

PROCES DEGRADACJI STATKU POWIETRZNEGO PO TRAFIENIU ¹

Streszczenie: Praca stanowi etap projektu badawczo-rozwojowego, którego celem było opracowanie zautomatyzowanego systemu obrony przeciwlotniczej bazy lotniczej, a dofinansowanego z środków MNiSW. Celem tej części opracowania zdefiniowanie stref krytycznych samolotu bojowego, których trafienie przez przeciwlotnicze środki bojowe prowadzi do degradacji systemów samolotu, a w konsekwencji do jego zniszczenia. Wskazano także na metody poprawy tzw. „żywności bojowej samolotu”, które powodują, iż współczesne samoloty stają się coraz bardziej odporne na zniszczenie, systemy obrony przeciwlotniczej, w tym bazy lotniczej.

AIRCRAFT DEGRADATION AFTER BEING HIT

Abstract: The work is a part of the research project, dedicated to design an integrated anti-aircraft system to protect an airbase of the Polish Air Force (PAF). The goal of the work was to assess the process of aircraft system degradation after being hit by an air base anti-aircraft defense system. The critical combat aircraft zone were identified in context of critical damage for an aircraft leading to its lost. In the paper, methods making aircraft more survivable were presented and discussed, in consequence the modern aircraft presents additional challenge to an air base defense system.

1. Wstęp

Zasadniczym zagrożeniem dla baz lotniczych jest lotnictwo taktyczne (samoloty przeznaczone do przenoszenia uzbrojenia do zwalczania celów naziemnych), nowością są samoloty bezałogowe (z ang. Unmanned Combat Aerial Vehicle) wyposażone w zaawansowane lotnicze środki bojowe. Samoloty te podczas prowadzenia operacji niszczenia baz lotniczych są przede wszystkim narażone na ostrzał naziemnych systemów obrony przeciwlotniczej. Analiza zestrzeleń wskazała, że znacznej ich części można było uniknąć, ale struktura siłowa płatowca a zwłaszcza podsystemy nie były do tego przystosowane do „przetrwania” po trafieniu. Na bazie analizy operacji lotniczych w Indochinach a później na Synaju, wszystkie uznane biura konstrukcyjne podjęły szeroko zakrojone badania nad poprawieniem odporności bojowej oraz zwiększeniem niezawodności technicznej. W konsekwencji z czasem wykształciła się nowa dziedzina wiedzy lotniczej zwana żywotnością bojową (ang. combat survivability), która aktualnie obejmuje nie tylko technologię lotniczą, ale pozostałe działy techniki wojskowej, zwłaszcza siły pancerne, okręty itp. Żywotność bojowa statku powietrznego jest relatywnie nowym zagadnieniem. Ogólnie mówiąc ma za

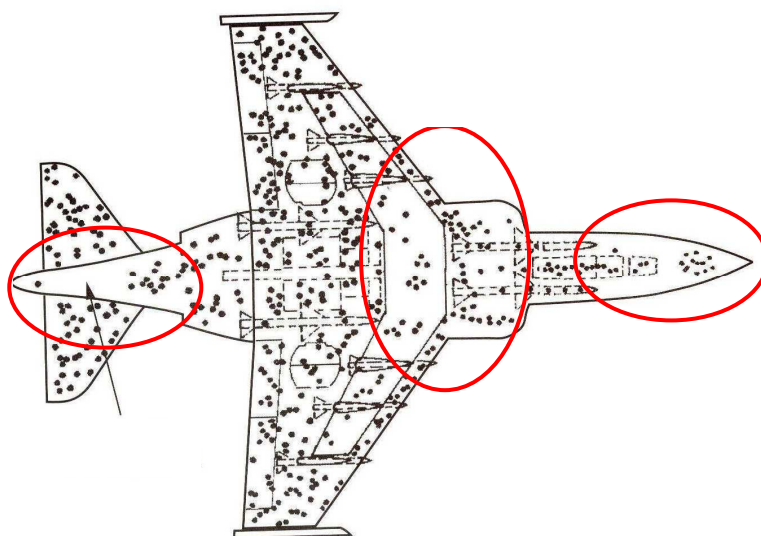
¹ Wykonano w ramach PBR/15-378/2010/ nr O R00 0031 09 pn.: Opracowanie koncepcji i wykonanie badań symulacyjnych zautomatyzowanego systemu obrony przeciwlotniczej rozproszonej baterii lub dywizjonu armat 35mm

