

Zbigniew Jakielaszek, Andrzej J. Panas, Mirosław Nowakowski, Maciej Białecki, Marcin Bryl, Krzysztof Maciuszczak, Janusz Wiśniewski

Rejestracja procesu hamowania kasety ochronnej rejestratora katastroficznego podczas testu zderzeniowego

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2019.009

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule zostały opisane sposoby rejestracji przebiegu zjawiska zderzenia sondy badawczej z przeszkodą w postaci złoża piasku oraz następującego po tym gwałtownego procesu wytracania prędkości przez hamowany obiekt. Badana sonda jest przystosowana do umieszczania w jej wnętrzu kasety ochronnej rejestratora katastroficznego. Testy realizowane były w celu potwierdzenia wytrzymałości kasety ochronnej na przeciążenie o wartości 3400 g działające na kasetę przez ok. 6,5 ms zgodnie z wytycznymi norm: europejskiej EuroCAE ED-112 oraz polskiej NO-16-A200. Sondę rozpędzano do wymaganej prędkości z wykorzystaniem działła pneumatycznego DPZ-250, którym dysponuje Instytut Lotnictwa. Kontrolowany proces hamowania uzyskano dzięki złożu piasku umieszczonym w stanowisku hamującym, które zaprojektowano i zbudowano w ITWL. Przebieg każdego testu zderzeniowego czyli przelot i proces wbijania się sondy badawczej w piasek rejestrowany był przez kamerę do rejestracji zjawisk szybkozmiennych. Przy realizacji kluczowych testów wewnątrz sondy badawczej zabudowany był system rejestracji przeciążeń realizujący bezpośredni pomiar i zapis przeciążeń towarzyszących zderzeniom. Pierwszy etap badań służył potwierdzeniu poprawności przyjętej metodyki oraz opracowaniu procedur badawczych wykorzystywanych w dalszych badaniach. W zasadniczych badaniach wewnątrz sondy badawczej zabudowany był pakiet elektroniki kasety ochronnej rejestratora katastroficznego w celu potwierdzenia spełnienia wymagania dotyczącego przeciążenia. Wykonane badania potwierdziły osiągnięcie parametrów realizowanego doświadczenia spełniających wymogi normatywne warunków testów. Sprawdzenia poddanych testom elementów rejestratora katastroficznego dowiodły jego wytrzymałości na przeciążenie o wartości 3400 g. Zastosowane sposoby rejestracji przeciążenia pozwoliły potwierdzić osiągnięcie wymaganych wartości i charakteru zmian narażenia, któremu poddawana była sonda badawcza podczas testów zderzeniowych.

Słowa kluczowe: rejestrator katastroficzny, test zderzeniowy, badanie przeciążenia, norma EuroCAE ED-112, norma NO-16-A200.

Wstęp

W trakcie katastrofy lotniczej statek powietrzny (SP) i jego wyposażenie podlegać może oddziaływaniom takim jak: zderzenie z powierzchnią ziemi lub wody, pożar, zanurzenie szczątków samolotu w wodzie lub płynach eksploatacyjnych. Oddziaływania te mogą doprowadzić do całkowitej destrukcji urządzeń. Na pokładzie statków powietrznych są jednak urządzenia, które z założenia powinny przetrwać warunki powstałe podczas katastrofy oraz ochronić zapisane dane w celu ich późniejszej analizy. Urządzeniami tymi są rejestratory katastroficznego.

W związku z przewidywanymi oddziaływaniami rejestratory katastroficznego muszą być projektowane i wykonywane zgodnie ze ściśle określonymi wymogami. Stosowne wymagania te zawarte są m.in. w normie europejskiej EuroCAE ED-112 [1] oraz normie pol-

skiej NO-16-A200:2006 [2]. Jednym z głównych wymogów związanych z warunkami zaistnienia katastrofy lotniczej jest wytrzymałość rejestratora katastroficznego na przeciążenie o wartości 3400 g (przyspieszenie o wartości 33 354 m/s²) [1], [2]. W normie europejskiej EuroCAE ED-112 przedstawiono nawet przykładową metodę badawczą pozwalającą na potwierdzenie spełnienia wymagań dotyczących wytrzymałości na przeciążenie kasety ochronnej rejestratora katastroficznego. Niestety, z powodu braku odpowiedniego wyposażenia badawczego, nie może być ona zrealizowana w warunkach Polski.

Chcąc wykonać konieczne pomiary zespół badawczy ITWL podjął się realizacji prób wytrzymałości kasety ochronnej na przeciążenie z wykorzystaniem dostępnego, rodzimego wyposażenia. Wiązało się to z koniecznością opracowania odpowiedniej metodyki i procedur badań. Urządzeniem, które daje możliwość wykonania niezbędnych badań jest działło pneumatyczne DPZ-250 z zasobów Instytutu Lotnictwa. Dla potrzeb badań w ITWL zaprojektowano i wykonano również różne rodzaje sond badawczych oraz stanowisko hamujące z medium hamującym w postaci złoża piasku. Sondy zostały przystosowane do zabudowy w ich wnętrzu pakietu elektroniki kasety ochronnej i systemu rejestracji przeciążeń. W celu uzyskania z góry założonego przebiegu zmian przyspieszenia sondy w czasie kształtowano proces jej hamowania poprzez odpowiedni dobór charakterystyki przeszkody hamującej. W konsekwencji uzyskano wymagane parametry testu zderzeniowego.

Kluczowe znaczenie dla powodzenia testu miało udokumentowanie jego przebiegu. W artykule przedstawiono dwa sposoby rejestracji procesu hamowania sondy badawczej na przykładzie testu zderzeniowego potwierdzającego wytrzymałość na przeciążenie 3400 g pakietu elektroniki kasety ochronnej.

