

MOŻLIWOŚĆ UŻYCIA MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH W SMOLEŃSKU

Jacek Jabczyński

Abstract

The paper presents an analysis of characteristics associated with the use of explosives, as well as comparable characteristics associated with destruction caused by other factors, such as fire, explosion type BLEVE, that is, an explosion of fuel vapors and air mixtures. Based on the relevant characteristics of destruction, the available evidence, and the identification and expert analysis of traces of High Energy Materials', one can conclude that the range of possibilities for the use of such materials is not limited to the class of explosives for the military applications. The presented work was based on a large body of literature including research related to explosions in scientific centers, and on the works presented at the Smolensk Conferences, and constitutes an attempt to synthesize the essential findings regarding the probable cause of the events that took place during the Smolensk Tragedy.

Keywords - explosives, shrapnel, scatter, BLEVE.

Streszczenie

Praca zawiera analizę cech charakterystycznych dla użycia materiałów wybuchowych, oraz materiał porównawczy dla cech zniszczenia spowodowanych innymi czynnikami, w tym pożarem, wybuchem typu BLEVE, wybuchem par paliwa lotniczego. Na podstawie istotnych cech zniszczenia a także materiału dowodowego oraz badania ekspertów w zakresie występowania śladów materiałów wysokoenergetycznych można również wniesić, że spektrum możliwości użycia takich materiałów nie ogranicza się jedynie do materiałów wybuchowych o zastosowaniu militarnym. Praca powstała w oparciu o bogaty materiał literaturowy, w tym badania problematyki wybuchów w ośrodkach naukowych, a także w oparciu o prace przedstawione podczas Konferencji Smoleńskiej i stanowi próbę syntezy istotnych ustaleń dotyczących prawdopodobnego przebiegu zdarzeń w Smoleńsku.

Słowa kluczowe – materiały wybuchowe, odłamki, rozrzut, BLEVE.

1. WSTĘP

W chwili obecnej (listopad 2015 r.) nie dysponując wrakiem Tupolewa nie da się przeprowadzić bezpośrednio niezbędnych badań struktury materiałowej poszczególnych elementów, fragmentów i odłamków samolotu przewożącego polską delegację do Smoleńska w dniu 10 kwietnia 2010 roku.

Nie można także w chwili obecnej zweryfikować badań, przeprowadzonych na miejscu składowania wraku przez polskich biegłych, którzy pobrali próbki w celu poddania ich analizie na obecność materiałów wybuchowych. Zarówno badania struktury jak również badania substancji znajdujących się na szczątkach samolotu byłyby obecnie, po pięciu latach od zdarzenia, bardzo trudne.

Jedną z przyczyn jest upływający czas, gdyż z tego powodu następuje degradacja substancji mogących świadczyć o użyciu materiałów wybuchowych, a drugą przyczyną są działania rosyjskich służb, od samego początku próbujących zatrzeć wszelkie ślady możliwego i wysoce prawdopodobnego działania osób trzecich.

Do działań tych zaliczyć można przede wszystkim nieuprawnione, wtórne niszczenie elementów wraku przed zbadaniem ich przez polskich biegłych, usuwanie elementów mogących wskazywać na użycie materiałów wybuchowych oraz zacieranie śladów polegające na myciu niektórych elementów wraku, składowanie tych elementów w nieodpowiednich do tego miejscach narażonych na oddziaływanie czynników atmosferycznych oraz możliwość naniesienia na elementy wraku substancji chemicznych, które mogą spowodować przekłamania urządzeń pomiarowych stosowanych przez polskich biegłych lub czynników neutralizujących substancje powybuchowe.

O możliwości użycia materiałów wybuchowych świadczyć mogą natomiast pewne cechy, których obecność została bezspornie ustalona.

2. UŻYCIE MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH DO WYWOŁANIA KATASTROF LOTNICZYCH

Materiał wybuchowy jest najlepszym środkiem do wywołania zamierzonej katastrofy lotniczej. Już nawet niewielka ilość materiału wybuchowego, umieszczonego w odpowiednim miejscu samolotu, może spowodować jego uszkodzenie oraz dalszą destrukcję w powietrzu. Tak stało się choćby w przypadkach:

- zamachu nad Lockerbie, gdzie ładunek wybuchowy Semtex o masie tylko ok. **0,3 kg** ukryto w radiomagnetofonie [1],
- wybuchu bomby w luku bagażowym samolotu Swissair 21 lutego 1970r. [2],
- katastrofy samolotu Air India 23 czerwca 1985r. – bomba ukryta w radiu [3].

Jest to tylko niewielka część zdarzeń z użyciem materiałów wybuchowych, które na przestrzeni lat doprowadziły do katastrof lotniczych. Ich cechą wspólną jest użycie bardzo niewielkiej ich ilości oraz miejsca podłożenia ładunku wybuchowego. Z reguły był to bagaż umieszczony w luku bagażowym.

Wybuch powoduje najczęściej rozsadzenie kadłuba samolotu od środka i nagłą dekompresję kadłuba samolotu. W połączeniu z różnicą ciśnień pomiędzy wnętrzem samolotu a środowiskiem, w którym się znajduje (duża wysokość przelotowa) jest to czynnik bardzo destrukcyjny,

prowadzący w efekcie do zniszczenia samolotu już w powietrzu.

Jednak użycie materiałów wybuchowych nie zawsze bywa celowe i nie zawsze następuje w powietrzu, czego przykładem jest wypadek w Medellin w Kolumbii w dniu 18 lutego 2009 r.

Samolot Basler BT67, którego operatorem była kolumbijska policja, został rozerwany na lotnisku. Załoga i pasażerowie znajdowali się na pokładzie samolotu, kiedy doszło do przypadkowej eksplozji granatu będącego na wyposażeniu policji. Ofiar śmiertelnych w tym przypadku nie było, lecz kadłub samolotu został rozerwany [4].

Wygląd samolotu przed i po eksplozji przedstawiają poniższe fotografie - Rys. 1, Rys. 2, Rys. 3.



Rys. 1. Samolot Basler BT67 na płycie lotniska.



Rys. 2. Samolot Basler BT67 po wybuchu granatu



Rys. 3. Samolot Basler BT67 po wybuchu granatu, widok z boku.

Przykład ten w znakomity sposób pokazuje siłę gazów powstałych po eksplozji niewielkiej ilości materiału wybuchowego umieszczonego, w tym przypadku, w granacie. To, że nikt nie zginął, spowodowane jest prawdopodobnie tym, że granat, który eksplodował, mógł być granatem hukowym, o sile wybuchu znacznie mniejszej niż typowe granaty bojowe oraz, że jego wybuch nie wytworzył odłamków skorupy. Jednak jego eksplozja spowodowała całkowite rozerwanie poszycia kadłuba i jego przelamanie wraz z poważnymi zniszczeniami wewnątrz samolotu.

Można zatem uznać, że już nawet niewielka ilość materiału wybuchowego zdetonowanego w przestrzeni zamkniętej (a taką jest kadłub samolotu lub inne przestrzenie zamknięte, np. zbiorniki paliwa, wnętrza konstrukcji skrzydeł) powoduje efekt w postaci rozerwania tej przestrzeni w bardzo charakterystyczny sposób.

Czy można umieścić ładunek wybuchowy na pokładzie samolotu tak, aby nie został wykryty przez służby kontroli pirotechnicznej ?

Można, o czym świadczą przykłady zamachów z użyciem ładunków wybuchowych. Kwestią zasadniczą dla zamachowców jest „oszukanie” systemu zabezpieczeń, co w przypadku przeprowadzonych zamachów udało się bez problemu. Oczywiście, w systemach zabezpieczeń i kontroli pirotechnicznej istnieją w poszczególnych krajach pewne różnice, lecz generalnie zabezpieczenia te sprowadzają się głównie do:

- kontroli bagażu, który ma zostać umieszczony w samolocie,
- kontroli samego samolotu, w tym wnętrza kabiny oraz konstrukcji,
- kontroli lecących pasażerów.

W praktyce oznacza to użycie kilku sposobów na wykrycie potencjalnych materiałów wybuchowych, w tym użycia wykrywaczy materiałów wybuchowych, wyszkolonych do tego psów lub ludzi dokonujących przeszukania.

Przykład działania służb, po uzyskaniu informacji o możliwości podłożenia ładunku wybuchowego można znaleźć na stronie internetowej Nadwiślańskiego Oddziału Straży Granicznej [5] :

„(...)Dzisiaj 25.06.2015 r. około godz. 07:50 funkcjonariusze z Placówki Straży Granicznej Warszawa-Modlin otrzymali informację, że na pokładzie samolotu linii Ryanair lecącego z Norwegii (przyłot z Oslo Rygge) znajduje się bomba. Straż Graniczna natychmiast podjęła działania zmierzające do zabezpieczenia samolotu.

Po opuszczeniu przez pasażerów pokładu samolotu, do środka weszli funkcjonariusze Straży Granicznej z Zespołu Kontroli Specjalistycznych i Zespołu Interwencji Specjalnych Grupy Bezpieczeństwa Lotów z placówki Warszawa – Modlin, którzy dokonali przeszukania pokładu oraz luku bagażowego. Do przeszukania wykorzystano dostępne środki w postaci psa służbowego na materiały wybuchowe oraz sprzęt specjalistyczny. Na szczęście nic podejrzanego nie znaleziono(...).”

Należy pamiętać, że każdy z użytych środków zabezpieczenia pirotechnicznego może być nieskuteczny wobec celowego i zamierzonego działania osób trzecich, które będą szukały odpowiednich luk w takiej ochronie, a także wobec faktu, że ilość materiału wybuchowego wystarczająca do spowodowania bardzo dużych zniszczeń jest z reguły bardzo mała.

Jakie luki w ochronie mogą zostać wykorzystane do przeprowadzenia skutecznego zamachu z użyciem materiałów pirotechnicznych w samolocie ?