zadanie poprawić efektywność lotnictwa, poprzez zwiększenie jego odporności na zniszczenie przez przeciwnika. Głównym zadaniem tej dyscypliny jest identyfikacja podsystemów statku powietrznego pod kątem podatności, wrażliwości na uszkodzenia i zniszczenia, co za tym idzie wyeliminowanie krytycznych podzespołów: elementów, lub rozwiązań konstrukcyjnych, a w konsekwencji zastosowanie takich rozwiązań, aby zwiększyć odporność na trafienie i jego skutki. W przypadku ciężkich uszkodzeń prowadzących nieuchronnie do utraty samolotu czy śmigłowca, degradacja, czyli wyłączanie się podsystemów samolotu powinno następować stopniowo i w taki sposób, aby załoga miała wystarczający czas na bezpieczne opuszczenie statku z dala od terenu działań bojowych lub przeciwnika.

2. Przetrawanie statku powietrznego

Podstawą do oceny możliwości przetrwania statku powietrznego po jego trafieniu jest zdefiniowanie stref krytycznych. Strefa czy obszar krytyczny statku powietrznego z punktu widzenia przeżycia samolotu jest definiowana, jako powierzchnia płatowca (w rzucie dolnych, górnym lub bocznym) lub podsystem samolotu, którego trafienie powoduje utratę samolotu. Strefy te zostały określone:

- Statystycznie na podstawie badań trafionych samolotów powracających z misji bojowych w przypadku trafienia amunicją przeciwlotniczą i odłamkami pocisków przeciwlotniczych.
- Empirycznie na podstawie badań testowych i ocen eksperckich krytycznych podsystemów samolotu w przypadku bezpośredniego trafienia głowicą pocisku przeciwlotniczego (powietrze-powietrze, czy ziemia-powietrze).



Rys. 1. Dolna strefa trafienia samolotu dwusilnikowego F-4 Phantom [1]

Analiza operacji powietrze–ziemia wskazała, iż dla samolotów lotnictwa taktycznego operującego na małych wysokościach, większość przestrzelin odnotowano w dolnej strefie statku powietrznego. Badania prowadzono zasadniczo dla samolotów i śmigłowców lotnictwa Stanów Zjednoczonych biorących udział w licznych konfliktach zbrojnych. Poczynając od drugiej wojny światowej, do ostatnich operacji w Iraku. Szczególnie istotnie

okazały się doświadczenia wojny wietnamskiej, Tutaj prowadzono już metodyczne badania dla większości samolotów i śmigłowców zaangażowanych w operacje bojowe (F-4, A-5, F-8 czy UH-1, AH-1). W rezultacie prac, podczas projektowania kolejnej generacji samolotów i śmigłowców (F-14, F-15, F-16 i F-18 oraz AH-64) zastosowano rozwiązania, które powinny zwiększyć szanse samolotu po jego trafieniu.

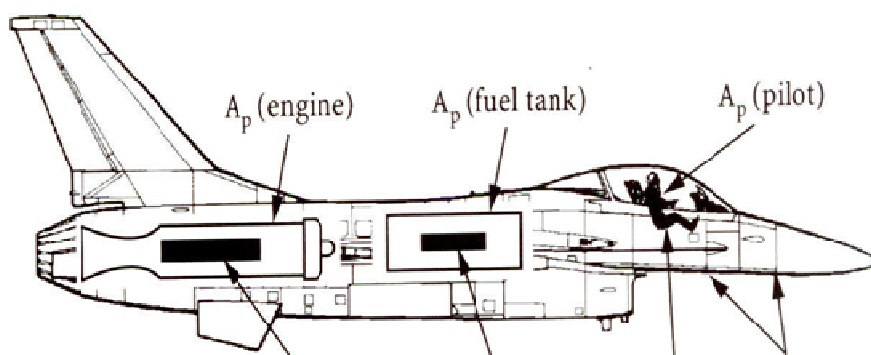
Dla każdego typu badanego typu statku powietrznego na podstawie danych statystycznych samolotów uszkodzonych, ale powracających do bazy opracowano tzw. obraz trafień samolotu, czyli mapę rozkładu statystycznych trafień samolotu. Przykładowo na rysunku 1 pokazano rzut dolny samolotu F-4 Phantom - standardowego myśliwca taktycznego US NAVY z okresu konfliktu w Indochinach - z naniesionymi miejscami trafień pocisków artylerii przeciwlotniczej (ich odłamków) czy odłamków rakiet przeciwlotniczych. Strefy gdzie nie odnotowano przestrzelin należy rozumieć, jako strefy krytyczne, czyli obszary gdzie trafienie powodowało degradację podsystemów a w konsekwencji utratę statku powietrznego. Cytowane strefy krytyczne to typowe dla samolotów lotnictwa taktycznego i operacji powietrze-ziemia, czyli:

