



## OKREŚLENIE WPLYWU CZASU PRZECHOWYWANIA / EKSPLOATACJI NA PARAMETRY PRACY SPŁONEK PIRONABOJÓW FOTELI KATAPULTOWYCH

### *DEPENDENCE OF PYROTECHNICAL CARTRIDGES PRIMERS CHARACTERISTICS IN CATAPULT SEATS ON STORING / SERVICE TIME*

Andrzej DŁUGOŁĘCKI, Jarosław DEBIŃSKI, Andrzej FARYŃSKI,  
Tomasz KWAŚNIAK, Łukasz SŁONKIEWICZ  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych  
*Air Force Institute of Technology*

DOI 10.5604/01.3001.0011.5826

**Streszczenie.** Praca niniejsza dotyczy pobudzania za pomocą uderzaka grawitacyjnego (UG) grup spłonek pironabojów foteli katapultowych z roczników produkcyjnych różniących się datą produkcji o około 12-13 lat. W czasie prób przy energii dysponowanej UG, odpowiadającej energii sprężynowych mechanizmów strzałowych (SMS) fotela zmierzono średnie wartości: opóźnienia zadziałania  $\Delta t \approx 410 \mu\text{s}$  i nadciśnienia 1 i 1,8 bar przed i po odbiciu w komorze wybuchowej o objętości  $460 \text{ cm}^3$  oraz medianę energii  $E_{\text{śred}}$  wymaganej do pobudzenia spłonek. Stwierdzono wzrost  $E_{\text{śred}}$  od około 290 mJ o ok. 20% w ciągu 10 lat, co oznacza odpowiedni spadek wrażliwości. Pozostałe mierzone wielkości nie wykazywały zauważalnej zależności od czasu użytkowania. Zbadano zależność opóźnienia zadziałania od prędkości początkowej  $v_0$  iglicy w zakresie od ok. 1 m/s do zbliżonej do występującej w SMS (7-10 m/s). Zależność ta jest zbliżona do  $\Delta t \sim 1/v_0$ , stwierdzanej dla innych typów spłonek pobudzanych uderzeniowo.

**Słowa kluczowe:** spłonka uderzeniowa, starzenie spłonek, energia pobudzenia, zwłoka czasowa

### 1. Wstęp

Celem głównym opisanych niżej badań było zapoznanie się z własnościami spłonek uderzeniowych (opóźnieniem zadziałania,

**Abstract:** The paper dwells on using a gravitation striker (GS) to initiate collections of ejection cartridge primers with dates of manufacture spanning by ca. 12-13 years. During the tests at the energy provided by the GS corresponding to spring firing mechanisms (SFM) of the seat, the average values of activation delay time  $\Delta t \approx 410 \mu\text{s}$  and the overpressure 1.0 and 1.8 bar before and after the bouncing and the median energy  $E_{\text{aver}}$  required for the initiation of the primers were measured in the explosive chamber having the volume  $460 \text{ cm}^3$ . The increase of  $E_{\text{aver}}$  from 290 mJ by ca. 20% during 10 years indicates the fall of sensitivity. The remaining measured values have not shown any clear dependence on the life time. The dependence of activation time delay between the striker initial velocities  $v_0$  of ca. 1 m/s and values of SFM (7-10 m/s) was also investigated. The dependence is close to  $\Delta t \sim 1/v_0$  observed for other types of percussion primers.

**Keywords:** percussion primer, ageing of primers, energy of initiation, time delay

### 1. Introduction

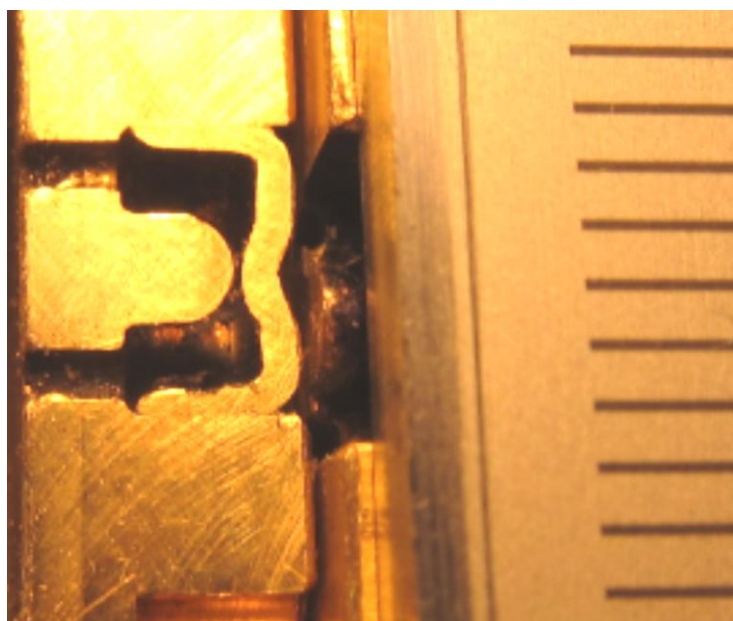
Identification of characteristics for percussion primers (delay and energy of activation) initiating the activation of catapult

energiją pobudzenia), inicjujących działanie pironabojów uruchamiających fotele katapultowe samolotów szkolnych. Dysponowanie grupami pironabojów różniących się znacznie datą produkcji sprawiło, że podjęto próbę oszacowania zmian tych własności po upływie długiego czasu przechowywania i użytkowania.