Przede wszystkim należy uwzględnić możliwości dostępu do samolotu osób nieuprawnionych i czas tego dostępu. Zupełnie inaczej przedstawia się bowiem sytuacja w której dostęp jest znacznie ograniczony, a potencjalny zamachowiec nie ma możliwości bezpośredniej „instalacji” bomby w samolocie.

W tym przypadku próbuje on umieścić ładunek wybuchowy w ukryciu, najczęściej w bagażu, który dostarczony zostanie na pokład samolotu – bądź jako bagaż podręczny zamachowca (zamach samobójczy, jeśli zamachowiec nie opuści kabiny), bądź jako bagaż umieszczony w luku bagażowym. Obecne procedury wykrywania materiałów wybuchowych na pokładach samolotów pasażerskich zostały znacznie polepszone i takie rozwiązanie jest niezmiernie trudnym przedsięwzięciem.

Co innego, jeśli zamachowiec lub zamachowcy dysponują bezpośrednim dostępem do samolotu, niezbędnym czasem, potrzebnym na instalację urządzeń pirotechnicznych, oraz możliwościami technicznymi, umożliwiającymi umieszczenie ładunków wybuchowych w miejscach, zlokalizowanych poza zasięgiem bezpośredniej detekcji urządzeń, służących do wykrywania materiałów wybuchowych, lub poza zasięgiem bezpośredniego dostępu ludzi, lub przeszkolonych psów.

W takim przypadku potencjalny zamachowiec będzie dążył do praktycznej niewykrywalności urządzeń pirotechnicznych, mogąc pozwolić sobie nie tylko na dużą dowolność ich umieszczenia, ale także na zastosowanie środków mających uniemożliwić lub utrudnić ich identyfikację po użyciu (zamachu).

Sposobem na utrudnienie identyfikacji może być np. użycie materiałów wybuchowych w postaci mieszanek, których substancje składowe pozostawiają nietypowe ślady powybuchowe, lub też ślady te mylone mogą być z powszechnie stosowanymi substancjami chemicznymi, nie utożsamianymi z zastosowaniem materiału wybuchowego. (np. połączenie nawozów i węglowodorów).

Miejsca umieszczenia urządzeń pirotechnicznych mogą znajdować się również w hermetycznie zamkniętych przestrzeniach, lub urządzeniach, których w samolocie jest bardzo dużo. Są to np. wszelkiego rodzaju zbiorniki płynów hydraulicznych, zbiorniki gazu neutralnego do tworzenia poduszki gazu obojętnego w zbiornikach paliwa, gaśnice, elementy konstrukcyjne w postaci rur bądź profili zamkniętych.

Dekontaminacja powierzchni ww. urządzeń i elementów konstrukcyjnych po umieszczeniu w nich materiału wybuchowego usuwa ponadto ślady umieszczonych substancji i zapobiega potencjalnej detekcji w sytuacji, gdyby doszło do bardziej skrupulatnej kontroli pirotechnicznej.

Użyteczne dla zamachowców może być też np. konserwacyjne malowanie elementów samolotu, z uwagi na dodatkowe substancje organiczne (rozpuszczalniki farb zawierające węglowodory, plastyfikatory itp.) wprowadzone do przestrzeni podlegającej kontroli lub badanej po zdarzeniu.

W przypadku polskiego Tu-154M o numerze 101, wystąpiły bardzo „korzystne” warunki dla realizacji potencjalnego planu umieszczenia ładunków i urządzeń pirotechnicznych, w tym możliwości elaboracji materiałów

wybuchowych w przestrzeniach zamkniętych poza dostępem standardowej kontroli pirotechnicznej [6] :

„(...) J.P., przebywający w Samarze od 19 maja do 18 lipca 2009 r. jako obserwator remontu i zmieniony następnie w tej roli przez G.W., obserwował tam demontaż wszystkich agregatów i silników oraz innych części Tu-154M nr 101 („w zasadzie samolot został rozebrany do tego stopnia, że pozostał sam kadłub”) oraz otrzymał informację o wysłaniu trzech silników głównych do zakładów „Saturn” w Rybińsku, gdzie miał być przeprowadzony ich remont. Do ostatecznego miejsca remontu silników (według innych relacji: w zakładach WARZ-400 „Wnukowo” w Moskwie lub w innych zakładach pod Moskwą) nie pojechał.

O braku należytego zabezpieczenia 28 Tu-154M nr 101 w Samarze świadczy też m.in. niezgodniona z polską stroną obecność na pokładzie remontowanego samolotu rosyjskich dziennikarzy realizujących reportaż dla telewizyjnego kanału Rossija 1.(...)”.

3. SPEKTRUM MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH I CELOWOŚĆ ICH WYBORU

Spektrum współcześnie stosowanych materiałów wybuchowych i pirotechnicznych jest bardzo duże. W zależności od zastosowania charakteryzują się one specyficznymi cechami fizykochemicznymi umożliwiającymi **dedykowane** zastosowanie.

Oprócz całej gamy, nowoczesnych i mniej nowoczesnych militarnych materiałów wybuchowych tworzone są mieszanki do zastosowań cywilnych, w tym przede wszystkim dla górnictwa, oraz służących do eksplozywnego cięcia konstrukcji (np. tzw. materiały wybuchowe liniowe). Od rodzaju zastosowanego materiału wybuchowego zależy więc nie tylko siła eksplozji, ale również skutki jego zastosowania, w tym:

- powstawanie produktów powybuchowych,
- specyficzny bilans tlenowy,
- charakter zniszczeń.

Same zaś materiały wybuchowe muszą cechować się parametrami, które odpowiadają będą właściwemu zastosowaniu, w tym - muszą być niezawodne w użyciu, powinny posiadać przewidywalne działanie i siłę detonacji, zaś w przypadku potrzeby ich ukrycia, powinny charakteryzować się parametrami, dzięki którym trudno będzie zidentyfikować, że zostały użyte - ich użycie może być identyfikowane ze skutkami innej natury (np. fragmentacja na skutek zderzenia) lub też skutki podobne będą do wybuchu substancji par znajdujących się w samolocie (paliwo lotnicze).

Z tego względu najtrafniejsze byłoby zastosowanie mieszanek wybuchowych zbliżonych do górniczych materiałów wybuchowych (o sile eksplozji porównywalnej np. z wybuchem oparów paliwa), w których składzie znajdują się substancje chemiczne w proporcjach, utrudniających badania spektrograficzne pozostałości powybuchowych.

Dodatkowo, substancje powybuchowe powinny być szybko i łatwo degradowalne, łatwe do usunięcia powszechnie stosowanymi metodami (np. zmywanie z użyciem pary i detergentów) lub występować w wielu innych powszechnie stosowanych substancjach chemicznych.

4. SUBSTANCJE NA WRAKU TUPOLEWA

4.1. Zanieczyszczenia na tkaninie pasa bezpieczeństwa

Z badań niezależnych naukowców, których wyniki przedstawiono w 2012 roku podczas Konferencji Smoleńskiej wynika, że na tkaninie pasa bezpieczeństwa występował szereg zanieczyszczeń, z określonym składem pierwiastków [7]:

„(...)Bardziej interesująca dla rozpatrywanego problemu powinna być analiza zanieczyszczeń. Otrzymane ze spektroskopii rentgenowskiej wyniki wskazują, że główne składniki zanieczyszczeń to tlen, krzem, glin oraz żelazo, a także w mniejszej ilości potas. W pojedynczych pomiarach stwierdzono ponadto śladowe ilości sodu, fluoru, cyrkonu i fosforu.(...)”

4.2. Zanieczyszczenia na szybach i odzieży

W referacie W. Fabianowskiego i Jana S. Jaworskiego [7] przedstawiono ponadto wyniki badań próbek fragmentów szyb, na których również znajdowało się szereg zanieczyszczeń.

„(...) Na powierzchni próbek fragmentów szyb G10 i G20 zaobserwowano wrokiem drobny pył, który zmyto i badano w zawieszynie izopropanolowej metodą XRF. Najbardziej intrygująca okazała się zawartość wapnia i krzemu (...).”

W 2013 roku, podczas kolejnej Konferencji Smoleńskiej zaprezentowany został referat, w którym poszerzono zakres badań próbek materiałowych o odzież ofiar tragedii. Na odzieży odnalezione zostały m.in. substancje chemiczne mogące wchodzić w skład materiałów wybuchowych [8]:

„(...) W badanych próbkach ubrań Ofiar Tragedii Smoleńskiej, za pomocą NMR zidentyfikowano w różnym stopniu około 20 substancji. W badanych fragmentach odzieży nie zaobserwowano obecności ani środków wybuchowych, ani produktów ich rozkładu występujących w ilościach powyżej dziesiątych części mikrograma na 0,005 m², tj. 50 cm² powierzchni próbki. Badania niniejsze nie wykluczyły obecności środków wybuchowych w mniejszych ilościach. W jednej z próbek odzieży wykryto obecność ftalanów etylu i butylu, które używane są również do formowania sproszkowanych materiałów wybuchowych w jednolite bryły i mogą stanowić jedną z chemicznych pozostałości powybuchowych. Substancje te jednak nie są swoiste dla materiałów wybuchowych i ich źródło w rozpatrywanym przypadku nie było możliwe do określenia. (...)”

4.3. Trotyl na wraku Tupolewa

W artykule dziennikarza Rzeczypospolitej, Cezarego Gmyza, który powstał na podstawie badań polskich biegłych w Smoleńsku, opisano występowanie licznych śladów materiałów wybuchowych [9]:

„(...) Do Smoleńska wraz z prokuratorami pojechali biegli pirotechnicy z Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego oraz Centralnego Biura Śledczego, z nowoczesnym sprzętem. Już pierwsze próbki, zarówno z wnętrza samolotu, jak i poszycia skrzydła maszyny, dały wynik pozytywny. Urządzenia wykazały m.in., że aż na 30 fotelach lotniczych znajdują się ślady trotylu oraz nitrogliceryny. Substancje te znaleziono również na śródplaciu samolotu, w miejscu łączenia kadłuba ze skrzydłem. Było ich tyle, że jedno z urządzeń wyczerpało

skale. Podobne wyniki dało badanie miejsca katastrofy, gdzie odkryto wielkogabarytowe szczątki rozbitego samolotu.(...)