- Tylna część kadłuba w okolicy mocowania usterzenia poziomego. Tutaj są rozmieszczone przewody hydrauliczne zasilające wzmacniacze hydrauliczne, podsystemu sterowania stabilizatorami. Pomimo stosowania redundancji systemu – zwielokrotnienia, czyli instalacji zasadniczej i awaryjnej są one, ze względów na budowę tylnej części kadłuba umieszczone relatywnie blisko siebie. W konsekwencji trafienie w ten obszar eliminuje obie instalacje, a brak zasilania siłowników oznacza utratę możliwości sterowania samolotem.
- Mocowanie skrzydeł do kadłuba. Tutaj znajdują się węzy dźwigarów głównych do wręg wzmocnionych kadłuba oraz tzw. rozchodowy zbiornik paliwa, z którego to zasilane bezpośrednio są turbinowe silniki samolotu. Uszkodzenie węzłów mogło prowadzić do utraty skrzydła, natomiast przebicie zbiornika: zapłon i eksplozję paliwa lub jego wyciek i brak zasilania silników.
- Obszar kabiny załogi. Trafienie może spowodować śmiertelne rany pilota.

Należy zwrócić uwagę, iż samolot F-4 jest samolotem dwusilnikowych, czyli uszkodzenie i wyłączenie jednego z silników nie powoduje utraty samolotu. W przypadku samolotów jednosilnikowych, uszkodzenie i utrata ciągu pojedynczego silnika jest jednoznaczna z katastrofą samolotu.

W przypadku analizy powierzchni bocznych samolotu krytycznymi strefami są:

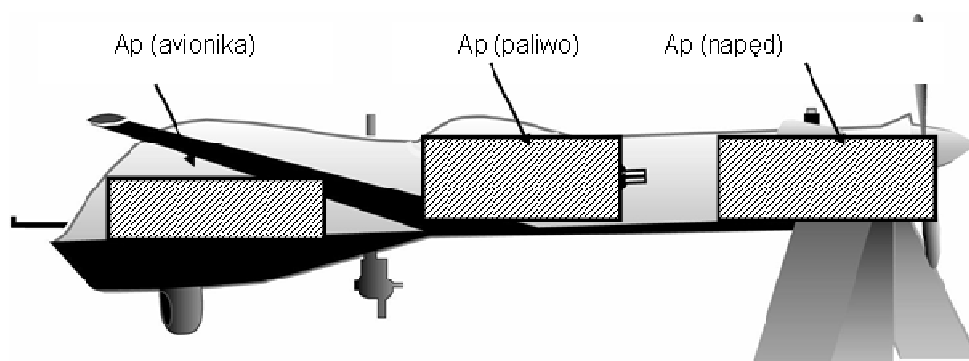
- Zespół napędowy, szczególnie w przypadku samolotu z pojedynczym silnikiem.
- Kadłubowe zbiorniki paliwa.
- Kabina załogi.



Rys. 2. Boczne strefy trafienia samolotu [1]

Istotnym zagrożeniem dla baz lotniczych, w niedalekiej przyszłości mogą być także bezpilotowe statki powietrzne BSP (z angielskiego Unmanned Aerial Vehicle) uzbrojone w zaawansowane lotnicze środki bojowe klasy powietrze-ziemia. Analizując budowę współczesnych UAV szczebla taktycznego, oraz powyższe dane dla samolotu załogowego można zidentyfikować następujące krytyczne strefy samolotu bezzałogowego:

- Zespół napędowy, szczególnie, iż większość UAV jest napędzana pojedynczym silnikiem.
- Kadłubowe zbiorniki paliwa.
- Przedział awioniki i wyposażenia telekomunikacyjnego (sensory zobrazowania).