Pironaboje uruchamiające parę foteli (pierwsza i druga kabina) stanowią komplet złożony z kilku ich typów, wykonujących określone czynności w trakcie katapultowania. Rok i miesiąc produkcji danego egzemplarza pironaboju oznaczony był na jego korpusie, określając jego partię produkcyjną. W ramach badań wykonano przekroje wybranych pironabojów po zadziałaniu spłonek (rys.1). Określone na ich podstawie jednakowe parametry geometryczne spłonek (typu „berdan”) narzuciły - z powodu braku dostępu do bliższych danych – założenie, że wszystkie badane typy pironabojów pobudzane były spłonkami tego samego typu. Podobnie względy technologiczne wykonania pironabojów (wspólne starzenie itp.) preferowałyby użycie spłonek wyprodukowanych maksymalnie rok wcześniej – dlatego założono, że rok ich produkcji odpowiadał oznaczeniu na korpusie pironaboju.

seats in training planes was the main goal of presented tests. The possession of lots of pyrotechnical cartridges with different years of manufacture has hinted an attempt to estimate the changes of these characteristics after long term storing and using.

The pyrotechnical cartridges activating two seats (first and second cabin) create a complete set consisting of a few types of them and executing specific actions during the catapulting. The year and month of manufacture for a specific item of the pyrotechnical cartridge was marked on its case to indicate the manufacture lot. During investigations the cross-sections of selected pyrotechnical cartridges were prepared after the activation of primers (Fig.1). As identical geometrical characteristics of them (“berdan” type) were received and no access for detailed data was possible then an assumption was taken that all types of tested pyrotechnical charges were initiated by the same type of primers. Similarly, technological process of pyrotechnical cartridges fabrication (common ageing etc.) suggests the primers would be produced maximally a year earlier and assumption was made that the year of their manufacture is the same as marked on the pyrotechnical cartridge case.



**Rys. 1. Przekrój spłonki badanego typu po zadziałaniu. Widoczna jest podziałka milimetrowa. Uderzenie iglicy nastąpiło w kierunku poziomym od strony prawej.**

**Fig. 1. A cross-section of a primer of the investigated type after its activation. A millimetre scale is visible. The pin has struck horizontally from the right.**

Eksperymenty prowadzono w sposób opisany w [1] na traktowanych jako odrębne zbiory spłonkach pironabojów wyproduk-

The experiments were carried out in a way described in [1] for two separated populations of pyrotechnical cartridge pri-

wanych w 2013 roku oraz na grupie spłonek z lat 1999-2002. Ponieważ w grupie tej wzajemna odległość dat produkcji była dużo mniejsza od odległości czasowej od roku 2013, założono, że ze względu na stosunkowo niedużą ilość próbek (spłonek) grupę tę przy badaniu wpływu starzenia można traktować jak jeden rocznik.

W fotelach iglica pobudzająca spłonkę jest napędzana sprężynowym mechanizmem strzałowym (SMS), który z założenia jest „monoenergetyczny” (energia jego uderzenia możliwa była do oszacowania na podstawie pomiarów jego geometrii), podczas gdy w opisanych eksperymentach konieczne było stosowanie uderzeń iglicy o różnych, dających się łatwo wyznaczyć wartościach energii kinetycznej, do którego to celu przystosowanie SMS byłoby kłopotliwe. Dlatego do napędu iglicy zastosowano spadającą grawitacyjnie masę – uderzak. Warunki głównej części badań (sprawdzenie, przy jakiej energii prawdopodobieństwo zadziałania spłonki było wystarczająco duże) zostały dobrane tak, by energie uderzającej iglicy (początkowa energia dysponowana  $E_0$ ) w obu przypadkach napędu były do siebie zbliżone. Ponieważ masa uderzaka musiała być na tyle duża, aby jego kontakt z iglicą i jednocześnie iglicy ze spłonką trwał wystarczająco długo dla przekazania spłonce energii potrzebnej do zadziałania ( $E_{abs} < E_0$ ), ograniczało to prędkość początkową iglicy (napędzanej grawitacyjnie) do wartości nawet kilkakrotnie mniejszej od uzyskiwanej w SMS. Przeprowadzono dodatkowe badania pokazujące, w jaki sposób zmiana tej prędkości wpływała na zwłokę (opóźnienie) zadziałania spłonki.

## 2. Układ pomiarowy

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 2. Łuskę pironaboju, zawierającą spłonkę, umieszczano w komorze wybuchowej o objętości ok.  $460 \text{ cm}^3$ , zaopatrzonej w poosiowy otwór wylotowy, umożliwiającą obserwację świecenia spłonki za pomocą fotodiody z zasilaniem bateryjnym. W ścianie komory znajdowało się gniazdo piezoelektrycznego czujnika, mierzącego ciśnienie wewnątrz niej w czasie

mers manufactured in 2013 and within 1999-2002. As the dates of manufacture in the second group were spread less than the time distance to the year 2013 then it was assumed that this relatively small population of samples (primers) may be treated at investigations of ageing as manufactured in one year.