W 2014 roku, podczas kolejnej, III Konferencji Smoleńskiej przedstawiono wyniki badań zespołu naukowców, w których potwierdzono iż istnieją przesłanki wskazujące na występowanie materiałów wybuchowych na wraku Tupolewa (referat - Krystyna Szymańska -Trela i Sławomir Szymański) [10]:

„(...)Ocena wyników dotychczas przeprowadzonych przez CLKP badań, przedstawiona Prokuraturze Wojskowej w naszych dwóch opiniach prywatnych i dwóch dodatkowych komentarzach, ujawniła liczne przesłanki wskazujące na występowanie śladów heksogenu (RDX) w materiale dowodowym pobranym z fragmentów foteli samolotu TU 154 M nr 101, który uległ katastrofie pod Smoleńskiem. Niniejsze opracowanie jest podsumowaniem, a w pewnych aspektach - rozszerzeniem - naszej argumentacji przedstawionej we wspomnianych dokumentach. Wobec faktu, że przesłanki wskazujące na obecność heksogenu zostały źle zinterpretowane, bądź bezzasadnie zignorowane przez analityków z CLKP, autorzy niniejszego opracowania podtrzymują wniosek, iż konieczne jest wykonanie ponownych badań fizykochemicznych wspomnianego materiału w celu prawidłowego ustalenia stanu faktycznego.(...)”

5. MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA INNYCH NIŻ WOJSKOWE MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH

Po publikacji przez Rzeczpospolitą artykułu Cezarego Gmyza o odkryciu przez polskich biegłych śladów trotylu i nitrogliceryny na elementach wraku Tupolewa, w przestrzeni medialnej zaczęły pojawiać się artykuły i komentarze, których celem stało się zdementowanie tej informacji. Jako argumentacji używano m.in. stwierdzeń, że: **„trotyl i nitrogliceryna nie występują razem”**. **razem”**Jedną z takich opinii opublikowano w tygodniku „Wprost” [11]:

„(...)W artykule "Rzeczypospolitej" występuje pewna nieścisłość. Nie może być bowiem takiej kompilacji środków wybuchowych, jak trotyl i nitrogliceryna, bo nie występują one razem - powiedział na antenie TVN24 płk Leszek Artemiuk, ze Stowarzyszenia Polskich Specjalistów Bombowych. Jak dodał "praktyka zamachów tego nie potwierdza".

Mógłby być trotyl, nitrogliceryny na pewno nie (było - red.). Nitrogliceryny nie stosuje się od dawna, może ona być oczywiście składnikiem innych materiałów wybuchowych - stwierdził Artemiuk(...)”

Wypowiedź ta nie jest precyzyjna, bowiem połączenie trotylu z nitrogliceryną występuje w specjalistycznych mieszkankach wybuchowych o zastosowaniu górniczym.

W Tab. 1 przedstawiono nazwy, oraz procentowy udział w mieszaninie składników – w tym **TNT i nitrogliceryny** [12].

Wg normy BN-77/6091-34 karbonity są materiałami wybuchowymi stabilnymi, odpornymi na starzenie, wodoodpornymi. Górniczy lont prochowy nie powoduje ich zapalenia, zaś inicjacja wybuchu odbywa się za pomocą odpowiedniej spłonki. Wg tej samej normy, w gazach odstrzałowych może występować do 0,135 % tlenku węgla (ujemny bilans tlenowy) oraz do 0,08 % dwutlenku azotu.

Tab. 1. Procentowa zawartość składników w karbonitach węglowych.

Nazwa	Składniki - zawartość (%)						
	TNT	NTG	azotan (V) amonu	chlorek sodu	dinitrotoluen	nitroglikol	mączka drzewna
Karbonit węglowy 4	5,5	4	75	10,5	1,5		3,5
Karbonit węglowy D-4	5,5	2	75	10,5	1,5	2	3,5
Karbonit węglowy D4	5,5	4	75	10,5	1,5		3,5
Karbonit węglowy D49	5,5	3	75	10,5	1,5		3,5
Karbonit węglowy D3	6,5	4	68,5	15	2,5		3,5

Przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych badania wykonane wg metody opracowanej na podstawie wytycznych zawartych w normie PN-EN 13631-16:2006 wskazują, że średnia zawartość tlenu węgla w gazach postrzałowych powstałych przy wybuchu górniczych MW wynosi 14,21 litra/1 kg MW, zaś tlenków azotu 3,11 litra/1 kg MW. W przypadku Karbonitu 2H ilość CO jest największa i wynosi 29,5 litra/1kg MW [13].

Średnia prędkość wybuchu karbonitów wynosi ok. 2924 m/s, co dla porównania z materiałami o zastosowaniu militarnym, których prędkość detonacji może przekraczać nawet 8000 m/s, jest prędkością trzykrotnie niższą. Co istotne, prędkość detonacji nawet takich, słabszych od militarnych materiałów wybuchowych, powoduje powstawanie odłamków, a także innych cech gwałtownego rozpadu ośrodka w którym umieszczono ładunek (np. płatki powybuchowe).

Użycie tego typu materiałów wybuchowych jest jak najbardziej możliwe, zaś specyficzne produkty wybuchu mogą odpowiadać wskazaniom urządzeń do wykrywania pozostałości materiałów wybuchowych zastosowanym do badań w Smoleńsku, choć precyzyjne ustalenie składu i proporcji MW może okazać się bardzo trudne.

Wynika to z kilku przyczyn. Pierwszą z nich jest efektywność detonacji, od której zależy ilość materiału wybuchowego nieprzereagowanego, który może osadzać się na powierzchni ośrodka w którym nastąpił wybuch. Wg literatury przedmiotu, opisującej przeprowadzane badania w postaci eksperymentów polowych, polegających na detonacji różnych MW w warunkach powtarzalności, nawet ta powtarzalność nie gwarantuje zbliżonych wyników.

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów wskazują, że różnice w ilości produktów powybuchowych mogą być bardzo duże, ale także w niektórych przypadkach może dojść do prawie całkowitego „przereagowania” MW w taki sposób, że niewykrywalne będą jego resztki [14]

Rzeczywiste dane o zamachach terrorystycznych z użyciem ładunków wybuchowych pokazują ponadto, że na przestrzeni wielu lat w zamachach terrorystycznych z użyciem takich ładunków oprócz militarnych MW stosowano bardzo różnorodne materiały wybuchowe, w tym różnego rodzaju mieszanki wybuchowe.

Do materiałów wybuchowych tego typu można zaliczyć m.in.:

- nadtlenek acetonu TATP (ang. *triacetonetriperoxide*),
- nadtlenek urotropiny,
- nadtlenek benzoilu (*luicydol*),
- ANFO – czyli mieszanina materiałów używanych w rolnictwie (najczęściej azotanu amonu).

Stoi to w sprzeczności z tezą, że „praktyka zamachów nie potwierdza” użycia różnego rodzaju mieszanek wybuchowych, niejednokrotnie przygotowywanych wg oryginalnych „receptur”, w których istnieje dość duża dowolność proporcji stosowanych związków chemicznych, w tym materiałów wybuchowych, plastyfikatorów, itp.

6. WSPÓLISTNIEJĄCE WYSTĘPOWANIE ŚLADÓW MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH O ZASTOSOWANIU MILITARNYM

Jeśli na miejscu zdarzenia odnalezione zostaną ślady użycia szerokiego spektrum materiałów wybuchowych, w tym np. materiałów charakteryzujących się dużą siłą wybuchu, z głównym zastosowaniem w celach militarnych, należy mieć na uwadze, że materiały takie mogą znajdować się w urządzeniach detonujących (zapalnikach) główny ładunek wybuchowy.

Dla przykładu, zapalniki elektryczne produkowane przez firmę Nitroerg z Bierunia, wg specyfikacji technicznej, zawierają, dla zapalnika oznaczonego jako NIRODET 0,2 A, 0,70 – 0,75 g PENT, stosowanego jako ładunek wtórny zapalnika [15], natomiast dla zapalnika, oznaczonego jako ERGODET 0,2 A WZI, 1,3g heksogenu, stosowanego j.w. [16].

7. MOŻLIWOŚCI WYBUCHU PAR PALIWA

Pary paliw ciekłych mają zdolność do tworzenia mieszanin wybuchowych z powietrzem. W zależności od stężenia par paliwa w powietrzu atmosferycznym, można określić górną i dolną granicę wybuchowości takiej mieszaniny, pomiędzy którymi może nastąpić zapłon i ewentualny wybuch.

Na zakres ten wpływają ponadto temperatura par oraz ich ciśnienie. Bardzo istotne są również inne czynniki wpływające na ewentualny charakter proces zapłonu i wybuchu par paliwa – w tym istotne jest, czy pary powstały w przestrzeni zamkniętej (zbiorniku), czy następuje ich przepływ oraz, czy nie zachodzi oddziaływanie katalityczne różnego rodzaju substancji znajdujących się w bezpośredniej bliskości par.

Na zdolność do tworzenia mieszanin wybuchowych par paliwa z powietrzem mają także wpływ parametry fizykochemiczne samego czynnika (paliwa), a przede wszystkim jego lotność, która jest inna dla poszczególnych węglowodorów lub ich mieszanin, a także temperatura samozapłonu oraz prężność par.

Nafta lotnicza posiada niewielką prężność par, która w temp 37,8 st C jest mniejsza niż 5 kPa. Dla porównania

benzyna samochodowa w tej samej temperaturze posiada prężność par (w zależności od producenta i rodzaju paliwa) **od 45 do nawet 90 kPa**. Dla benzyny samochodowej określone są również granice wybuchowości, które wynoszą w powietrzu 0,76 % – dolna i 7,6 % - górna.