Rys. 3. Boczne strefy trafienia samolotu bezzałogowego

Doświadczenia konfliktów zbrojnych, potwierdzone badaniami eksperymentalnymi wskazują, iż bezpośrednie trafienie głowicą (High Explosive) powoduje degradację podsystemów i utratę statku powietrznego. Sporadycznie odnotowano przypadki powracających samolotów, które zostały bezpośrednio trafione. Badania poligonowe wskazują, iż w przypadku pocisków naprowadzanych na podczerwień, trafienie następuje w silnik (jego dyszę wylotową) jako „najgorętszego” elementu samolotu. W pozostałych przypadkach, energia kinetyczna głowicy HE jest tak duża, iż powoduje zniszczenie struktury siłowej płatowca (skrzydeł, usterzenia), systemów płatowcowych (sterowania), czy eksplozję instalacji paliwowej.

Badania wrażliwości na zniszczenie systemów samolotu, prowadzone przez firmę Boeing wskazują, iż najbardziej podatna jest instalacja paliwowa. Jej udział jest szacowany na poziomie 50%, niezależnie dla jedno i dwusilnikowego samolotu. Dalej w przypadku jednosilnikowego, silnik 20%, załoga 15%, instalacja hydrauliczna i sterowania 10% a %5 pozostałe. Natomiast w przypadku dwusilnikowego udział silników jest marginalny.

W rezultacie powyższych doświadczeń i analiz w następnej generacji samolotów taktycznych wprowadzono nowe rozwiązania zmniejszające wrażliwość zidentyfikowanych stref krytycznych.

3. Poprawa zdolności do przeżycia

Konstrukcja tak powinna być zaprojektowana, aby zmniejszyć podatność (wrażliwość) na uszkodzenia i zniszczenie po trafieniu. Co oznacza iż samolot powinien wytrzymać trafienie, kontynuować dalej zadanie lub bezpiecznie powrócić do bazy. Znaczny poziom odporności na skutki trafienia można osiągnąć poprzez odpowiednie projektowanie zasadniczych żywotnych podzespołów samolotu, zwłaszcza takich jak::

- Płatowiec i jego instalacje;
- Zespół napędowy.

Płatowiec z racji swych gabarytów jest najbardziej narażony na bezpośrednie trafienia lub odłamkami. Szczególnie skrzydła, które zapewniają siłę nośną, oraz powierzchnie sterowe, dlatego wiele uwagi podczas projektowania poświęca się na zwiększenie odporności tych podzespołów. We współczesnych konstrukcjach przyjmuje się, że utrata do 25% powierzchni nośnej nie może być przyczyną katastrofy samolotu, te same zasady dotyczą powierzchni sterowych tj. stateczników i lotek itp.

Struktura wytrzymałościowa płatowca powinna być odporna na przestrzeliny. Zakłada się, że trafienie pociskiem kalibru 27 - 30 mm nie może spowodować uszkodzeń struktury siłowej, które by eliminowały samolot. W tym celu powszechnie jest stosowana konstrukcja półskorupowa lub wielościankowa, jako najbardziej odporna. Półskorupowa konstrukcja pomimo nie najlepszych charakterystyk masowych cechuje się największą odpornością na zniszczenie. W konstrukcji tego typu elementami siłowymi są ścianki-dźwigary, podłużnice oraz pokrycie, a wyeliminowane są nieliczne (dwa trzy) mocno obciążone dźwigary. W takiej konstrukcji obciążenie jest równomiernie rozłożone na znaczną liczbę ścianek-dźwigarów (od kilku do kilkunastu). Badania wykazały, iż w przypadku skrzydła konstrukcji wielodźwigarowej, zniszczenie dwóch a nawet trzech ścianek (lub dźwigarów szczytkowych) nie powoduje katastrofy. Natomiast grube pokrycie, usztywnione ściankami, zabezpiecza instalacje a przede wszystkim zbiorniki paliwowe przed odłamkami, co więcej pochłania znaczną część energii podczas wybuchu pocisku.

