

Andrzej ZBROWSKI

Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

DZIAŁO PNEUMATYCZNE DO TESTÓW ZDERZENIOWYCH

Słowa kluczowe

Testy zderzeniowe, kolizje z ptakami, pneumatyka, działło pneumatyczne.

Streszczenie

W artykule przedstawiono strukturę opracowanego pneumatycznego systemu miotającego, przeznaczonego do prowadzenia badań zderzeniowych wykonywanych przede wszystkim w przemyśle lotniczym. Rozwiązanie jest przeznaczone do realizacji badań eksperymentalnych, umożliwiających symulowanie i odtwarzanie zjawiska zderzenia statku powietrznego lub innego szybko poruszającego się środka transportu z ptakami lub innymi ciałami stałymi. System opracowano w formie działła pneumatycznego o kalibrze 250 mm. Kaliber oraz parametry energetyczne umożliwiają miotanie obiektów o masie kilku kilogramów z prędkościami wiernie odzwierciedlającymi kolizję samolotu nawet z dużym, kilkukilogramowym ptakiem. W artykule przedstawiono procedury wykonawcze oraz budowę i funkcjonowanie poszczególnych elementów systemu.

Wprowadzenie

Testy zderzeniowe prowadzone w przemyśle lotniczym, określane powszechnie jako tzw. „test ptaka”, wymagają stosowania urządzeń miotających, zdolnych rozpędzić ładunki do prędkości, jakie statki powietrzne osiągają w czasie startu i lądowania oraz podczas wysokości rejsowych [1, 2]. W praktyce

oznacza to znaczą rozpiętość w zakresie od prędkości naddźwiękowych (myśliwce wojskowe), okołodźwiękowych (samoloty transportowe), aż do poddźwiękowych (start i lądowanie). Dodatkową komplikacją jest zróżnicowana masa miotanego obiektu, która musi korespondować z masą lekkich ptaków spotykanych na małych wysokościach oraz masą dużych i ciężkich ptaków, które potrafią przemieszczać się na wysokościach nawet kilku tysięcy metrów [3–7].

Niezwykle istotne jest uzyskiwanie powtarzalnych parametrów energetycznych każdej próby, tak aby na podstawie zarejestrowanych rezultatów możliwa była analiza statystyczna.

1. System badawczy

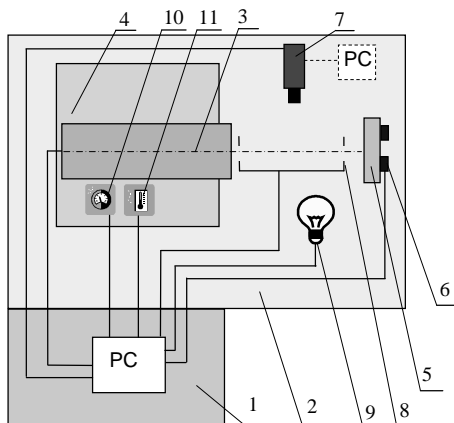
Spełnienie wymagań dotyczących parametrów energetycznych jest możliwe z zastosowaniem układów pneumatycznych. Wartość ciśnienia oraz masa miotanego obiektu w bezpośredni sposób znajdują przełożenie na prędkość wylotową ładunku. System pneumatyczny, w odróżnieniu do systemów wykorzystujących materiały wysokoenergetyczne, charakteryzuje się większą elastycznością kształtowania parametrów próby i zwiększonym bezpieczeństwem obsługi. Bardzo istotny jest również fakt niewielkiej odległości badanego obiektu od urządzenia miotającego. W przypadku stosowania materiałów wysokoenergetycznych gazy wylotowe mogą mieć niekorzystny wpływ zarówno na miotany ładunek, jak i badany element konstrukcyjny.

W celu kompleksowej realizacji testów zderzeniowych opracowano strukturę systemu badawczego przeznaczonego do realizacji testów zderzeniowych z możliwością rejestracji zjawiska za pomocą zsynchronizowanego toru wizyjnego i toru pomiaru siły zderzenia.