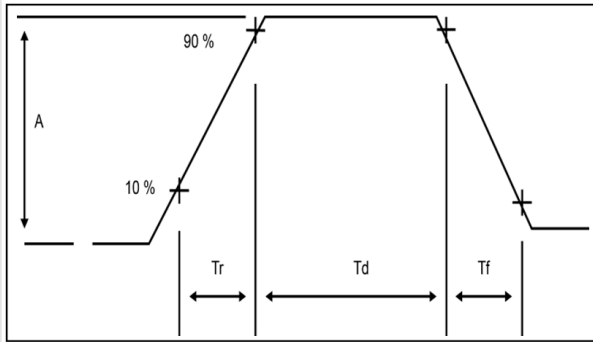
1 Wymagania związane z wytrzymałością na przeciążenie kasety ochronnej

Wymagania dotyczące kasety ochronnej systemu rejestracji zostały precyzyjnie określone w dokumentach normatywnych EuroCAE ED-112 [1] oraz NO-16-A200:2006 [2]. Dokumenty te zawierają również szczegółowo opisane metody badawcze proponowane w celu potwierdzenia spełnienia zawartych w nich wymagań. Wyjątek stanowi opis badania wytrzymałości kasety na przeciążenie 3400 g przedstawiony w normie EuroCAE ED-112. Metoda ta pozostawia wiele niewiadomych dotyczących szczegółów przeprowadzenia procesu badawczego ale przede wszystkim wymaga dostępu do bardzo specyficznego urządzenia jakim jest wirówka przeciążeniowa w odpowiedniej konfiguracji oraz urządzeń umożliwiających zatrzymanie rozpędzonego obiektu badań. Badanie jest skomplikowane technicznie a jego zdawkowy opis przedstawiony w normie nie pozwala na bezpośrednie zastosowanie metodyki procedur w tetach własnych. Norma NO-16-A200:2006 pomija kwestię realizacji badań ograniczając się tylko do ogólnego opisu warunków pomiaru.

Zgodnie z normą kasetka ochronna, podczas badania wytrzymałości na udar, powinna być poddana przeciążeniu skierowanemu wzdłuż najbardziej podatnej na uszkodzenia osi oraz najbardziej podatnym na uszkodzenia kierunku. Udar powinien być generowany

przez poddanie kasety rosnącej lub malejącej prędkości. Energia właściwa (czyli odniesiona do jednostki masy) uderu powinna być równa lub większa od energii uderu o przebiegu półsinusoidalnej „fali” przeciążenia o czasie trwania 6,5 ms i szczytowym przeciążeniu co najmniej 3400 g (przyspieszeniu 33342 m/s²).

Opisane wymaganie można zrealizować poprzez wygenerowanie uderu trapezoidalnego o energii równej energii funkcji półsinusoidalnej. Przebieg takiego przeciążenia został zobrazowany na rys. 1. [1], [2].



Rys. 1. Przebieg przeciążenia trapezoidalnego oddziaływującego na rejestrator katastroficzny: A = 3400g (33354 m/s²) minimum; Tr = 3,5 ms maksimum; Td = 3,0 ms minimum; Tf > 0 ms

Wynik badania uznaje się za pozytywny, jeżeli po oddziaływaniu na kasety ochronną opisanego przeciążenia można odczytać dane zarejestrowane w pamięci kasety.

2 Obiekt badań

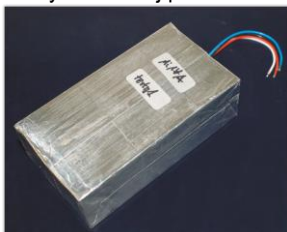
Obiektem badań była kaseta ochronna S2-3a-K katastroficznie-go systemu rejestracji S2-3a produkcji ITWL. W rejestratorze tym kaseta ochronna przeznaczona jest do przechowania danych zapisanych w trakcie lotu SP w warunkach wystąpienia katastrofy.

Widok kasety ochronnej S2-3a-K przedstawiono na rys. 2 [3].



Rys. 2. Widok kasety ochronnej S2-3a-K

Podstawowym elementem kasety ochronnej jest pakiet elektroniczny. Płytki z układem elektronicznym kasety zalane zostały w kauczuku silikonowym a całość zawinięta w folię aluminiową. W ten sposób uzyskano ochronę elektronicznej przed wibracjami i dużymi przeciążeniami oraz zakłóceniami elektromagnetycznymi. Widok pakietu elektronicznego kasety ochronnej przedstawiono na rys. 3 [5].



Rys. 3. Widok pakietu elektronicznego kasety ochronnej

3 Stanowisko pomiarowe

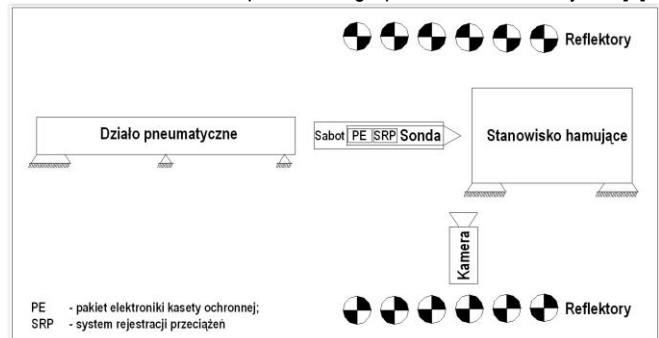
Z uwagi na brak dostępu do urządzeń wskazanych w normie została opracowana metoda rozpędzania i wymuszenia późniejszych zmian prędkości obiektu badań w oparciu o działo pneumatyczne DPZ-250 w Instytucie Lotnictwa. Podczas badania dotyczącego spełnienia wymagania wytrzymałości kasety ochronnej na przeciążeniu 3400 g można wyróżnić trzy istotne etapy ruchu obiektu badań:

- rozpędzanie do odpowiedniej prędkości - realizowane przede wszystkim w lufie działła;
- lot - przemieszczanie się między wylotem z lufy a przeszkodą hamującą ;
- hamowanie - ruch od momentu kontaktu z przeszkodą hamującą .

