty płatów burtowych zostały wywinięte na zewnątrz.

Powstaje pytanie; jakie obciążenie mogło spowodować tego typu *globalne* zniszczenia kadłuba samolotu. Za najbardziej prawdopodobną jego przyczynę należy uznać *gwałtowny wzrost ciśnienia w całej objętości przestrzeni pasażerskiej kadłuba samolotu.* Po osiągnięciu pewnej krytycznej wartości ciśnienia nastąpiło przekroczenie wytrzymałości materiału poszycia kadłuba i rozerwanie powłoki w części sufitowej. Tego typu zniszczenia nie mogło wywołać uderzenie samolotu w ziemię - jako zintegrowanej konstrukcji, gdyż w takim wypadku generowane są obciążenia zginające, które mogłyby spowodować zniszczenie kadłuba, ale poprzez jego przełamanie się *poprzecznie* w stosunku do osi podłużnej kadłuba. Bardziej szczegółowo omówiono te alternatywne mechanizmy zniszczenia w Aneksie na końcu pracy.



Rys. 16. Duży fragment kadłuba samolotu TU-154M, który spadł na ziemię rozerwany i z wywiniętymi na zewnątrz burtami, zdjęcie por. Raport Zespołu Parlamentarnego [5].



Rys. 17. Część pasażerska kadłuba samolotu TU-154M rozerwana wzdłuż osi podłużnej, zdjęcie por. Szuladziński [6].



Rys. 18. Charakterystyczne płatki blachy na przelomie odcinka skrzydła, który odpadł od samolotu TU-154M, por. [5].



Rys. 19. Ślady równomiernego wyrwania nitów w kierunku prostopadłym do poszycia, wskazują że zniszczenie tego fragmentu skrzydła nastąpiło na skutek działania ciśnienia wewnętrznego wytworzonego wewnątrz profilu skrzydła, zdjęcie por. Raport Zespołu Parlamentarnego [5].

Źródłem impulsu ciśnienia, o mocy zdolnej do rozerwania poszycia kadłuba samolotu w zaobserwowanej skali, mogła być *wyłącznie silna eksplozja* wewnątrz części pasażerskiej kadłuba. Informacja o konieczności w miarę równomiernego budowania się ciśnienia w *całej objętości* przestrzeni pasażerskiej samolotu, jakie jest konieczne aby doszło do zniszczeń o globalnym charakterze opisanym powyżej, może stanowić pomocną wskazówkę dla specjalistów z zakresu materiałów wybuchowych, ułatwiającą ustalenie jakiego typu substancje wybuchowe, o jakiej mocy i w jakiej konfiguracji uległy eksplozji.

Możliwość fizycznego zbadania wraku samolotu, jego rekonstrukcji, ułatwiłaby w znaczący sposób formułowanie i badanie bardziej szczegółowych rozstrzygnięć co do przebiegu procesu zniszczenia kadłuba, np. czy eksplozja była rozproszona, czy też silnie zlokalizowana, czy miała miejsce w bezpośredniej bliskości poszycia kadłuba samolotu z uformowaniem się "kwiata wybuchu" por. Rys.

14(2), czy też kadłub został rozerwany bez jego uprzedniego rozszczelnienia. Kolejnej przesłanki wskazującej, że zniszczenie kadłuba TU-154M nastąpiło na skutek eksplozji dostarczają badania symulacyjne Biniendy wykonane przy wykorzystaniu oprogramowania metody elementów skończonych LsDyna – por. [7]. Wyniki symulacji komputerowych wykluczyły możliwość wywinięcia się obu burt kadłuba samolotu na zewnątrz, gdyby uprzednio nie doszło do rozerwania poszycia kadłuba samolotu wzdłuż jego osi podłużnej, tj. bez eksplozji we wnętrzu kadłuba.

Na Rys. 18 pokazano zdjęcie fragmentu lewego skrzydła oderwanego od samolotu TU-154M, por. [5]. Na przelomie widoczne są – zaznaczone niebieskimi strzałkami, zwinięte w charakterystyczny sposób płatki blachy. Porównanie ich kształtu z kształtami płatków pokazanymi na Rys. 4 dostarcza przesłanek dla stwierdzenia, że ten fragment skrzydła najprawdopodobniej został oderwany od całej konstrukcji samolotu na skutek lokalnej eksplozji.