Opracowany system składa się z pneumatycznego układu miotania obiektów, tensometrycznego układu do pomiaru odkształceń konstrukcji i wyznaczenia siły uderzenia, optycznego układu pomiarowego do wyznaczenia prędkości miotanych obiektów oraz układu wizyjnego rejestracji zjawiska (rys. 1). Układ bramek z fotokomórkami umożliwia niezależny pomiar prędkości średniej na długości odcinka pomiarowego. Układ wizyjny składający się z szybkiej kamery jest przeznaczony do rejestracji przebiegu zderzenia i pomiaru prędkości chwilowej tuż przed przeszkodą. W celu zapewnienia właściwych warunków ekspozycji zdjęć rejestrowanych z prędkością dochodzącą do 10 000 klatek/s, niezbędne jest stosowanie zestawu oświetlającego dużej mocy. Nadrzędny system sterowania synchronizuje pracę wszystkich urządzeń systemu badawczego.

Struktura systemu badawczego jest zbudowana zgodnie z warunkami zapewniającymi właściwy poziom bezpieczeństwa obsługi. Działo pneumatyczne, obiekt badany, układ wizyjny, oświetleniowy i tensometryczny muszą być zainstalowane w specjalnie przeznaczonym do tego celu pomieszczeniu, zapewniającym

odpowiednie warunki bezpieczeństwa biernego, właściwą wentylację oraz stabilne parametry termiczne.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – pomieszczenie sterownicze, 2 – pomieszczenie badawcze, 3 – układ miotania obiektów, 4 – platforma nośna, 5 – badany obiekt, 6 – tensometry, 7 – kamera do rejestracji zdarzenia, 8 – układ pomiaru prędkości, 9 – system oświetlenia, 10 – pomiar ciśnienia czynnika roboczego, 11 – pomiar temperatury czynnika roboczego

Osobne pomieszczenie jest przeznaczone do obsługi systemu sterowania i uruchamiania działa pneumatycznego za pomocą komputera. Pomieszczenie obsługi chroni operatora przed niebezpiecznymi skutkami badań i jednocześnie zapewnia swobodną obserwację stanowiska przez odpowiednio wytrzymałe okno wizjera.

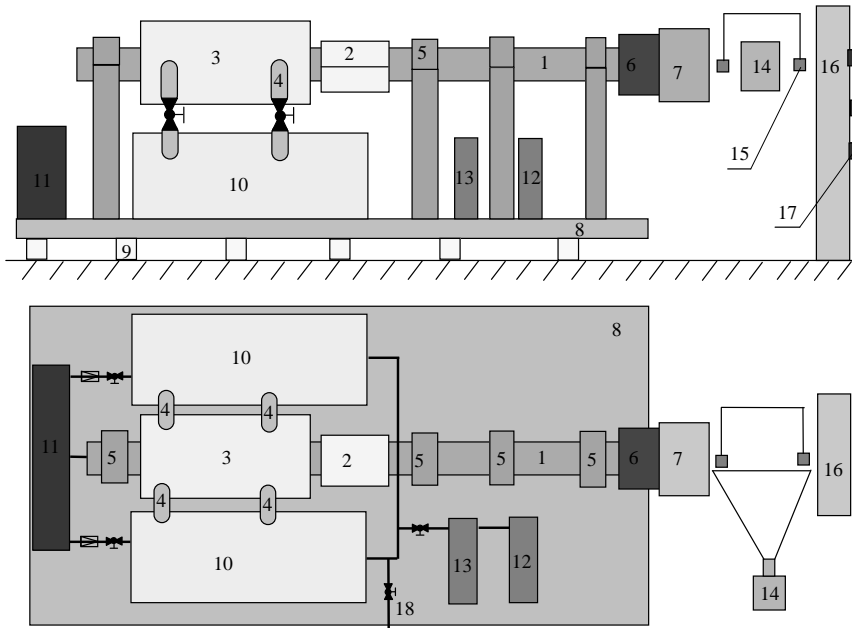
2. Działo pneumatyczne

Głównym elementem systemu badawczego jest wyrzutnik ładunków. Miotanie ładunków jest realizowane za pomocą działa pneumatycznego o kalibrze 250 mm. Miotany obiekt jest umieszczany w sabocie ładowanym do lufy działa. Po uruchomieniu mechanizmu spustowego sabot jest zatrzymywany lub niszczone u wylotu lufy w specjalnym urządzeniu wylotowym, zaś ładunek, po opuszczeniu gniazda w sabocie, przemieszcza się w kierunku badanego elementu.

