



## Badania właściwości balistycznych silników raketowych foteli katapultowych współczesnych samolotów bojowych\*

Bogdan ZYGMUNT<sup>1</sup>, Wiesław BULER<sup>2</sup>, Andrzej DŁUGOŁĘCKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki,  
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

<sup>2</sup> *Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych,  
ul. Księcia Bolesława 6, 01-494 Warszawa*

**Streszczenie.** Samoloty bojowe wyposażone są w fotele katapultowe stanowiące główny element systemu bezpieczeństwa załogi. Silnik raketowy fotela służy do szybkiej ewakuacji pilota z uszkodzonego samolotu. Prochowe ładunki napędowe w silniku raketowym fotela powinny charakteryzować się ściśle określonymi parametrami balistycznymi w szerokim zakresie temperatury. Autorzy przedstawili wyniki badań balistycznych silników raketowych foteli katapultowych czołowych firm na świecie. Ładunki napędowe do badań balistycznych silników, spełniające wymagania różnych producentów foteli katapultowych opracowano i wyprodukowano w Polsce. Porównano parametry balistyczne silników raketowych zmierzone w warunkach poligonowych w Polsce i w Rumunii.

**Słowa kluczowe:** mechanika, samolot bojowy, fotel katapultowy, silnik raketowy

### 1. WSTĘP

Obligatoryjnym elementem wyposażenia współczesnych samolotów bojowych jest system katapultowania ratujący życie pilota w sytuacjach awaryjnych. Systemy katapultowania są zbudowane głównie z układów mechanicznych, precyzyjnie realizujących swoje funkcje w ściśle określonej sekwencji czasowej i w szerokim zakresie warunków eksploatacji (temperatury,

\* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 6-8 października 2010 r.

prędkości oraz wysokości lotu). Najbardziej zaawansowane technologicznie fotele katapultowe oznaczane są terminem H0V0, co oznacza ich zdolność do skutecznego ratowania pilota nawet w warunkach postoju samolotu na płycie lotniska. Ewakuacja pilota z uszkodzonego samolotu powinna odbyć się w możliwie najkrótszym czasie, jednakże bez nadmiernego narażania organizmu pilota na przeciążenie. Powszechnie stosowanym sposobem szybkiej ewakuacji jest wykorzystanie energii ładunków prochowych [1-4], które wytwarzają krótki impuls siły w celu wysunięcia fotela z pilotem poza kabinę, a następnie wywołują krótkotrwały ciąg raketowy w celu wyniesienia pilota na bezpieczną wysokość. Na podstawie wieloletnich doświadczeń fizjologicznych przyjmuje się, że przeciążenie oddziaływające w czasie 0,1÷0,2 sekundy na organizm zdrowego człowieka nie powinno przekraczać wartości 20 (relacja z przyspieszeniem ziemskim).

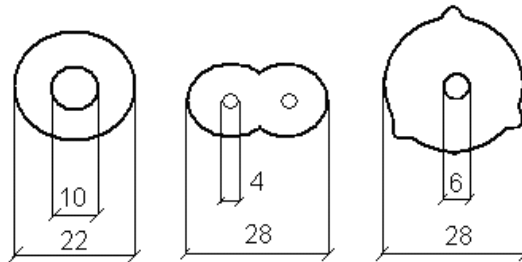
Silniki raketowe foteli katapultowych charakteryzują się różnorodną konstrukcją specyficzną dla każdego z producentów. Umieszczone w nich prochowe ładunki napędowe różnią się masą, liczbą i kształtem ziaren prochowych, wymiarami geometrycznymi oraz właściwościami balistycznymi. Wspólny dla wszystkich konstrukcji jest przedział wartości parametrów kinematycznych, jakie mają być uzyskane dla fotela z pilotem, wyznaczone przez ograniczenia fizjologiczne wytrenowanego organizmu ludzkiego.

W ostatnich 10 latach opracowano w kraju technologię paliw raketowych oraz wykonano i zbadano właściwości balistyczne produkcyjnych partii ładunków napędowych do silników raketowych foteli katapultowych czołowych w świecie producentów systemów ratunkowych [5-7]. Część z wykonanych badań powstała na zamówienie oraz we współpracy z firmą lotniczą AEROFINA S.A. z Bukaresztu. Prace technologiczne realizowane były w ZPS „Gamrat” Sp. z o.o. w Jaśle z wykorzystaniem doświadczenia głównego autora pracy z okresu działalności w Instytucie Przemysłu Organicznego w Warszawie, gdzie opracowano gamę katalizatorów do homogenicznych paliw raketowych. Efekty badawcze i wdrożeniowe w zakresie opisanych ładunków napędowych potwierdziły możliwości opracowania i produkcji w kraju wyrobów uzbrojenia na światowym poziomie.