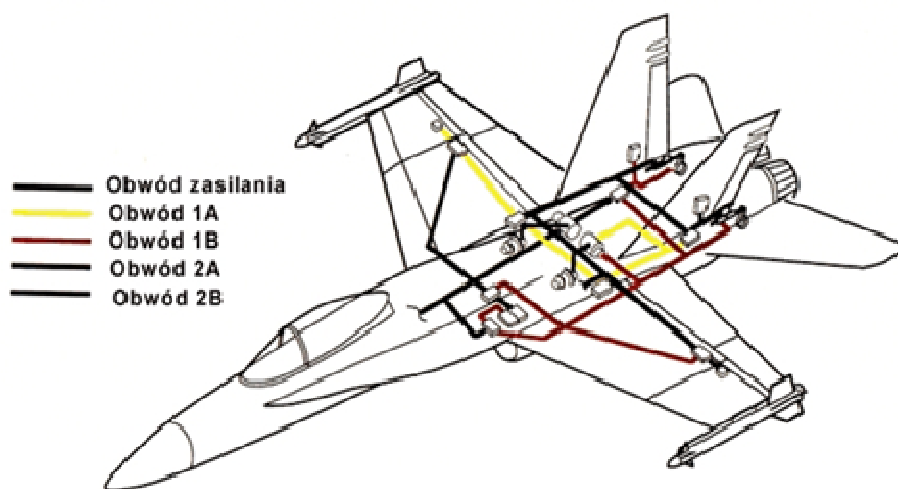
Powierzchnie sterowe, stateczniki, projektowane są jako podwójne. Znaczna część współczesnych samolotów bojowych: F-15, F-18, F-22, czy konstrukcje rosyjskie, zarówno MiG-29 jak cała rodzina Su-27 projektowana jest z podwójnym usterzeniem pionowym. W przypadku usterzenia poziomego możliwy jest lot po utracie jednego stabilizatora. Natomiast lotki są sprzęgnięte z klapami w układ zwany klapo-lotkami, który efektywnie poprawia odporność samolotu.

Najważniejszy system samolotu - sterowania i kontroli lotu jest projektowany jako podwójny. Zasadniczy, cyfrowy z czterema niezależnymi torami sygnałowymi. Tory te są odseparowane fizycznie od siebie prowadzone w różnych częściach płatowca. Elementy wykonawcze, siłowniki elektrohydrauliczne są podwójne, zasilane z dwóch, także niezależnych instalacji hydraulicznych. Układ sterowania jest nadzorowany, przez co najmniej dwa komputery pokładowe. Generator zasilający system, ma aż cztery; dwa rezerwowe i dwa awaryjne źródła zasilania. Niejednokrotnie zasadniczy system cyfrowy jest uzupełniony instalacją mechaniczną.

Samolot jest wyposażony w zasadnicze i rezerwowe podsystemy energetyczne (elektroenergetyczne, hydrauliczne, i pneumatyczne) zabezpieczające możliwość kontynuowania lotu w przypadku awarii lub uszkodzenia. Są one odseparowane i tak rozmieszczone tak by zminimalizować prawdopodobieństwo zniszczenia. Systemy energetyczne mają niezależne od zespołu napędowego, autonomiczne źródła zasilania (auxiliary power unit), które w przypadku zgaśnięcia silnika umożliwiają rozruch a w przypadku jego awarii czy zniszczenia zasilają systemy pokładowe. Instalacja hydrauliczna składa się, co najmniej z dwóch oddzielonych instalacji zabezpieczonych rezerwową. Uszkodzenie jednego z zasadniczych systemów hydraulicznych nie powinno powodować utraty sterowania samolotu i konieczności przerwania zadania bojowego.