Przyjęto następujące podstawowe parametry działa pneumatycznego o kalibrze 250 mm [8]:

- | | |
|---|--------------------------------|
| – masa pocisku z sabotem | $m_{\max} = 10 \text{ kg}$, |
| – maksymalna prędkość wylotowa pocisku | $v_{\max} = 680 \text{ m/s}$, |
| – ciśnienie dopuszczalne urządzenia | $p_{\max} = 4 \text{ MPa}$, |
| – długość lufy całkowita | $l_1 = 9 \text{ m}$, |
| – nominalna długość drogi pocisku w lufie | $l_2 = 8 \text{ m}$, |
| – objętość akumulatora ciśnienia | $V_1 = 2 \text{ m}^3$. |

Działo pneumatyczne (rys. 2) jest zasilane sprężonym powietrzem magazynowanym w dwóch zbiornikach wysokociśnieniowych o pojemności 1 m^3 każdy. Maksymalne ciśnienie robocze działa wynosi $3,5 \text{ MPa}$.



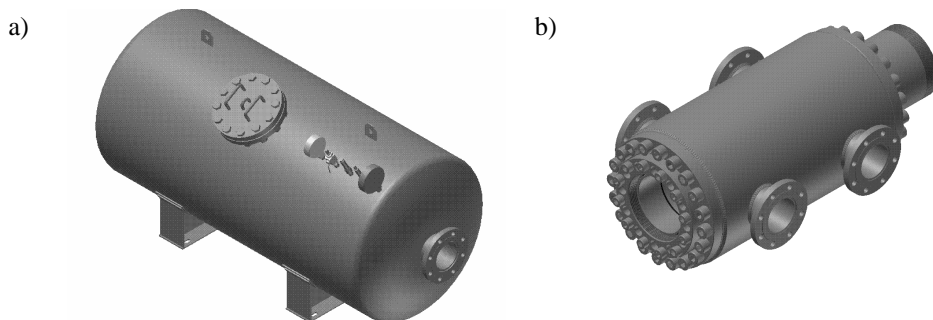
Rys. 2. Schemat działa pneumatycznego: 1 – lufa, 2 – ładownica, 3 – kolektor, 4 – rury zasilające, 5 – wsporniki lufy, 6 – kompensator odrzutu, 7 – łapacz sabota, 8 – łożo, 9 – wibroizolatory, 10 – zbiorniki wysokiego ciśnienia, 11 – zbiornik niskiego ciśnienia, 12 – kompresor, 13 – osuszacz, 14 – kamera, 15 – fotokomórki, 16 – badany obiekt, 17 – tensometry, 18 – port ładowania z butli

Zbiornik akumulatora ciśnienia (rys. 3a), ze względu na wymaganą objętość (1000 l) oraz ciśnienie dopuszczalne (4 MPa) zaprojektowano z uwzględnieniem wymagań Urzędu Dozoru Technicznego i otrzymano zezwolenie dopuszczające zbiornik do eksploatacji.

Obie dennice zbiornika mają króćce do zasilania kolektora. W zbiorniku znajduje się otwór spustowy do usuwania kondensatu, okno rewizyjne oraz zespół króćców do przyłączania czujników pomiarowych.

