

Andrzej ZBROWSKI

Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

BEZPIECZEŃSTWO SAMOLOTÓW W ASPEKTCIE ZAGROŻENIA KOLIZJĄ Z PTAKAMI

Słowa kluczowe

Zderzenia z ptakami, działo pneumatyczne, test ptaka.

Streszczenie

Artykuł prezentuje problemy związane z zagrożeniami bezpieczeństwa transportu lotniczego, wynikające ze zderzenia statku powietrznego z ptakami w czasie lotu. Przedstawiono dane statystyczne oraz zagadnienia kosztów wynikających z zaistniałych kolizji. Zaprezentowano techniczne skutki zderzeń wybranych elementów konstrukcyjnych. Została przedstawiona analiza doświadczalnych metod i systemów badawczych stosowanych do symulacji i rekonstrukcji zderzeń ptaków z elementami konstrukcyjnymi samolotu.

Wprowadzenie

Kolizja samolotu z ptakiem jest zdarzeniem przypadkowym. Przypadkowe są także parametry energetyczne zdarzenia. Jednakże zderzenia statków powietrznych z ptakami są powszechnym zagrożeniem dla bezpieczeństwa transportu powietrznego i stanowią podstawową przyczynę wielu wypadków lotniczych (rys. 1). W wyniku wzrostu prędkości samolotów i liczby lotów ptaki stały się poważnym problemem dla lotnictwa [1], a prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji znacznie wzrosło.



Rys. 1. Kolidacja samolotu sportowego z ptakiem podczas wykonywania ewolucji
Źródło: <http://www.flightschoollist.com/aviation-articles/2010/10/bird-strike-pictures-1/>.

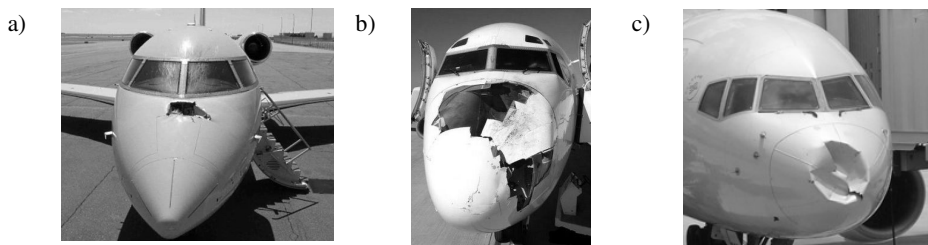
Kolizje z ptakami towarzyszą lotnictwu od początków jego istnienia. Pierwsza oficjalna wzmianka o tego rodzaju zdarzeniu pochodzi z roku 1912 z Long Beach w Kalifornii, gdy samolot po zderzeniu z mewą runął do morza i zatonął. W początkowym okresie, gdy intensywność lotów była niewielka, a samoloty osiągały niewielkie prędkości, kolizje z ptakami nie stwarzały istotnego zagrożenia. Dlatego ignorowano je i nie prowadzono ich rejestracji. Wraz z rozwojem lotnictwa rosła ilość lotów i prędkość samolotów, co wiązało się z rosnącą liczbą wypadków lotniczych, w których swój udział miały ptaki. W latach 1960÷2004, wskutek zderzenia z ptakami, około 400 samolotów uległo katastrofom, w których zginęło 370 osób.

Najbardziej wrażliwe na uszkodzenia wywołane przez ptaki są jednosilnikowe samoloty wojskowe poruszające się nisko, z dużymi prędkościami zarówno w fazie startu, jak i podczas lądowania, czyli na wysokościach, gdzie prawdopodobieństwo zderzenia z ptakiem jest największe. Według danych statystycznych, w połowie zderzeń uszkodzeniu ulegają silniki, czyli elementy bezpośrednio wpływające na bezpieczeństwo lotu, a następnie kadłub i skrzydła, kabina załogi oraz w minimalnym stopniu podwozie i usterzenie. Bezpośrednie uderzenia w silnik stanowią jednak tylko 21% udziału w ogólnej liczbie zderzeń, natomiast około 19% uderzeń jest przejmowanych przez owiewkę kabiny. Najbardziej czułe na tego rodzaju incydenty są silniki odrzutowe [2]. Uderzenia w pozostałe elementy płatowca rzadko stanowią bezpośrednie przyczyny wypadków i statystycznie powodują 0,3% wszystkich katastrof lotniczych.

