

Andrzej ZBROWSKI, Szymon ZACHARSKI

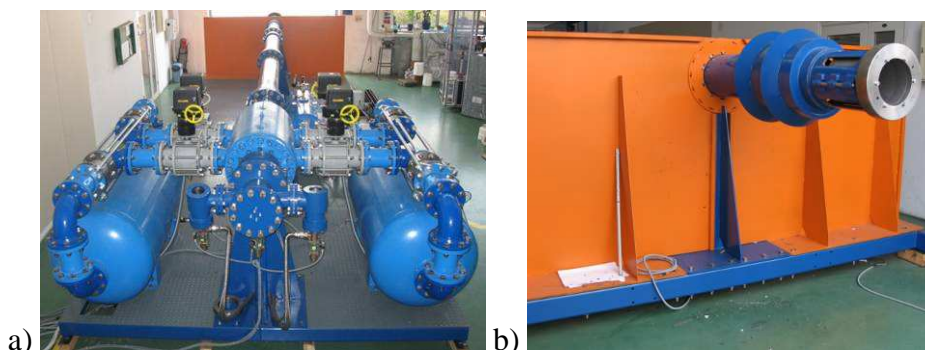
URZĄDZENIE WYLOTOWE W ARMACIE PNEUMATYCZNEJ DO TESTÓW KONSTRUKCJI LOTNICZYCH

Streszczenie

W artykule zaprezentowano konstrukcję oraz badania urządzenia wylotowego zastosowanego w dziale pneumatycznym przeznaczonym do wykonywania testów zderzeniowych konstrukcji lotniczych. Dział pneumatyczny służy do miotania obiektów symulujących ptaki w celu zderzenia z elementami konstrukcji płatowców lub silników napędowych. Urządzenie wylotowe prezentowane w artykule ma za zadanie uwolnić pocisk osadzony w sabocie zapewniając wymagany stopień fragmentacji sabota oraz właściwą trajektorię lotu pocisku. Przedstawiono różne konstrukcje urządzenia wylotowego oraz sabota, w którym umieszczane są miotane obiekty.

WSTĘP

Jednym z podstawowych rodzajów badań konstrukcji lotniczych są testy odporności na uderzenie z obcym obiektem (FOD - *foreign object damage*). Przepisami określającymi wymagania obowiązujące dla konstrukcji lotniczych są amerykańskie przepisy CFR 14 oraz ich europejski odpowiednik EASA CS 14 [8]. Wymagania konstrukcji lotniczych w zakresie odporności odnoszą się głównie do odporności na zderzenie z ptakiem. Różne kategorie samolotów wymagają innych mas i prędkości miotanych obiektów oraz innych elementów konstrukcyjnych podlegających badaniom [2, 9]. W Instytucie Technologii Eksploatacji - Państwowym Instytucie Badawczym zaprojektowano i wykonano system do badań odporności na zderzenie umożliwiający miotanie obiektów z prędkościami pod- i naddźwiękowymi z możliwością doboru parametrów energetycznych [8, 10, 11].



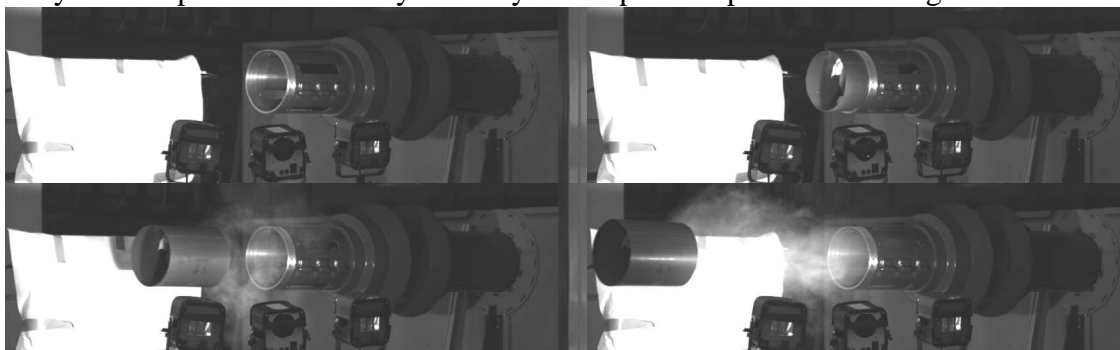
Rys. 1. Prototyp działa pneumatycznego: a) widok z tyłu, b) widok z przodu

Źródło: Kolekcja autora

Głównym elementem systemu badawczego jest wyrzutnik ładunków. Miotanie ładunków jest realizowane za pomocą działa pneumatycznego o kalibrze 250 mm (rys. 1). Działo umożliwia strzelanie ładunkami pełnokalibrowymi oraz podkalibrowymi.