Powietrze z akumulatorów jest doprowadzone do kolektora (rys. 3b). Wewnątrz kolektora zabudowano system spustowy sterowany pneumatycznie. Kolektor jest zbiornikiem o specjalnej dwupłaszczowej konstrukcji. Umożliwia on równoczesne podłączenie czterech rurociągów zasilających. Płaszcz wewnętrzny jest zarazem komorą zamkową mechanizmu spustowego. Zbiornik kolektora ze względu na wymaganą objętość (225 l) oraz dopuszczalne ciśnienie (4 MPa),

również zaprojektowano z uwzględnieniem wymagań Urzędu Dozoru Technicznego i otrzymano zezwolenie dopuszczające zbiornik do eksploatacji.

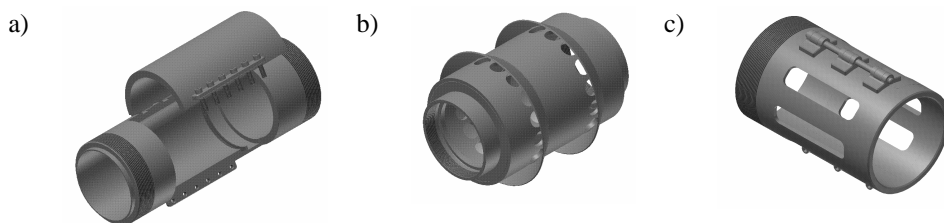


Rys. 3. Zbiorniki pneumatyczne: a) zbiornik akumulatora ciśnienia (1000 l), b) zbiornik kolektora (225 l)

Lufa działa jest wykonana z honowanych rur stosowanych w konstrukcji siłowników hydraulicznych. Ze względów montażowych została podzielona na 3 segmenty połączone kołnierzowo.

Ładowanie działa umożliwia port ładownicy stanowiący integralne przedłużenie kanału lufy. W ładownicy jest umieszczany sabot z obiektem miotającym. Ładownicę opracowano jako dzielony segment rurowy (rys. 4a). Jej pokrywa (na zawiasach) zamykana jest za pomocą połączeń śrubowych. Końce ładownicy mają gwint umożliwiającą osadzenie kołnierzy łączonych ładownicą z lufą i zbiornikiem kolektora.

Na końcu lufy zamontowano akcyjno-reakcyjny kompensator odrzutu zakończony chwytaczem sabota. Kompensator (rys. 4b) ma gwinty wewnętrzne umożliwiające osadzenie elementu na zakończeniu lufy i połączeniu z łapaczem sabota.



Rys. 4. Elementy lufy: a) ładownica, b) tłumik odrzutu, c) łapacz sabota

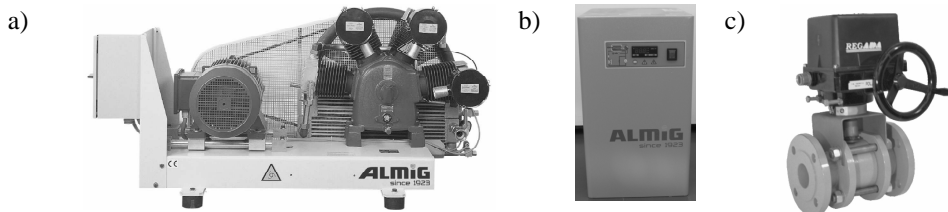
Łapacz sabota (rys. 4c) jest wkręcany w gwintowane przyłącze kompensatora odrzutu. Łapacz jest dzielonym elementem rurowym o stożkowej powierzchni wewnętrznej. Wzdłuż powierzchni bocznej ma wycięcia wspomagające

przechwycenie sabota. Pokrywa na zawiasach zamykana jest za pomocą połączeń śrubowych.

Układ chwytacz–kompensator–lufa–ładownica–kolektor mają wspólną oś symetrii i stanowią jeden podzespół wsparty na wspornikach ustalających wysokość osi lufy.

Elementem bazowym działa jest łożo przenoszące obciążenie lufy, wsporników i odrzutu. Na łożu zamocowane są wsporniki lufy, zbiorniki akumulatorów, zbiornik niskiego ciśnienia oraz kompresor z osuszaczem. Łoże w formie platformy, z ramą wykonaną jako kratownica profili zamkniętych, pokryte jest blachą ryflowaną w celu umożliwienia swobodnego przemieszczania się operatora po platformie. Z uwagi na to, że za tłumienie odrzutu jest odpowiedzialna masa systemu, wynosząca 20 t, łożo posadowiono bezpośrednio na wibroizolatorach, bez stosowania układu oporopowrotnego. Zaletą tego rozwiązania jest brak ruchu wstecznego i stała odległość lufy od celu.