1. Problemy techniczne

W wyniku kolizji z ptakami uszkodzeniu mogą ulec rozmaite elementy konstrukcyjne i podzespoły samolotu. Stopień zniszczeń zależy głównie od prędkości lotu samolotu i masy ptaka. Najgroźniejsze wypadki ze skutkiem

śmiertelnym zdarzają się w przypadku kolizji z ciężkim ptakiem o masie powyżej 0,9 kg (rys. 2). Przyjmuje się, że siła uderzenia mewy dla samolotu poruszającego się z prędkością 300 km/h wynosi 3 tony, co może doprowadzić do uszkodzenia pokrycia samolotu i uszkodzenia układów sterowania.



Rys. 2. Uszkodzenia dziobu

(źródło: a) <http://cellar.org/showthread.php?p=622593>,

b) <http://www.gconnect.in/lifestyle/oddly-enough/bird-strike-hazards.html>,

c) <http://dad2059.wordpress.com/2008/07/09/ufo-history-and-the-hardware/>).

Do zderzeń samolotów z ptakami najczęściej dochodzi podczas startu, lądowania, a także podczas lotu na małych wysokościach (ogółem 92%, w tym 61% zdarzeń na wysokościach do 30 m). Zdarzały się także przypadki zderzeń na wysokościach 6000÷9000 m (mniej niż 8% zdarzeń powyżej 900 m). W czasie lotu na większych wysokościach, gdzie samoloty osiągają prędkości rzędu kilkuset km/h, lub większe, nawet najmniejsze ptaki stanowią dla nich istotne zagrożenie, gdyż oprócz uszkodzenia silnika czy płatowca, są w stanie przebić pancerną osłonę kabiny i ciężko ranić pilota. Zderzenia na większych wysokościach, na których spotykane są tylko duże, ciężkie ptaki, wielokrotnie przekraczają dopuszczalne limity energii i w 34% wywołują poważne zniszczenia (rys. 3).



Rys. 3. Uszkodzenia skrzydeł

(źródło: a) http://i.huffpost.com/gadgets/slideshows/824/slide_824_14769_large.jpg,

b) <http://www.gconnect.in/lifestyle/oddly-enough/bird-strike-hazards.html>,

c) <http://www.abovetopsecret.com/forum/thread316443/pg6>).

Stwierdzono, że 28% wypadków z udziałem ptaków jest powodowanych kolizją z więcej niż jednym ptakiem. Dla takich przypadków prawdopodobieństwo zniszczenia samolotu jest dwa razy większe.

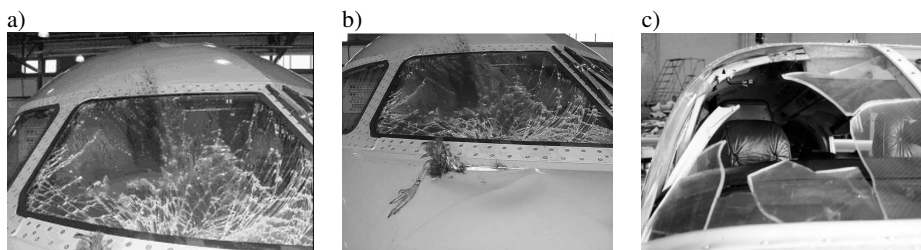
W przypadku samolotów wojskowych latających z dużymi prędkościami nawet ptak niewielkich rozmiarów jest w stanie rozbić pancerną osłonę kabiny (rys. 4), wytrzymałą trafienie pocisku kalibru 20 mm (18 000 J). Uderzenie w ptaka o masie 1 kg z prędkością 900 km/h, trwające krócej niż 0,001 sekundy może wygenerować siły zderzenia przekraczające 30 ton [3].