Miotany obiekt jest umieszczony w sabocie ładowanym do lufy działa przez boczny port ładowania. Dla pocisków podkalibrowych, po uruchomieniu mechanizmu spustowego, sabot z ładunkiem jest rozpędzany w lufie a następnie zatrzymywany i niszczone u wylotu lufy w specjalnym urządzeniu wylotowym. Ładunek po bezwładnościowym opuszczeniu gniazda w sabocie przemieszcza się w kierunku badanego elementu konstrukcyjnego samolotu.

W przypadku pocisków pełnokalibrowych sabot nie jest zatrzymywany i niszczone w urządzeniu wylotowym, ale uderza razem z ładunkiem w badany element konstrukcyjny [4]. Na rysunku 2 przedstawiono wylot z lufy działa pocisku pełnokalibrowego.



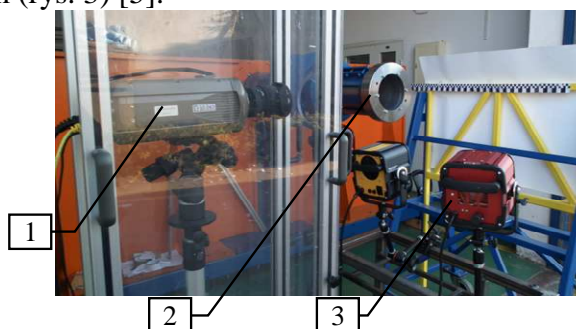
Rys. 2. Wylot pocisku pełnokalibrowego z lufy (czas naświetlania 40 μ s, prędkość rejestracji 10000 klatek na sekundę).

Źródło: Kolekcja autora

Celem działań badawczych i rozwojowych przedstawionych w artykule było opracowanie specjalnej konstrukcji urządzenia wylotowego wraz z odpowiednim rozwiązaniem sabota zawierającego miotany pocisk. Podstawową trudność stanowiły bardzo wysokie parametry energetyczne działa wynikające z kalibru 250 mm oraz maksymalnego ciśnienia roboczego wynoszącego 3 MPa.

1. STANOWISKO BADAWCZE

W związku z tym, że większość procesów decydujących o poprawności działania opracowanego systemu działa pneumatycznego ma charakter dynamiczny, badania weryfikacyjne urządzenia wylotowego oraz pozostałych podzespołów były prowadzone z wykorzystaniem szybkiej kamery cyfrowej rejestrującej do 0,5 miliona klatek na sekundę na stanowisku badawczym (rys. 3) [5].



Rys. 3. Stanowisko badawcze do obserwacji wylotu pocisku z lufy: 1) kamera Phantom V310, b) urządzenie wylotowe, c) oświetlacze halogenowe.

Źródło: Kolekcja autora

Szybka technika rejestracji obrazu umożliwiła ocenę skuteczności urządzenia wylotowego, pomiar prędkości pocisku oraz rejestrację trajektorii lotu.