W pracy przedstawiono wyniki poligonowych badań balistycznych silników raketowych foteli katapultowych produkcji rosyjskiej (KM1M i K-36DM) oraz produkcji rumuńskiej (SC-H0V0) wykonany na licencji firmy Martin-Baker. Opisane w pracy testy balistyczne wykonane zostały z użyciem opracowanych i wyprodukowanych w kraju ładunków napędowych będących odwzorowaniem ładunków oryginalnych, zachowując wymagane przez konstruktorów parametry balistyczne. Porównano parametry balistyczne (ciąg, ciśnienie w komorze spalania, czas spalania ładunków prochowych) uzyskiwane w badaniach poligonowych i określono zakresy tych parametrów wynikające z ograniczeń fizjologicznych organizmu człowieka.

## 2. MODERNIZACJA TECHNOLOGII PRODUKCJI ŁADUNKÓW I BADANIA BALISTYCZNE

Ładunki napędowe do foteli katapultowych są wytwarzane z paliw nitrolicerynowych (double-base propellant) o różnym składzie chemicznym, odmiennym cieple spalania oraz charakteryzują się różnorodnymi kształtami geometrycznymi i masą pojedynczego ładunku. Każdy z producentów foteli katapultowych zaprojektował swoje charakterystyczne rozwiązanie. Próba odtworzenia konkretnego ładunku prochowego wiąże się z wykonaniem od podstaw pracy badawczej zakończonej poligonowymi badaniami balistycznymi pełnych kompletów ładunków w silnikach bojowych lub zastępczych. Na rys. 1 przedstawiono kształty przekrojów poprzecznych ładunków prochowych z różnych foteli katapultowych, które były obiektem badań balistycznych i prac technologicznych mających na celu ich modernizację.



Rys. 1. Kształty przekrojów ładunków prochowych do silników raketowych foteli katapultowych KM1M, K-36DM oraz SC-HV-00

Fig. 1. Intersection shapes of propulsion charges for rocket engines of ejection seats type KM1M, K-36DM and SC-HV-00



Rys. 2. Powierzchnie czołowe ładunków napędowych (od lewej): K4, K4M, PZAM, C

Fig. 2. Front surfaces of propulsion charges (from the left): K4, K4M, PZAM, C

Partie modelowe i prototypowe ładunków prochowych wykonano w ZPS „Gamrat”, wykorzystując doświadczenie i wiedzę zgromadzoną przy realizacji wcześniejszych projektów badawczych.

Próby produkcyjne ładunków wykonano na zamówienie odbiorcy zagranicznego, na życzenie którego przeprowadzono badania balistyczne silników z polskimi ładunkami napędowymi.

### 3. SILNIK RAKIETOWY FOTEŁA KM1M

Samoloty myśliwskie MiG-21 są wykorzystywane w lotnictwie wojskowym od ponad pół wieku, a zmodernizowane wersje są użytkowane obecnie w siłach powietrznych wielu państw. Ocenia się, że wyprodukowano ponad 10 tysięcy maszyn dla sił powietrznych ponad 50 krajów. Zastosowany w tym samolocie fotel katapultowy KM1 podlegał modernizacji z zachowaniem głównych cech konstrukcyjnych. Autorzy pracy dokonali modernizacji ładunków prochowych do fotela KM1M na zamówienie firmy lotniczej dostarczającej systemy bezpieczeństwa siłom powietrznym kilku krajów [3-5]. Modernizacja polegała na zastosowaniu nowego katalizatora do paliwa raketowego oraz zmianie wymiarów geometrycznych ładunków prochowych, co miało wpływ na ustabilizowanie procesu palenia w wyższej temperaturze (do 60°C) oraz na wydłużenie czasu palenia przy znaczącym obniżeniu ciśnienia w komorze silnika. Należy dodać, że powyższe zmiany dotyczyły wyłącznie właściwości paliwa raketowego oraz wymiarów ładunków, bez ingerencji w konstrukcję silnika raketowego.

Na rys. 3 przedstawiono rozmontowany silnik raketowy fotela KM1M, który jest umieszczony za oparciem fotela pilota. Badania balistyczne silnika raketowego zostały przeprowadzone w AEROFINA S.A. dla partii ładunków wyprodukowanych przez ZPS „Gamrat” w ramach kontraktu handlowego.