W przypadku paliwa lotniczego, z uwagi na jego niewielki stopień parowania w warunkach normalnego użytkowania, producenci z reguły nie umieszczają informacji o dolnej i górnej granicy wybuchowości, szybkości parowania czy gęstości par.

Jednym z najtragiczniejszych wypadków lotniczych, których przyczyną był zapłon par paliwa lotniczego w powietrzu, była katastrofa Boeinga 747 w dniu 17.07.1996 roku po starcie z lotniska Kennedy'ego w Nowym Jorku.

Jako oficjalnie stwierdzoną przyczynę katastrofy ustalono powstanie iskry w środkowym, prawie opróżnionym zbiorniku paliwa. Pośrednią przyczyną był, w tym przypadku długi postój samolotu na płycie lotniska, w ponad 30 stopniowym upale, co zdaniem śledczych doprowadziło do wypełnienia się zbiornika parami paliwa lotniczego (w tym czasie zbiornik zawierał jedynie niewielką ilość paliwa), które ponadto podgrzewane były przez układ klimatyzacji (wymiennik), znajdujący się pod zbiornikiem. Iskra inicjująca wybuch par paliwa pochodziła prawdopodobnie z uszkodzonych przewodów paliwomierzy.

W tym przypadku można więc mówić o zbiegu niekorzystnych okoliczności, które w sumie doprowadziły do katastrofy, a związane były z niezachowaniem odpowiednich parametrów przechowania paliwa lotniczego w zbiorniku samolotu, doprowadzeniem do powstania par, oraz niewłaściwą konstrukcją instalacji elektrycznej i klimatyzacyjnej.

Ponadto samolot nie był wyposażony w instalację gazu neutralnego, do wypełniania przestrzeni zbiorników paliwa po ich opróżnieniu, aby zapobiec powstaniu wybuchowej mieszanki par paliwa z powietrzem atmosferycznym.

8. SIŁA WYBUCHU PAR PALIWA

Pisząc o możliwości wybuchu par paliwa samolotu nie można pominąć jego charakteru. Siła wybuchu jest bowiem uwarunkowana wieloma specyficznymi czynnikami i tym samym widoczne skutki mogą mieć bardzo różny charakter.

W przypadku wybuchu o charakterze deflagracji, pary paliwa spalają się ze stosunkowo niewielką prędkością, zaś prędkość rozprzestrzeniania się gazów jest mniejsza niż prędkość dźwięku. W takim przypadku uszkodzenia ośrodka, w którym doszło do deflagracji, mogą być stosunkowo niewielkie – głównie opalenia, osmolenia, (temperatura może dochodzić do 3000 K), niewielkie uszkodzenia mechaniczne.

Jest to istotna różnica w porównaniu do wybuchu typu BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*), gdzie na skutek nagłego wycieku paliwa, o temperaturze wyższej niż temperatura jego wrzenia, dochodzi do zapłonu gwałtownie rozprężonych i gorących par. Sytuacja taka ma jednak miejsce wtedy, gdy istnieje czynnik, który spowoduje podgrzanie zbiornika do temperatury przekraczającej punkt wrzenia paliwa, a ciśnienie par uszkodzi zbiornik i spowoduje gwałtowne ich uwolnienie, zmieszanie z powietrzem atmosferycznym, zawierającym tlen, oraz zaistnieje (lub nie) czynnik powodujący zapalenie tych par.

W takim przypadku będziemy mieć do czynienia zarówno z bardzo dużą siłą ciśnienia (powodującego m.in. odłamkowanie i inne duże uszkodzenia, oraz szeroki obszar zniszczeń spowodowanych działaniem fali nadciśnienia), jak również działaniem temperatury (olbrzymia kula ognia).

ognia). Wybuch odpowiadający typowi BLEVE może wystąpić również wówczas, gdy ciecz nie jest palna, lecz ciśnienie powoduje gwałtowne rozerwanie zbiornika (np. wybuch kotła parowego) - Rys. 4.



Rys. 4 BLEVE [17].

Innym rodzajem wybuchu, który może powstać przy udziale par paliwa (lub gazu) jest wybuch typu VCE (*Vapour Cloud Explosion*), gdzie chmura par po osiągnięciu odpowiedniego zakresu stężeń w powietrzu, poddana działaniu czynnika zapalającego, ulega deflagracji, lub przy odpowiednich warunkach gwałtownie detonuje. Przykładem takiego zjawiska są wybuchy po rozszczelnieniach rurociągów z gazem, który stopniowo wydostaje się do atmosfery, a następnie chmura takiego gazu zapala się od płomienia lub iskry.

W Smoleńsku nie istniały czynniki sprzyjające wybuchowi paliwa lotniczego a skutki (zniszczenia elementów samolotu, oraz elementów terenowych) nie odpowiadają typom wybuchów przedstawionych powyżej .

Biorąc pod uwagę właściwości paliwa lotniczego, opisane wcześniej, również warunki atmosferyczne, w jakich znajdował się samolot bezpośrednio przed zdarzeniem, oraz w miejscu zdarzenia, niemożliwe było zaistnienie tego typu wybuchu. Warunki meteo zostały opisane na w nieistniejącej już stronie internetowej „Fakty Smoleńsk”[18], oraz Raporcie Końcowym PKBWL na stronie [19]

„(...) W dniu 10.04.2010 r. rejon lotniska Smoleńsk Północny znajdował się w obszarze klina wyżowego ciągnącego się od zachodniej Syberii poprzez północną Rosję, rejon moskiewski, centralną Ukrainę aż nad Morze Czarne. Oś klina wyżowego przebiegała południkowo w niewielkiej odległości (około 100 km) na wschód od Smoleńska. Układ niżowy znajdujący się na północy Morza Kaspijskiego przemieszczał się nad Samarę, a jednocześnie tak przekształcił oś klina wyżowego, że zmienił on położenie na NE-SW. Układ ten kierował znad Powołża nad rejon Kurska i Smoleńska wilgotne powietrze. Napływało powietrze polarne kontynentalne o równowadze stałej. W warstwie przyziemnej występowała inwersja do wysokości około 500 m. W rejonie Smoleńska powietrze przy ziemi zostało dodatkowo zasilone sporą dawką wilgoci z licznych rozlewisk Dniepru oraz pozostałości śniegu roztopiającego się w lasach. Dodatkowym stymulatorem

ulatwiający powstanie w dniu 10.04.2010 r. w godzinach rannych mgły były cząsteczki dymu (służące jako dodatkowe jądra kondensacji pary wodnej) pochodzące z palących się w rejonie Smoleńska łąk i nieużytków. (...)

(...) Rzeczywiste warunki atmosferyczne panujące w rejonie lotniska Smoleńsk Północny w czasie wypadku

- zachmurzenie – całkowite przez chmury niskie warstwowe stratus łączące się z gęstą mgłą przy podłożu i sięgające do wysokości około 500 m;
- widzialność pozioma przy powierzchni ziemi w rejonie podejścia do progu DS 26 – 50-100 m;
- widzialność pozioma przy powierzchni ziemi na DS 26 – 100-200 m;
- widzialność pionowa – poniżej 20 m;
- zjawiska pogody – mgła;
- wiatr przy powierzchni ziemi z kierunku 110-130°, o prędkości 2-4 m/s;
- ciśnienie atmosferyczne QFE (na poziomie lotniska) – 744,8 mmHg (993,0 hPa);
- ciśnienie atmosferyczne QNH (na poziomie morza) 767,6 mmHg (1024,8 hPa);
- temperatura powietrza przy powierzchni ziemi – od +1,0 do +2,0°C;
- wilgotność względna powietrza – 100% (...)

Oprócz warunków atmosferycznych, na potencjalną możliwość wybuchu par paliwa, ma wpływ sposób zabezpieczenia samolotu w środki zapobiegające powstawaniu mieszanki par paliwa z powietrzem, oraz urządzenia zabezpieczające przed powstaniem niebezpiecznych par paliwa, a także urządzenia służące do gaszenia potencjalnych źródeł ognia mogących zainicjować wybuch.

9. URZĄDZENIA PRZECIWOŻAROWE W SAMOLOCIE Tu154M

W samolocie Tu154M zastosowano dwa zasadnicze przeciwpożarowe systemy stacjonarne, oraz gaśnice przenośne.

Pierwszym, z systemów stacjonarnych, jest pokładowa instalacja gazu neutralnego opisana w załączniku nr 5 do Raportu Końcowego PKBWL z 2011 r. [20]:

„(...) Samolot Tu-154M nr 101 był wyposażony w instalację gazu neutralnego. Instalacja służyła do dostarczania gazu neutralnego do zbiorników paliwowych nr 4 i nr 1 w przypadku lądowania ze schowanym podwoziem.

W jej skład wchodziły:

- 3 butle typu OCV-5II-01;
- przewody;
- kolektory rozpylające.

Na miejscu katastrofy została znaleziona jedna butla OCV-5II-01 nr 08056, cała, nierozzerwana, wyrwana podczas niszczenia konstrukcji samolotu (...)

Wygląd butli z gazem neutralnym, zainstalowanej w samolocie Tu 154 M, przedstawia Rys. 5.

Butle z gazem obojętnym, dla zwalczania pożarów i zapobiegania eksplozji zbiorników paliwa w samolocie Tu154M, powinny być zlokalizowane w jednym z przedziałów technicznych, w okolicy wręgi nr 19 sekcji przedniej kadłuba, bądź w sekcji tylnej, pod podłogą, w lewej części kadłuba, pomiędzy wręgami 65 i 66.

Dokładnej lokalizacji butli w samolocie rządowym Tu154M o nr 101 w załączniku nr 5 do RAPORTU

KOŃCOWEGO z badania zdarzenia lotniczego nr 192/2010/11samolotu Tu-154M nr 101zaistniałego dnia 10 kwietnia 2010 r.w rejonie lotniska SMOLEŃSK PÓLNOCNY nie określono.