Zespół napędowy, z punktu widzenia niezawodności i przeżywalności powinien być wielosilnikowy. Dla samolotu myśliwskiego układ dwusilnikowy uważany jest za optymalny. Większość aktualnie produkowanych lub projektowanych samolotów bojowych jest w takim układzie. Silniki są odseparowane od siebie, wyposażone w niezależne instalacje, co powoduje, iż w przypadku awarii, uszkodzenia a nawet zniszczenia jednego silnika, samolot

jest w stanie kontynuować zadanie z drugim sprawnym. Istotnym elementem zespołu napędowego jest instalacja paliwowa, bardzo podatna na pożar i eksplozję. Dlatego przy projektowaniu samolotów bojowych duży nacisk kładzie się na jej bezpieczeństwo. Przede wszystkim, zbiorniki zostały usunięte z przedziału silnikowego, nie umieszcza się zbiorników pomiędzy lub nad silnikami. W celu wyeliminowania pożaru i eksplozji przewody paliwowe oraz zbiorniki są wyłożone materiałami samouszczelniającymi przestrzeliny. Te drugie dodatkowo mają przegrody i wypełnione są piankami redukującymi możliwość powstania eksplozji. Najważniejsze zbiorniki-rozchodowe (umieszczone w kadłubie), mają dodatkowe zabezpieczenia w postaci tzw. suchych przedziałów (ang. Active Dry Bay) wyłożonych pianką, która w przypadku dużych przestrzelin, kiedy zbiornik nie jest w stanie się sam uszczelnić, ma za zadanie pochłaniać wyciekające paliwo tak, aby nie zostało zasane do wlotów czy przedziałów silnika.



Rys. 4. Zwielokrotniona instalacja hydrauliczna

By wyeliminować skutki ewentualnego pożaru samolotu, jego najbardziej narażone, przedziały wyposażone są w system wykrywania i gaszenia. Przede wszystkim jest chroniony silnik i jego przedział, pomocnicze jednostki zasilające oraz instalacja paliwowa. Silnik ma swoją integralną instalację przeciwpożarową, niezależnie od niej przedział silnikowy jest także zabezpieczony. System samoczynnie wykrywa, lokalizuje pożar, odcina i izoluje przedziały zapobiegając rozprzestrzenianiu i gasi.

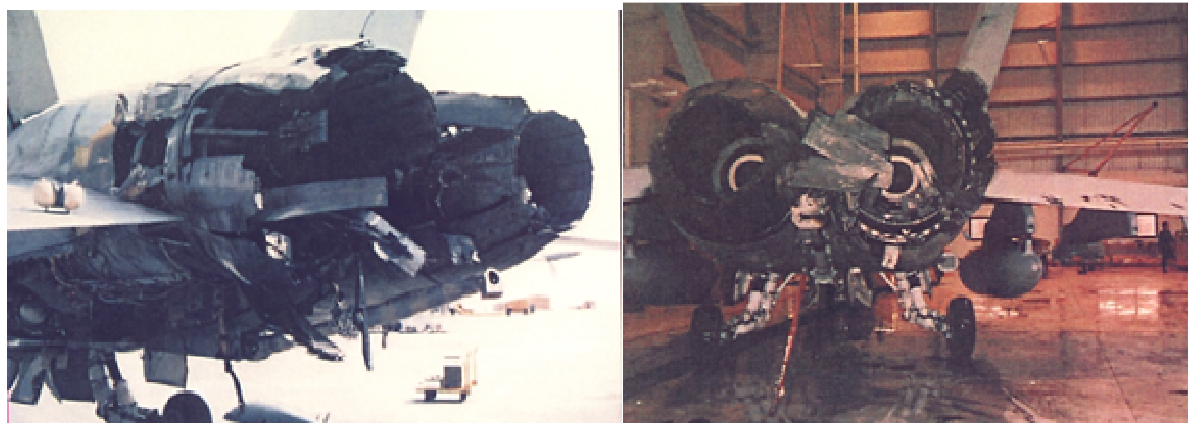
W instalacjach media robocze są obojętne, a instalacja tlenowa jest pozbawiona zasobników ciekłego tlenu, natomiast niezbędny dla załogi tlen jest wytwarzany przez wytwornicę.