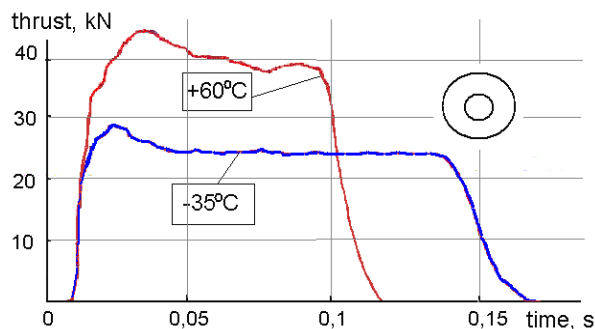


Rys. 3. Główne elementy silnika raketowego wymontowane z fotela katapultowego KM1M; korpus silnika (na górze), zespół dysz z dwoma perforowanymi rusztami, pomiędzy którymi umieszcza się ładunki prochowe (na dole)

Fig. 3. Main elements of rocket engine removed from KM1M ejection seat : body of engine (on the top), nozzle unit with two perforated grids (at the bottom) – propulsion charge is placed between the grids

Przedstawione wyniki pomiarów ciągu silnika w skrajnych temperaturach eksploatacji dotyczą ładunków zmodernizowanych – K4M (drugi od lewej na rys. 2), które charakteryzują się stabilniejszym spalaniem w wyższej temperaturze [3].

Na rys. 4 przedstawiono wykresy ciągu silnika fotela KM1M zawierającego komplet jedenastu zmodernizowanych ładunków (K4M) przeprowadzone po 6-godzinnym termostataowaniu zaelaborowanych ładunkami silników w skrajnych temperaturach eksploatacji. W porównaniu z ładunkami tradycyjnymi (K4), nastąpiło znaczne obniżenie ciągu mierzonego w temperaturze  $+60^{\circ}\text{C}$  [4], co jest szczególnie korzystną cechą zmodernizowanych ładunków wykonanych z nowego paliwa raketowego, ponieważ powoduje zmniejszenie przeciążenia oddziaływającego na organizm pilota.



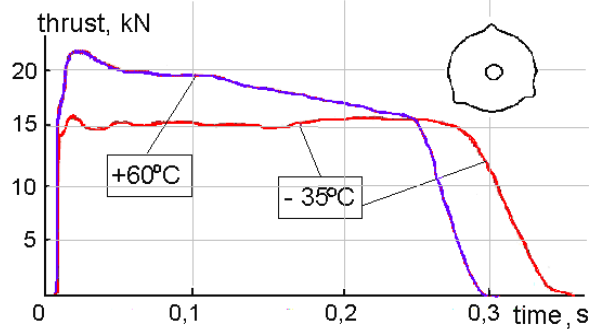
Rys. 4. Wykresy ciągu silnika raketowego fotela KM1 z ładunkami napędowymi typu K4 M zarejestrowane po termostataowaniu w temp.  $+60^{\circ}\text{C}$  i  $-35^{\circ}\text{C}$ . Na rysunku zaznaczono kształt ładunków – w górnym prawym rogu

Fig. 4. Graphs of rocket engine thrust of KM1 ejection seat with propulsion charges type K4 M recorded after conditioning in temperature of  $+60^{\circ}\text{C}$  and  $-35^{\circ}\text{C}$ . Shape of charge – top and right corner

#### 4. SILNIK RAKIETOWY FOTEŁA SC-HV-00

Fotel katapultowy SC-HV-00 produkcji rumuńskiej jest stosowany w samolotach szkolno-bojowych IAR-93 oraz IAR-99. Konstrukcja fotela jest wzorowana na rozwiązaniu systemu Mk-10 firmy Martin-Baker. Fotel nie ma jednej komory spalania silnika raketowego mieszczącej wszystkie ładunki napędowe, tak jak w innych konstrukcjach. Ładunki napędowe o trzech różnych długościach oraz identycznym przekroju przedstawionym na rys. 1 i 2 (typ C) umieszczone są w oddzielnych komorach usytuowanych w tylnej części fotela i połączonych zbiorczymi kolektorami gazów prochowych z dwoma dyszami głównymi i dwoma dyszami pomocniczymi rozmieszczonymi w dolnej części

konstrukcji fotela. Na rys. 5 przedstawiono wykresy ciągu silnika raketowego fotela SC-HV-00, wykonanego na licencji firmy Martin-Baker.