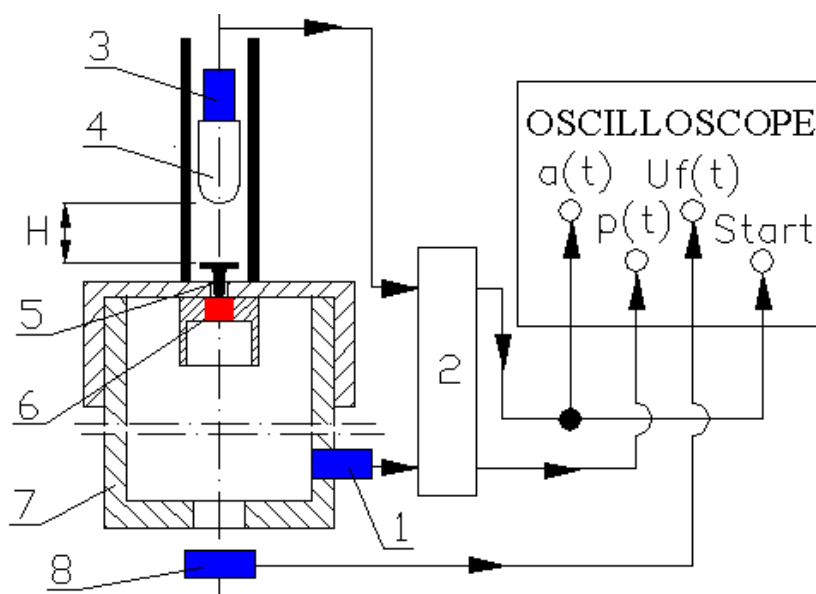
The striker activating the primer in pilot seats is driven by spring firing mechanism (SFM) which by its design is a “monoenergetic” type (the energy of the strike may be estimated by measuring its geometry) whereas for the described experiments the kinetic energy of the pin strikes have to be different and easy for measurement and an adaptation of SFM mechanism to this purpose seemed to be a bit difficult. For this reason the striking pin is driven by a mass of an impact striker falling down gravitationally. The conditions for the main part of testing (checking the level of energy for which the likelihood of primer activation is sufficiently high) were chosen in way that provides similar energies of the striking pin (initial provided energy  $E_0$ ) at two cases of driving systems. As the mass of the impact striker has to be sufficiently high to secure a long enough time of its contact with the striking pin and at the same time the contact between the striking pin and the primer to transfer into the primer the energy needed for activation ( $E_{abs} < E_0$ ) then the initial velocity of the striking pin (driven by gravitation) is even a few times lower than for the SFM. Additional tests were carried out to show the dependence of this changed velocity on the primer activation delay.

## 2. Measurement Setup

Scheme of the measurement setup is shown in Fig. 2. The case of the pyrotechnical cartridge with the primer is put into the explosive chamber having the volume of ca.  $460 \text{ cm}^3$  with an axial output hole to observe the light of the primer by a battery powered photodiode. The wall of the chamber was fitted with a hole housing the piezoelectric sensor measuring the internal pressure at firing. The base of the primer was in a direct contact with

strzału. O dno spłonki oparta była iglica, na którą z wysokości  $H$  zrzucały był uderzak (bijnik) o masie  $m_U = 0,31$  kg.

the striking pin accepting the strike of the percussion striker (beater) having the mass of  $m_U = 0.31$  kg and falling from the height  $H$ .



**Rys. 2. Schemat układu pomiarowego:** 1 – czujnik ciśnienia, 2 – zasilacz czujników piezoelektrycznych, 3 – akcelerometr, 4 – masa uderzająca (bijnik), 5 – iglica, 6 – badana spłonka w łusce, 7 – komora wybuchowa, 8 – fotodioda

**Fig. 2. Scheme of measurement setup:** 1 – Pressure sensor, 2 – Piezoelectric sensors power supply 3 – Accelerometer, 4 – Impact mass (beater), 5 – Striking pin, 6 – Tested primer in case, 7 – Explosive chamber, 8 – Photodiode

Akcelerometr, przymocowany do uderzaka, obrazował proces jego hamowania na spłonce. Masa  $m_U$  obejmowała masę akcelerometru i odcinka przewodu pomiarowego (która była dużo mniejsza od masy samego uderzaka). Masa iglicy  $m_I \ll m_U$ . Zespół: uderzak - akcelerometr opadał na iglicę z prędkością początkową  $(2gH)^{1/2}$ , stąd można przyjąć, że prędkość początkowa iglicy wgniatanej w dno spłonki wynosiła  $v_0 = (m_U / (m_U + m_I)) (2gH)^{1/2} \approx (2gH)^{1/2}$ , zaś początkowa energia uderzaka  $E_0 = m_U g H$ .

Za pomocą oscyloskopu cyfrowego rejestrowano przebiegi w czasie: przyspieszenia hamowania  $a(t)$  zespołu uderzak – iglica w dnie spłonki, świecenia spłonki (napięcia z czujnika fotodiodowego)  $U_f(t)$  oraz ciśnienia  $p(t)$  w komorze wybuchowej w odległości ok. 20 cm od spłonki. Start podstawy czasu oscyloskopu następował po przekroczeniu przez sygnał z akcelerometru określonej wartości napięcia.

An accelerometer fixed to the beater illustrated the process of its deceleration in the primer. The mass  $m_U$  included the mass of accelerometer and a section of measurement wire (which was significantly lower than the mass of the beater). The mass of the striking pin  $m_I \ll m_U$ . The beater-accelerometer system is dropped into the striking pin at the initial velocity  $(2gH)^{1/2}$  and then it can be accepted that the initial velocity of the striking pin enforced into the primer base was  $v_0 = (m_U / (m_U + m_I)) (2gH)^{1/2} \approx (2gH)^{1/2}$  and the initial energy of the beater was  $E_0 = m_U g H$ .

Digital oscilloscope recorded the time signals: deceleration  $a(t)$  of the beater-striking pin system into the primer base, lighting of the primer  $U_f(t)$  (voltage from photodiode sensor) and pressure  $p(t)$  inside the explosive chamber for the point placed ca. 20 cm from the primer. Oscilloscope time axis starts when the voltage signal from the accelerometer crosses a specific value.

### 3. Procedura badawcza

W celu wyznaczenia  $(E_0)_{\text{medn}}$  i  $\sigma_E$  – mediany i odchylenia standardowego dysponowanej energii  $E_0$ , określających prawdopodobieństwo zadziałania, spłonki zbioru rocznikowego 2000-2001 podzielono na 5 grup (w każdej grupie znajdowała się zbliżona liczba spłonek każdego z roczników), rocznika 2013 – na 4 grupy, po 15 spłonek w każdej. Traktując spłonki wprowadzane w pironaboje różniące się oznaczeniem miesiąca w roczniku jako pochodzące z różnych partii produkcyjnych – w każdej grupie mieszano spłonki z różnych partii: w roczniku 2013 - z czterech, w zbiorze 2000-2001 - z 7 partii. Spłonki w ramach każdej z grup pobudzano przy tej samej (różnej dla różnych grup) wysokości zrzutu  $H$  (czyli  $E_0$ ). Ilość zadziałań w  $i$ -tej grupie dawała prawdopodobieństwo  $p(E_{0i})$ , będące punktem doświadczalnym dystrybuanty, której parametry wyznaczano następnie metodą kolejnych przybliżeń [1]. Ze względu na małą ilość próbek wartości  $E_{0i}$  (lub  $H_i$ ) wybierano w sposób heurystyczny.