Istotnymi z punktu widzenia mierzonych parametrów, etapami badania są lot i hamowanie. Lot dostarcza informacji o prędkości uzyskanej przez sondę a hamowanie o zmianach prędkości (zmianach przeciążenia) przy pokonywaniu przez sondę złoża piasku.

- Elementami wchodzącymi w skład stanowiska pomiarowego są:
- działo pneumatyczne DPZ-250 zapewniające rozpędzenie obiektu badań;
 - sonda badawcza zapewniająca zabudowę wyposażenia badawczego oraz elementów kasety ochronnej, której poruszanie się w przestrzeni (lot) rejestrowano w celu określenia zmian prędkości w czasie;
 - system rejestracji przeciążeń umieszczany w sondzie badawczej i przeznaczony do pomiaru oraz rejestracji przeciążeń towarzyszących sondzie od startu do zatrzymania;
 - pakiet elektroniczny kasety ochronnej umieszczany w sondzie badawczej i poddawany wymaganym przeciążeniom;
 - stanowisko hamujące, w postaci złoża piasku umieszczonego w stalowym pojemniku i zapewniającego zatrzymanie obiektu badań, umieszczone na sztywnej podstawie i służące do kształtowania charakterystyki hamowania;
 - kamera do rejestracji procesów szybkozmiennych przeznaczona do zapisu zmian prędkości sondy badawczej;
 - reflektory zapewniające oświetlenie strefy przelotu sondy.

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 4 [6].



Rys. 4. Schemat stanowiska pomiarowego

3.1 Działo pneumatyczne

Sonda badawcza wystrzeliana była z działła pneumatycznego DPZ-250. Urządzenie to przede wszystkim służy do badań skutków zderzenia elementów SP z ptakami lub innymi obiektami.

Widok działła DPZ-250 przedstawiono na rys. 5 [3].

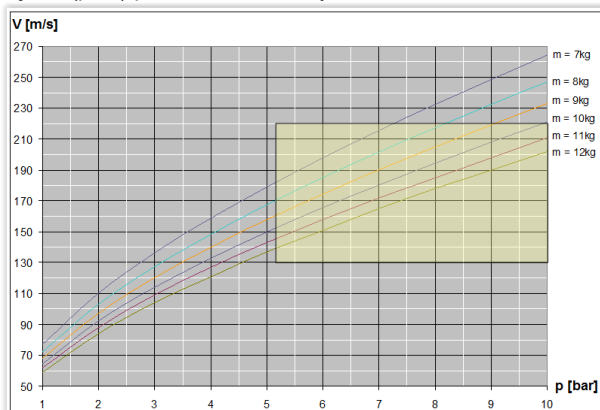


Rys. 5. Widok działa pneumatycznego DPZ-250

Podstawowe dane techniczne działa DPZ-250 są następujące:

- średnica lufy – 250 mm;
- długość lufy – 8 m;
- masa maksymalna obiektu badań (z sabotem) – 15 kg;
- masa minimalna obiektu badań – 0,9 kg;
- prędkość obiektu badań dla masy maksymalnej – 180 m/s;
- prędkość obiektu badań dla masy minimalnej – 310 m/s;
- maksymalne ciśnienie – 10 bar.

Parametry użytkowe działa podane są w postaci zależności prędkości końcowej wyrzelnianego obiektu od ciśnienia ładowania zbiorników dla różnych mas obiektu badań: $V = f(p, m)$. Charakterystykę $V = f(p, m)$ przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Charakterystyka $V=f(p, m)$ działa pneumatycznego DPZ-250

3.2 Sonda badawcza

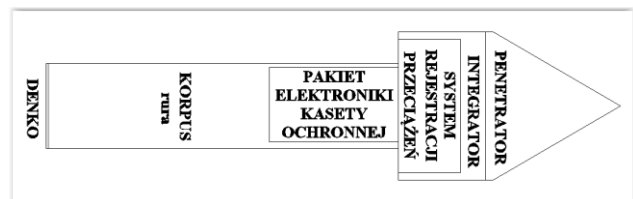
Dla potrzeb badań wytrzymałości kasety ochronnej na przeciążenie zaprojektowano sondy badawcze. W celu zapewnienia możliwości rejestracji filmowej procesu przelotu sondy i penetracji przeszkody zastosowano maksymalnie wydłużony kształt sondy. Ograniczenia długości są uwarunkowane konstrukcją łoża i zamka działa. W końcowych etapach badań wykorzystywano sondy przystosowane do zabudowy pakietu elektroniki kasety ochronnej S2-3a-K oraz systemu rejestracji przeciążeń.

Elementami składowymi sondy badawczej są:

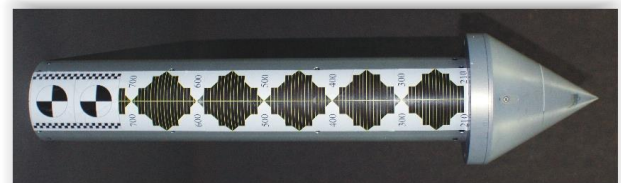
- penetrator zapewniający kształtowanie siły oporu przy penetracji przeszkody oraz chroniący zabudowane wewnątrz układy przed bezpośrednim oddziaływaniem materiału złoża hamującego;

- integrator zapewniający połączenie elementów sondy badawczej oraz umożliwiający mocowanie elementów systemu rejestracji przeciążenia oraz pakietu elektroniki kasety ochronnej;
- korpus stanowiący osłonę dla pakietu elektroniki kasety ochronnej oraz umożliwiający naklejenie znaczników niezbędnych do pomiaru prędkości z wykorzystaniem kamery do zjawisk szybkozmiennych;
- denko zapewniające przeniesienie nacisku tylnych elementów sabota na sondę badawczą;
- system rejestracji przeciążenia zapewniający pomiar przeciążenia składający się z rejestratora, czujników przeciążenia, akumulatora zasilającego z obudową oraz osłony przewodów sieci systemu rejestracji;
- pakiet elektroniki kasety ochronnej będącej rzeczywistym obiektem badań.