Dane techniczne gaśnicy OCV-5II-01 :
 Pojemność butli gaśnicy, 8,0 litra
 Max. ciśnienie robocze, MPa (kG / cm²) 13,5 (135)
 Środek gaśniczy dwutlenek węgla (CO₂)
 Waga ładowania 5,7 kg

Rys. 5. Gaśnica OCV-5II-01 [21].

Gaśnice, będące stałym wyposażeniem samolotu Tu154M, służące do gaszenia silników, powinny być zlokalizowane w przedziale technicznym pomiędzy wręgami 68 i 69.

Przykładowe rozmieszczenie gaśnic w przedziale technicznym samolotu Tu 154 M przedstawia Rys. 6.



Rys. 6. Rozmieszczenie gaśnic w przedziale technicznym Tu 154 M [22].

Pozostałe gaśnice przenośne powinny być zlokalizowane w kokpicie, w pobliżu przegród, w okolicy tylnego WC, w tym w okolicach wręg nr 14, 34, 64 [23].

Trzecim elementem mającym wpływ na możliwość wybuchu paliwa są parametry samego paliwa, o których była mowa wcześniej.

10. PRAWDOPODOBIEŃSTWO WYBUCHU PAR PALIWA LOTNICZEGO

Biorąc pod uwagę wszystkie te czynniki, w przypadku zdarzenia pod Smoleńskiem, można stwierdzić, co następuje.

Prawdopodobieństwo wybuchu typu BLEVE, wraz ze wszystkimi charakterystycznymi cechami tego typu wybuchu, było praktycznie zerowe.

Nie było w tym przypadku żadnych czynników zewnętrznych, które mogłyby doprowadzić do wzmożonego parowania paliwa lotniczego w zbiornikach, a także wzrostu jego ciśnienia.

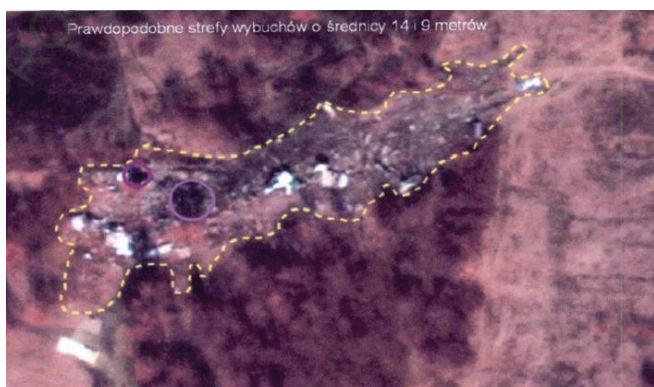
Bardzo mało prawdopodobne jest również wystąpienie wybuchu typu VCE. Nawet po rozszczelnieniu i uszkodzeniu zbiorników, warunki pogodowe (niska temperatura, oraz wilgotność w granicy 100%) uniemożliwiały powstanie i tym bardziej eksplozję par nafty lotniczej.

Istniała oczywiście możliwość powstania aerozolu paliwa lotniczego, jednak w przypadku braku wewnętrznego ciśnienia w zbiornikach paliwowych samolotu, przy jego rozpadzie i uszkodzeniu (rozerwaniu) zbiorników, powstała mieszanka nie mogła mieć charakteru typowego aerozolu paliwa w powietrzu, o niewielkiej wielkości cząstek paliwa, rozproszonych jednorodnie w powietrzu, tworzących mieszaninę podatną na gwałtowny, wybuchowy zapłon.

W Smoleńsku doszło jednak do pożaru na miejscu zdarzenia i to w miejscu niewystępowania bezpośredniej bliskości czynników zapalnych - silniki lotnicze znalazły się poza zasięgiem obszarów objętych „lokalnymi pożarami”, zaś główna lokalizacja pożaru obejmowała okolicę przedniej i środkowej części wrakowiska.

Okolica ta posiada wyraźny kołowy obrys, co świadczyć może o eksplozywnym charakterze uszkodzeń termicznych na powierzchni ziemi.

Charakter zniszczeń, świadczących o wybuchu został potwierdzony przez firmę Small Gis, która w swojej opinii sporządzonej na potrzeby śledztwa Naczelnej Prokuratury Wojskowej, wyszczególniła dwa miejsca wybuchów, o średnicach 14 i 9 metrów, przedstawione na zdjęciu satelitarnym wykonanym w widmie podczerwieni (rys.7). Należy dodać, że w opinii tej nie zawarto uszczegółowienia, czy możliwe i prawdopodobne wybuchy wystąpiły na ziemi, czy w powietrzu.



Rys. 7. Raport z detekcji zmian obrazów satelitarnych po katastrofie Tu-1564 z 10.04.2010 roku. Fotografia z Raportu Small Gis.

Istotne przy tym jest, że ilość 11 ton paliwa lotniczego, jaka pozostała w samolocie bezpośrednio przed zdarzeniem nie uległa w większości masy spaleni, lecz została rozproszona po terenie.

To potwierdza tezę, że warunki pogodowe nie sprzyjały parowaniu i maszynemu zapłonowi paliwa na całym obszarze jego uwolnienia ze zbiorników samolotu, zaś

część, która się zapaliła, nie wymagała specjalnej i długotrwałej akcji gaśniczej.

Potwierdza to zarówno wygląd szczątków samolotu - pożar paliwa nie spowodował zapalenia się szczątków i nie doprowadził do wypalenia konstrukcji samolotu - jak również raport z akcji ratowniczo-gaśniczej przeprowadzonej przez jednostki rosyjskie bezpośrednio po zdarzeniu.

Wg strony rosyjskiej opanowanie pożaru na miejscu zdarzenia przebiegało w następujący sposób, opisany w Raporcie MAK [24] :

(...) 10:55 - przybycie pierwszego zespołu strażackiego z PCz-3, podano dwa strumienie GPS-600 (pianowe) i 2 strumienie SWP;(...)

10:59 - likwidacja otwartego ognia na miejscu upadku samolotu (...)

Wynika więc z tego, że opanowanie otwartego ognia, w tym pożaru paliwa, zajęło rosyjskim służbom ochrony p. pożarowej jedynie 4 minuty (!), co potwierdza tezę, że rozprzestrzenieniu i podtrzymaniu pożaru nie sprzyjały warunki atmosferyczne.

Również możliwość samoistnego zapłonu po uderzeniu samolotu w podmokły grunt była niska. To zaś może kierować uwagę w kierunku przyczyny zewnętrznej, jaką niewątpliwie może być użycie materiału wybuchowego, który był w tym przypadku czynnikiem inicjującym pożar.

11. CECHY WYBUCHÓW

W zależności od rodzaju materiału, którego nastąpił wybuch, pewne cechy są charakterystyczne dla określonego typu substancji. Krajowe Stowarzyszenie Ochrony Przeciwożarowej USA opracowało przewodnik dla śledczych, w którym przedstawiono macierz tych cech - por. Tab. 2

W odniesieniu do tej tabeli można przyporządkować cechy zdarzenia w Smoleńsku, biorąc pod uwagę dwa typy wybuchów – par cieczy lub materiałów wybuchowych – wykluczając przy tym wybuchy pozostałych typów z uwagi na niewystępowanie przyporządkowanych im cech charakterystycznych.

Niski poziom zniszczenia - W Smoleńsku nie występuje. Samolot uległ całkowitemu zniszczeniu i fragmentacji na olbrzymią ilość szczątków, z których pewna część występuje jako drobne i bardzo drobne odłamki, odnalezione poza obszarem głównego wrakowiska i noszące ślady oddziaływania wysokiej temperatury.

Wysoki poziom zniszczenia – jest bardziej prawdopodobny dla wybuchu materiału wybuchowego, niż dla wybuchu par cieczy. W Smoleńsku doszło do całkowitego zniszczenia samolotu, wraz z powstaniem wielu tysięcy szczątków, w tym odłamków metalu o niewielkich rozmiarach, rozrzuconych na znacznym obszarze [25].

Brak eksplozji wtórnej – jest bardziej prawdopodobny dla wybuchu materiału wybuchowego, niż dla wybuchu par cieczy. W Smoleńsku nie zaobserwowano eksplozji wtórnej.

Brak nagromadzenia gazu/pary/pyłu - jest bardziej prawdopodobny dla wybuchu materiału wybuchowego niż dla wybuchu par cieczy.

Deflagracja – brak danych – nie można ustalić czy wystąpiła.

Detonacja (uprawdopodobnienie wyglądem szczątków, odgłosem) w przypadku wybuchu par cieczy występuje w tym odłamkami, oraz słyszalnym przez świadków rzadko, prawie zawsze w przypadku wybuchu MW.

Tab. 2. NFPA 921, Przewodnik do badań pożarów i wybuchów, edycja 2004 [26]

Cechy charakterystyczne różnych typów wybuchów							
Cecha Charakterystyczna	Gaz lżejszy od powietrza	Gaz cięższy od powietrza	Pary cieczy	Pyły	Materiały wybuchowe	Backdrafts	Bleve
Niski poziom zniszczenia	3	4	4	2	2	5	2
Wysoki poziom zniszczenia	2	1	1	2	3	0	2
Eksplozja wtórna	3	3	2	4	0	1	0
Gaz/pary/pył gromadzenie	3	2	2	2	0	0	0
Deflagracja	4	4	4	4	1	5	4b
Detonacja	1	1	1	1	4	0	1b
Podziemna migracja	2	2	2	0	0	0	0
Bleve	2	3	5	0	0	0	5
Pożar po eksplozji	3	3	4	3	1	5	3
Pożar przed eksplozją	2	2	2	3	2	5	4
Usadowienie eksplozji	0c	0c	0c	0	4d	0	2
Minimalna energia zapłonu E_{min} , mJ	0.17-0.25	0.17-0.25	0.25	10-40	e		f

Oznaczenia

0-nigdy, 1-rzadko, 2-czasami, 3-często, 4-prawie zawsze, 5-zawsze,

a - deflagracja pod pewnymi warunkami może przejść w detonację

b - wytrzymałość ograniczenia może pozwolić fali ciśnienia (przy rozerwaniu) przekroczyć prędkość dźwięku

c - gazy i pary mogą tworzyć usadowienie jeśli są ograniczone w małej przestrzeni i jeśli materiał na którym się znajdują może być wystarczająco sprężony lub rozbity

d - wszystkie mocne materiały wybuchowe i niektóre słabe stworzą usadowienie wybuchu jeśli materiał na którym się znajdują może być wystarczająco sprężony lub rozbity

e - zakres jest szeroki; wiele nowoczesnych materiałów wybuchowych jest mało wrażliwa

f – bleve nie jest wybuchem chemicznym i nie wymaga źródła zapłonu

Brak podziemnej migracji – bardziej prawdopodobne dla MW.