Rys. 5. Wykresy ciągu silnika raketowego fotela SC-HV-00 z ładunkami napędowymi typu C zarejestrowane po termostatawaniu w temp.  $+60^{\circ}\text{C}$  i  $-35^{\circ}\text{C}$

Fig. 5. Graphs of rocket engine thrust of SC-HV-00 ejection seat with propulsion charges type C recorded after conditioning in temperature of  $+60^{\circ}\text{C}$  and  $-35^{\circ}\text{C}$

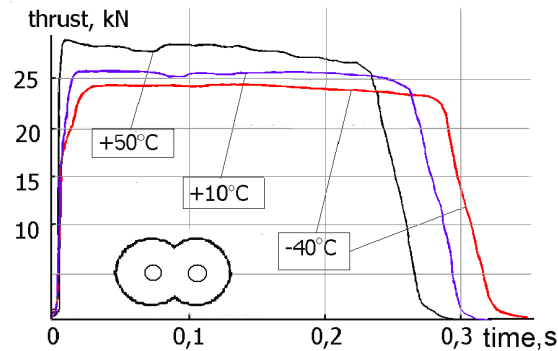
## 5. SILNIK RAKIETOWY FOTEŁA K36DM

Fotel katapultowy K36DM jest systemem nowoczesnym i sprawdzonym w wielu sytuacjach awaryjnych. Wyposażone w ten system ratunkowy są rosyjskie samoloty bojowe, m.in.: MiG-29, MiG-31, Su-22 i Su-27. Fotel katapultowy K36DM wyposażony jest w silnik raketowy o kształcie cylindrycznym zamontowany pod siedzeniem pilota fotela, z dyszą umieszczoną symetrycznie w powierzchni cylindrycznej. Przez zakręcane pokrywy denne wkładane są wiązki ładunków napędowych PZAM, po 25 sztuk z każdej strony.



Rys. 6. Silnik raketowy fotela K36DM na poligonowym stanowisku do badań balistycznych

Fig. 6. Rocket engine of K36DM ejection seat placed on outdoor ballistic test stand



Rys. 7. Wykresy ciągu silnika raketowego fotela K36DM z ładunkami napędowymi typu PZAM-PI zarejestrowane po termostatowaniu w temp.  $+50^{\circ}\text{C}$ ,  $+10^{\circ}\text{C}$  oraz  $-40^{\circ}\text{C}$

Fig. 7. Graphs of rocket engine thrust of K36DM ejection seat with propulsion charges type PZAM-PI recorded after conditioning in temperature of  $+50^{\circ}\text{C}$ ,  $+10^{\circ}\text{C}$  and  $-40^{\circ}\text{C}$

Na rys. 6 przedstawiono poligonowe stanowisko do badań balistycznych z zamontowanym silnikiem raketowym z fotela K36DM. Wcześniej przeprowadzono badania porównawcze ładunków napędowych oryginalnych z ładunkami opracowanymi i wyprodukowanymi w kraju. Z uwagi na pełną zgodność wyników badań balistycznych [4], na rys. 7 przedstawiono wykresy ciągu uzyskane dla silnika raketowego z ładunkami napędowymi produkcji krajowej.

## 6. PODSUMOWANIE

W tabeli 1 podano parametry techniczne i balistyczne trzech typów foteli katapultowych. Zamieszczone dane balistyczne zebrano z badań wykonanych w niniejszej pracy, pozostałe dane – ze źródeł pochodzących od producentów systemów ratunkowych.

Najstarszą konstrukcją jest fotel KM1M, który narażał pilota na duże, lecz krótkotrwałe przeciążenia. Uwzględniając fizjologiczne ograniczenia organizmu ludzkiego, następna generacja foteli katapultowych, zarówno produkcji rosyjskiej, jak i wzorowanej na brytyjskim rozwiązaniu, charakteryzuje się wyższym stopniem zapewnienia bezpieczeństwa w sytuacji awaryjnej. W odróżnieniu, nowsze konstrukcje foteli – K-36DM i SC-HV-00 stwarzają mniejsze obciążenia organizmu pilota, nie przekraczające średniego przeciążenia równego 10, trwające w dłuższym czasie – około 0,3 sekundy. Obie te konstrukcje należą do klasy H0V0 i zajmują dominującą pozycję na rynku światowym.