Dla każdego aktu odpalenia (zainicjowania z powodzeniem) spłonki określano opisane niżej parametry. Utożsamiając początek narastania  $a(t)$  z początkiem wgniatania iglicy, zaś początek narastania  $U_f(t)$  – z zadziałaniem spłonki – z różnicy tych momentów czasowych określano opóźnienie (zwłokę) czasowe  $\Delta t$ .

W oparciu o zapis  $a(t)$  obliczano numerycznie bieżącą prędkość wgniatania  $v(t) = v_0 - \int_0^t a(\xi) d\xi$ , przemieszczenie (zagłębienie) iglicy w trakcie wgniatania  $\Delta x(t) = \int_0^t v(\xi) d\xi$ , siłę wgniatania  $F(t) = m_U a(t)$ , moc wgniatania  $P(t) = F(t) v(t)$  oraz energię pochłoniętą przez spłonkę do chwili zadziałania  $E_{\text{abs}} = \int_0^{\Delta t} P(\xi) d\xi < E_0$ .

Przykładowe przebiegi w czasie wielkości zmierzonych i obliczonych w powyższy sposób dla jednego ze strzałów pokazano na rys. 3. W dalszym ciągu, na rys. 4-8, mowa będzie o wartościach tych wielkości, uśrednionych dla każdej z grup po 15 spłonek.

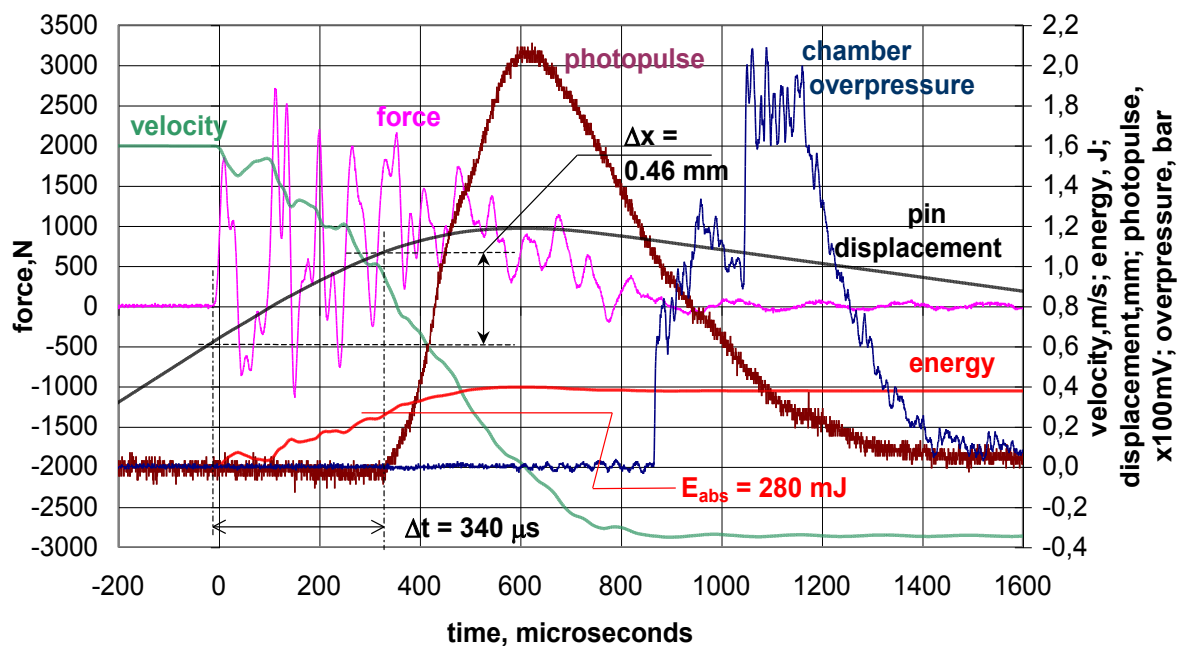
### 3. Testing Procedure

In order to identify  $(E_0)_{\text{medn}}$  and  $\sigma_E$  – median and standard deviation of provided energy  $E_0$ , describing the probability of activation, the primers from 2000+2001 years collection were divided into 5 groups (each group included similar number of primers for each year) and the primers from 2013 into 4 groups including 15 primers in each one. The primers pressed into the cartridges with different markings of the month were treated as originating from different production lots – in each group the primers from different lots were mixed: for 2013 – from four lots and for the population of 2000+2001 – from 7 lots. The primers were activated within each group at the same (different for each group) height of dropping  $H$  (i.e.  $E_0$ ). Number of activations for an  $i$ -group produced the probability  $p(E_{0i})$  which was an experimental point of the distribution function with characteristics established in the next step by a method of consecutive approximations [1]. A heuristic way for choosing values of  $E_{0i}$  (or  $H_i$ ) was used because of limited number of samples.

For each event of primer ignition (successful initiation) the following characteristics described below were identified. Identifying the beginning of increase for  $a(t)$  as the beginning of pressing the pin, and the start of increase for  $U_f(t)$  as the activation of the primer the difference of these times produced the time delay  $\Delta t$ .

On the basis of  $a(t)$  record there were carried out numerical calculations of real pressing velocity  $v(t) = v_0 - \int_0^t a(\xi) d\xi$ , displacement (deepening) of the striking pin during the pressing  $\Delta x(t) = \int_0^t v(\xi) d\xi$ , pressing force  $F(t) = m_U a(t)$ , pressing power  $P(t) = F(t) v(t)$  and the energy absorbed by the primer until the moment of activation  $E_{\text{abs}} = \int_0^{\Delta t} P(\xi) d\xi < E_0$ .

