



## Wyniki oceny skuteczności rażenia odłamkowego amunicji wyposażonej w zapalniki zblizeniowe\*

Maciej PODCIECHOWSKI, Krystian ZIMOŃCZYK,  
Stanisław ŻYGADŁO

*Instytut Systemów Mechatronicznych, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,  
Wojskowa Akademia Techniczna  
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki oceny skuteczności rażenia odłamkowego amunicji artyleryjskiej i bomb lotniczych. Na ich podstawie sformułowano wstępne wymagania na wysokość zadziałania zapalników zblizeniowych projektowanych do pocisków artyleryjskich i niekierowanych pocisków raketowych. Ocena skuteczności rażenia odłamkowego amunicji artyleryjskiej wykazała, że wzrost skuteczności rażenia, w wyniku zastąpienia zapalnika uderzeniowego zapalnikiem zblizeniowym, uzyskuje się przy wybuchach na wysokości z przedziału  $< 3; 20 >$  m.

**Słowa kluczowe:** mechanika, artyleryjskie zapalniki zblizeniowe, skuteczność rażenia

### 1. WSTĘP

Wysokość rozprysku, kąt nachylenia osi głowicy amunicji do płaszczyzny atakowanego obszaru oraz prędkość głowicy w chwili rozprysku mają decydujący wpływ na skuteczność rażenia odłamkowego. Wymienione parametry lotu amunicji zależą od wybranego punktu rozprysku głowicy na torze. Oznacza to, że punkt rozprysku powinien być określany w taki sposób, aby odpowiadające mu parametry lotu głowicy zapewniały uzyskanie optymalnego efektu rażenia.

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

Efektywnym i wygodnym kryterium umożliwiającym trafną prognozę i ocenę efektu rażenia odłamkowego jest wartość oczekiwania rażonej powierzchni celu opisana następującą zależnością:

$$S_0 = \sum_i \sum_j s_{ij} p_{ij} \quad (1)$$

gdzie:  $s_{ij}$  – elementarne pole powierzchni wynikające z przyjętego podziału atakowanego obszaru;  $p_{ij}$  – prawdopodobieństwo rażenia celu co najmniej jednym odłamkiem, pod warunkiem że cel znalazł się na polu  $s_{ij}$ .

Prawdopodobieństwo  $p_{ij}$  określa się ze wzoru:

$$p_{ij} = 1 - \left( 1 - \frac{s_c}{s_{ij}} \right)^{n_{ij}} \quad (2)$$

gdzie:  $s_c$  – płaski ekwiwalent powierzchni celu;

$n_{ij}$  – liczba odłamków skutecznych spadających na obszar  $s_{ij}$ .

Zależność powyższa uwzględnia zarówno liczbę odłamków skutecznych, jak i ich rozkład po powierzchni atakowanego obszaru. Potwierdza to dużą przydatność parametru  $S_0$  jako kryterium oceny efektu rażenia odłamkowego. Do określania  $S_0$  przyjęto następujący uproszczony model rozlotu odłamków:

1. środek masy głowicy jest środkiem rozprysku,
2. tory lotu odłamków mają początek w punkcie rozprysku i są prostoliniowe,
3. wektor prędkości maksymalnej odłamka od wybuchu jest przyłożony w środku rozprysku, a jego kierunek i zwrot są losowe,
4. zbiór odłamków jest zbiorem przeliczalnym  $A$  o liczności  $n$  i składa się z dwóch podzbiorów (zbiór odłamków skutecznych  $A_s$  o liczności  $n_s$  i zbiór odłamków nieskutecznych  $A_n$  o liczności  $n_n$ ),
5. liczności  $n_s$  i  $n_n$  zmieniają się w przestrzeni rozlotu odłamków w funkcji odległości  $d$  od środka rozprysku, spełniając następujące warunki:

$$\begin{aligned} n_s(d) + n_n(d) &= n = const \\ 0 &\leq n_s \leq n \\ 0 &\leq n_n(d) \leq n \end{aligned} \quad (3)$$