Rys. 4. Uszkodzenia kabiny samolotów wojskowych:

- a) helikopter Izraelskich Sił Powietrznych UH-60 Blackhawk uszkodzony przez ptaka na wysokości 300 m (źródło: <http://www.treeworld.info/f6/when-bats-roost-trees-8566.html>),
- b) uszkodzenie owiewki w F16 (źródło: <http://www.gconnect.in/lifestyle/oddly-enough/bird-strike-hazards.html>),
- c) uszkodzenia w kokpicie śmigłowca (źródło: <http://lotniczapolska.pl/Bird-strike-niebezpieczne-kolizje-w-powietrzu,9992?gallery=yes>).

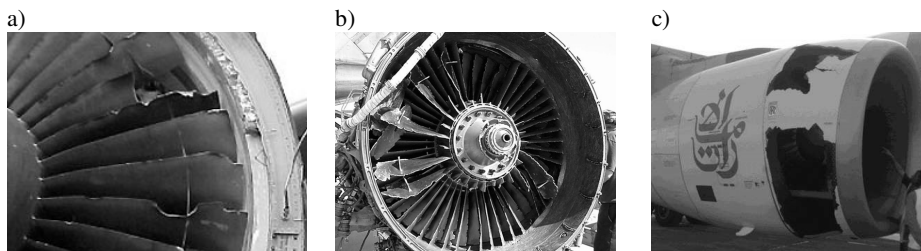
Uderzenia w owiewkę lub szybę kabiny załogi samolotu znajdują się na drugim miejscu pod względem wywołwanego zagrożenia bezpieczeństwa lotu. Przeniknięcie ptaka do wnętrza kokpitu stwarza bezpośrednio niebezpieczeństwo dla życia pilota (rys. 5).



Rys. 5. Uszkodzenia szyby w kabine samolotów cywilnych

- (źródło: a) http://i.huffpost.com/gadgets/slideshows/824/slide_824_14767_large.jpg,
- b) <http://www.flightschoollist.com/aviation-articles/2010/10/bird-strike-pictures-1/>,
- c) <http://aviationglossary.com/wp-content/uploads/2009/01/bash9003-page-12-image-0001.jpg>).

Wprowadzenie samolotów o napędzie odrzutowym szczególnie wpłynęło na pogorszenie wskaźników bezpieczeństwa, gdyż kolizje z ptakami są niezwykle groźne dla tego rodzaju silników. Najczęściej dochodzi do mechanicznego uszkodzenia łopatek sprężarki, czy też łopatek wentylatora (rys. 6). W tym przypadku energia zderzenia z ciałem obcym, nawet niewielkim ptakiem, jest porównywalna z energią pocisku wystrzelonego z pistoletu (300 J).



Rys. 6. Uszkodzenia silnika a), b) uszkodzenie łopatek, c) uszkodzenie osłony
(źródło: a) http://alwaysvigilant.blogspot.com/2009_01_01_archive.html,
b) <http://aviationglossary.com/wp-content/uploads/2009/01/bash9000-page-15-image-0001.jpg>,
c) <http://www.gconnect.in/lifestyle/oddly-enough/bird-strike-hazards.html>).

Dodatkowym czynnikiem zwiększającym możliwość zderzenia samolotu z ptakami jest coraz mniejsza hałaśliwość silników lotniczych; ptaki mają mniejszą możliwość zauważenia zagrożenia i uniknięcia kolizji.

2. Problemy finansowe

Oprócz bezpośredniego zagrożenia życia ludzi ptaki powodują ogromne straty finansowe dla użytkowników statków powietrznych. Na przykład w Siłach Powietrznych USA (USAF) w latach 1985÷1996 wyniosły one 457 mln dolarów [4]. Przeciętny koszt usunięcia skutków zderzenia samolotu pasażerskiego z ptakami wynosi 235 tys. dolarów, jeśli powstały uszkodzenia i 22 tys. dolarów, jeśli uszkodzeń nie było (uwzględniając koszty dodatkowych przeglądów i odwołanych lotów). W przypadku uszkodzeń silników straty finansowe są największe, bowiem koszt nowego silnika samolotu Boeing 777 przekracza 30 mln dolarów.

Obecnie wypadki związane ze zderzaniem samolotów z ptakami powodują na świecie roczne straty w przybliżeniu 1,2 mld dolarów. Stanowi to problem zarówno dla linii lotniczych, jak i firm ubezpieczeniowych wypłacających znaczne odszkodowania.