Exemplary time graphs for measured values and calculated in the way shown above for one of the ignitions is shown in Fig 3. In the next parts Figs. 4-8 illustrate these values averaged for each group of 15 primers.



**Rys. 3. Przykładowy zestaw krzywych obrazujących pobudzenie spłonki:** “photopulse” – natężenia świecenia gazów powybuchowych spłonki, “force” – siły wgniatania iglicy w dno spłonki (początek krzywej narastania siły jest początkiem wgniatania iglicy), “energy” – energii, przekazywanej spłonce przez iglicę (zaznaczona wartość  $E_{abs}$  do chwili  $\Delta t$  pojawienia się świecenia), “velocity” – prędkości oraz “pin displacement” – przemieszczenia wgniatanej iglicy (zaznaczono  $\Delta x$  – zagłębienie do chwili pojawienia się świecenia); “chamber overpressure” przedstawia impuls wytworzonego ciśnienia;  
 $E_0 = 395 \text{ mJ}$

**Fig. 3. Exemplary graphs illustrating initiation of the primer:** “Photopulse” – Intensity of lighting for primer post-explosive gases, “Force” – Forces pressing the striking pin into the primer base (start of the force increase is the beginning of pin pressing move), “Energy” – Energy transferred to the primer by the pin (marked value  $E_{abs}$  until the moment  $\Delta t$  of lighting), “Velocity” – Velocity and “Pin displacement” – Movement of pressed striking pin (marked  $\Delta x$  – depth until the appearance of the lighting); “Chamber overpressure” represents the pulse of produced pressure;  $E_0 = 395 \text{ mJ}$

#### 4. Wyniki pomiarów

Na rys. 4 pokazano dystrybuanty rozkładów prawdopodobieństwa zadziałania spłonek z roczników, różniących się o ok. 13 lat datą produkcji. Przy założeniu, że różnice spowodował wyłącznie upływ czasu, zauważyć można spadek wrażliwości spłonek (w sensie wzrostu wartości mediany  $(E_0)_{medn}$ ) w tempie ok. 2% / rok, co dodatkowo obrazuje rys. 4. Jednocześnie rozkład prawdopodobieństwa wydaje się ulegać zawężeniu.

Rysunki: 6, 7, 8 obrazują kolejno zmiany średniej zwłoki (opóźnienia) zadziałania  $\Delta t$ , średniej energii pochłoniętej do chwili zadziałania  $E_{abs}$  i średniego nadciśnienia na froncie fali uderzeniowej generowanej przez spłonkę w komorze

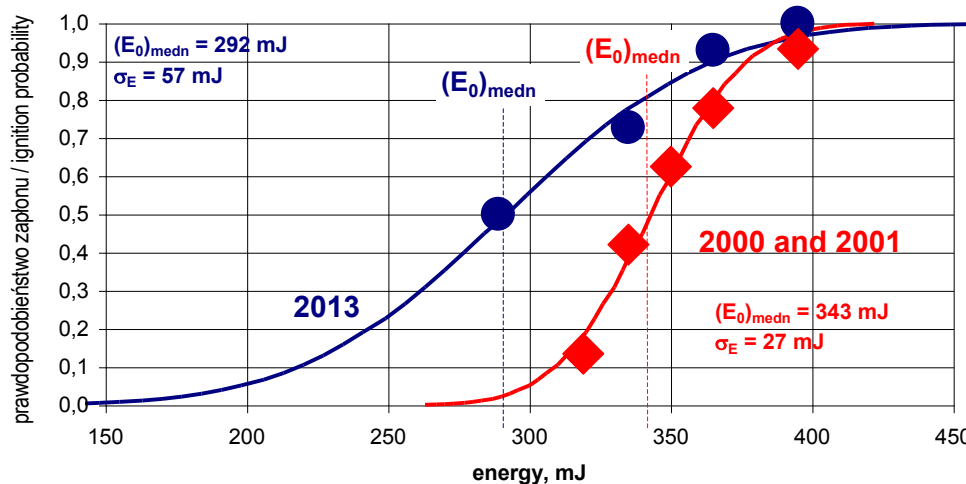
#### 4. Measurement Results

Distribution functions for probabilities of activation for primers originating from the years of manufacture separated by ca. 13 years are shown in Fig. 4. Assuming that the changes were caused exclusively by the flow of time a fall of primers sensitivity may be noticed (in sense of  $(E_0)_{medn}$  median increase) by the rate of ca. 2% / year what is additionally shown in Fig. 4. At the same time the distribution of probability seems to narrow.

Figures 6, 7, 8 show the changes of the average activation delay  $\Delta t$ , average absorbed energy until the moment of activation  $E_{abs}$  and average overpressure on the front of the blast wave generated by the primer inside the explosive chamber – as a function of the initial