Osobnym zagadnieniem jest ochrona załogi. W samolotach szturmowych klasy A-10, Su-25 ze względu na specyfikę działania tego typu lotnictwa (samoloty operują na małych wysokościach, bezpośrednio nad polem walki) stosowane są specjalne osłony "wanny" wykonane z tytanu, które mają zabezpieczyć załogę przed amunicją kalibru do 23-27 mm. Takich radykalnych rozwiązań nie stosuje się w samolotach myśliwskich, niemniej samolot tak jest projektowany, aby zapewnić ochronę załodze. Kabina od dołu jest osłonięta podwoziem przednim, działkiem pokładowym, a z przodu radarem. Także istotnie ważne elementy awioniki takie jak komputery kontroli lotu, misyjne są nie tylko zdublowane, ale rozmieszczone za kabiną w środkowej części kadłuba, najmniej narażonej na trafienie i osłonięte innymi agregatami. Mówiąc o kabinie trzeba także nadmienić o zabezpieczeniu tzw. interfejsu człowiek-maszyna (a man-machine interface), który zapewnia nie tylko sterowanie

samolotem i jego systemami, ale także informuje pilota o sytuacji w powietrzu (ang. situation awareness). W tym celu wszystkie wyświetlacze i wskaźniki, tworzące system zobrazowania informacji, wykonuje się jako wielofunkcyjne, aby w razie awarii lub uszkodzenia jednego, jego funkcje mógł przejąć inny. Niekiedy (ostatnio coraz rzadziej) są one zabezpieczone zestawem awaryjnym, składającym się z klasycznych przyrządów pilotażowo-nawigacyjnych i kontrolnych. Osobnym zagadnieniem pozostają lotnicze środki ratunkowe, umożliwiające bezpieczne opuszczenie samolotu, czyli fotele katapultowe oraz przeżycie na terenie wroga i co było wspomniane na wstępie skuteczne operacje ratunkowe SAR.

4. Podsumowanie

Idealnym rozwiązaniem byłoby opracowanie takiego samolotu, który byłby odporny na większość współcześnie stosowanych środków przeciwlotniczych. Natomiast w przypadku ciężkiego trafienia, degradacja systemów byłaby stopniowa, tak by zapewnić załodze ucieczkę z terenu przeciwnika i awaryjnie lądowanie lub opuszczenie samolotu na własnym obszarze. W Stanach Zjednoczonych we wczesnych latach 80 testowano różnego rodzaju samoloty i śmigłowce bojowe pod kątem przeżycia na polu walki (live fire test), w konsekwencji w 1987 roku sformułowano odpowiednie procedury i kryteria, które muszą spełniać nowe konstrukcje bojowe, zanim zostaną skierowane do produkcji. W dziedzinie wiedzy lotniczej powstała nowa dyscyplina zwana aircraft combat survivability, z odpowiednim zapleczem naukowym. Ponadto lotnictwo wojskowe wypracowało skuteczny system poszukiwania i podejmowania strąconych załóg samolotu. Spektakularnym przykładem jest ewakuacja pilota samolotu F-117 strąconego w okolicach Belgradu w dniu 27 marca 1999 roku.



Rys. 5. Zniszczone pojedyncze silniki dwusilnikowego samolotu Boeing F-18 Hornet podczas operacji Pustynna Burza w 1991 r. Samoloty z uszkodzonym i niepracującym silnikiem, powróciły do bazy na drugim sprawnym silniku

Literatura

- [1] R.E. Ball, The Fundamentals of aircraft survivability analysis and design, second edition, AIAA Education Series.
- [2] A. Skomra H. Tomaszek M. Wróblewski, Charakterystyki taktyczno-techniczne i skuteczność lotniczych środków bojowych, WAT, Warszawa 1999 r.
- [3] J. Błaszczyk, M. Wróblewski, P. Zalewski, Wielozadaniowy samolot bojowy-Awionika . Przegląd WLOP 11/98.
- [4] J. Błaszczyk, M. Wróblewski, P. Zalewski, Wielozadaniowy samolot bojowy-Płatowiec. Przegląd WLOP 2/1999.
- [5] M. Wróblewski, P. Zalewski, Przetrwanie samolotu na polu walki, Przegląd WLOP, marzec 2002 r.;
- [6] R. Whitford, Stealth from the aircraft designer's viewpoint, RRDPAE Research Biuletin, Warsaw , 8/1998.
- [7] Prace Joint Technical Coordinating Group on Aircraft Survivability