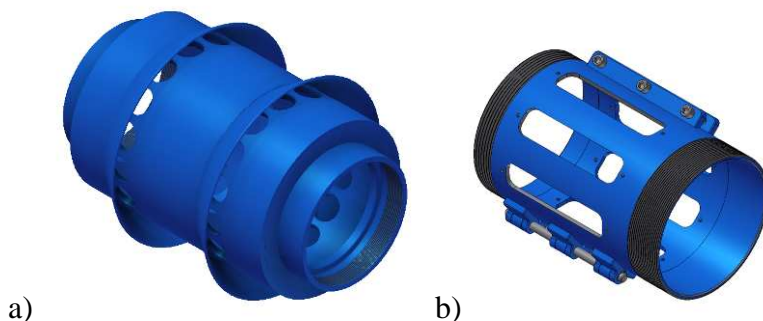
2. URZĄDZENIE WYLOTOWE

Urządzenie wylotowe ma za zadanie uwolnić miotany ładunek od sabota oraz zapewnić fragmentację i maksymalne rozproszenie szczątków płaszcza prowadzącego i wypełniacza stanowiących elementy konstrukcyjne pocisku. Fragmentacja i rozproszenie są niezbędne aby ograniczyć zakłócenia wywołane potencjalną kolizją odłamków sabota z obiektem badanym. Sabot musi być zniszczony w sposób niewywołujący zakłóceń w trajektorii lotu pocisku. Urządzenie wylotowe jest elementem ściśle dopasowanym do konstrukcji sabota.

Istniejące rozwiązania urządzeń wylotowych stosowanych w armatach pneumatycznych przeznaczonych do miotania obiektów imitujących ptaki, składają się ze zderzaka w postaci stalowej płyty z otworem, mocowanej do lufy lub postumentu armaty. Otwór jest współśrodkowy z kanałem lufy i posiada średnicę mniejszą niż wewnętrzna średnica lufy. Płyta może być mocowana z zastosowaniem amortyzatorów sprężynowych, hydraulicznych lub pneumatycznych. Wokół otworu może znajdować się wystające obrzeże ułatwiające zatrzymanie sabota [1, 6]. Rozwiązania te są skuteczne jedynie w przypadku małych kalibrów i małej energii pocisku.

Podstawowym założeniem realizowanych prac było opracowanie urządzenia wylotowego nie posiadającego części ruchomych, łatwo montowanego bezpośrednio na lufie armaty w formie układu kompaktowego, umożliwiającego wielokrotne oddanie strzału o energii do 200 kJ.

W związku z przyjętymi założeniami podstawowy układ rozwiązania stanowi akcyjno – reakcyjny tłumik odrzutu (rys. 4a) wraz z łapaczem sabota (rys. 4b). Kompensator ma gwinty wewnętrzne umożliwiające osadzenie elementu na zakończeniu lufy i połączeniu z łapaczem.



Rys. 4. Urządzenie wylotowe: a - kompensator akcyjno - reakcyjny, b - łapacz sabota.

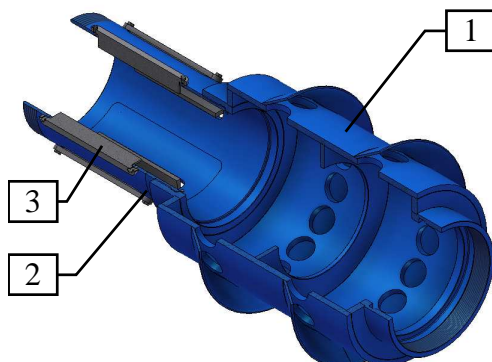
Źródło: Opracowanie własne

Łapacz jest dzielonym elementem rurowym o cylindrycznej powierzchni wewnętrznej. Uchylna pokrywa osadzona na zawiasach zamykana jest za pomocą połączeń śrubowych. Łapacz wzdłuż powierzchni bocznej ma wycięcia ułatwiające usunięcie szczątków rozbitego sabota. Konstrukcja łapacza zapewnia montaż różnego rodzaju elementów roboczych umożliwiających niszczenie sabota i uwalnianie miotanego pocisku.

Poniżej zaprezentowano wyniki badania skuteczności urządzenia wylotowego w zależności od zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego.