Brak Bleve – Bleve występuje zawsze w przypadku wybuchu par cieczy. W Smoleńsku brak cech Bleve – nie było możliwe zaistnienie tego typu wybuchu.

Pożar po eksplozji – przy eksplozji MW występuje rzadko, ale jest prawdopodobny, jeśli wybuch nastąpił w obecności materiałów łatwopalnych – paliwo lotnicze.

Pożar przed eksplozją - brak danych, choć istnieją relacje świadków o potencjalnym pożarze w części ogonowej samolotu, bezpośrednio przed tragedią.

Usadowienie eksplozji – opisane w raporcie SmallGis – zgodnie z opisem „wszystkie mocne materiały wybuchowe i niektóre słabe stworzą usadowienie wybuchu, jeśli materiał na którym się znajdują może być wystarczająco sprężony lub rozbity”. Usadowienie **nie występuje nigdy w przypadku par cieczy**, chyba, że „są ograniczone w małej przestrzeni i materiał na którym się znajdują, może być wystarczająco sprężony lub rozbity”. Należy dodać, że w przypadku zbiorników paliwa, znajdujących się w skrzydłach i centropłacie Tupolewa, nie wystąpiły czynniki doprowadzające do sprężenia par paliwa (Bleve).

Tabela z publikacji NFPA nie wyczerpuje oczywiście katalogu cech charakterystycznych, dzięki którym można ocenić prawdopodobieństwo wystąpienia określonych

czynników wybuchowości przyporządkowanych konkretnym materiałom.

Rozszerzeniem katalogu cech może być, w tym przypadku, dodanie charakterystyk zniszczeń/uszkodzeń, spowodowanych falą nadciśnienia. Skutki spowodowane tym czynnikiem są bowiem różne i zależą głównie od prędkości detonacji, która z kolei jest inna dla poszczególnych rodzajów wybuchów, ale także od propagacji fali uderzeniowej w ośrodku – konstrukcja samolotu tworzy środowisko, w którym fala uderzeniowa napotyka szereg przeszkód. W zależności od umiejscowienia, rodzaju i wagi MW stopień niejednorodności zniszczeń może być bardzo duży.

Odpowiednio inaczej będą wyglądać również skutki termiczne detonacji. Innego rodzaju są bowiem zniszczenia przy wysokiej temperaturze płomienia powstającego podczas deflagracji, a innego rodzaju przy wybuchu detonacyjnym o, co prawda, wysokiej temperaturze, lecz przy całkowicie innej prędkości i czasie działania czynnika temperatury.

Jako dodatkowego i bardzo istotnego materiału porównawczego w macierzy cech należałoby dodać odniesienie do skutków spowodowanych upadkiem samolotu w typach :

- katastrofą typu 1 – samolot spadł w całości, a destrukcja nastąpiła w wyniku uderzenia w ziemię,
- katastrofą typu 2 – rozpad nastąpił w powietrzu, a na ziemię spadły oddzielne szczątki [27]

W przypadku zdarzenia w Smoleńsku istnieje ponadto bardzo ważna informacja, dzięki której można precyzyjnie określić prawdopodobieństwo konkretnych zniszczeń. Jest to prędkość samolotu w chwili uderzenia w ziemię. Prędkość ma w tym przypadku znaczenie nadrzędne, bowiem warunkuje ona zarówno dyslokację szczątków, jak również charakter niszczenia konstrukcji, charakter obrażeń ofiar, przeciążenia, na jakie ofiary były narażone, charakter zniszczeń elementów naziemnych obszaru katastrofy, oraz pozostałe ślady pozostawione na miejscu zdarzenia.

Nie można porównywać skutków nawet bardzo podobnych do siebie katastrof lotniczych, jeśli parametr prędkości różni się w znaczący sposób. Skutki uderzenia o ziemię będą inne przy prędkości 270 km/h, jak to miało miejsce w Smoleńsku, a zupełnie inne przy prędkością 470 km/h, jak to miało miejsce w katastrofie polskiego samolotu pasażerskiego Il62 w Lesie Kabackim; pomimo tego, że w obu tych przypadkach mamy do czynienia z podobną charakterystyką zdarzenia pod względem awiacji – w tym lot ku ziemi pod porównywalnym i niewielkim kątem.

12. ZNISZCZENIA W SMOLEŃSKU

Zniszczenia samolotu Tu154M w Smoleńsku, oprócz tego że zostały dość precyzyjnie opisane, są również doskonale widoczne na wielu tysiącach zdjęć oraz bogatym materiale filmowym. Niestety, opisy widocznych uszkodzeń w wielu źródłach medialnych nie precyzują, co było przyczyną ich powstania i jaki charakter zjawisk fizycznych lub chemicznych spowodował taki, a nie inny ich wygląd. W szczególności opisy uszkodzeń zawarte w oficjalnych raportach ujawniają braki rzetelności osób odpowiedzialnych za zbadanie miejsca wypadku, a w skrajnych przypadkach również brak odpowiedniej wiedzy. Ponadto opisy uszkodzeń nie uwzględniają naukowych metod badawczych, a są jedynie jednostkowymi opiniami biegłych.

13. PRZECIĄŻENIA DZIAŁAJĄCE NA OFIARY

Jednym z bardzo kontrowersyjnych opisów dotyczących przyczyn charakteru obrażeń ofiar jest stwierdzenie przez komisję MAK, potwierdzone również w raporcie PKBWL, że ofiary zostały poddane przeciążeniom, które nie dawały możliwości przeżycia. Siła przeciążenia została określona wartością ok. 100 g. Portal Niezależna przedstawia opinię eksperta na ten temat [28].

„(...)Na pasażerów oddziaływało przeciążenie wielkości ok. 100 g. Przeżycie było w takich okolicznościach niemożliwe” – głosi rosyjski raport na temat katastrofy Tu-154. Według eksperta, z którym rozmawiała „GP”, podana przez Rosjan wartość przeciążenia została zawyżona.

Według tych wyliczeń, potwierdzonych m.in. przez Marka Strassenburga Kleciaka, specjalistę odpowiedzialnego za rozwój systemów trójwymiarowej nawigacji w koncernie Harman Becker w Niemczech, nawet gdyby Tu-154 leciał ku ziemi z prędkością 300 km/h, a jego droga hamowania wyniosłaby tylko 10 m (a była, jak wiemy, znacznie większa, bo według stenogramów samolot uderzył w drzewa i zaczął tracić prędkość kilka sekund przed upadkiem), to wartość

przeciążenia nie przekroczyłaby 40 g (wartości wyrażanej w jednostce „g” nie należy mylić z gramami – chodzi o wielokrotność przyspieszenia ziemskiego równego 1 g; (w stanie nieważkości przeciążenie wynosi 0).

Aby przeciążenie było tak duże, jak podali Rosjanie, samolot przy prędkości 300 km/h musiałby się zatrzymać na dystansie długości mniej więcej 3,5 do 4 m, a więc uderzyć niemalże prostopadle w betonową ścian (...).”

Jeśli przyjąć, że przynajmniej część ofiar została poddana takiemu przeciążeniu przy założeniu, że samolot nie zatrzymał się na bardzo krótkim odcinku, należy wziąć pod uwagę inne przyczyny powstania obrażeń, charakterystycznych dla oddziaływania tak dużego przeciążenia.

W przypadku oddziaływania fali uderzeniowej spowodowanej eksplozją mogą zaistnieć warunki fizyczne, w których ciało ludzkie zostanie poddane porównywalnym przeciążeniom jak opisane w przypadku zdarzenia lotniczego pod Smoleńskiem. **Podobny zakres przeciążeń występował podczas badań poligonowych pojazdów opancerzonych na skutki wybuchów min lądowych, podczas których badano te wartości [29].**

14. ODŁAMKI

Cechą charakterystyczną dla eksplozji jest powstawanie odłamków. W polu szczątków pod Smoleńskiem odnaleziono bardzo mocno pofragmentowane elementy konstrukcji samolotu, w tym takie, których wygląd zewnętrzny świadczy o działaniu znacznych sił rozrywających, w połączeniu z oddziaływaniem wysokiej temperatury. Materiał porównawczy, w postaci zidentyfikowanego elementu konstrukcyjnego bomby, użytej do zamachu w Bostonie 15 kwietnia 2013 r, w odniesieniu do elementu konstrukcyjnego przedstawionego w prezentacji prof. Obrębskiego podczas I Konferencji Smoleńskiej pokazuje daleko idące analogie w wyglądzie zewnętrznym obu tych elementów – por. Rys. 8 i Rys. 9.