W ciągu ostatnich 19 lat liczba wypadków lotniczych związanych z ptakami zwiększyła się ponadczterokrotnie [5]. Wiąże się to z ogromnym wzrostem zagrożenia bezpieczeństwa pasażerów. Od 1990 r. Federalna Agencja Awiacji (FAA) zbiera raporty dotyczące martwych ptaków znalezionych w częściach samolotów.

Według raportów w ciągu 19 lat wystąpiło ponad 100 tys. podobnych incydentów [6]. W 1990 r. było ich 1 759, a w 2007 r. – 7 666. Średnio na 10 tys. lotów przypada w zależności od regionu świata, 8÷19 zderzeń. W Polsce w 2007 roku odnotowano 16 zderzeń samolotów cywilnych z ptakami, zaś w 2006 r. zarejestrowano 15 kolizji zaistniałych w lotnictwie wojskowym.

Według danych ujawnionych przez lotnictwo wojskowe Stanów Zjednoczonych, na przestrzeni każdego trzech lat zdarzają się dwa śmiertelne wypadki pilotów spowodowane kolizją samolotu z ptakami. Co roku USAF (*United States Air Forces*) odnotowują dwa wypadki kończące się katastrofą w postaci upadku i rozbicia samolotu. Wydarzenia z udziałem ptaków generują w USAF koszty na poziomie 50÷80 mln dolarów rocznie. Wojskowa obsługa serwisowa rejestruje 3000 uderzeń ptaków rocznie.

Dotychczas w największej katastrofie samolotu cywilnego spowodowanej zderzeniem z ptakami zginęły 62 osoby. Jednak w ciągu ostatnich lat zaistniało kilka niezwykle niebezpiecznych zdarzeń z udziałem ptaków, których skutki mogły być o wiele bardziej tragiczne, nawet w postaci katastrofy lotniczej o niespotykanych dotychczas rozmiarach. W styczniu 2009 r. samolot pasażerski Airbus A320 towarzystwa US Airways, ze 155 pasażerami na pokładzie, wodował na rzece Hudson w rejonie Manhattanu, krótko po starcie z nowojorskiego lotniska LaGuardia. Powodem było zderzenie ze stadem gęsi, które zatrzymały działanie obu silników maszyny. W czerwcu 2010 r. Marokański samolot, ze 162 osobami na pokładzie, lądował awaryjnie zaraz po starcie z lotniska Schiphol w Amsterdamie, ponieważ w wyniku zderzenia z ptakami został uszkodzony jeden z dwóch silników.

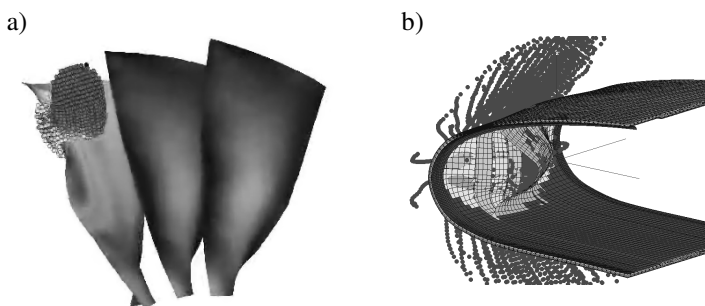
3. Metody badawcze

Zwiększanie odporności konstrukcji lotniczych na zderzenia z ptakami jest wymuszane odpowiednimi przepisami. Brytyjska BCAR (*British Civil Aviation Regulation*) wprowadziła standardy, wg których silnik musi być odporny na zderzenie z ptakiem o masie 0,7 kg. Oprócz tego po uderzeniu ptaka ważącego 60 g z prędkością 311 km/h silnik powinien pozytywnie przejść pięciogodzinną próbę pracy.

Zwiększone wymagania dotyczące trwałości i bezpieczeństwa eksploatacji bezpośrednio wpływają na rozwój konstrukcji charakteryzujących się podwyższoną odpornością na kolizję z ciałami obcymi. Zmiany obejmują geometrię, budowę oraz materiały konstrukcyjne.