Instalacja pneumatyczna jest dostosowana do maksymalnego ciśnienia roboczego wynoszącego 4 MPa. Ładowanie akumulatorów można wykonywać za pomocą butli ze sprężonym powietrzem lub azotem, podłączanych do portu ładowania. Możliwe jest także wykorzystanie wysokociśnieniowego kompresora powietrza atmosferycznego połączonego bezpośrednio ze zbiornikami akumulatorów. W tym celu zastosowano kompresor tłokowy ALMIG HL 103523 (rys. 5a), który zapewnia czas ładowania zbiorników 2000 l do ciśnienia 3,5 MPa w czasie 120 min.



Rys. 5. Elementy robocze instalacji pneumatycznej: a) sprężarka tłokowa wysokociśnieniowa HL 103523, b) osuszacz chłodniczy DTF 90HP z filtrem wstępnym odolejającym, c) pełnoprzelotowy zawór kulowy z napędem elektrycznym, detekcją pozycji krańcowej i awaryjnym ręcznym sterowaniem

Ze względu na możliwość kondensacji pary wodnej w zbiornikach ciśnieniowych konieczne jest zastosowanie osuszacza umiejscowionego bezpośrednio za sprężarką. Ze względu na wymagane parametry ciśnienia i wydatku powietrza wytypowano osuszacz chłodniczy DTF 90HP firmy Almig z filtrem wstępnym odolejającym (rys. 5b).

Na przewodach pneumatycznych, pomiędzy akumulatorami ciśnienia a kolektorem, zastosowano pełnoprzelotowe zawory kulowe z napędem elektrycznym

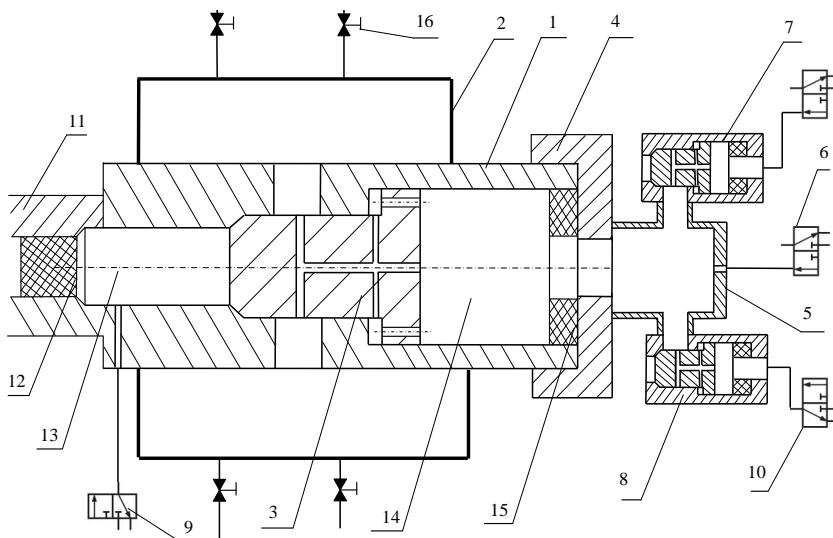
i detekcją pozycji krańcowej (rys. 5c). Zawory mają możliwość obsługi ręcznej w przypadku awarii systemu sterowania lub zaniku napięcia.

W przypadku potrzeby prowadzenia badań przy użyciu ciśnienia 4 MPa, zbiorniki można wstępnie naładować za pomocą sprężarki, a następnie przeprowadzić uzupełnienie ciśnienia z wykorzystaniem butli ze sprężonym powietrzem.