TABELA 1. Dane techniczne i balistyczne foteli katapultowych i ich silników raketowych

TABLE 1. Technical and ballistics details of ejection seats and rocket engines

Typ fotela	KM1M	K-36DM	SC-HV-00
Masa fotela [kg]	135	145	90
Masa ładunku prochowego [kg]	2,1	3,75	2,8
Ciepło spalania [kJ/kg]	4600	3600	4600
Impuls całkowity [kNs]	4,0	7,0	5,0
Ciąg maks. [kN]	45	30	26
Ciąg średni w temp. 15°C [kN]	32	25	18
Przeciążenie maks. [a/g]	19	12,5	13,5
Ciśnienie maks. [MPa]	26	25	30
Ciśnienie średnie [MPa]	16	10	14
Czas pracy [s]	0,10÷0,18	0,25÷0,35	0,22÷0,32
Zakres temperatury pracy [°C]	-35÷+60	-50÷+50	-35÷+60

Charakter szczególnej roli, jaką odgrywają ładunki napędowe w silniku raketowym fotela katapultowego, którego zadaniem jest nadać układowi z człowiekiem prędkość ok. 30 m/s w czasie ułamka sekundy, narzuca rygorystyczne ograniczenia na rozrzut właściwości balistycznych ładunków napędowych w szerokim zakresie temperatur, zwykle od  $-40^{\circ}\text{C}$  aż do  $+65^{\circ}\text{C}$ . Zebrane przez autorów pracy doświadczenia teoretyczne i praktyczne w zakresie technologii paliw raketowych zostały wykorzystane we wdrożeniu badanych ładunków napędowych do produkcji w ZPS „Gamrat” Sp. z o.o. w Jaśle na zamówienie odbiorcy zagranicznego. Opracowane i wyprodukowane w kraju ładunki napędowe przeszły pozytywnie badania kwalifikacyjne w firmie AEROFINA S.A. w Bukareszcie oraz w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych w Warszawie.



## LITERATURA

- [1] Zygmunt B., Prochowe ładunki napędowe do foteli wyrzucanych samolotów bojowych, *Materiały V Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”*, Waplewo, 9-11 października 2004, wyd. CD, s. 1191-1200, 2004.
- [2] Zygmunt B., Środki pirotechniczne do foteli wyrzucanych – stan obecny, możliwości opracowania i podjęcia produkcji w kraju, *Informacja dla Szefa Logistyki WLOP* (praca zastrzeżona), WAT Warszawa, 2004.
- [3] Zygmunt B., Motyl K., Modernizacja ładunków napędowych fotela wyrzucanego samolotu MiG-21, *Materiały VI Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”*, Waplewo, 11-13 października 2006, wyd. CD, s. 1151-1164, 2006.
- [4] Zygmunt B., Motyl K., Surma Z., Właściwości balistyczne ładunków napędowych do foteli katapultowych samolotów bojowych, *Biuletyn WAT*, nr 3, vol. 57, s. 97-110, 2008.
- [5] Chudowolski P., Zygmunt B. (tutor), Study of propelling charges for ejection of the pilot, *Proceedings of 12-th International Symposium of Students and Young Mechanical Engineers – “Advances in mechanical engineering”*, Gdańsk, 22-23 May 2009, pp. 5-10, 2009.
- [6] Zygmunt B., Study of propelling charges for ejection seats, *Proceedings of 2009 Intern. Autumn Seminar on Propellants Explosives and Pyrotechnics*, 22-25 October 2009, Kunming, China, pp. 277-282, 2009.
- [7] Zygmunt B. i in., Opracowanie technologii paliwa raketowego i wykonanie partii prototypowej ładunków napędowych do fotela wyrzucanego K-36DM samolotów bojowych MiG-29 oraz Su-22, *Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego PBR 00 702 w latach 2006-2009*, WAT Warszawa, 2009.

## **Study of Ballistic Properties of Ejection Seats Rocket Motors of Modern Aircrafts**

Bogdan ZYGMUNT, Wiesław BULER, Andrzej DŁUGOLECKI

**Abstract.** Contemporary aircrafts are obligatory equipped with ejection seats – the main element of rescue systems. For quick evacuation of pilots out of aircraft in emergency situation, rocket motors are commonly used. Propelling charges in combustion chamber of rocket motors should characterize of strictly determined ballistic parameters at wide range of temperature. In the paper ballistic parameters of ejection seats rocket motors of leading manufacturers in the world are presented. Propelling charges of different shapes and physical properties were designed and produced in Poland. Charges fulfil all requirements demanded by ejection seats manufacturers. The results of test range experiments conducted in Poland and Romania are compared.

**Keywords:** mechanics, ejection seat, rocket motor, propelling charge