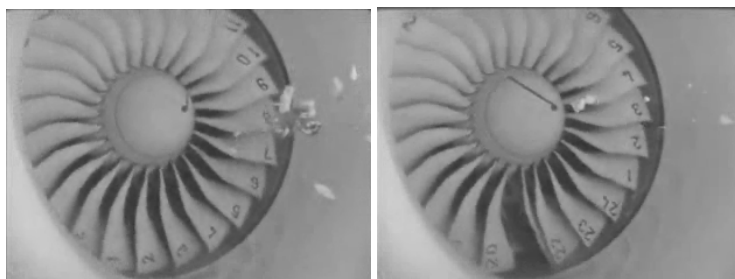
W celu zapobiegania skutkom zderzeń i doskonalenia rozwiązań konstrukcyjnych duże znaczenie ma rozpoznawanie zjawisk powodujących uszkodzenia zespołu napędowego i kadłuba statków powietrznych. W znacznym stopniu badania są dynamizowane przepisami obligującymi producentów do wykonywania odpowiednich prób potwierdzających odporność konstrukcji na zderzenia.

Powszechnie stosowaną, stale doskonaloną techniką analizy zjawiska są komputerowe metody obliczeń z zastosowaniem metody elementów skończonych [7÷9]. Jednak nawet dysponując mocą obliczeniową współczesnych komputerów, uzyskiwanie dokładnych wyników jest niemożliwe, ponieważ nie istnieją szczegółowe, fizjologiczne modele ptaków (rys. 7).



Rys. 7. Symulacja MES: a) zderzenie z łopatką turbiny (źródło: http://www-tamaris.cea.fr/html/en/calculations/presentation_cast3m.php), b) zderzenie z krawędzią skrzydła [10].

Wyniki analiz symulacyjnych pozwalają zoptymalizować konstrukcję, jednak ostateczna weryfikacja zawsze musi być prowadzona z zastosowaniem metod doświadczalnych (rys. 8).



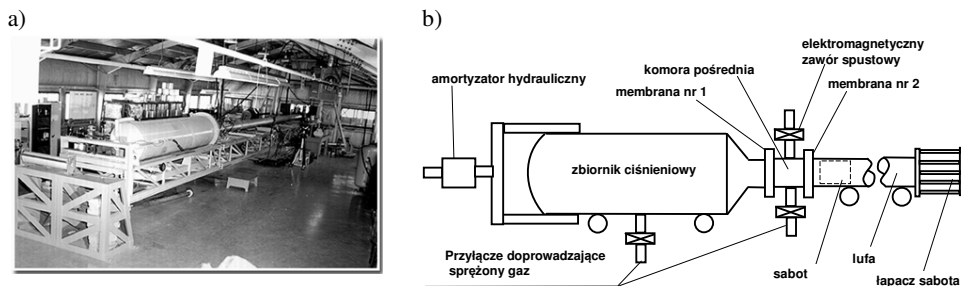
Rys. 8. Doświadczalny test silnika Rolls-Royce Trent 900
Źródło: zbiory autora.

Aby zwiększać skuteczność nowych rozwiązań należy wdrażać specjalne metody, które pozwoliłyby skutecznie odtwarzać warunki zderzeń w testach laboratoryjnych.

Metodą pozwalającą na pozyskanie najbardziej wiarygodnych rezultatów są testy zderzeniowe prowadzone w skali rzeczywistej. W badaniach zderzeniowych elementy konstrukcyjne są bombardowane obiektami rozpędzonymi do prędkości występujących podczas kolizji samolotu z ptakami [11].

Systemy do miotania ptaków lub obiektów imitujących ptaki znajdują się jedynie w kilku instytucjach badawczych na świecie. Są to przede wszystkim działa pneumatyczne o rozmaitych kalibrach i możliwościach energetycznych, umożliwiające wyrzucanie obiektów w postaci mas żelowych, bryłek lodu oraz martwych ptaków w kierunku badanego podzespołu.

Pierwsze działo pneumatyczne przeznaczone do zastosowań badawczych zostało zbudowane w 1961 r. Royal Aeronautical Establishment w Wielkiej Brytanii. W 1967 r. zbudowano, wzorowane na rozwiązaniu brytyjskim, większe 10-calowe działo (rys. 9) w National Research Council w Kanadzie (NRC). NRC dysponuje obecnie ponadto dwoma mniejszymi działami o kalibrze 5 cali oraz 3,5 cala.