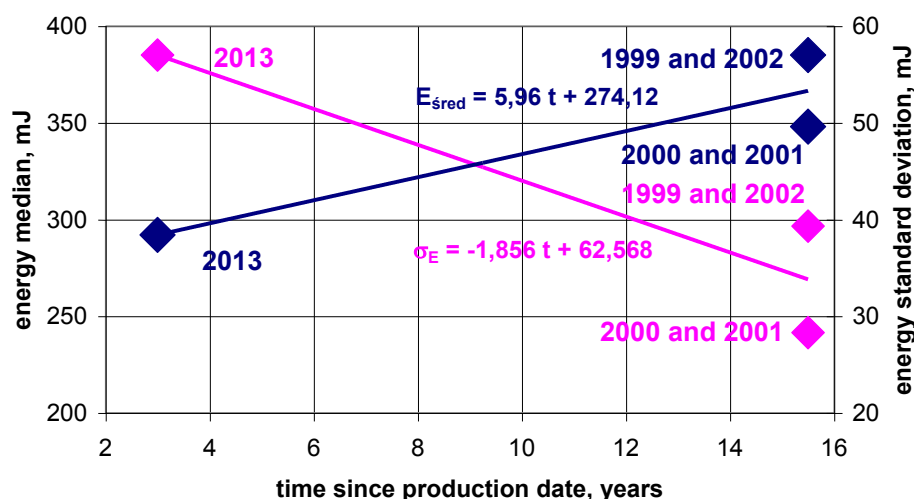
wybuchowej – w funkcji początkowej prędkości uderzaka / iglicy dla roczników 2000-2001 oraz 2013. Zgodnie z oczekiwaniami, średnie nadciśnienie  $\Delta p_{reb}$  na froncie fali odbitej od dna komory jest ok. 2 razy większe od średniego nadciśnienia  $\Delta p_{fall}$  na froncie fali padającej. Jak widać, z wyjątkiem  $E_{abs}$  pozostałe parametry praktycznie nie zmieniają się w funkcji upływu czasu od daty produkcji. Przesunięcie linii trendu  $E_{abs}(v_0)$  jest pochodną zmiany w czasie  $(E_0)_{medn}$ .

velocity of the impact striker / striking pin for samples originating from years 2000-2001 and 2013. According to the expectations the average overpressure  $\Delta p_{reb}$  on the front of the wave reflected from the base of the chamber is ca. two times greater than the average pressure  $\Delta p_{fall}$  on the front of the incident wave. It may be noticed that besides  $E_{abs}$  the remaining characteristics do not change in practice with the flow of time from the date of manufacture. The shift of the trend line  $E_{abs}(v_0)$  is the derivative of  $(E_0)_{medn}$  changes in time.



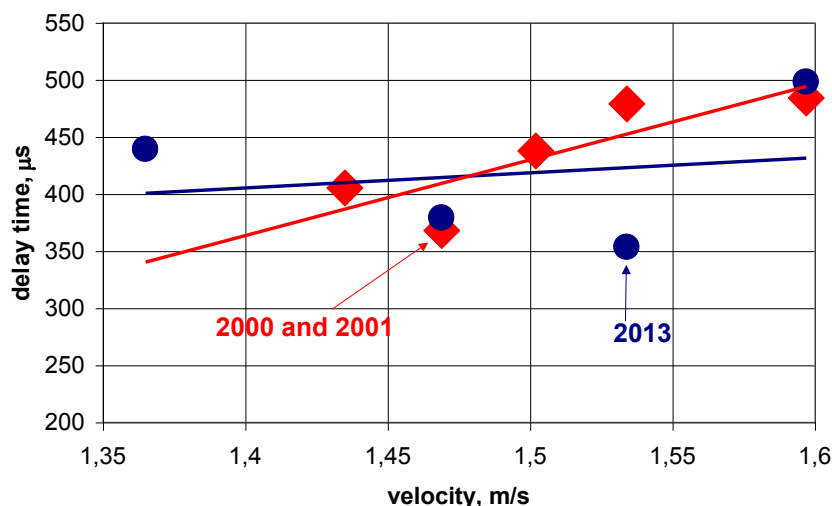
Rys. 4. Dystrybuanty rozkładów prawdopodobieństwa zadziałania spłonek różnych roczników; aproksymacja rozkładem normalnym, zaznaczono punkty doświadczalne

Fig. 4. Distribution functions for probability of activation for the primers originating from different years; approximation by the normal distribution - the experimental data is marked



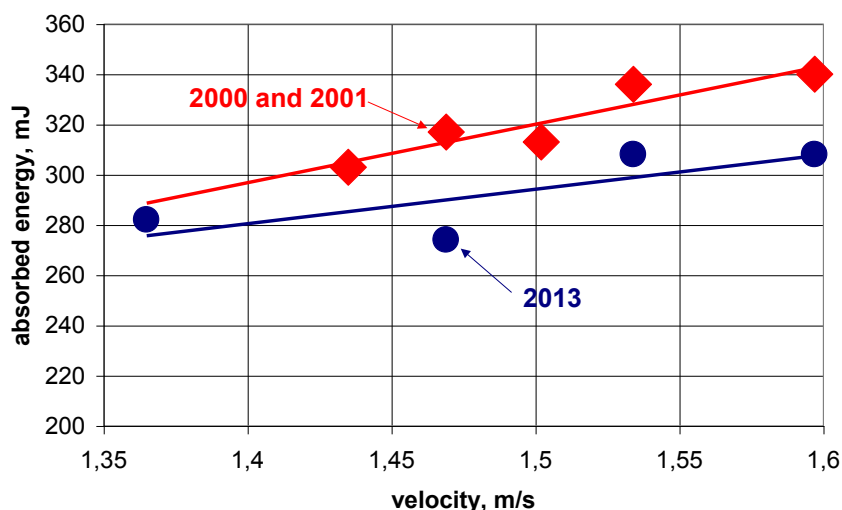
Rys. 5. Zmiana parametrów rozkładu prawdopodobieństwa zadziałania spłonek: energii  $(E_0)_{medn}$  i odchylenia standardowego  $\sigma_E$  w funkcji czasu przechowywania / użytkowania

Fig. 5. Change of parameters of probability distribution for activation of primers: energy  $(E_0)_{medn}$  and standard deviation  $\sigma_E$  as a function of storing / using



Rys. 6. Średnia zwłoka  $\Delta t$  zadziałania spłonki w funkcji prędkości początkowej uderzaka dla różnych roczników produkcji spłonek; zaznaczono linie trendu

Fig. 6. Average activation delay  $\Delta t$  for the primer as a function of the impact striker initial velocity for different primers' manufacture years; the lines of trends are marked



Rys. 7. Średnia energia pochłonięta przez spłonkę  $E_{abs}$  do chwili zadziałania w funkcji prędkości początkowej uderzaka dla różnych roczników produkcji spłonek; zaznaczono linie trendu

Fig. 7. Average energy  $E_{abs}$  absorbed by the primer until the activation versus the impact striker initial velocity for different primers' manufacture years; the lines of trends are marked

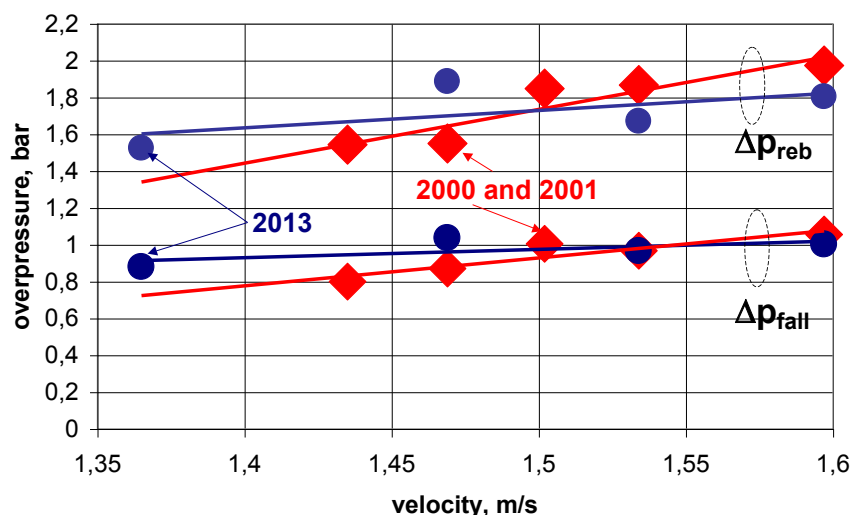
W czasie opisanych wyżej badań spłonki były pobudzone uderzeniami o energii  $E_0$  zbliżonej do energii iglicy w SMS foteli. Przyjęta masa  $m_U$  ograniczała przy tych energiach prędkość iglicy  $v_0$  do wartości ok. 1,5 m/s, podczas gdy w mechanizmach strzałowych  $v_0 = 7-10$  m/s. Grawitacyjna spadkownica (rys.2) wymagałaby do osiągnięcia takiej prędkości  $H \approx 5$  m. Wyższa prędkość  $v_0$  oznacza przy tej samej  $E_0$  wyższą moc  $dE/dt$  przekazywania energii, a więc polepszenie

During the above tests the primers were initiated by the impacts with energy  $E_0$  similar to the energy of the striking pin of seats' SFMs. The accepted mass  $m_U$  has limited at these energies the velocity  $v_0$  of the pin to ca. 1.5 m/s whereas for the firing mechanisms  $v_0 = 7-10$  m/s. Gravitational dropping device (Fig. 2) would need  $H \approx 5$  m for reaching such value of velocity. The higher velocity  $v_0$  means that for the same  $E_0$  there is a higher power  $dE/dt$  of trans-



warunków pobudzenia. Określając energetyczne warunki pobudzenia przy niższej prędkości, uzyskiwano pewną “nadwyżkę” niezawodności przy pobudzaniu dedykowanym SMS fotela. Na posiadanym stanowisku możliwe było, przy zachowaniu  $m_U$ , zwiększenie do pewnego stopnia  $H$ , co pozwoliło na zbadanie zachowania się zwłoki (opóźnienia) zadziałania w funkcji  $v_0$  (przy rosnącym  $E_0$ ).

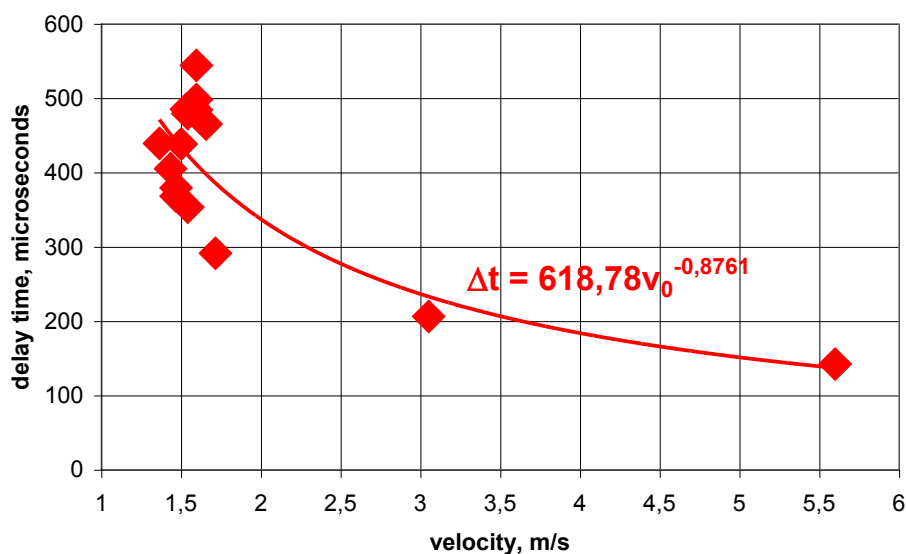
ferred energy and better conditions of ignition. As the conditions of ignition were established at the lower velocity then a certain “surplus” of reliability was received comparing to ignition of seats by SFM. The setup allowed for a certain increase of  $H$ , at maintaining  $m_U$ , what enabled the examination of the activation delay in function  $v_0$  (for increased  $E_0$ ).



**Rys. 8.** Średnie nadciśnienie w komorze na froncie fali uderzeniowej po wybuchu spłonki w funkcji prędkości początkowej uderzaka dla różnych roczników produkcji spłonek:  $\Delta p_{fall}$  – nadciśnienie fali padającej na dno komory,  $\Delta p_{reb}$  – nadciśnienie fali odbitej; zaznaczono linie trendu

**Fig. 8.** Average overpressure inside the chamber on the front of incident wave after the primer explosion in function of the impact striker initial velocity for different primers' manufacture years:

$\Delta p_{fall}$  – overpressure of the incident wave on the chamber base,  $\Delta p_{reb}$  – overpressure of reflected wave; the lines of trends are marked



**Rys. 9.** Zależność zwłoki zadziałania spłonki od prędkości początkowej iglicy

**Fig. 9.** Dependence of primer activation delay on the pin initial velocity

Wynik przedstawiono na rysunku 9. Punkty zgrupowane wokół  $v_0 \approx 1,5$  m/s przedstawiają opisane wyżej wyniki prób; punkty przy 3,05 i 5,6 m/s przedstawiają wartości średnie z prób dla różnych roczników. Zależność  $\Delta t \sim 1 / v_0$ , przybliżana na tym rysunku krzywą regresji, jest podobna do analogicznej zależności dla innego typu spłonek uderzeniowych, przedstawionej w pracy [2].

## 5. Podsumowanie

Opisane badania prowadzono na małej z konieczności, dostępnej liczbie próbek, starając się poprzez mieszanie partii produkcyjnych wyeliminować lub znacznie ograniczyć wpływ różnic technologicznych między nimi na średnie wartości mierzonych parametrów. O tym, że przyjęta procedura i upraszczające założenia (że w ten sposób zminimalizowano wpływ różnic technologicznych między partiami) były usprawiedliwione, świadczy to, że na rys. 6 i 8 linie trendu w funkcji prędkości uderzenia, odpowiadające rocznikom 2013 i 2000+2001 przecinają się, a odpowiadające im punkty tworzą zbiory, zajmujące na wykresie wspólny obszar. Na rys. 4, 5 i 7 widać natomiast, że punkty doświadczalne odpowiadające rocznikom grupują się oddzielnie, co jest szczególnie widoczne na rys.4, na którym układają się wzdłuż „gładkich” linii aproksymujących.

Z wykonanych badań wynika, że średnie opóźnienie zadziałania spłonek po czasie użytkowania / przechowywania 10-13 lat praktycznie się nie zmienia, wynosząc ok. 410  $\mu$ s przy prędkości początkowej iglicy wynoszącej 1,5 m/s. Wraz ze wzrostem tej prędkości średnie opóźnienie zadziałania maleje w przybliżeniu jak  $1 / v_0$ , co pokrywa się z wynikami badań innych typów spłonek uderzeniowych. Dla omawianego wyżej typu spłonek, przy pobudzeniu za pomocą SMS fotela, opóźnienie to winno wynosić ok. 150  $\mu$ s.

Przeprowadzone badania wskazują na to, że mediana energii dysponowanej  $(E_0)_{\text{medn}}$  potrzebnej do pobudzenia spłonek stosowanych w badanych pironabojach foteli katapultowych, która wyjściowo wynosi ok. 290 mJ, rośnie w tempie ok. 20% / 10 lat

The result is presented in Fig. 9. Points allocated near  $v_0 \approx 1.5$  m/s represent the results of trials described above; the points near 3.05 and 5.6 m/s represent the average values from the trials for different years. The dependence  $\Delta t \sim 1 / v_0$  is approximated by a regression curve and is similar to the identical relation received for another type of primers presented in publication [2].

## 5. Summary

Described tests used a limited available number of samples and the authors have tried to eliminate or at least significantly reduce the influence of technological differences between them into the average values of measured characteristics by mixing the production lots. The justification of accepted procedure and simplifications (for minimisation of technological differences between the lots) is based on the fact that the lines of trend in Fig.6 and 8 in function of striking velocity corresponding to years 2013 and 2000+2001 cross each other and the points corresponding to them create the groups which occupy common area on the graph. The figures 4, 5 and 7 also show that experimental points corresponding to particular years arrange in separate groups what is especially visible in Fig. 4 where they are placed along the “smooth” approximating lines.

Performed tests show that the average activation delay time for primers used / stored for 10-13 years is in practice unchangeable and has the value of ca. 410  $\mu$ s for the initial velocity of the striking pin equal to 1.5 m/s. The average activation delay time falls approximately by the rate of  $1 / v_0$  with the increase of this velocity what is similar to the results received for other types of percussion primers. This delay for the discussed type of primers ignited by the seat's SFM has to be ca. 150  $\mu$ s.

The performed investigations show that the median of provided energy  $(E_0)_{\text{medn}}$  needed for ignition of primers used in tested pyrotechnical ejection cartridges which initially equals to ca. 290 mJ increases by the rate of ca. 20% / for 10 years of service /

użytkowania / przechowywania, co oznacza odpowiedni spadek wrażliwości tych spłonek. Zagadnienie spadku wrażliwości jest ważne w kontekście stosunku  $(E_0)_{medn}$  do energii dysponowanej  $E_0$  SMS foteli, który określa niezawodność ich użycia. Dlatego przytoczone wyniki należy traktować jako bazę, której uzupełnianie byłoby pożądane w trakcie dalszych badań.

storing what indicates that sensitivity of primers decreases. The question of decreasing sensitivity is important for the relation between  $(E_0)_{medn}$  and provided energy  $E_0$  for SFM of ejected seats which identifies the reliability of their use. For this reason the presented results have to be treated as a data base which could be supplemented by further investigations.

### **Literatura / Literature**

- [1] Jarosław Dębiński, Andrzej Długołęcki, Andrzej Faryński, Edward Olejniczak, Andrzej Żyluk – *Pomiary parametrów spłonek uderzeniowych* - Problemy Mechatroniki, Vol. 4 Nr 2(12) 2013,
- [2] Andrzej Faryński, Andrzej Długołęcki, Jarosław Dębiński, Łukasz Słonkiewicz – *Determination of the Firing Pin Critical Velocity and the Critical Power in the Percussive Initiation of Primer Caps* - Problemy Mechatroniki, Vol.7 Nr 4 (26), 2016