2.1. Urządzenie z nożami tnącymi

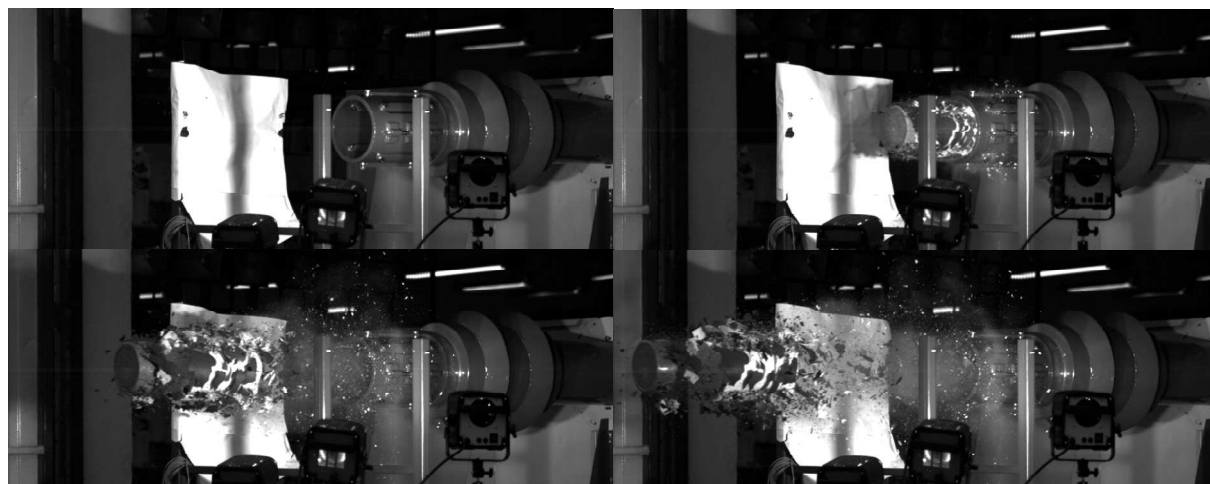
Pierwotna wersja urządzenia wylotowego (rys. 5) przewidywała zamontowanie w wycięciach powierzchni bocznej i pokrywy łapacza sabota sześciu noży tnących powodujących fragmentację sabota.



Rys. 5. Urządzenie wylotowe: 1 - kompensator akcyjno - reakcyjny, 2 - łapacz sabota, 3 - noże tnące

Źródło: Opracowanie własne

Badania prototypu pierwotnej wersji urządzenia wylotowego wykazały błędy w założeniach konstrukcyjnych. W wyniku kolizji z nożami sabot ulegał jedynie częściowej fragmentacji. Po wystrzale niezniszczone, zwarte pozostałości sabota o znacznej wielkości podążały za pociskiem co wpływało na zmianę trajektorii lotu ładunku oraz wprowadzało zakłócenia podczas kolizji badanego elementu konstrukcyjnego z ładunkiem (rys. 6).

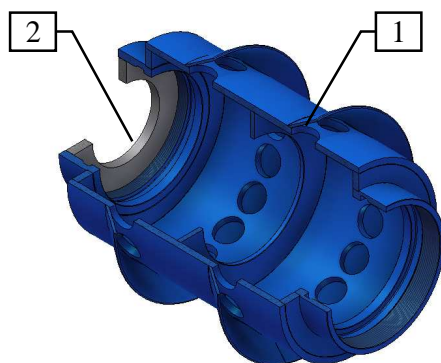


Rys. 6. Wylot pocisku podkalibrowego z urządzenia wylotowego z nożami tnącymi (czas naświetlania 40 μ s, prędkość rejestracji 8000 klatek na sekundę)

Źródło: Kolekcja autora

2.2. Urządzenie z tarczą blokującą

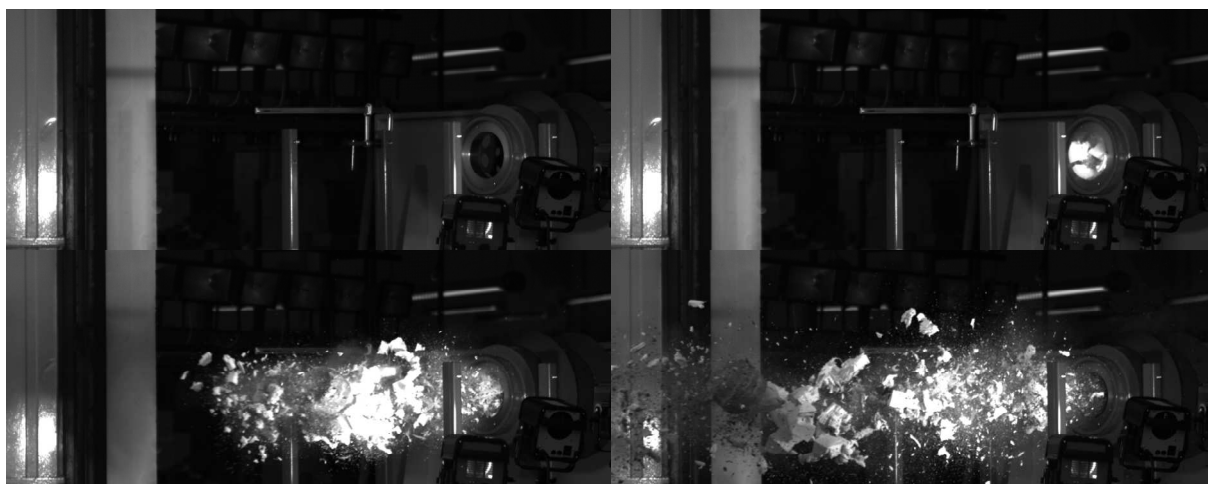
Kolejna wersja urządzenia wylotowego (rys. 7) przewidywała zastąpienie łapacza sabota tarczą blokującą zamontowaną na wylocie kompensatora.