Rys. 9. Działo kalibru 10'' w National Research Council w Kanadzie:

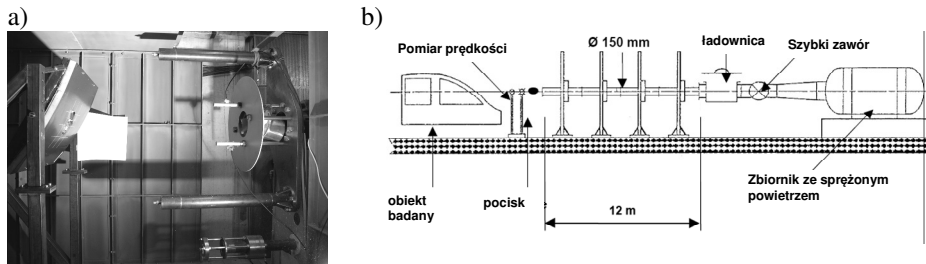
- stanowisko badawcze (źródło: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/education/innovations/spotlight/bam.html>)
- schemat działa pneumatycznego (źródło: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/news/nrc/2007/01/07/bird-plane.html>)

W kanadyjskim dziale 10-calowym miotany obiekt jest umieszczany w sabocie ładowanym do przewodu lufy. Energia napędowa pochodzi ze sprężonego powietrza zmagazynowanego w akumulatorze znajdującym się na końcu 23-metrowej lufy. Mechanizm spustowy wykorzystuje zasadę komory pośredniej, w której panuje połowa ciśnienia występującego w akumulatorze. Komora jest zamykana dwiema elastycznymi membranami niszczoneymi w momencie wystrzału. Zatrzymywanie sabota wykonuje chwytacz zamontowany na końcu lufy. Takie samo działo znajduje się także w Aerospace Division of Pittsburgh Plate Glass Industries w Huntsville, Alabama. Także University of Dayton Research Institute prowadzi badania z wykorzystaniem działa o długości lufy 10 m, które miotanym obiektom może nadawać prędkości dochodzące nawet do 1300 km/h [12]. Pierwsze oryginalne amerykańskie rozwiązanie, bazujące na 8-calowej lufie działa artyleryjskiego, powstało w 1972 r. w Arnold Engineering Development Center (AEDC).

Trzy działa pneumatyczne znajdują się w DLR – German Aerospace Center. Największe z nich o kalibrze 200 mm i lufie długości 12 m nadaje dwukilogra-

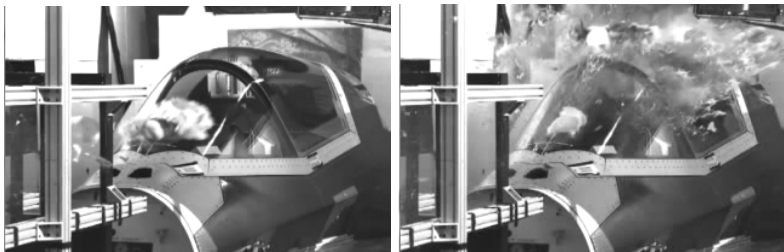
nowym obiektom prędkość 250 m/s. System o kalibrze 60 mm (rys. 10a) ma lufę o długości 5 m, w której obiekty o masie 0,2 kg osiągną prędkość 250 m/s. Najmniejsze działo wykonane w kalibrze 32 mm lub 25 mm (system wymiennej lufy) nadaje obiektom o masie 0,05 kg prędkość 300 m/s w lufie o długości 2,5 m.

We Francji działo o kalibrze 150 mm (rys. 10b) jest wykorzystywane w Centre d'Essais Aéronautique de Toulouse. W Rosji badania wykonywane są za pomocą systemu pneumatycznego znajdującego się w Central Institute of Aviation Motors w Moskwie.



Rys. 10. Przykłady dział europejskich: a) działo kalibru 60 mm w DLR – German Aerospace Center (źródło: zbiory autora), b) schemat dział w Centre d'Essais Aéronautique de Toulouse [10]

Pierwszy amerykański program badawczy prowadzony z zastosowaniem dział pneumatycznych został zainicjowany w 1972 r. w związku z problemami jakich przysparzała zbyt słaba owiewka w samolocie myśliwsko-bombowym F-111 (z tego powodu co osiem miesięcy tracono jeden samolot).