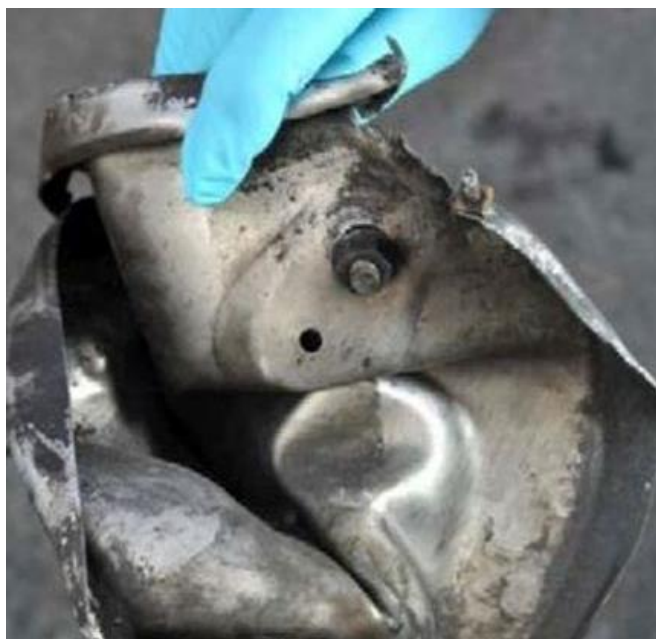
Jednym z elementów klasyfikacji szczątków odnalezionych w Smoleńsku jest ich wielkość. Opisy szczątków przedstawione w Raporcie z prospekcji terenowej dokonanej przez archeologów zawierają istotne informacje o wielkości, które pozwoliły na dość precyzyjne określenie wielkości szczątków w dużej próbie. Pozwoliło to na dokonanie analizy wielkości w określonych granicach frakcji wymiarowej.

Liczba odnalezionych elementów, w poszczególnych frakcjach wymiarowych, jest bardzo zróżnicowana, z przewagą fragmentów o wielkości nie przekraczającej 20 cm², co stanowi ok. 80 % ilości wszystkich, opisanych przez archeologów szczątków. Rozkład ilościowy przedstawiony jest na Rys. 10.

Różnica ilości pomiędzy frakcją nie przekraczającą 20 cm², a następną frakcją wymiarową jest bardzo duża. W przypadku potencjalnej detonacji materiału wybuchowego również występuje zróżnicowanie frakcji odłamków z porównywalną przewagą elementów najdrobniejszych. Zróżnicowanie frakcji, ilość odłamków oraz ich wzajemne proporcje ilościowe uzależnione są głównie od siły eksplozji. Píše o tym Andrzej Ziółkowski, w swoim referacie zaprezentowanym podczas Konferencji Smoleńskiej [30]:

„(...) 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(...)"



Rys. 8. Fragment bomby z Bostonu [31]



Rys. 9. Fragment samolotu odnaleziony w Smoleńsku. [32]

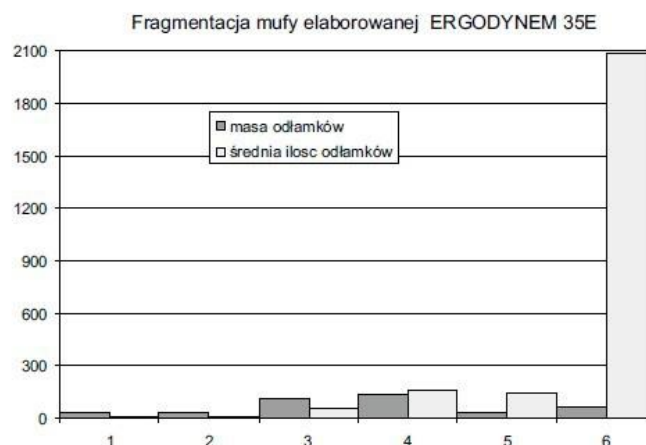
15. BADANIA NAD FRAKCJAMI ODŁAMKÓW

Nie byłyby możliwości badawczych tematu rozkładu frakcji odłamków, gdyby już wcześniej nie próbowano stworzyć odpowiedniej metodyki takich badań. Prace takie prowadzono m.in. w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, gdzie zespół w składzie: Andrzej Maranda, Przemysław Jakusz i Bogdan Jakusz prowadzili badania nad metodyką badań urządzeń samodziiałowych, elaborowanych górnictwymi materiałami wybuchowymi. W pracy tej przedstawiono wyniki badań oraz wstępne wnioski.

Doświadczenia prowadzono w komorze detonacyjnej, gdzie odpalono improwizowany ładunek wybuchowy Ergodyn 22E umieszczony w środku 2-calowej mufy hydraulicznej zamykanej korkiem. Jednym z określanych parametrów był m.in. stopień fragmentacji mufy hydraulicznej po wybuchu.

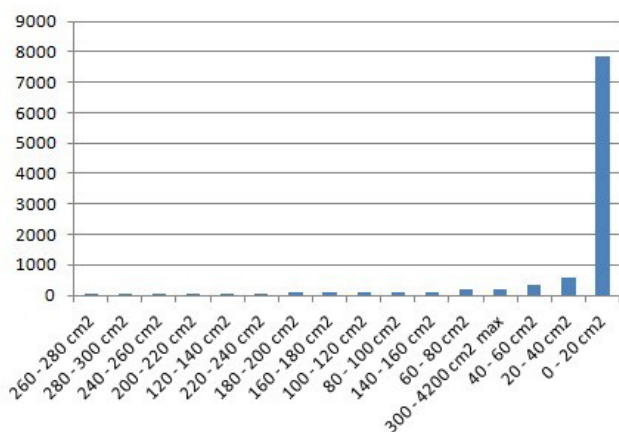
Aby tego dokonać zebrano wszystkie odłamki powstałe po wybuchu i poddano je procesowi przesiewania przez kaskadę sit, wyodrębniając odpowiednie frakcje wielkościowe. Sit było w tym przypadku 7 i taka też powstała ilość frakcji, które można było poddać dalszej analizie.

Wyniki prac badawczych zostały przedstawione w formie tabelarycznej, oraz w postaci wykresu w którym uwzględniono proporcje w wartościach odnoszących się do wagi, oraz wielkości odłamków (rys. 11)



Rys. 11. Wyniki analizy sitowej odłamków powstałych po wybuchu [33].

liczba elementów



Rys. 10. Rozkład ilościowy elementów odnalezionych w Smoleńsku przez archeologów [25]

16. MOŻLIWOŚCI ANALIZY

Na podstawie tak wielu charakterystycznych cech, które odpowiadają użyciu materiałów wybuchowych, można dokonać analizy porównawczej, tym precyzyjniejszej, im większy będzie zakres niezbędnych informacji, odnoszących się do wyglądu szczątków, stanu otoczenia, czy też innych charakterystycznych w określonych zakresach badawczych cech.

Do porównania powinny posłużyć zdarzenia lotnicze, których przebieg był porównywalny do opisanego w Smoleńsku przy założeniu, że oficjalna wersja zdarzenia podlega w ten sposób weryfikacji. Na tej podstawie można stworzyć tabelę porównawczą uwzględniającą porównania we wszystkich obszarach z możliwością określenia prawdopodobieństwa występowania określonych cech. Przykład takiej tabeli przedstawia Tab. 3.

Tab. 3. Tabela porównawcza.

Parametry analizy		Zdarzenie lotnicze w Smoleńsku	Zdarzenie lotnicze nr 1	Zdarzenie lotnicze nr 2	Zdarzenie lotnicze nr (...)
Podstawowe parametry zdarzenia	kąt przyziemienia	ok. 10 stopni	ok.. 10 stopni	ok.10 stopni	ok. 10 stopni
	pozycja przyziemienia	odwrócona	odwrócona	odwrócona	odwrócona
	prędkość przy uderzeniu	ok. 270 km/h	ok. 270 km/h	ok. 270 km/h	ok. 270 km/h
	masa w chwili wypadku	ok. 77 ton	porównywalna	porównywalna	porównywalna
	liczba pasażerów i załogi	96	porównywalna	porównywalna	porównywalna
	inne.	Porównywalne	porównywalne	porównywalne	porównywalne
Pole szczątków – wielkości	max długość głównego pola szczątków				
	max Szerokość głównego pola szczątków				
	powierzchnia głównego pola szczątków				
	inne				
Liczba szczątków i ofiar	liczba znalezionych fragmentów ogółem				
	liczba znalezionych fragmentów na głównym polu szczątków				
	w tym szczątki samolotu (w podziale dowolnym)				
	w tym szczątki wyposażenia (w podziale dowolnym)				
	w tym szczątki rzeczy osobistych				
	w tym inne szczątki (w podziale dowolnym)				
	liczba ofiar				
	inne				
Analiza cech	dyspersja, zagęszczenie szczątków				
	analiza frakcji szczątków				
	występowanie pożaru				
	rozległość pożaru				
	statystyka obrażeń ofiar – ilościowa i jakościowa w podziale na rodzaj i ciężkość obrażeń				
	obecność specyficznych związków chemicznych				
Inne - czy występują ?	1. Płatki powybuchowe na elementach wraku				
	2. Wywinięcia i wybrzuszenia blach poszycia od wewnątrz na zewnątrz				
	3. Występowanie dużej ilości odłamków				
	4. Ślady oddziaływania wysokiej temperatury na fragmentach znalezionych w miejscach gdzie nie występowały „miejscowe pożary” w tym osmalenia, okopcenia, stopienia, przebarwienia, łuszczenia i „bąble” powłoki malarskiej wewnętrznej,				
	5. Obecność karboksyhemoglobiny we krwi ofiar				
	6. Fragmentacja ciał ofiar				
	7. Niektóre z ofiar pozbawione ubrania				
	8. Specyficzne uszkodzenia ciała – w tym skutki dużych przeciążeń.				
	9. Obecność związków chemicznych, lub produktów rozkładu materiałów wybuchowych na elementach wraku, częściach wyposażenia, rzeczach osobistych pasażerów.				
	10. Układ rozłożenia szczątków wraku				
	11. Brak rozległego pożaru paliwa				
	12. Zniszczenia drzewostanu obejmujące obszar większy niż główne wrakowisko, w tym gałęzi drzew znajdujących się na wysokości uniemożliwiającej narażenie na uszkodzenia spowodowane fragmentacją samolotu podczas gwałtownego przyziemienia.				
	13. Obecność wewnętrznych fragmentów samolotu i wyposażenia w miejscach leżących poprzecznie do głównego obszaru wrakowiska.				
	14. Brak typowych śladów przyziemienia samolotu, w tym bruzd , które musiałyby powstać na skutek przemieszczania się samolotu po powierzchni gruntu				
	15. Chaotyczny i różnokierunkowy układ zniszczeń drzewostanu na wrakowisku.				
	16. Duża ilość mniejszych uszkodzeń gruntu, wskazująca na rozczłonkowanie samolotu w powietrzu				
	17. Wewnętrzne poszycie kadłuba rozerwane od środka				
	18. Wewnętrzne poszycie kadłuba pozbawione okładzin i izolacji.				