Rys. 7. Urządzenie wylotowe: 1 - kompensator akcyjno - reakcyjny, 2 - tarcza blokująca

Źródło: Opracowanie własne

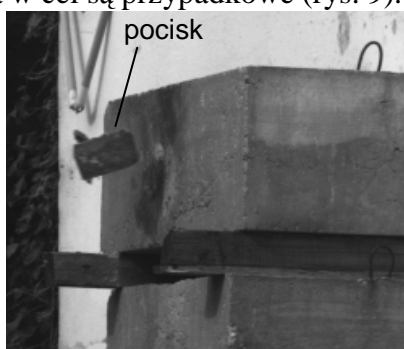
Zastosowanie tarczy blokującej, w wyniku zderzenia sabota z tarczą, zapewniło pełną fragmentację sabota ograniczając rozmiary pozostałości lecących w otoczeniu pocisku (rys. 8).



Rys. 8. Wylot pocisku podkalibrowego z urządzenia wylotowego z tarczą blokującą (czas naświetlania 40 μ s, prędkość rejestracji 8000 klatek na sekundę)

Źródło: Kolekcja autora

Pocisk uwolniony z sabota poruszał się jednak niestabilnie w otoczeniu dużej ilości drobnych szczątków wypełniacza tworzących chmurę obiektów. Kierunek lotu, pozycja uderzenia oraz miejsce uderzenia w cel są przypadkowe (rys. 9).



Rys. 9. Uderzenie pocisku w kulochwyt

Źródło: Kolekcja autora

2.3. Urządzenie z tuleją blokującą

Ostateczna wersja urządzenia wylotowego (rys. 10) pozwoliła rozwiązać problemy wynikające z poprzednich rozwiązań. Do kompensatora odrzutu dołączono łapacz sabota z tulejowym zderzakiem blokującym, służącym do rozbicia wystrzelianego sabota.



Rys.10. Urządzenie wylotowe: 1 - tłumik akcyjno-reakcyjny, 2 - łapacz sabota, 3 - tuleja blokująca.

Źródło: Kolekcja autora

Podczas strzału kompletny ładunek dociera do urządzenia wylotowego, w którym tuleja prowadząca sabota jest początkowo centrowana na tulei blokującej a następnie uderza o stopień oporowy znajdujący się na tulei. Zatrzymanie sabota w wyniku zaistniałego zderzenia, powoduje bezwładnościowe wyrzucenie pocisku, który opuszcza urządzenie wylotowe przemieszczając się dalej wewnątrz tulei centrującej. Tuleja prowadząca sabota ulega rozbiciu o stopień znajdujący się na tulei centrującej urządzenia wylotowego. Wypełniacz i dno sabota ulegają natomiast rozbiciu na czole tulei centrującej. Fragmenty tulei oraz wypełniacza wydostają się częściowo przez wycięcia znajdujące się w tulei łapacza oraz otworami reakcyjnymi w tłumiku. Elementy sabota zablokowane po wystrzale pomiędzy zewnętrzną ścianką tulei prowadzącej a wewnętrzną ścianką tulei łapacza sabota zostają usunięte po otwarciu pokrywy łapacza (rys. 11).