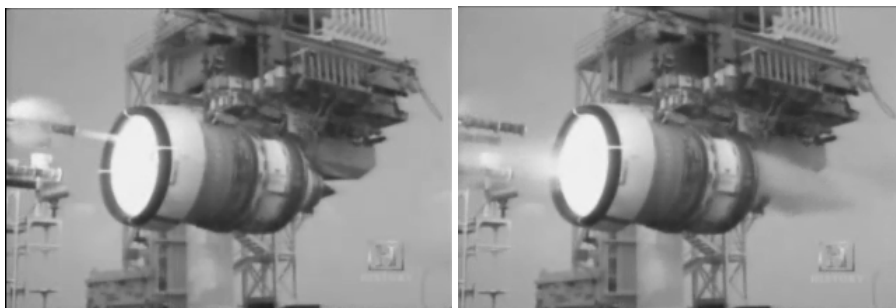
Rys. 11. Testowanie owiewki w myśliwcu F-16
źródło: zbiory autora.

Obecnie główne obszary zastosowań dział pneumatycznych to badania owiewek w myśliwcach wojskowych, szyb w kabinach samolotów cywilnych (rys. 11 i 12). Testom poddawane są także elementy poszycia, skrzydeł i ustereżenia [10].



Rys. 12. Testowanie szyby kabiny pilotów w samolocie AN-72
Źródło: zbiory autora.

Najistotniejsze są jednak testy silników turbinowych. General Electric na stanowiskach znajdujących się w centrum badawczym Peebles Test Operation w Ohio prowadzi badania z zastosowaniem wielolufowego systemu miotającego. System umożliwia miotanie ładunków wodnych oraz innych wielu obiektów jednocześnie, imitując pojawienie się stada ptaków, gradu lub ulewnych opadów deszczu (rys. 13).



Rys. 13. Testowanie silnika za pomocą wielolufowego systemu miotającego ładunki wodne
Źródło: zbiory autora.

W Polsce, Instytut Lotnictwa jako jedyny posiada mobilne stanowisko do prowadzenia prób uderzeniowych realizowanych z prędkościami poniżej 300 km/h. Badania prowadzone z zastosowaniem istniejącego stanowiska nie umożliwiają, ze względu na ograniczone możliwości energetyczne, prowadzenia testów z obiektami o rozmiarach i masie zbliżonej do ptaków oraz większych brył kamiennych lub lodowych miotanych z prędkościami okołodźwiękowymi.

W latach 90. w Instytucie Lotnictwa w Warszawie zbudowano działko pneumatyczne kalibru 127 mm w związku z realizacją programu Iryda. Działko było przeznaczone do testowania silnika K-15. Jednak ze względu na zaniechanie programu badawczego system uległ całkowitemu zniszczeniu.

Wnioski

W ostatnim dwudziestoleciu liczba kolizji statków powietrznych z ptakami zwiększyła się pięciokrotnie, zaś liczba wszelkich incydentów lotniczych z udziałem ptactwa w tym czasie wzrosła do ponad 100 tys. zarejestrowanych zdarzeń. Najbardziej niebezpieczne są kolizje zaistniałe na dużych wysokościach, gdzie przemieszczają się tylko duże, ciężkie ptaki, a statki powietrzne rozwijają największe prędkości rejsowe.

Aby zwiększać odporność statków powietrznych na kolizję z ptakami, niezbędny jest rozwój doświadczalnych metod badawczych, pozwalających na odtwarzanie, symulowanie i rejestrację zachodzących zjawisk. Pneumatyczne systemy miotające stanowią podstawowe instrumentarium pozwalające na bezpieczne prowadzenie badań zderzeniowych w skali rzeczywistej. Ich rozwój jest ściśle związany ze stale poszerzonym zakresem wymagań normatywnych oraz powstawaniem nowych rozwiązań konstrukcyjnych wymagających prowadzenia nowych rodzajów badań. Systemy miotające przyczyniają się także do lepszego poznania interakcji pomiędzy samolotem a obiektem znajdującym się na torze kolizyjnym. Uzyskane rezultaty umożliwiają weryfikację nowych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych oraz pomagają w budowie doskonalszych modeli cyfrowych stosowanych w badaniach numerycznych prowadzonych z zastosowaniem metody elementów skończonych.

Niezwykle skuteczne w poznawaniu zjawiska i poszukiwaniu nowych rozwiązań jest połączenie badań zderzeniowych z szybkimi, cyfrowymi metodami rejestracji obrazu oraz szybkimi, tensometrycznymi technikami pomiaru odkształceń. Analiza zderzenia zarejestrowanego z rozdzielczością 10 000 klatek/s pozwala na bardzo precyzyjną obserwację badanej konstrukcji i miotanego obiektu. Pneumatyczne systemy miotające pozwalają na uzyskiwanie powtarzalnych parametrów próby, niemożliwych do precyzyjnego odtwarzania innymi metodami. W połączeniu z szybkimi technikami rejestracji danych, parametry energetyczne zderzenia mogą być określane z bardzo wysoką dokładnością. Istnieje zatem możliwość prowadzenia analizy statystycznej uzyskanych wyników badań.

Zderzenia z ptakami są problemem dotyczącym nie tylko transportu lotniczego. Także w transporcie lądowym coraz wyższe prędkości szybkiej kolei oraz przeszklone czołowe powierzchnie współczesnych autobusów stanowią źródło poważnych zagrożeń bezpieczeństwa w przypadku kolizji z ptakiem.

Bibliografia

1. <http://lotniczapolska.pl/Bird-strike-niebezpieczne-kolizje-w-powietrzu,9992>.
2. Bird Strike Damage&Windshield Bird Strike Final Report. European Aviation Safety Agency 2009.
<http://www.easa.europa.eu/rulemaking/docs/research/Final%20report%20Bird%20Strike%20Study.pdf>
3. Nalepa P.: Zderzenia statków powietrznych z ptakami. Seminarium dyplomowe 2001/2002, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa.
4. Szczeciński S., Balicki W., Głowacki P.: Uszkodzenia silników turbiniowych wywołane zderzeniami z ptakami. Przegląd Sił Powietrznych 2009/2, s. 15÷21.
5. Cleary E.: Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States 1990-2006. Federal Aviation Administration National Wildlife Strike Database, No. 13, July 2007.
6. Cleary E., et al.: Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States 1990–2006, Federal Aviation Administration National Wildlife Strike Database, No. 13, July 2007.
7. Chevrolet D., Audic S., J. Bonini Bird Impact Analysis on a Bladed Disk. <http://ftp.rta.nato.int/public//PubFullText/RTO/MP/RTO-MP-089///MP-089-31.pdf>.
8. Shorr B., Mel'nikova G., Tishchenko N.: Numerical and experimental analysis of a large bird impact on fan blades for the certification purpose. http://www.int-birdstrike.org/Athens_Papers/IBSC27%20WPVII-3.pdf.
9. Cheng-Ho Tho Smith M.: Accurate bird strike simulation methodology for ba609 tiltrotor. http://www.vtol.org/f64_bestPapers/bestPaper.pdf.
10. Ubels L.C., Johnson A.F., Gallard J.P., Sunaric M.: Design and testing of a composite bird strikeresistant leading edge. April 2003 National Aerospace Laboratory NLR. <http://www.nlr.nl/smartsite.dws?id=2857>.
11. Reed J.: Further Discussion of Bird Strike Design Issues for Engines with Obscured Fans. <http://digitalcommons.unl.edu/birdstrike2007/14/>.
12. Duck! Incoming! Birds play chicken with Air Force jets
<http://www.af.mil/news/airman/0296/duck.htm>.

Recenzent:

Adam WIŚNIEWSKI

The safety of aircraft in the aspect of the danger of collision with birds**Key words**

Collisions with birds, pneumatic gun, bird test.

Summary

The article discusses the problems related to the threats for the safety of the air transport, emerging from the collisions of the aircraft with birds during flight. The statistical data is presented and the costs resulting from such collisions. The technical consequences of collisions for selected construction elements are also shown. An analysis of the experimental methods and testing systems used for simulation and reconstruction the construction elements of the aircraft due to collisions with birds is also presented.