17. WNIOSKI

1. Zebrane w toku śledztwa materiały dowodowe, oraz informacje, które można poddać weryfikacji naukowej nie wykluczają w sposób jednoznaczny użycia materiałów wybuchowych w Smoleńsku.
2. Na podstawie syntezy cech charakterystycznych, w tym występowania złożonego spektrum substancji powybuchowych w badanych próbkach, nie można wykluczyć zastosowania innych niż militarne materiałów wybuchowych.
3. Badania próbek (CLK) obarczone mogą być błędami – wynikać to może z powodu błędnej interpretacji wyników lub braku bezpośredniego dostępu do próbek niezwłocznie po zdarzeniu. Nie można wykluczyć mactwa strony rosyjskiej – w tym działań mających na celu usunięcie śladów chemicznych z elementów wraku.
4. Możliwa jest analiza cech charakterystycznych dla wybuchu w porównaniu do innych, analogicznych zdarzeń lotniczych, których przyczyną był czynnik ludzki lub techniczny.
5. Możliwe jest określenie prawdopodobieństwa wystąpienia określonych skutków zdarzenia pod Smoleńskiem na podstawie materiału porównawczego z innych katastrof.
6. Prawdopodobieństwo wybuchu par paliwa lotniczego w Smoleńsku jest praktycznie zerowe.

Literatura cytowana

- [1] <http://wiadomosci.wp.pl/kat,1356,title,Najwieksze-ataki-terrorystyczne,wid,7163773,wiadomosc.html?ticaid=1155cb>
- [2] <http://aviation-safety.net/database/record.php?id=19700221-1>
- [3] <http://aviation-safety.net/database/record.php?id=19850623-2>
- [4] <http://www.baaa-acro.com/2009/archives/explosion-of-a-basler-bt-67-in-medellin>
- [5] <http://www.nadwislanski.strazgraniczna.pl/wis/aktualnosci/11372,Funkcjonariusze-z-PSG-Warszawa-Modlin-dokonali-rozpoznania-pirotechnicznego-i-us.html>
- [6] http://orka.sejm.gov.pl/ZespolSmolenskMedia.nsf/EventsByLink/MJAI-97K9TJ/%24File/Ksiazka_Raport_Smolenski_wyd2.pdf
- [7] Wojciech Fabianowski, Jan S. Jaworski „Wstępna analiza materiałowa próbek 1-5”, Konferencja Smoleńska 22.10.2012, Materiały Konferencyjne, Warszawa 2013
- [8] Wojciech Fabianowski, Jan Jaworski, Krystyna Kamińska-Trela, Sławomir Szymański „Badania fizykochemiczne fragmentów ubrań ofiar Katastrofy Smoleńskiej”, II Konferencja Smoleńska 21-22.10.2013. Materiały Konferencyjne, Warszawa 2014 <http://konferencjasmolenska.pl/materiały2/10.pdf>
- [9] C. Gmyz „Trotyl na wraku Tupolewa” Rzeczypospolita 30.10.2012, C. Gmyz „Trotyl na wraku Tupolewa” Rzeczypospolita 30.10.2012, <http://www.rp.pl/artykul/947282.html>
- [10] Krystyna Kamińska-Trela, Sławomir Szymański „Uwagi o opinii CLKP w sprawie badań fizykochemicznych materiału dowodowego”, III Konferencja Smoleńska 20.10.2014. Materiały Konferencyjne, Warszawa 2015, <http://konferencjasmolenska.pl/materiały3/09kamienska.pdf>
- [11] <http://www.wprost.pl/ar/354559/Trotyl-i-nitrogliceryna-na-nie-wystepuja-razem/>
- [12] Tomasz Sałaciński „Nowy sposób opisu materiałów wybuchowych” Instytut Przemysłu Organicznego, ul. Annopol 6, 03-236 Warszawa, PL, <http://www.wydawnictwa.ipo.waw.pl/materiały-wysokoenergetyczne/materiały-wysokoenergetyczne6/Salacinski3.pdf>
- [13] Iwona Zawadzka-Małota „Wpływ struktury i składu górniczych materiałów wybuchowych na zawartość toksycznych składników w gazach postrzałowych”, kwartalnik PRACE NAUKOWE GIG GÓRNICZTWO I ŚRODOWISKO, 3/2009, <file:///C:/Users/start/Downloads/Zawadzka-Malota.pdf>
- [14] Rafał Borusiewicz, Grzegorz Zadora, Janina Zięba-Palus „Analiza próbek powybuchowych dla potrzeb wymiaru sprawiedliwości – modelowe eksperymenty polowe, Instytut Ekspertyz Sądowych, ul. Westerplatte 9, 31-315 Kraków, <http://www.wydawnictwa.ipo.waw.pl/materiały-wysokoenergetyczne/materiały-wysokoenergetyczne5/Borusiewicz.pdf>
- [15] NITROERG Grupa Kapitałowa KGHM Polska Miedź, Specyfikacja techniczna NITRODET 0,2A http://www.nitroerg.pl/sites/default/files/pliki-dopobrania/dt-nitrodet_02_a_pol..pdf
- [16] NITROERG Grupa Kapitałowa KGHM Polska Miedź, Specyfikacja techniczna NITRODET 0,2A WZI http://www.nitroerg.pl/sites/default/files/pliki-dopobrania/dt-ergodet_02a_wzi_pol..pdf
- [17] http://www.svfd.net/SVFD%20Files/Articles/Foam/1F2_Bleve.html
- [18] <http://www.fakty-smolensk.gov.pl/pogoda>
- [19] „RAPORT KOŃCOWY z badania zdarzenia lotniczego nr 192/2010/11samolotu Tu-154M nr 101zaistniałego dnia 10 kwietnia 2010 r.w rejonie lotniska SMOLEŃSK PÓŁNOCNY”, PKBWL Warszawa 2011 str.35
- [20] „Załącznik nr 5” do „RAPORTU KOŃCOWEGO z badania zdarzenia lotniczego nr 192/2010/11samolotu Tu154M nr 101zaistniałego dnia 10 kwietnia 2010 r.w rejonie lotniska SMOLEŃSK PÓŁNOCNY”, PKBWL Warszawa 2011, str. 21
- [21] <http://www.proline-sb.ru/Catalog/3376>
- [22] <http://kirill-kvs.livejournal.com/13370.html>
- [23] <http://www.doc01.ru/metodicheskoe-rukovodstvo/127>
- [24] MIĘDZYPAŃSTWOWY KOMITET LOTNICZY, KOMISJA BADAŃ WYPADKÓW LOTNICZYCH, „RAPORT KOŃCOWY Z BADAŃ ZDARZENIA LOTNICZEGO Tu-154M numer boczny 101 Rzeczypospolitej Polskiej”, strona 102.
- [25] Jacek Jabczyński „Klasyfikacja i dyspersja szczątków TU-154M z prospekcji terenowej w Smoleńsku”, III Konferencja Smoleńska 20.10.2014. Materiały Konferencyjne, Warszawa 2015, <http://konferencjasmolenska.pl/materiały3/13jabczynski.pdf>
- [26] NFPA 921, Guide for Fire and Explosion Investigations 2004 Edition. <http://www.nfpa.org/>
- [27] Piotr Witakowski „Geotechniczne aspekty katastrof lotniczych a Katastrofa Smoleńska”, II Konferencja Smoleńska 21-22.10.2013. Materiały Konferencyjne,

- Warszawa 2014, <http://konferencjasmolenska.pl/materialy2/04.pdf>
- [28] <http://m.niezalezna.pl/3585-tajemnica-czarnych-skrzynek>
- [29] Edyta Krzystała, Arkadiusz Mężyk, Sławomir Kciuk, „Analiza zagrożenia załogi w wyniku wybuchu ładunku pod kołowym pojazdem opancerzonym”, Zeszyty Naukowe WSOWL, <file:///C:/Users/start/Downloads/fulltext602.pdf>,
- [30] Andrzej Ziółkowski „O badaniach eksperckich metalowych elementów wraku samolotu TU-154”, II Konferencja Smoleńska 21-22.10.2013. Materiały Konferencyjne, Warszawa 2014 <http://konferencja-smolenska.pl/materialy2/05.pdf>
- [31] http://www.wprost.pl/ar/396046_2/Zobacz-jak-wyglada-bomba-z-Bostonu
- [32] Jan B. Obrębski, „Opis sposobu zniszczenia małego fragmentu samolotu TU-154M nr 101”, II Konferencja Smoleńska 22.10.2012, Materiały Konferencyjne, Warszawa 2013, <http://konferencjasmolenska.pl/materialy/10.pdf>
- [33] Andrzej Maranda, Przemysław Jakusz i Bogdan Jakusz, „Metodyka badań urządzeń samodziślowych, elaborowanych górnicznymi materiałami wybuchowymi”, WAT Warszawa, „Jakusz” Systemy Zabezpieczeń Bankowych, Kościerzyna, http://www.wydawnictwa.ipo.waw.pl/materialy-wysokoenergetyczne/MatWysokoenergetyczn3/Maranda_Jakusz.pdf