Schemat konstrukcji sondy przedstawiono na rys. 7, natomiast jej widok przedstawia rys. 8 [5], [6]. Na korpus sondy naklejone zostały znaczniki niezbędne do pomiaru prędkości przez kamerę.



Rys. 7. Widok budowy sondy badawczej



Rys. 8. Widok sondy badawczej

Sondy badawcze umieszczone były w lufie działa w sabocie, którego zadaniem było dopasowanie sondy do średnicy lufy działa, uszczelnienie „pocisku” oraz amortyzacja przy skokowym wzroście ciśnienia podczas otwarcia zaworów sterujących działem. Widok sondy umieszczonej w sabocie przedstawiono na rys. 9.

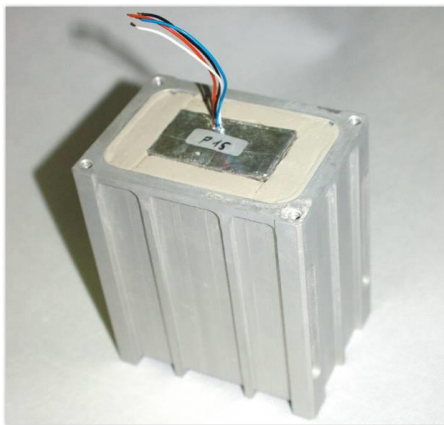


Rys. 9. Widok sondy badawczej w sabocie

Pakiet elektroniki kasety ochronnej

Wytrzymałość pakietu elektroniki kasety ochronnej badano w wybranych testach strzałowych. W tym celu zaprojektowano i wykonano ze stopu duraluminiowego Pa9 pojemnik dla pakietu. Pakiet osadzono w pojemniku z wykorzystaniem materiału termoizolacyjnego o grubości identycznej jak w kasce ochronnej.

Widok pojemnika z pakietem elektroniki kasety ochronnej przedstawiono na rys. 10.

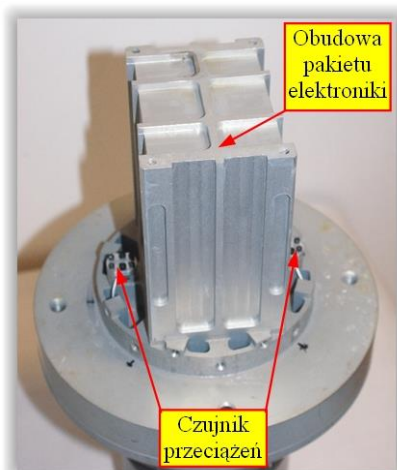


Rys. 10. Widok pakietu elektroniki kasety ochronnej zabudowanego w pojemniku

Pojemnik z pakietem elektroniki kasety ochronnej zabudowano na tylnej płaszczyźnie integratora. Widok integratora przygotowanego do zamocowania pojemnika z pakietem przedstawiono na rys. 11. Widok wyposażenia zabudowanego na tylnej płaszczyźnie integratora, przedstawiono na rys. 12.



Rys. 11. Widok tylnej płaszczyzny integratora przygotowanej do montażu pojemnika z pakietem elektroniki



Rys. 12. Widok wyposażenia zabudowanego na tylnej płaszczyźnie integratora sondy badawczej

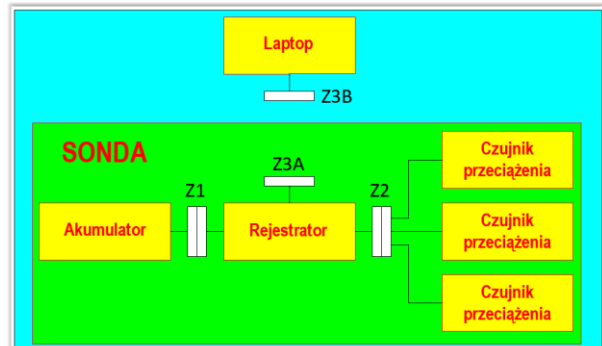
System rejestracji przeciążeń

Do bezpośredniego pomiaru i rejestracji przeciążeń wykorzystano system rejestracji przeciążeń. W skład systemu wchodzi:

- rejestrator przeciążeń Slice HG – 1 szt.;
- czujnik przeciążeń 7270A-20K – 3 szt.;
- filtr mechaniczny K7270AM6 – 3 szt.;

- akumulator Tenergy Li-Ion 18650 – 1 szt.;
- obudowa akumulatora – 1 szt.;
- płytki mocujące okablowanie systemu – 1 kpl.;
- komputer przenośny (laptop) – wyposażenie dodatkowe.

Schemat blokowy systemu rejestracji przeciążenia przedstawiono na rys. 13 [6]. Elementy systemu rejestracji przeciążeń są montowane na integratorze sondy badawczej.



Rys. 13. Schemat blokowy systemu rejestracji przeciążenia

System rejestracji przeciążeń oparto na rejestratorze Slice HG firmy DTS montowanym na przedniej powierzchni integratora. Widok i podstawowe dane rejestratora przedstawiono na rys. 14 [6].

Rejestrator Slice HG

Podstawowe dane techniczne:

- odporność na przeciążenie – 20 000 g;
- ilość kanałów pomiarowych – 3;
- napięcie zasilania – 9 do 12 VDC;
- częstotliwość próbkowania – 500 000 1/s/kanał;
- zakres temperaturowy pracy – 0 ÷ + 60°C;
- rozdzielczość – 16 bit;
- pojemność pamięci – 16 GB;
- wymiary (śr. x wys.) – 31,7 x 42,5 mm;
- masa – 85 g.