Rys. 11. Urządzenie wylotowe z otwartą pokrywą podczas usuwania pozostałości sabota.

Źródło: Kolekcja autora

W zastosowanej konfiguracji urządzenia wylotowego wystrzeliany pocisk leci stabilnie, w otoczeniu małej ilości rozdrobnionych szczątków sabota (rys. 12).



Rys. 12. Wylot pocisku podkalibrowego z urządzenia wylotowego (czas naświetlania 20 μ s, prędkość rejestracji 18000 klatek na sekundę)

Źródło: Kolekcja autora

3. SABOT

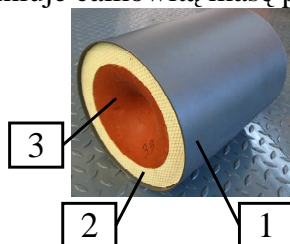
Równocześnie z pracami weryfikacyjnymi rozwiązania urządzenia wylotowego były prowadzone prace konstrukcyjne nad sabotem. Celem prac było umożliwienie transportowania pocisku podkalibrowego umieszczonego wewnątrz sabota w lufie wysokoenergetycznego działu pneumatycznego w taki sposób, żeby w urządzeniu wylotowym znajdującym się na końcu lufy było możliwe oddzielenie sabota od pocisku i łatwe zniszczenie sabota przez fragmentację.

Dotychczasowe rozwiązania pocisków stosowanych w armatach pneumatycznych przeznaczonych do miotania obiektów imitujących ptaki występują w formie kubka z dnem o średnicy zewnętrznej dopasowanej do lufy [3]. Kubek jest wykonywany ze stali lub aluminium. Pocisk w sabocie stabilizują kształtowo wypełniacze papierowe oraz tekstylne. Znane są także rozwiązania gdzie obiekt imitujący ptaka jest umieszczany w gnieździe wykonanym w piankowym sabocie o średnicy dopasowanej do lufy systemu miotającego [7].

Saboty metalowe mogą być wykorzystywane do miotania pocisków imitujących ptaki tylko w ograniczonym zakresie energetycznym systemu miotającego. Zbyt duża energia kinetyczna sabota spowodowałaby nieodwracalne, trwałe zniszczenie urządzenia wylotowego, oddzielającego sabot od miotanego pocisku.

Rozwiązania, w których pocisk jest umieszczany w gnieździe sabota piankowego ze względów wytrzymałościowych nie nadają się do przenoszenia dużych przeciążeń występujących w momencie wystrzału w systemach wysokoenergetycznych nadających pociskom duże prędkości i duże przyspieszenia.

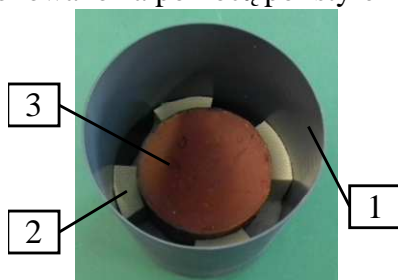
W pierwszej opracowanej wersji sabot (rys. 13) został zaprojektowany w postaci cienkościennej tulei z denkiem, wykonanej z tworzywa sztucznego (PCV). Wewnątrz tulei znajdują się elementy wypełniacza otaczające pocisk. Jako wypełniacz zastosowano polistyren ekstrudowany. W przypadku pocisków pełnokalibrowych wewnątrz sabota jest umieszczany rdzeń którego masa definiuje całkowitą masę pocisku pełnokalibrowego.



Rys. 13. Sabot z pociskiem woskowym: 1 - tuleja prowadząca, 2 - wypełniacz, 3 - pocisk woskowy.

Źródło: Kolekcja autora

W drugiej wersji rozwiązania, w celu zmniejszenia ilości wypełniacza, pocisk umieszczony na dnie sabota zablokowano za pomocą polistyrenowych klinów (rys. 14).