3. Mechanizm spustowy

Najistotniejszym elementem konstrukcyjnym działa pneumatycznego, decydującym o uzyskiwanych prędkościach miotanych obiektów, jest mechanizm spustowy. Musi on umożliwić jak najszybsze uzyskanie pełnoprzelotowego przepływu czynnika roboczego w kanale lufy. Ze względu na długie czasy otwierania i zamykania typowych zaworów o przelocie 250 mm, sięgające kilkudziesięciu sekund, skonstruowano specjalny mechanizm spustowy dedykowany dla działa o kalibrze 250 mm.

Mechanizm spustowy umożliwia ładowanie działa sabotem z wykorzystaniem portu ładowania – „ładownicy” znajdującej się w osi lufy. Mechanizm spustowy (rys. 6) jest sterowany w sposób umożliwiający zdalną obsługę systemu po załadowaniu sabota do ładownicy.



Rys. 6. Schemat mechanizmu spustowego: 1 – lufa, 2 – kolektor, 3 – zamek, 4 – tulec, 5 – przyłącze zaworów szybkiego spustu, 6 – zawór zapowietrzający komorę zamkową, 7, 8 – zawory szybkiego spustu, 9 – zawór odpowietrzający komorę ładownicy, 10 – zawór sterujący zaworem szybkiego spustu, 11 – pokrywa ładownicy, 12 – sabot, 13 – komora ładownicy, 14 – komora zamkowa, 15 – zderzak zamka, 16 – pełnoprzelotowy zawór kulowy

Spust zabudowano wewnątrz przestrzeni kolektora 2. Zasadniczą część mechanizmu spustowego stanowi zamek 3, poruszający się w komorze zamkowej 1 wmontowanej w zbiornik kolektora. Komora zamkowa ma otwory prostopadłe do osi podłużnej systemu, umożliwiające szybki i nietłumiony przepływ czynnika roboczego z kolektora do kanału komory zamkowej. Przepływ czynnika jest zamykany lub otwierany w zależności od położenia zamka w kanale komory. Zamek w położeniu odcinającym przepływ czynnika spoczywa w stożkowym gnieździe komory, zamykając przepływ za pomocą uszczelnienia czołowego. Docisk zamka do gniazda jest wywoływany wstępnie za pomocą ciśnienia sprężonego powietrza dostarczanego do komory zamkowej przez zawór 6. Komorę zamkową zamyka tulej 4 z wysokowydajnym zespołem zaworów szybkiego spustu 7 i 8 zamocowanych do przyłącza 5. Z drugiej strony komora zamkowa łączy się z ładownicą 11, w której sabot 12 zamyka kanał lufy. Po dostarczeniu czynnika roboczego do kolektora, w wyniku otwarcia pełnoprzelotowych zaworów kulowych 16, dzięki kanałom wykonanym w zamku, następuje stopniowe wyrównanie ciśnienia w komorze zamkowej i w kolektorze. Ze względu na różnicę powierzchni czynnej zamka od strony kolektora i komory zamkowej następuje dociśnięcie zamka do stożkowego gniazda komory.

Ze względu na możliwość występowania przedmuchów pomiędzy zamkiem i stożkowym gniazdem, które mogłyby w niekontrolowany sposób uruchomić sabot, zastosowano odpowietrzenie komory ładownicy realizowane za pomocą zaworu 9.

Cykl strzału rozpoczyna odpowietrzenie komory zamkowej realizowane poprzez otwarcie zaworu 6 oraz jednoczesne otwarcie zespołu zaworów szybkiego spustu 7 i 8 w wyniku przesterowania zaworu 10 w pozycję odpowietrzającą. Odpowietrzenie komory zamkowej powoduje zmianę kierunku siły wypadkowej i następuje przesuwanie zamka w kierunku tyłu. W czasie tego cyklu zamek odsłania boczne otwory dostarczające czynnik roboczy z kolektora do komory zamkowej. Po przedostaniu się czynnika roboczego przed czołową powierzchnię uszczelniającą ruch zamka zostanie gwałtownie przyspieszony. W czasie odsłaniania bocznych otworów czynnik roboczy wypełnia komorę ładownicy, powodując wypchnięcie sabota z kanału lufy.