Na Rys. 19 pokazano zdjęcie fragmentu zniszczonego poszycia skrzydła samolotu TU-154M, por. [5]. Widocznym jest, że ten fragment poszycia skrzydła został zniszczony na skutek równomiernego wyrwania kilkunastu nitów w kierunku prostopadłym do blachy poszycia, nie zaś na skutek ich ścięcia co stanowi nominalny tryb pracy nitów. Taki typ zniszczenia wskazuje, że ten fragment profilu skrzydła uległ zniszczeniu na skutek działania ciśnienia wewnętrznego wytworzonego wewnątrz profilu skrzydła. Ślady zniszczeń fragmentów skrzydła samolotu TU-154M pokazane na

Rys. 18 i Rys. 19 dostarczają przesłanek wskazujących, że oprócz eksplozji która zniszczyła kadłub samolotu musiała mieć miejsce co najmniej *jeszcze jedna eksplozja*.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Skromny przegląd dostępnej publicznie dokumentacji zdjęciowej metalowych elementów wraku samolotu TU-154M, który uległ katastrofie w Smoleńsku dnia 10.04.2010, pozwolił ujawnić szereg przypadków cech deformacyjnych tych elementów, które są charakterystyczne dla zniszczenia wybuchowego. Materiał ten nie tylko nie pozwala odrzucić Hipotezy 1 stwierdzającej że: *pierwotną techniczną przyczyną katastrofy samolotu TU-154M pod Smoleńskiem dnia 10.04.2010 r. była eksplozja (seria eksplozji) na pokładzie tego samolotu, gdy znajdował się on jeszcze w powietrzu, lecz dostarcza silnych przesłanek wskazujących na prawdziwość tej hipotezy*.

Hipotezy 1 nie można jednak na obecnym etapie badań katastrofy TU-154M w Smoleńsku bezwarunkowo uznać za prawdziwą.

Taki stan rzeczy wynika stąd, że osoby i organy państwa polskiego upoważnione i zobowiązane do badania katastrofy pod Smoleńskiem samolotu TU-154M nie dochowały należytej staranności przy jej badaniu, nie prowadziły i nie prowadzą badania przyczyn tej katastrofy w sposób zgodny z praktyką dobrego postępowania przy badaniu wypadków lotniczych, nie dokonały inspekcji miejsca katastrofy zgodnie z powszechnie obowiązującymi zasadami, nie została sporządzona rzetelna dokumentacja wrakowiska, nie opracowano szczegółowej ewidencji pozostałości wraku samolotu TU-154M, jak również nie dokonano starannego odtworzenia samolotu ze zinwentaryzowanych szczątków.

Przedstawione w pracy informacje pozwalają stwierdzić, że ślady materialne w postaci charakterystycznych wzorców

deformacji pozostałych na elementach metalowych wraku samolotu TU-154M, nie ulegną zatarciu w skali czasowej liczonej w latach. Czyni to bezwzględnie koniecznym jak najszybsze sprowadzenie do Polski polskiej własności, tj. pozostałości wraku samolotu TU-154M. Wtedy przy dostępnej obecnie szeroko udokumentowanej wiedzy na temat trybów zniszczenia elementów konstrukcji inżynierskich wykonanych z metali i dostępnych narzędziach badawczych, po wykonaniu poprawnych merytorycznie badań eksperckich na metalowych szczątkach wraku, w sposób rozstrzygający będzie można ustalić pierwotną techniczną przyczynę katastrofy państwowego samolotu TU-154M w Smoleńsku, dnia 10.04.2010r.

Jak już wspomniano powyżej, badanie katastrofy lotniczej jest działaniem wielodyscyplinarnym, zatem badań wyjaśniających w żadnym razie nie wolno ograniczać wyłącznie do metalowych elementów wraku TU-154M

ANEKS

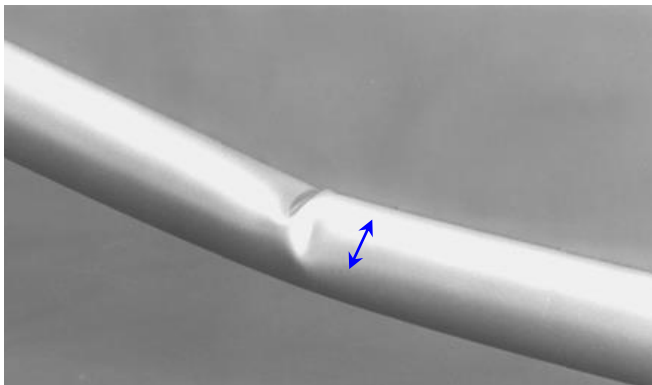
W przypadku *zginania* długiej cienkościennej rury wygina się ona początkowo równomiernie, zaś po przekroczeniu pewnego granicznego odkształcenia następuje lokalizacja deformacji w "przegubie" zginania. Przy czym, po wewnętrznej stronie materiał powłoki rury deformuje się zazwyczaj tworząc harmonijkę zmarszczek powyoboczeniowych, zaś po zewnętrznej stronie - w zaawansowanym stanie zginania – nierzadko następuje rozerwanie cienkościennej powłoki rury. Zarówno pomarszczenia jak i rozerwanie następuje w *kierunku prostopadłym do osi podłużnej rury*. Kadłub samolotu uderzający w ziemię podczas katastrofy może być, z dobrym przybliżeniem, potraktowany jako odcinek długiej cienkościennej rury o relatywnie dużej średnicy w stosunku do jej długości. Ze wskazanego powyżej powodu, gdy podczas katastrofy lotniczej kadłub samolotu uderza w ziemię pod dostatecznie dużym kątem to - na skutek obciążenia mechanicznego w postaci zginania - często dochodzi do przełamania się kadłuba, nierzadko w kilku miejscach, przy czym rozerwanie kadłuba następuje wtedy *zawsze* w kierunku prostopadłym do osi podłużnej kadłuba, por. Rys. 20.

Kadłub samolotu pasażerskiego jest też z technicznego punktu widzenia cienkościnnym zbiornikiem ciśnieniowym. Jeśli w takim zbiorniku ciśnieniowym zostanie znacząco podniesione ciśnienie p to w ściankach cienkościennej powłoki zostaną wygenerowane duże naprężenia rozrywające: obwodowe σ_H - siły z nimi związane skierowane są po obwodzie kadłuba, oraz osiowe: σ_L - siły z nimi związane skierowane są wzdłuż osi podłużnej kadłuba. Nieskomplikowane obliczenia pozwalają stwierdzić, że powstające w cylindrycznym zbiorniku ciśnieniowym *naprężenie obwodowe ma dwukrotnie większą wartość od naprężenia osiowego*, por. np. [16] str. 117,

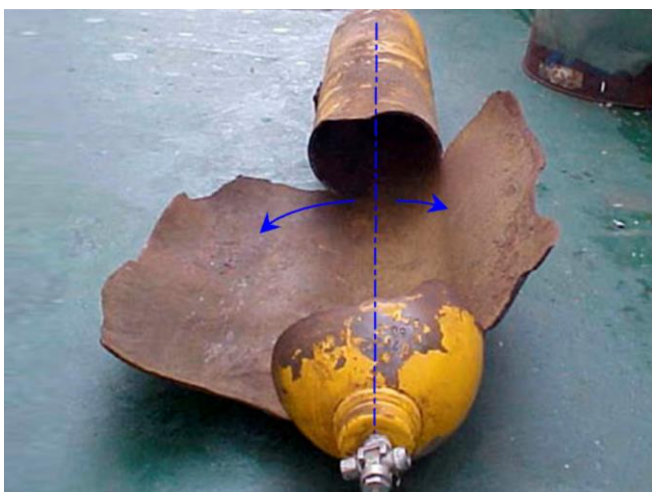
$$\sigma_H = p \cdot R / t, \quad \sigma_L = p \cdot R / (2t) \quad (1)$$

gdzie: p oznacza ciśnienie, R promień zbiornika, t grubość ścianki zbiornika.