Rys. 14. Sabot z pociskiem woskowym: 1 - tuleja prowadząca, 2 - wypełniacz, 3 - pocisk woskowy

Źródło: Kolekcja autora

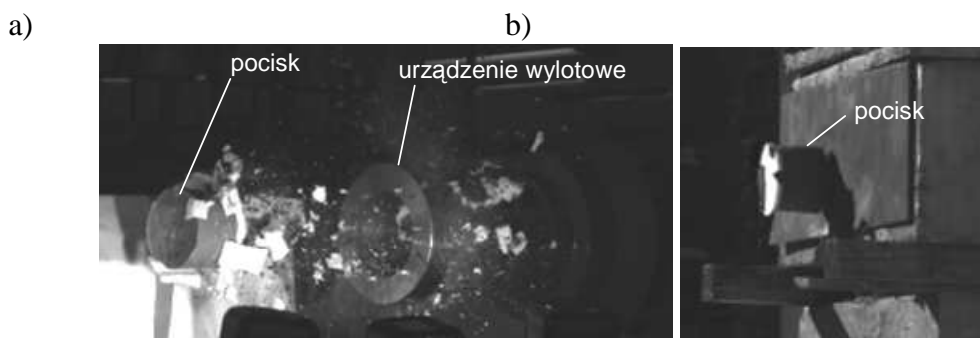
Obrazy zarejestrowane za pomocą szybkiej kamery dokumentują prawidłowy przebieg procesu uwalniania pocisku występujący w obu rozwiązaniach. Ładunek po uwolnieniu nie zmienia pozycji i stabilnie dociera do celu w prawidłowym ustawieniu. Należy jednak zauważyć, że pocisk uwolniony z sabota, w którym znajdował się na czole ładunku, rozciąga za sobą szeroki stożek ze znaczną ilością dużych odłamków wypełniacza (rys. 15).



Rys. 15. Badania sabota, w którym pocisk znajduje się na czole ładunku: a) uwolnienie pocisku podkalibrowego z sabota (widoczne liczne i duże fragmenty wypełniacza - czas naświetlania 40 μ s, prędkość rejestracji 8000 klatek na sekundę), b) dołot pocisku podkalibrowego do kulochwytu (czas naświetlania 60 μ s, prędkość rejestracji 7500 klatek na sekundę),

Źródło: Kolekcja autora

Rozwiązanie, w którym pocisk znajduje się na dnie sabota, ze względu na mniejszą objętość wypełniacza charakteryzuje się znacznie mniejszą ilością odłamków w stożku (rys. 16).



Rys. 16. Badania urządzenia wylotowego przeznaczonego do rozbijania sabota, w którym pocisk znajduje się na dnie sabota: a) uwolnienie pocisku podkalibrowego z sabota (czas naświetlania 10 μ s, prędkość rejestracji 1800 klatek na sekundę), b) dołot pocisku podkalibrowego do kulochwytu (czas naświetlania 40 μ s, prędkość rejestracji 7500 klatek na sekundę),

Źródło: Kolekcja autora

Jest to cecha korzystna i decydująca o dalszym stosowaniu jedynie tej wersji konstrukcyjnej pocisku w sabocie. Konstrukcja sabota oraz urządzenia wylotowego umożliwia pełną fragmentację oraz skuteczne rozpraszanie szczątków tulei prowadzącej i wypełniacza, co przyczynia się do niewielkiej liczby niepożądanych odłamków podążających w stożkowym strumieniu powietrza rozciągającym się za wystrzelonym pociskiem podkalibrowym.

PODSUMOWANIE

W niskoenergetycznych urządzeniach małokalibrowych pocisk jest uwalniany poprzez zatrzymanie sabota w lufie. W związku z tym, że prezentowane działo pneumatyczne umożliwia nadawanie kilkukilogramowym obiektom prędkości naddźwiękowych należało opracować rozwiązanie, które niszczy sabot nie powodując przy tym uszkodzenia lufy, zapewniające lot pocisku bez zakłóceń w postaci uszkodzonych resztek sabota i wypełniacza.