Rys. 14. Widok i podstawowe dane rejestratora Slice HG

Pomiar przeciążeń zapewniły trzy czujniki przeciążeń 7270A-20K firmy Endevco zabudowane w filtrach mechanicznych K7270AM6. Filtry minimalizują szybkozmienne drgania czujników oraz niwelują przeciążenia stykowe. Dwa czujniki montowano na tylnej powierzchni integratora (por. rys. 12), a trzeci przeciwnie na przedniej. Widok i podstawowe dane czujników przedstawiono na rys. 15.

Czujnik przeciążeń Endevco 7270A-20k	Czujnik z filtrem K7270KM6
	
Podstawowe dane techniczne:	
<ul style="list-style-type: none"> - zakres pomiarowy – 20 000 g; - odporność na przeciążenie – 60 000 g; - ilość kanałów pomiarowych – 1; - napięcie zasilania – 2 do 12 VDC; - pasmo przenoszenia – 50 000 Hz; - częstotliwość drgań własnych – 350 kHz; - zakres temperatury pracy – 55 ÷ + 121°C; - wymiary (szer. x dł. x wys.) – 7,1 x 14,2 x 2,8 mm; - masa – 1,5 g. 	

Rys. 15. Widok i podstawowe dane czujników przeciążeń 7270A-20k

Do zasilania systemu rejestracji przeciążeń wykorzystano akumulator Tenergy typu Li-Ion 18650 o pojemności 2200 mAh. Widok i podstawowe dane akumulatora przedstawiono na rys. 16.

Akumulator Tenergy typu Li-Ion 18650

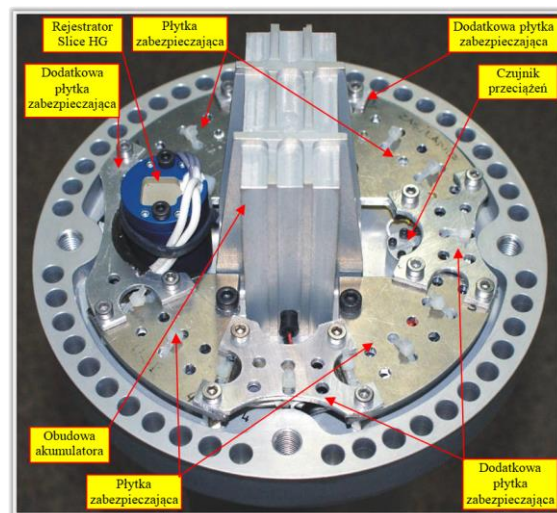
Podstawowe dane techniczne akumulatora:
<ul style="list-style-type: none"> - nominalna pojemność – 2200 mAh; - nominalne napięcie – 11,1 V; - zakres temp. rozładowania – 20 ÷ + 60°C; - zakres temp. ładowania – 0 ÷ + 45°C; - maksymalny prąd rozładowania – 2C; - wymiary – 70 x 56 x 19 mm.

Rys. 16. Widok i podstawowe dane akumulatora

Na czas testów akumulator umieszczano w zaprojektowanej i wykonanej w tym celu duraluminiowej obudowie.

Okablowanie systemu rejestracji zamocowano pod płytkami zabezpieczającymi przed uszkodzeniem.

Widok elementów systemu rejestracji zabudowanych na przedniej płaszczyźnie integratora przedstawiono na rys. 17.

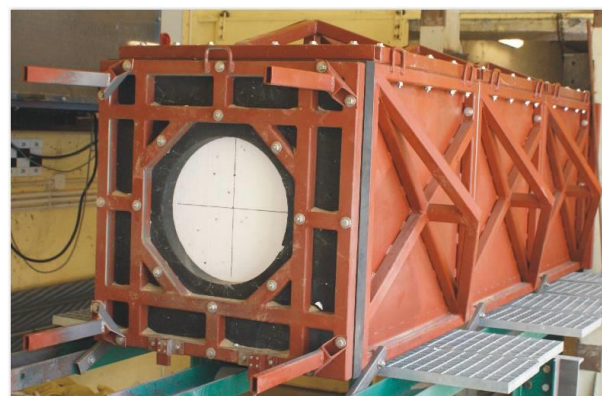


Rys. 17. Widok elementów systemu rejestracji zabudowanych na przedniej płaszczyźnie integratora

Stanowisko hamujące

Do uzyskania odpowiedniej charakterystyki hamowania sondy badawczej wykorzystano stanowisko hamujące, którym był specjalnie w tym celu zaprojektowany i wykonany pięciosegmentowy stalowy pojemnik wypełniony złożem z piasku.

Widok stanowiska hamującego przedstawiono na rys. 18 [4], [5] i [6].



Rys. 18. Widok stanowiska hamującego

Kamera PHANTOM V710

Przebieg sondy badawczej w przestrzeni między wylotem z lufy działa a wlotem do stanowiska hamującego z piaskiem rejestrowany był przez kamerę do szybkobieżnych zjawisk typu PHANTOM V710. Widok i podstawowe dane kamery przedstawiono na rys. 19 [6].

Na podstawie zmierzonych przez kamerę prędkości przemieszczania się sondy badawczej, zwłaszcza w fazie jej wbijania się w złożę piasku, obliczane było przeciążenie towarzyszące testowi zderzeniowemu.



Rys. 19. Widok kamery PHANTOM V710

Kamera była zamontowana w obudowie ochronnej, która stanowiła jej ochronę przed uszkodzeniami mechanicznymi i była ustawiona w taki sposób żeby jej oś optyczna była prostopadła do osi przelotu sondy badawczej. Widok kamery PHANTOM V710 zamontowanej w obudowie ochronnej i przygotowanej do testu przedstawiono na rys. 20 [6].