Odrzut zamka jest wyhamowany za pomocą elastomerowego zderzaka na tył komory zamkowej.

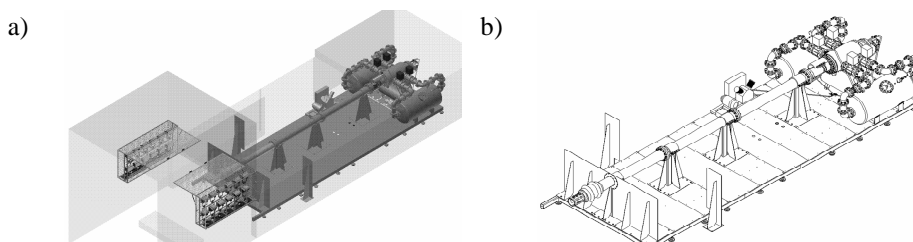
W celu przyspieszenia ruchu zamka, zależnego od szybkości odpowietrzania komory zamkowej, opracowano specjalną konstrukcję zaworu szybkiego spustu 7 i 8, wzorowaną na działaniu mechanizmu zamka.

Po wykonanym strzale zamek powróci w położenie wyjściowe po przesterowaniu zaworów 10 i 6. Przesterowanie zaworu 10 zamyka zawór szybkiego spustu. Przesterowanie zaworu 6 umożliwia zapowietrzenie komory zamkowej i dociśnięcie stożkowego czoła zamka do czoła gniazda komory zamkowej.

4. Model wirtualny

Projekt działa został dopasowany do warunków lokalowych pomieszczenia badawczego, w którym będzie eksploatowany (rys. 7). W pomieszczeniu na stałe instalowane jest działo pneumatyczne i panele oświetlające.

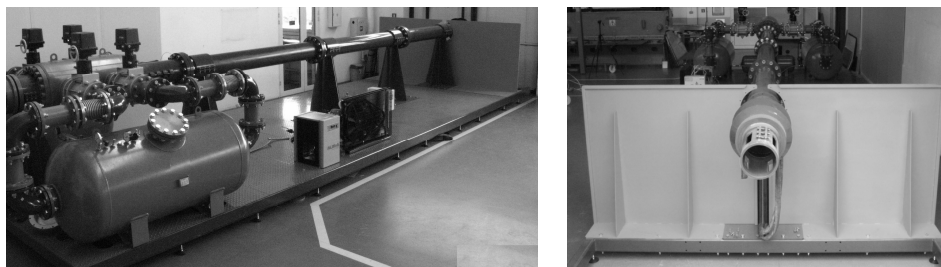
Nieruchoma lufa działa zamocowana na stałej wysokości, limitowanej wysokością pomieszczenia. Obiekt badany jest mocowany do stalowego postumentu trwale zamocowanego do posadzki. Celowanie jest realizowane poprzez manewrowanie obiektem badawczym względem nieruchomego wylotu lufy. Panele oświetlające mocowane są do ścian bocznych na wysokości zapewniającej prawidłowe oświetlenie sceny badawczej w celu rejestracji zjawiska za pomocą szybkich kamer cyfrowych.



Rys. 7. Model wirtualny: a) system w pomieszczeniu badawczym, b) widok modelu działa

Panel oświetleniowy składa się z 12 lamp halogenowych o mocy 1500 W każda. Lamy mają możliwość dwuosiowej regulacji kierunku oświetlenia. Konstrukcja panelu zapewnia ochronę lamp przed uszkodzeniem z powodu rykoszetów. Ze względu na dużą ilość ciepła wytwarzanego przez panel (18 kW) zastosowano wymuszone chłodzenie każdego panelu za pomocą zespołu wentylatorów.

Na podstawie opracowanego modelu 3D wykonano prototyp działka pneumatycznego (rys. 8).



Rys. 8. Prototyp działka pneumatycznego

Uwzględniając charakter przedsięwzięcia, specyfikę urządzenia oraz wyposażenie produkcyjne, proces technologiczny został dostosowany do potrzeb produkcji jednostkowej. Większość obróbki mechanicznej zrealizowano z wykorzystaniem obrabiarek uniwersalnych.

Wnioski

Opracowany i wykonany prototyp działa pneumatycznego jest obecnie jedynym w Polsce systemem umożliwiającym prowadzenie badań zderzeniowych wykonywanych w przemyśle lotniczym.

System umożliwia doświadczalną weryfikację nowych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych oraz przyczyni się do opracowania doskonalszych modeli ptaków wykorzystywanych w cyfrowych badaniach symulacyjnych.

Parametry energetyczne plasują przedstawione rozwiązanie w grupie największych systemów w Europie i na świecie, z prawie dwukrotną przewagą możliwości energetycznych w stosunku do najnowszych opracowań w tej dziedzinie [9–11].

System jako jeden z nielicznych umożliwia nadawanie ciężkim, kilkukilogramowym obiektom (nawet do 7 kg) prędkości naddźwiękowych w zakresie do 680 m/s. Takie parametry pozwalają na pełne symulowanie warunków zderzenia nawet z najcięższymi ptakami (np.: bieliki amerykańskie) z możliwością odtwarzania maksymalnych prędkości lotu rozwijanych przez większość samolotów cywilnych i wojskowych.

Kaliber 250 mm stwarza możliwości umieszczania w przewodzie lufy pocisków o rozmiarach odpowiadających rozmiarom większości ptaków najczęściej powodujących kolizję ze statkiem powietrznym.

Ze względu na przeznaczenie systemu do testów prowadzonych z różnymi parametrami energetycznymi niezbędne jest wykonanie badań kalibrujących. Celem badań powinno być opracowanie bazy danych, w której dla odpowiedniej prędkości wylotowej i masy pocisku będzie przyporządkowana odpowiednia wartość ciśnienia roboczego.

Bibliografia

1. 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.
2. Duck! Incoming! Birds play chicken with Air Force jets. <http://www.af.mil/news/airman/0296/duck.htm>.

3. Szczeciński S., Balicki W., Głowacki P.: Uszkodzenia silników turbino-
wych wywołane zderzeniami z ptakami. *Przegląd Sił Powietrznych* 2009/2,
s. 15–21.
4. <http://lotniczapolska.pl/Bird-strike-niebezpieczne-kolizje-w-powietrzu,9992>.
5. Bird Strike Damage&Windshield Bird Strike Final Report. European
Aviation Safety Agency 2009.
6. [http://www.easa.europa.eu/rulemaking/docs/research/Final%20report%20
Bird%20Strike%20Study.pdf](http://www.easa.europa.eu/rulemaking/docs/research/Final%20report%20Bird%20Strike%20Study.pdf)
7. <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo.php?id=1583377>
8. Dolbeer R., et al., “Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States
1990–2009,” Report of The Associate Administrator For Airports, Office
of Airport Safety and Standards Airport Safety & Certification. Federal
Aviation Administration, No. 16, Washington, DC May 2011.
9. Radomski M.: Projekt balistyczny urządzenia do miotania obiektów ba-
dawczych. Warszawa 2008. Praca niepublikowana.
10. http://www.wrdavis.com/bird_strike.html.
11. http://www.dlr.de/bk/en/desktopdefault.aspx/tabid-2488/3746_read-10146/.
12. <http://www.nlr.nl/smartsite.dws?id=2857>.

Recenzent:

Adam WIŚNIEWSKI

Pneumatic gun for collision testing

Key words

Collision testing, collisions with birds, pneumatics, pneumatic gun.

Summary

The article presents the structure of the developed pneumatic throwing system, intended for collision testing, especially in the aviation industry. The solution is intended for performing of the experimental research that allow simulation and recreation the phenomena of the collision of an aircraft, or other quickly moving mean of transportation, with birds or other solids. The system was developed in a form of pneumatic gun, calibre 250 mm. The calibre and the energetic parameters allow throwing of the objects of few kilograms weight with speed the well reflects the collision of the aeroplane with a relatively large bird. The article discusses the procedures and the functioning of particular elements.