Zaletą opracowanego urządzenia wylotowego jest zatrzymywanie i niszczenie poprzez fragmentację sabota, w którym znajduje się pocisk podkalibrowy imitujący ptaka. Urządzenie umożliwia oddzielenie pocisku od sabota w sposób nie powodujący zakłóceń w ruchu pocisku. W wyniku oddzielenia realizowanego z zastosowaniem prezentowanego rozwiązania, pocisk opuszczający sabot w sposób bezwładnościowy nie zmienia swojej prędkości ani kierunku ruchu. Urządzenie wylotowe umożliwia fragmentację sabota na drobne odłamki i skuteczne rozproszenie ich na boki, w taki sposób, że ilość odłamków docierających do celu jest bardzo mała. Ponadto duży stopień fragmentacji sprawia, że energia kinetyczna odłamków ze względu na ich małą masę jest niewielka i nie powoduje zakłóceń w badaniach zderzeniowych pocisku z testowanym obiektem technicznym.

Opracowana konstrukcja sabota umożliwia stosowanie prezentowanego układu w lufowych, pneumatycznych systemach miotających charakteryzujących się szczególnie dużymi możliwościami energetycznymi. Konstrukcja sabota umożliwia łatwe zniszczenie płaszcza oraz wypełniacza w wyniku zderzenia z przeszkodą w urządzeniu wylotowym w sposób charakteryzujący się dużym stopniem fragmentacji elementów płaszcza i wypełniacza. Wykorzystanie elementów z tworzyw sztucznych umożliwia zmniejszenie masy całkowitej ładunku co przyczynia się do uzyskiwania większych prędkości wylotowych i większej energii kinetycznej pocisku znajdującego się wewnątrz sabota. Płaszcz z tworzywa sztucznego zmniejsza tarcie ładunku o ścianki lufy i ułatwia zniszczenie w urządzeniu wylotowym.

THE MUZZLE IN THE PNEUMATIC GUN FOR TESTING THE AVIATION CONSTRUCTIONS

Abstract

The article presents the construction and testing of the muzzle used in the pneumatic gun intended for impact testing the aviation construction. The pneumatic gun is intended for throwing of objects, that simulate birds, at the elements of the construction of the planes and engines. The muzzle presented in the article is supposed to extract the missile located in the clog with keeping the proper trajectory of the missile and fragmentation of the clog. Different solutions of the muzzle are presented as well as different constructions of the clog that holds the missile.

BIBLIOGRAFIA

1. http://www.dlr.de/bk/DesktopDefault.aspx/tabid-2488/3746_read-10146/gallery-1/gallery_read-Image.35.3906/
2. <http://www.easa.europa.eu/agency-measures/certification-specifications.php>
3. <http://www.nasa.gov/centers/wstf/laboratories/hypervelocity/gasguns.html>
4. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/news/nrc/2007/01/07/bird-plane.html>
5. Józwik W., Zbrowski A.: *Determination of the shot energy characteristics of the pneumatic gun by means of high speed imaging metod.* THE 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE MECHATRONIC SYSTEMS AND MATERIALS 2012. 8-13 July, 2012 Białystok. Abstract book, str. 191.
6. *Nonaerodynamic sabot stripper for research gas gun.* Mock W.; Holt W. H., Review of Scientific Instruments, Volume 65, Issue 7, July 1994, pp.2364-2366.
7. Plassard F., Mespoulet J., Hereil P., *Analysis of a single stage compressed gas launcher behaviour: from breech opening to sabot separation,* 8th European LS-DYNA Users Conference, Strasbourg - May 2011.
8. Socha G., Szałkowski S., Zbrowski A.: *Nowy system do badania odporności na zderzenie elementów konstrukcji samolotów i pojazdów lądowych zainstalowany w Instytucie Lotnictwa.* XVIII Seminarium NIENISZCZĄCE BADANIA MATERIAŁÓW. Zakopane, 13-16 marca 2012, str. 7-17.
9. Zbrowski A.: *Bezpieczeństwo samolotów w aspekcie zagrożenia kolizją z ptakami.* Problemy Eksploatacji 2012 nr 2, str. 215-228.
10. Zbrowski A. Majcher A.: *Mechatronic system for impact tests for aero structures.* THE 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE MECHATRONIC SYSTEMS AND MATERIALS 2012. 8-13 July, 2012 Białystok. Abstract book, str. 66.
11. Zbrowski A.: *Badania prototypu działa pneumatycznego* – Problemy Eksploatacji 2011 nr 3, str. 217-234.

Autorzy:

dr inż. Andrzej ZBROWSKI - Instytut Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu;
mgr inż. Szymon ZACHARSKI - Instytut Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu