



Pomiary parametrów spłonek uderzeniowych*

Jarosław DEBIŃSKI, Andrzej DŁUGOŁĘCKI,
Andrzej FARYŃSKI, Edward OLEJNICZAK, Andrzej ŻYLUK

*Institut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul. Księcia Bolesława 6, 01-494 Warszawa*

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań średniej energii pobudzenia (ok. 130 mJ), jej odchylenia standardowego (ok. 30 mJ), zwłoki czasowej (średnio 450 μ s), zagłębienia iglicy (średnio 350 μ m) i energii pochłoniętej (< 150 mJ) do chwili inicjacji – na przykładzie spłonki KWM-3. Pomiary prowadzono za pomocą układu i metod opracowanych w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych (ITWL). Pokazano zmianę zwłoki czasowej, zagłębienia iglicy i energii pochłoniętej w funkcji energii użytej do pobudzenia.

Słowa kluczowe: fizyka wybuchu, spłonka uderzeniowa, zwłoka czasowa, prawdopodobieństwo zadziałania, energia wejściowa dysponowana, energia pochłonięta

1. WSTĘP

Zapłonniki (dalej będziemy stosować najczęściej używaną nazwę „spłonki”) uderzeniowe, inicjujące działanie strzeleckich i artyleryjskich ładunków miotających, pironabojów itp., zamieniają oddziaływanie wejściowe mechaniczne (iglica o energii kinetycznej E_{we}) na wyjściowe termiczne: płomień lub front fali o temperaturze T_{wy} i energii cieplnej E_{wy} , powstały po spaleniu zawartej w spłonce mieszaniny pirotechnicznej (MP). Temperatura T_{wy} i energia E_{wy} powinny wystarczyć do zainicjowania reakcji w ładunku pobudzonym.

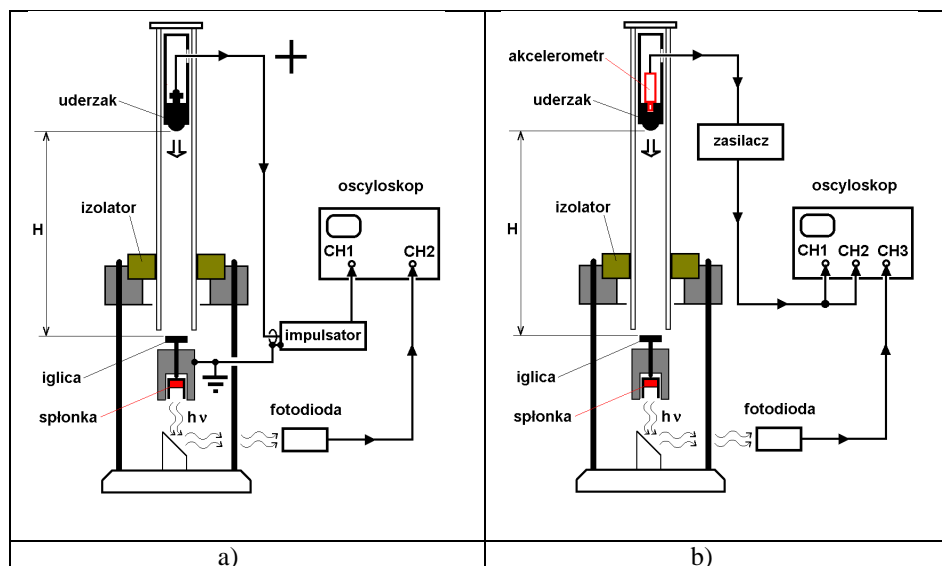
* Artykuł został opracowany na podstawie referatu prezentowanego podczas IX Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 25-28 września 2012 r.

Spośród parametrów charakteryzujących spłonkę uderzeniową, najczęściej badana jest energia jej pobudzenia E_{we} . O ile w mechanizmach uderzeniowych broni strzeleckiej itp. iglica napędzana jest mechanizmem sprężynowym, o tyle w układach badawczych, tak jak w użytym poniżej – najczęściej grawitacyjnie (masa M spada na nią z wysokości H ; $E_{we} = M \cdot g \cdot H$, g – przyspieszenie ziemskie). Wytwórnice spłonek, dla ich konkretnego typu, podają zwykle dla danej masy M granice H_D (dolną, przy której prawdopodobieństwo pobudzenia Φ_e jest znikome – przykładowo przyjmowaną jako $H_{sr} - n\sigma_H$, $n = 3 \div 6$, gdzie H_{sr} – wysokość, przy której zostaje pobudzona połowa badanej partii spłonek, σ_H – odchylenie standardowe rozkładu $\Phi_e = \Phi_e(H)$) i H_G (górną, przyjmowaną np. jako $H_{sr} + n\sigma_H$, przy której pobudzeniu ulegają prawie wszystkie spłonki partii). Wartościom H , H_{sr} , σ_H , H_D i H_G odpowiadają wartości E_{we} , $(E_{we})_{sr}$, σ_E , $(E_{we})_D$ i $(E_{we})_G$ i dalej posłużono się energią zamiast wysokością, jako wielkością uniwersalną. Poniżej opisano sposób badania tych wielkości w ITWL oraz dokonywane równocześnie pomiary opóźnienia czasowego τ_Z momentu zadziałania spłonki względem momentu dotknięcia powierzchni wrażliwej spłonki przez iglicę (istotnego w niektórych przypadkach) oraz energii E_{abs} , rzeczywiście pochłoniętej przez spłonkę do momentu zainicjowania w niej reakcji rozkładu MP (wybuchu) – mniejszej od dysponowanej w danym uderzeniu energii E_{we} . W dostępnej literaturze brakuje doniesień o takich pomiarach.

2. UKŁAD BADAWCZY

Badania prowadzono, wykorzystując opracowane i wykonane w ITWL stanowisko, mogące pracować w dwu wariantach, przedstawionych schematycznie na rys. 1. Wariant „P” pokazany na rysunku 1a pozwala na badanie $\Phi_e(H)$ (lub $\Phi_e(E_{we})$) z jednoczesnym pomiarem τ_Z przy każdym uderzeniu, wariant „E” na rysunku 1b pozwala na zmierzenie przy tym również E_{abs} .

Uderzak (ciężarek opadający na iglicę) ma budowę złożoną, pozwalającą na zmianę jego masy M oraz zabudowanie na nim akcelerometru. Regulowana jest wysokość H jego zrzutu. Początek procesu wgniatania iglicy w dno spłonki sygnalizuje impulsator kontaktowy lub akcelerometr. Moment zadziałania spłonki sygnalizowany jest przez impuls z układu fotodiody oświetlanej przez front produktów reakcji w MP. Przebiegi sygnałów z fotodiody U_{tot} , impulsatora U_{imp} (rys. 1a) i akcelerometru U_{acc} (rys. 1b) rejestrowano za pomocą oscyloskopu cyfrowego.



Rys. 1. Układy stosowane do badania charakterystyk spłonek. Opis w tekście

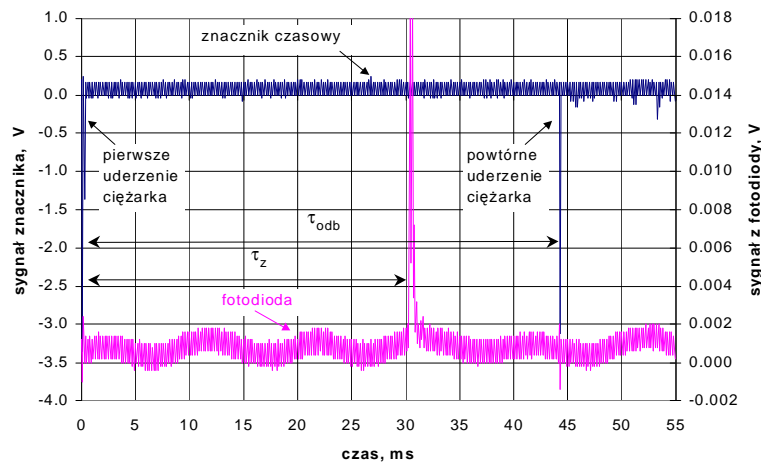
Fig. 1. Systems applied to investigation of percussion caps characteristics.

Description – see text (from the top: striking mass, insulator, firing pin, percussion cap)

Przykład zapisu sygnałów w tym wariacie badań przedstawia rysunek 2. Zamiast fotodiody można użyć odpowiednio zamocowanego czujnika drgań (np. piezoelektrycznego) lub ciśnienia (rys. 3) – w tym przypadku przy odpowiedniej komorze wybuchowej można dodatkowo mierzyć wspomnianą na wstępie energię wyjściową E_{wy} . Zaletą użycia czujnika ciśnienia zamiast fotodiody jest prezentowanie maksymalnego ciśnienia po strzale, które może stanowić obiektywne kryterium zadziałania i przydatności spłonki; jak pokazuje rysunek 3, sygnał z fotodiody ma – przy podobnych przebiegach ciśnienia – różne kształty, wynikające zarówno z niestabilizowanego charakteru „palenia” spłonki przy niskim ciśnieniu, jak i przesłaniania strumienia światła przez produkty reakcji rozkładu MP. Wadą tego rozwiązania jest konieczność uwzględnienia dodatkowego opóźnienia czasowego, wynikłego z propagacji frontu produktów reakcji do czujnika.

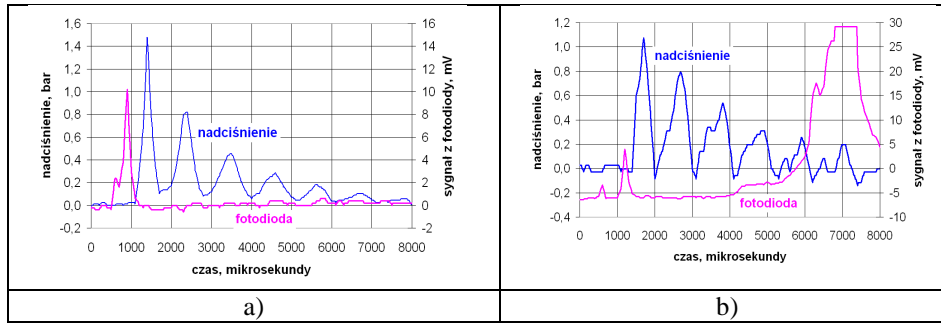
3. BADANIA W WARIANCIE „P”

W wariacie tym najczęściej określano wartości $(E_{we})_{sr}$ i σ_{E_s} , rzadziej równocześnie τ_z . Przedstawiono wybrane wyniki badań spłonek umownych typów „A” (KWM-3) i „B” (spłonka naboju działka NR-30). Oscylogramy (rys. 2 i 3) pokazują przebiegi sygnałów, pozwalających wyznaczyć τ_z .



Rys. 2. Zobrazowanie przebiegu pobudzenia sponki: góna krzywa (lewa skala napięcia) – przebieg znacznika czasowego – jej początek (chwila $t = 0$) odpowiada początkowi wgniatania iglicy w dno sponki, widać impulsy: startowy i odpowiadający powtórnemu opadnięciu uderzaka na iglicę; dolna krzywa (prawa skala napięcia) pokazuje pojawienie się impulsu świecenia produktów rozkładu MP w trakcie wybuchu sponki; $\tau_z > 30$ milisekund, odbity uderzak opadł powtórnie na iglicę już po wybuchu

Fig. 2. Illustration of the course of percussion cap ignition: upper curve (left voltage scale) – the time marker course – their start point (the time moment $t = 0$) corresponds to the beginning of pressing the firing pin into the percussion cap bottom, pulses: start peak as well as that corresponding to the second striking mass dropping onto firing pin; lower curve (right voltage scale) shows the light pulse that appears during percussion cap explosion (pyrotecnic mass decomposition products sre shining); delay time $\tau_z > 30$ milisesonds, the bounced striking mass has dropped again onto firing pin already after explosion



Rys. 3. Jednoczesna rejestracja sygnału z fotodiody i nadciśnienia po wybuchu spłonki typu A w półotwartej komorze o objętości ok. 350 cm³; zwłoka czasowa między sygnałem z fotodiody i ciśnieniem – ok. 500 μs; a) $E_{we} = 213$ mJ, b) $E_{we} = 300$ mJ

Fig. 3. Simultaneous registration photodiode as well as overpressure after explosion signals for type A percussion cap fired in the semiopened 350 cm³ chamber; delay time between photodiode signal and that of pressure – about 500 μs;

a) $E_{we} = 213$ mJ, b) $E_{we} = 300$ mJ

3.1. Wyznaczanie $(E_{we})_{\bar{s}r}$ i σ_E

Niżej opisaną procedurę stosowano w napotykanym sytuacjach, gdy należało wyznaczyć choćby orientacyjne wartości $X_{\bar{s}r}$ ($(E_{we})_{\bar{s}r}$ lub $H_{\bar{s}r}$) i odchylenia standardowego σ (σ_E lub σ_H), natomiast ilość spłonek dostępnych do badań była bardzo ograniczona i można ją było podzielić tylko na niewiele nierównolicznych grup, zaś wartości zmiennej losowej x (E_{we} lub H), przy których badano zachowanie spłonek – były wybierane w sposób intuicyjny w punktach nierównoodległych, niekoniecznie leżących po tej samej stronie wartości średniej $X_{\bar{s}r}$.

Dla każdego z wybranych punktów X_i ($i = 1, \dots, n$) zmiennej ciągłej x , na podstawie ilości zapałów w i -tej grupie spłonek obliczano prawdopodobieństwo zapału, traktując je jako „doświadczalną” wartość $(\Phi_e)_i$ dystrybuanty $\Phi_e(x)$. Zakładając, że x ma rozkład normalny o gęstości

$$f(x) = [1 / (\sigma (2 \pi)^{1/2})] \exp \{ - [(x - X_{\bar{s}r}) / (\sigma 2^{1/2})]^2 \}$$

i dystrybuancie

$$\Phi_e(w) = -\infty \int^w f(t) dt = 0.5 + \int_0^w f(t) dt,$$

gdzie

$$w = (x - X_{\bar{s}r}) / (\sigma 2^{1/2}),$$

stosując metodę najmniejszych kwadratów, otrzymano układ równań

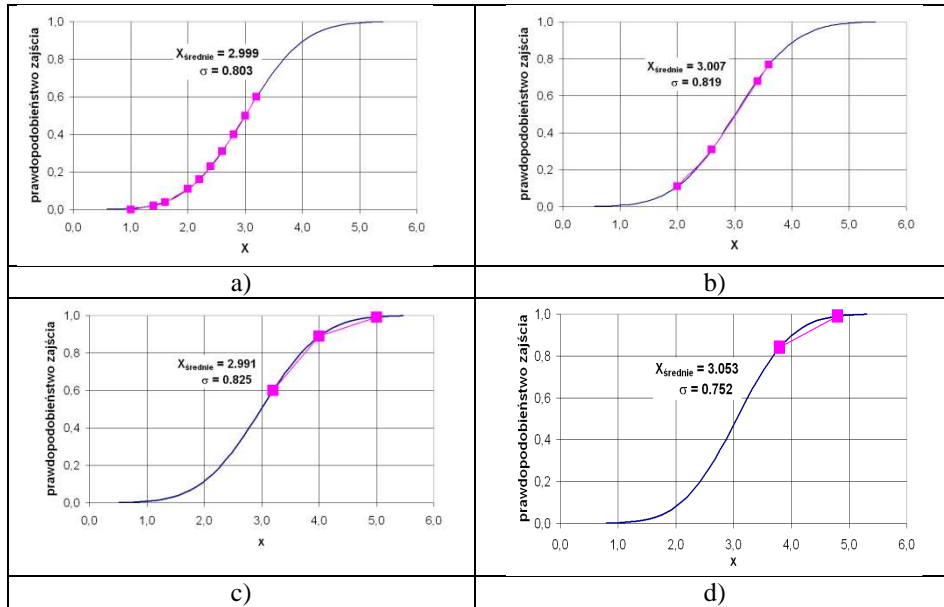
$$\sum_{i=1}^n \{ (\Phi_e)_i - \Phi(W_i) \} \exp(-W_i^2) = 0$$

oraz

$$\sum_{i=1}^n \{(\Phi_e)_i - \Phi_e(W_i)\} (X_i - X_{\dot{s}r}) \exp(-W_i^2) = 0$$

$\sum_{i=1}^n$ oznacza sumowanie w podanych granicach, $W_i = (X_i - X_{\dot{s}r}) / (\sigma 2^{1/2})$, za pomocą których metodą kolejnych przybliżeń obliczano $X_{\dot{s}r}$ i σ .

Wyniki próbnego odtwarzania dystrybuanty tablicowego rozkładu normalnego o $X_{\dot{s}r} = 3$, $\sigma = 0,8$ przedstawia rysunek 4. Wynika z nich, że nawet przy wyznaczaniu dystrybuanty na podstawie 2 punktów, dość dowolnie rozmieszczonych, błąd metody określania parametrów rozkładu jest $< 2\%$ dla $X_{\text{ŚREDNIE}}$ oraz $< 10\%$ dla σ .



Rys. 4. Wyniki prób odtwarzania parametrów znanej dystrybuanty (kolor niebieski) przy użyciu różnej ilości punktów danych (kolor różowy)

Fig. 4. Results of the reconstruction test of the known distribution function parameters (blue colour) using various data points quantity (pink colour)

Przyjmując, że x ma rozkład normalny, kierowano się twierdzeniem o asymptotycznym dążeniu wszystkich rozkładów do rozkładu normalnego dla ilości prób (w tym wypadku n oraz liczności spółek w każdej i -tej grupie) dążącej do nieskończoności i przekonaniem o niecelowości komplikacji naczelnego zagadnienia (patrz wyżej) weryfikacją hipotez wielu możliwych rozkładów zmiennej x . Uzyskane w opisany sposób $X_{\dot{s}r}$ i σ są estymatorami wartości asymptotycznych.

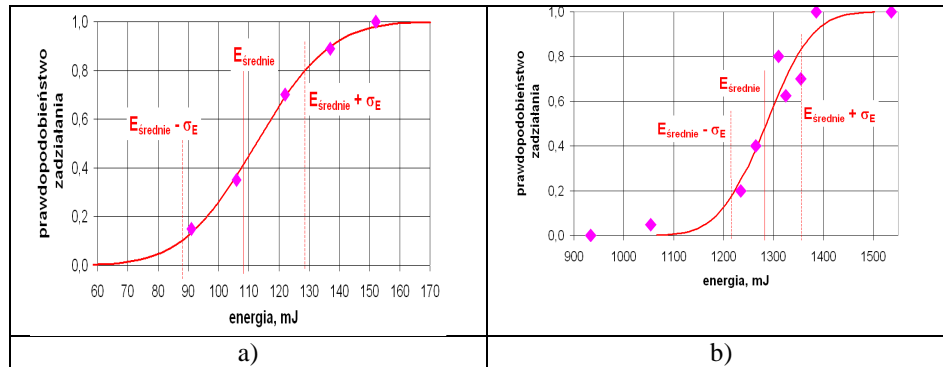
Powyższą metodą wyznaczano dla różnych typów spółek dystrybuanty (oraz $(E_{we})_{\dot{s}r}$ i σ_E), których przykłady pokazano na rysunku 5. Dla typu „A”

oprócz podanych na rysunku 5a $(E_{we})_{sr} = 113$ mJ, $\sigma_E = 19$ mJ, zależnie od partii, otrzymywano do $(E_{we})_{sr} = 169$ mJ, $\sigma_E = 74$ mJ. Przy tej metodzie dokładność wyznaczania $(E_{we})_{sr}$ i σ_E zależy od ΔE_{we} (ok. 5 mJ), ale głównie od dokładności określenia prawdopodobieństwa $(\Phi_e)_i$, które zależy od liczności grupy dla danego $(E_{we})_i$. Punkty eksperymentalne (romby) na rysunku 5b świadczą o tym, że należy się liczyć z rozrzutami $(\Phi_e)_i$ rzędu 20%.

4. BADANIA W WARIANCIE „E”

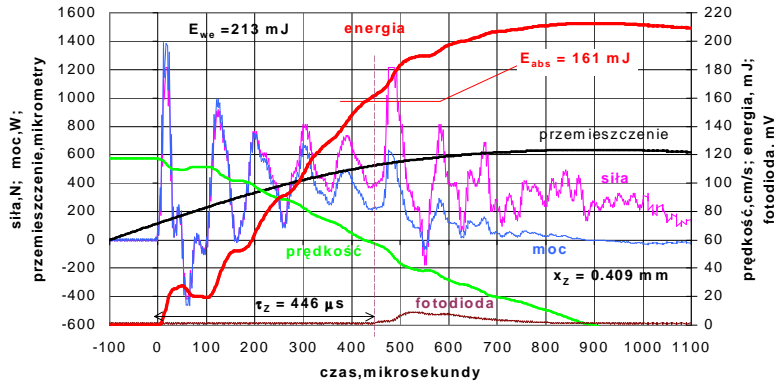
W wariancie tym wyznaczano jednocześnie τ_Z , E_{abs} i zagłębienia iglicy x_Z do chwili zadziałania spłonki – dla danych wartości E_{we} . Opóźnienie $a(t)$, rejestrowane w trakcie zagłębienia iglicy w spłonce, pozwalało, poprzez numeryczne całkowanie, na wyznaczenie prędkości zagłębienia $v(t)$, bieżącego zagłębienia $x(t)$, siły wgniatania iglicy $F = M \cdot a(t)$, mocy wgniatania $P = F(t) \cdot v(t)$ oraz energii pochłanianej $E = \int P(t) dt$. Przykład uzyskanych w ten sposób przebiegów zamieszczono na rysunku 6. Dla spłonek typu „A” zbadano zachowanie się τ_Z , $x_Z = x(\tau_Z)$ i $E_{abs} = E(\tau_Z)$ w funkcji E_{we} aż do $E_{we} \approx 10 (E_{we})_{sr}$.

Wyniki pokazano na rysunku 7. Grupy spłonek dla danego E_{we} liczyły 5-7 sztuk.



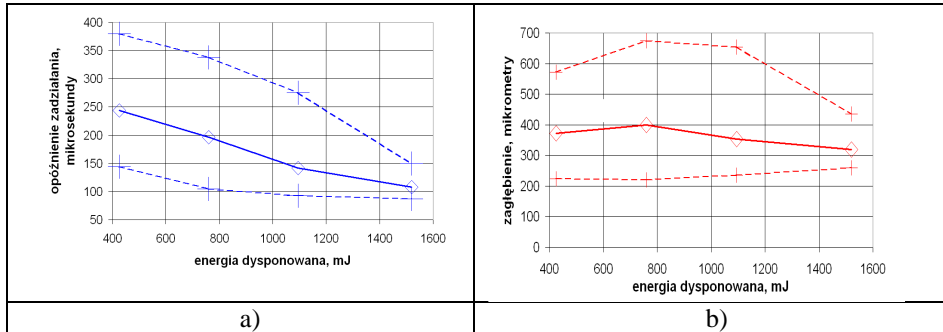
Rys. 5. Dystrybuanty prawdopodobieństwa zadziałania spłonek w funkcji energii dysponowanej E_{we} ; a) spłonka typu „A” – $(E_{we})_{sr} = 113$ mJ, $\sigma_E = 19$ mJ; b) spłonka typu „B” – $(E_{we})_{sr} = 1285$ mJ, $\sigma_E = 73$ mJ

Fig. 5. Probability distribution functions of percussion caps taking action versus energy-in-disposition E_{we} ; a) „A”- type cap – $(E_{we})_{sr} = 113$ mJ, $\sigma_E = 19$ mJ; b) „B”- type percussion cap – $(E_{we})_{sr} = 1285$ mJ, $\sigma_E = 73$ mJ



Rys. 6. Przykładowy przebieg w czasie parametrów mechanicznego pobudzenia spłonki typu „A” dla niskiej dysponowanej energii pobudzenia

Fig. 6. Time profiles example of parameters characterizing the mechanical A – type percussion cap stimulation for low activation energy-in-disposition



Rys. 7. Zmiana opóźnienia zadziałania τ_z (a) i zagłębienia $x_z = x(\tau_z)$ (b) w funkcji energii dysponowanej E_{we} dla spłonek typu „A”; podano wartości średnie (linie ciągłe) oraz maksymalne „górną” i „dolną” odchyłki (linie przerywane) w badanych grupach

Fig. 7. Ignition delay time τ_z (a) and firing pin deepening $x_z = x(\tau_z)$ (b) as a function of energy-in-disposition E_{we} for „A”- type percussion caps; mean values (solid lines) as well as maximum „upper” and „lower” deviations in examined groups (dashed lines) are shown

5. WNIOSKI

Skonstruowane urządzenie pozwala na efektywne badanie parametrów pobudzenia spłonek uderzeniowych, zaś zastosowana procedura – na oszacowanie $(E_{we})_{sr}$ i σ_E dla minimalnych ilości (~20) egzemplarzy do prób.

Wyznaczone wartości $(E_{we})_{sr} \approx 130$ mJ i $\sigma_E \approx 30$ mJ dla spłonek typu KWM-3 zgadzały się z podanymi przez producenta wartościami $(E_{we})_D \approx 29$ mJ

i $(E_{we})_G \approx 261$ mJ po przyjęciu, że $(E_{we})_D \approx (E_{we})_{sr} - 3.5 \sigma_E$ oraz $(E_{we})_G \approx (E_{we})_{sr} + 4.5 \sigma_E$: dla spłonek amunicji 30 mm $(E_{we})_{sr} \approx 1290$ mJ, $\sigma_E \approx 70$ mJ.

Zmierzono zwłokę czasową zadziałania τ_Z dwiema metodami (fotoelektryczną i ciśnieniową), z których pierwsza jest dokładniejsza (nie zależy od umiejscowienia czujnika), mimo niepowtarzalnego kształtu impulsu; zwłoka czasowa dla spłonek typu KWM-3 zmieniała się od ok. 450 μ s przy $(E_{we})_{sr}$ do ok. 100 μ s przy $E_{we} \approx 10 (E_{we})_{sr}$; w pojedynczych przypadkach zdarzało się $\tau_Z \approx 30 \div 40$ ms.

Badania pokazały, że dla spłonek KWM-3 bez względu na wielkość E_{we} , zagłębienie $x_Z \approx 350$ μ m i energia pochłonięta $E_{abs} \leq 150$ mJ ($< (E_{we})_{sr}$) do chwili τ_Z są praktycznie niezmiennie. To potwierdza termiczny charakter pobudzenia spłonek opartych o $Hg(ONC)_2$ (piorunian rtęci – główny składnik mieszaniny pirotechnicznej obok Sb_2S_3 i $KClO_3$). Sposób umieszczenia na uderzaku akcelerometru, użytego do pomiaru tych wielkości spowodował, że wyznaczone wartości mogły odbiegać od x_Z i E_{abs} właściwych dla miejsca styku iglicy i dna spłonki.

Aby oszacować wynikię stąd różnice, przeprowadzono modelowanie numeryczne [1], które pokazało, że dla $E_{we} \approx (E_{we})_{sr}$ wynosiły one ok. 10%, podczas gdy dla niektórych wartości $E_{we} \gg (E_{we})_{sr}$ różnice te mogły sięgać kilkudziesięciu %. Miejsce (na skali energetycznej) wystąpienia dużych różnic zależało od własności dynamicznego układu uderzak – iglica – spłonka.

LITERATURA

- [1] Dębiński J., Długołęcki A., Faryński A., Model numeryczny nakłuwania spłonki w urządzeniu testowym ITWL, *Materiały IX Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej „Naukowe Aspekty techniki Uzbrojenia i Bezpieczeństwa”*, Pułtusk, 25-28.09.2012 r., s. 177-184, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2012.

Measurements of Percussion Cap Parameters

Jarosław DĘBIŃSKI, Andrzej DŁUGOLECKI,
Andrzej FARYŃSKI, Edward OLEJNICZAK, Andrzej ŻYLUK

Abstract. Investigation results of percussion cap (KWM-3 as example) parameters such as initiation mean energy (130 mJ approx.), their standard deviation (30 mJ approx.) as well as delay time (450 μ s at an average), firing pin deepening (350 μ m at an average) and energy absorbed (< 150 mJ) up to the initiation moment were presented. The measurements were conducted with an aid of the facility and methods worked out in the AFIT (ITWL). The change of delay time, firing pin deepening and energy absorbed versus energy used for initiation were shown.

Keywords: physics of the explosion, percussion cup, time delay, hollow needle, energy, probability of response