Jeśli ciśnienie wewnątrz cylindrycznego zbiornika ciśnieniowego przekroczy wartość krytyczną - zależną od wytrzymałości izotropowego materiału powłoki, to powłoka *zawsze* zostanie rozerwana w *kierunku równoległym do osi podłużnej zbiornika*, ponieważ naprężenie obwodowe jest dwukrotnie większe niż osiowe, por. Rys. 21.



Rys. 20. Przy zginaniu cienkościennej rury kierunek dominującego odkształcenia jest prostopadły do osi podłużnej rury, por. [17].



Rys. 21. Butla gazowa, stanowiąca technicznie cienkościenny, cylindryczny zbiornik ciśnieniowy, została rozerwana wzdłuż osi podłużnej, gdy wzrost ciśnienia gazu spowodował przekroczenie granicznej dopuszczalnej wartości naprężenia obwodowego w ścianie, por. [18].

- [8] Witakowski P. Edytor, http://www.konferencja.home.pl/materialy/materialy_kon.htm, 2013
- [9] Raport KBWLP, „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”, Warszawa 2011.
- [10] Reddy A.V. „Investigation of Aeronautical and Engineer-ing Component Failures”, CRC Press, Boca Raton, 2004.
- [11] Beveridge A. Ed. „Forensic Investigation of Explosions”, Taylor and Francis, 2003.
- [12] Wierzbicki T. „Petalling of plates under explosive and impact loading”, International Journal of Impact Engineering 22 (1999) 935-954.
- [13] Dean R., Edwards M.R. „Fragment Distribution as an Aid to Forensic Failure Investigations at the Scene of Explosions”, February, 2002, ASM International.
- [14] Bronkhorst C.A., Cerreta E.K., Xue Q., Maudlin P.J., Mason T.A., Gray III G.T. „An experimental and numerical study of the localization behavior of tantalum and stainless steel”, International Journal of Plasticity, 22, str. 1304–1335, 2006.
- [15] Smart K. P. R. „The Lockerbie Investigation: Understanding of the effects of the detonation of "Improvised Explosive Devices" on Aircraft Pressure Cabins”, K.P.R. SMART cbe, Air Accidents Investigation Branch, Department of Transport, Farnborough, UK, Trans IChemE, Vol 75, Part B, August 1997.
- [16] Leckie F.A., Dal Bello D.J. „Strength and Stiffness of Engineering Systems”, Springer 2009.
- [17] Kyriakides S., Corona E. „Mechanics of Offshore Pipelines”, Vol. I Buckling and Collapse, Elsevier, 2007
- [18] <http://www.emirates247.com/news/emirates/cylinder-explosion-damages-five-shops-2011-05-21-1.395306>

Literatura cytowana

- [1] Dennies D. P. „How to Organize and Run a Failure Investigation”, ASM International 2005.
- [2] Noon R.K. „Scientific Method: applications in failure investigation and forensic science”, Taylor Francis & Group, 2009.
- [3] Ramachandran V., Raghuram A.C., Krishnan R.V., Bhaumik S.K. „Failure Analysis of Engineering Structures Methodology and Case Histories”, ASM International, 2005.
- [4] Matthews C. „A Practical guide to Engineering Failure Investigation”, Professional Engineering Publishing Limited, 1998.
- [5] „Raport 28 miesięcy po Smoleńsku”, Zespół Parlamentarny ds. Zbadania Przyczyn Katastrofy TU-154M z dnia 10 kwietnia 2010 r., Sierpień 2012.
- [6] Szuladziński G., Raport No. 456, „Niektóre aspekty techniczno-konstrukcyjne smoleńskiej katastrofy”.
- [7] Binienda W. „Analiza dynamiczna zniszczenia struktury samolotu Tu-154-M w Smoleńsku 10 kwietnia 2010 roku”, w Witakowski P. Ed. Mat. Konf., Konferencja Smoleńska 22.10.2012, Warszawa 2013 [8].