Rys. 20. Widok stanowiska hamującego i przygotowanej do testu kamery zamontowanej w obudowie ochronnej

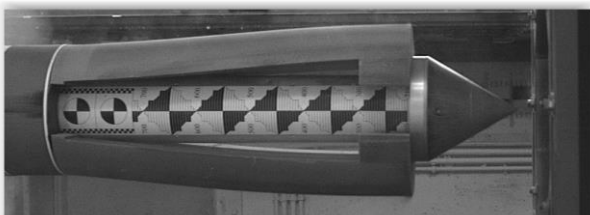
Reflektory

W celu oświetlenia pola obserwacji kamery wykorzystano 24 reflektory halogenowe o mocy 1500 W każdy. Reflektory zamontowane były z dwóch stron strefy obserwacji. Dodatkowo wlot do stanowiska hamującego doświetlono dwoma reflektorami LED.

4 Rejestracja przeciążenia

4.1 Rejestracja wideo

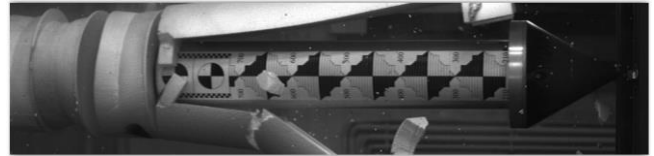
Pomiar prędkości lotu sondy a pośrednio przeciążeń z wykorzystaniem rejestracji filmowej polega na śledzeniu ruchu znaczników o znanych wymiarach umieszczonych na obiekcie badań. Widok sondy w locie przedstawiono na rys. 21 [5] i [6].



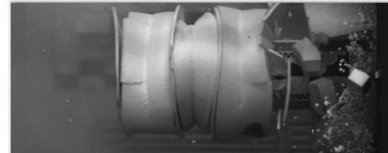
Rys. 21. Przykładowy widok sondy w locie zarejestrowany przez kamerę

Rejestrację procesu hamowania wykonywano z szybkością 30000 kl/s. Sondę rozpędzono do prędkości 205 m/s.

Oprogramowanie kamery umożliwia przetwarzanie danych rejestracji dla wielu znaczników śledzonych jednocześnie. Jest to istotne w sytuacji przesłania znaczników przez złożę lub elementy zewnętrzne, jak np. fragmenty sabotu (rys. 22, 23).

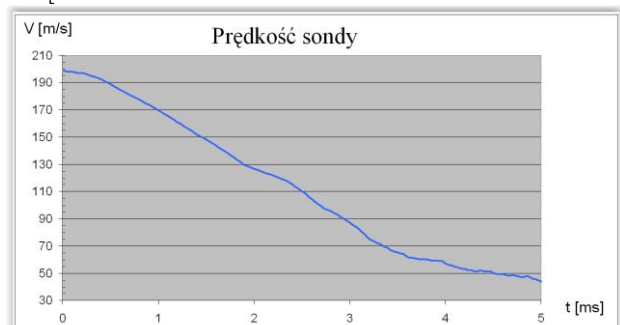


Rys. 22. Przykładowy widok elementów sabotu przesłaniających znaczniki naklejone na sondę



Rys. 23. Przykładowy widok elementów przesłaniających znaczniki przy zagłębieniu się sondy w stanowisku hamującym

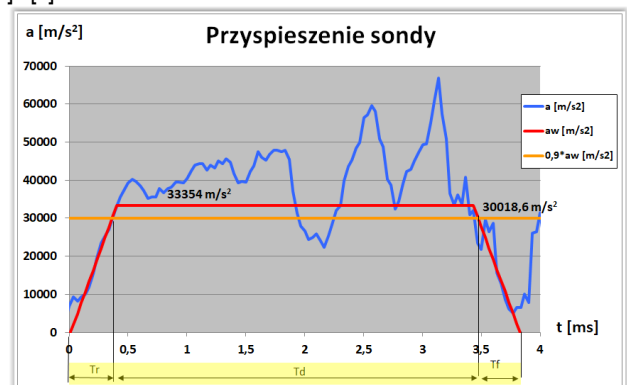
Bezpośrednio wyznaczanymi parametrami przy rejestracji wideo są położenie i prędkość. Na rys. 24 przedstawiono przebieg zmian prędkości sondy badawczej zarejestrowanej przez kamerę podczas testu, w którym zabudowany w sondzie pakiet elektroniki kasety ochronnej poddawany był próbie wytrzymałości na wymagane przeciążenie.



Rys. 24. Przebieg zmian prędkości sondy zarejestrowanej przez kamerę

Przyspieszenie wyznaczono przez numeryczne różniczkowanie zmian prędkości w czasie za pomocą procedur własnych. Można je również określić dzięki zastosowaniu oprogramowania kamery.

Przebieg przyspieszenia uzyskany w teście zderzeniowym odniesiony do charakterystyki normatywnej przedstawiono na rys. 25 [5] i [6].



Rys. 25. Przebieg przeciążenia dla testu zderzeniowego w odniesieniu do wymaganego impulsu przeciążenia

W teście osiągnięto wymagany czas impulsu przeciążenia oraz maksymalną, chwilową wartość przeciążenia 6700 g. Oznacza to, że przekroczono wymaganą wartość przeciążenia w końcowej fazie hamowania sondy. W 2 ms doświadczenia wystąpił chwilowy spadek przeciążenia (poniżej wartości 3400 g) na czas około 0,3 ms. Niezależnie jednak od tego można uznać, że spełniony został warunek wypełnienia obwiedni normatywnej dla uśrednionego zapisu.

Rezultatem badań było potwierdzenie możliwości odczytu danych zapisanych w pakiecie elektroniki. Należy tu nadmienić, że pakiet nie był chroniony pełnym zestawem typowych warstw zabezpieczających kasety ochronnej. Za pomocą rejestracji filmowej udokumentowano przebieg całej zasadniczej części eksperymentu.

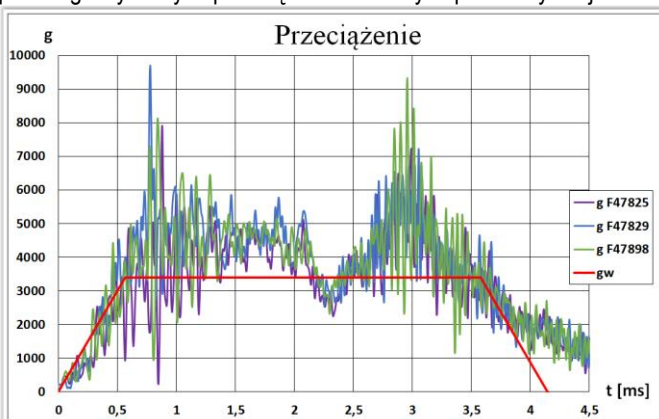
W odniesieniu do rejestracji wideo można stwierdzić, że przy zastosowaniu tego sposobu rejestracji występują problemy związane z:

- koniecznością stałej obserwacji znaczników co jest w sprzeczności z zagłębieniem się sondy badawczej w przeszkodę;
- ograniczeniem rozdzielczości rejestracji częstotliwością zapisu kolejnych obrazów;
- możliwością przesłonięcia badanego obiektu przez fragmenty sabotu, pył wydmuchiwany z lufy urządzenia miotającego i piasek oswobodzony ze stanowiska hamującego;
- występowaniem błędów perspektywy i dystorsji obiektywu oraz koniecznością ich kompensacji;
- potrzebą wykorzystania dedykowanego oprogramowania do opracowywania wyników rejestracji;
- koniecznością dokładnego określenia położenia kamery w stosunku do obiektu badań.

4.2 System elektroniczny rejestracji przeciążenia

Jako system dopełniający pomiaru i rejestracji zjawiska hamowania zastosowano system rejestracji przeciążenia z trzema czujnikami 7270A-2 i rejestratorem Slice HG omówiony w pkt. 3.2. Rejestrację przeciążenia zrealizowano z częstotliwością 300000 1/s.

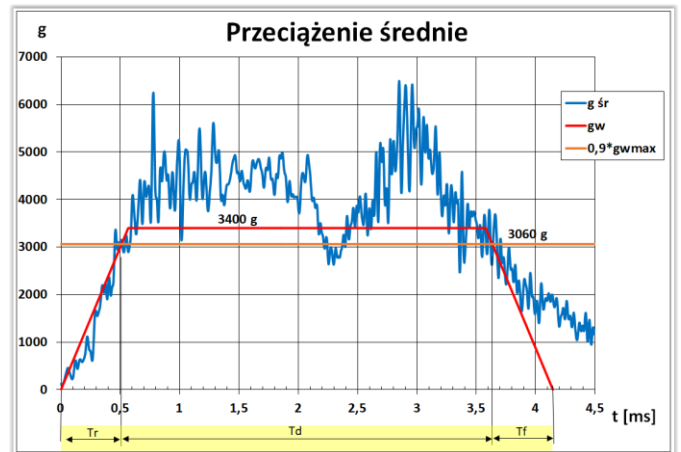
Na rys. 26 [6] przedstawione zostały, nie poddane wygładzaniu, przebiegi uzyskanych przeciążeń zmierzonych przez trzy czujniki.



Rys. 26. Zapis przeciążeń zrealizowany za pomocą trzech czujników przeciążeń 7270A-20k

Na wykresie zaobserwować można duże zaburzenia sygnałów pomiarowych. Najbardziej prawdopodobną przyczyną tego zjawiska są drgania elementów sondy. Na rys. 27 [6] przedstawiono przebieg przeciążenia otrzymanego przez obliczenie średniej arytmetycznej z trzech zapisów przedstawionych na rys. 26.

Charakter zmian przeciążenia potwierdzają wyniki osiągnięte przez rejestrację wideo.



Rys. 27. Uśredniony zapis przeciążeń z trzech czujników 7270A-20k

Wyniki rejestracji przeciążeń uzyskane z zapisu elektronicznego są zgodne z zapisem filmowym. Większe chwilowe wartości zaobserwowanego przeciążenia są wynikiem wspomnianych powyżej drgań układu zarejestrowanych przez bardzo czule sensory. Przeprowadzenie analizy zachowań dynamicznych badanego obiektu na podstawie danych zarejestrowanych elektronicznie wymaga zastosowania procedur wygładzania sygnału. Można do tego celu wykorzystać algorytmy cyfrowej filtracji sygnału.

Podstawową zaletą stosowania elektronicznego systemu rejestracji przeciążeń jest możliwość zapisu danych z całego procesu przyspieszania, lotu oraz hamowania badanego obiektu. Do wad tego sposobu rejestracji zaliczyć można:

- obciążenie pomiaru „szumami” wysokoczęstotliwościowymi;
- możliwość narażenia aparatury na skrajnie wysokie przeciążenia;
- konieczność zamontowania rejestratora w sondzie co wpływa na wzrost masy całkowitej obiektu oraz wymaga zagwarantowania miejsca do zabudowy elementów systemu;
- potrzebę dodatkowego, mechanicznego zabezpieczenia elementów systemu oraz jego sieci elektrycznej i pomiarowej przed przeciążeniami.

Podsumowanie

Opis testu zderzeniowego dla kasety ochronnej rejestratora katastroficznego przedstawiono w dokumentach normatywnych w sposób tak ogólny, że wykonanie testu wymaga opracowania autorskiej metodyki badań. W opisywanym w artykule przypadku metodykę taką opracowano poprzez stopniowe dopracowywanie warunków i procedur testu zderzeniowego. Podczas badań wykorzystywane były sondy o różnych kształtach oraz masach. Ostatecznie wykorzystana została sonda badawcza o masie 6,89 kg. Sonda służyła do zabudowy badanego w teście elementu kasety ochronnej w postaci pakietu elektroniki a w wybranych przypadkach, dodatkowego systemu rejestracji przeciążeń. Poprawność koncepcji badań potwierdzają wyniki testu, w którym uzyskano wymagany impuls przeciążenia. Badaną sondę rozpędzono do prędkości 210m/s, a następnie wyhamowywano za pomocą stanowiska hamującego. Do zapisu przebiegu zmian parametrów ruchu badanego obiektu stosowano metodę zapisu filmowego oraz elektroniczny system rejestracji przeciążeń.

Podczas kluczowego doświadczenia został odtworzony wymagany normami profil zmian przeciążenia. Uzyskano charakterystykę o uśrednionej obwiedni zawierającej trapez o wymaganej amplitudzie 3400 g oraz o czasach liniowego narastania i opadania zbocza $T_r = T_f = 0,5ms$ oraz czasie trwania 3,0 ms.

Zamontowany, w analizowanym teście, w sondzie pakiet elektroniki kasety ochronnej zachował zapisane dane. Potwierdzono możliwość odczytu wszystkich zapisanych danych. Dowodzi to wytrzymałości badanego układu na obciążenia opisane w normach.

W wyniku porównania zastosowanych metod rejestracji można stwierdzić, że:

- metoda zapisu filmowego jest wystarczająca do wstępnych pomiarów przeciążeń ze względu na dziesięciokrotnie niższą szybkość zapisu w stosunku do wykorzystanej przy użyciu systemu rejestracji przeciążeń oraz występowanie błędów optycznych;
- pomiar z wykorzystaniem kamery jest łatwiejszy w realizacji, bardziej dostępny i mniej kłopotliwy niż bezpośredni pomiar przeciążeń;
- pomiar optyczny umożliwia śledzenie obiektu tylko w polu obserwacji kamery natomiast bezpośredni pomiar przeciążeń umożliwia zapis przebiegu testu od startu do zatrzymania obiektu badań;
- pomiar z wykorzystaniem elektronicznego systemu rejestracji przeciążeń w odróżnieniu od metody optycznej charakteryzuje się większą czułością ale przez to jest bardziej wrażliwy na drgania elementów konstrukcji obiektu podczas zderzenia.

Podsumowując można stwierdzić, że zastosowane metody rejestracji uzupełniają się.

Bibliografia:

1. EuroCAE ED-112, Minimum operational performance specification for crash protected airborne recorder systems, Revision A September 1, 2013.
2. NO-16-A200:2006, Wojskowe statki powietrzne, Pokładowe rejestratory katastroficzne, Wymagania i badania, 2006.
3. Jakielaszek Z., Białecki M., Bryl M., Panas A.J., Nowakowski M., Doświadczalne określenie parametrów testu zderzeniowego rejestratora katastroficznego, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe” 2017, nr 6.
4. Jakielaszek Z., Panas A.J., Nowakowski M., Klemba T., Fikus B., Evaluation of numerical modelling application for the crash test planning of the catastrophic Flight Data Recorder, “Journal of Marine Engineering and Technology”
5. Jakielaszek Z., Nowakowski M., Panas A. J., Kowaleczko G., Testy zderzeniowe kasety ochronnej systemu rejestracji parametrów lotu S2-3A, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe” 2017, nr 12;
6. Jakielaszek Z., Nowakowski M., Panas A. J., Białecki M., Bryl M., Klemba T., Analiza przebiegu testu zderzeniowego kasety ochronnej, ML-XVIII 2018, Tom 1.

Recording the braking process of a catastrophic flight data recorder protection cassette during a crash test

The article describes methods for recording the course of a test probe crashing into an obstacle in the form of a sand bed and the consequent rapid deceleration process by the braking object. The

tested probe is adapted for placing a catastrophic flight data recorder protection cassette inside of it. The tests were conducted in order to confirm the resistance of the protection cassette to a g-load of 3400g acting on the cassette for ca. 6.5 ms, as per the guidelines of the standards: European EuroCAE ED-112 and Polish NO-16-A200. The probe was accelerated to a required velocity using a DPZ-250 pneumatic cannon, owned by the Institute of Aviation. The controlled braking process was obtained thanks to a sand bed located within the braking station, which was designed and constructed at Air Force Institute of Technology (AFIT). The course of each crash test, that is, the flight and the process of a test probe crashing into the sand was recorded by a camera for recording fast transient phenomena. Conducting the crucial tests involved installing an overload recording system inside the test probe, which directly records and saves the overloads associated with collisions. The objective of the first test stage was to confirm the correctness of the adopted methodology and to develop test procedures used in further experiments. The essential tests involved installing a catastrophic flight data recorder electronics package inside the test probe in order to confirm satisfying the requirement in terms of overload.

The executed tests confirmed reaching the parameters of the experiment, which satisfy the normative requirements of the test conditions. The checks of the tested catastrophic flight data recorder elements proved its resistance to a g-load of 3400 g. The applied g-load recording methods enabled the inspectors to confirm reaching the required value and the nature of changes of the hazards, the test probe was subjected to during the impact tests.

Keywords: catastrophic flight data recorder, crash test, overload, EuroCAE ED-112 standard, NO-16-A200 standard

Autorzy:

mgr inż. **Zbigniew Jakielaszek** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Samolotów i Śmigłowców,
e-mail: zbigniew.jakielaszek@itwl.pl

prof. dr hab. inż. **Andrzej J. Panas** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Samolotów i Śmigłowców,
e-mail: andrzej.panas@itwl.pl

prof. nadzw. dr hab. inż. **Mirosław Nowakowski** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Samolotów i Śmigłowców,
e-mail: miroslaw.nowakowski@itwl.pl

mgr inż. **Maciej Białecki** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Samolotów i Śmigłowców, e-mail: bialem@itwl.pl

mgr inż. **Marcin Bryl** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Samolotów i Śmigłowców, e-mail: marcin.bryl@itwl.pl

mgr inż. **Krzysztof Maciuszczak** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Samolotów i Śmigłowców,
e-mail: krzysztof.maciuszczak@itwl.pl

inż. **Janusz Wiśniewski** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Zakład Samolotów i Śmigłowców,
e-mail: janusz.wisniewski@itwl.pl