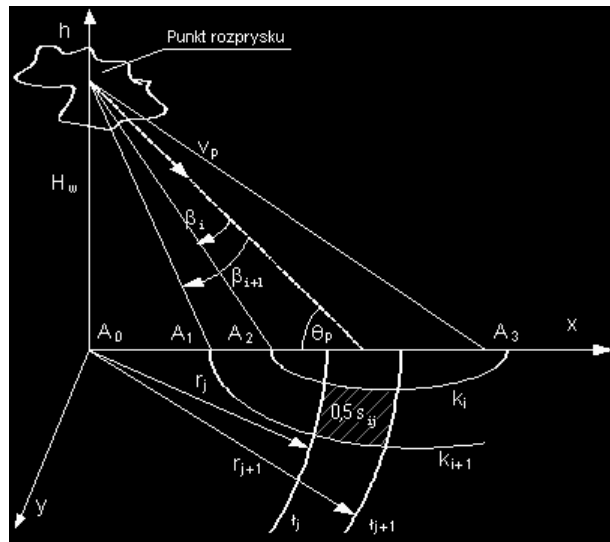
6. wektor prędkości głowicy w chwili rozprysku jest przyłożony w środku rozprysku, a kierunek ma zgodny z osią głowicy odłamkowej.

Odległość skutecznego odłamka od środka rozprysku, które przyjęto jako kryterium skuteczności odłamka określa się z zależności [1]:

$$d_s = \frac{2m_o}{\rho(y_g)C_{xo}S_{ch}} \ln \frac{v_{max}}{v_{sk\ min}} \quad (4)$$

$$v_{sk\ min} = \left( \frac{2ws_{sk}}{m_o} \right)^{0,5}$$

- $\rho(y_g)$  – gęstość powietrza na wysokości  $y_g$ ,
- $m_o$  – masa odłamka,
- $v_{max}$  – maksymalna prędkość odłamka,
- $v_{sk\ min}$  – minimalna skuteczna prędkość odłamka,
- $S_{ch}$  – powierzchnia charakterystyczna odłamka,
- $C_{xo}$  – współczynnik oporu czołowego odłamka uśredniony na cały odcinek skuteczny toru,
- $w$  – gęstość energii kinetycznej uderzenia odłamka w cel zapewniająca skuteczność rażenia.



Rys. 1. Zasada podziału obszaru celu na powierzchnie elementarne [2]

Fig. 1. The principle of division of surface target on the elementary areas [2]

Wprowadzono podział przestrzeni rozlotu odłamków na sektory zawarte między powierzchniami stożkowymi o wspólnym wierzchołku w punkcie rozprysku. W wyniku przecięcia tych powierzchni płaszczyzną atakowanego obszaru uzyskano ich podział na pola zawarte między liniami rodziny współosiowych krzywych stożkowych.

Pola  $s_{ij}$  (rys. 1) są sumami fragmentów pól ograniczonych krzywymi stożkowymi oraz okręgami stanowiącymi granice skuteczności odłamków w masach  $m_j$  i prędkościach początkowych  $v_{ij}$ .

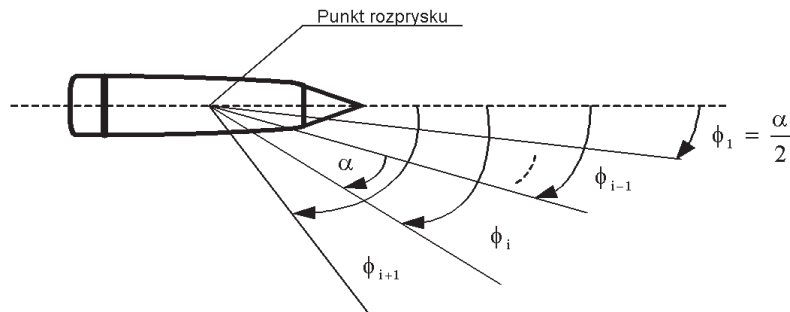
W celu wyznaczenia powierzchni pól  $s_{ij}$  niezbędne jest znalezienie współrzędnych punktów przecięcia rodziny krzywych stożkowych i rodziny okręgów współosiowych. Współrzędne te otrzymujemy jako zbiór rozwiązań rzeczywistych układu równań [3]:

$$x^2 \left( 1 - \frac{\cos^2 \theta_p}{\cos^2 \beta_i^2} \right) + y^2 - x \left( 2H_w \sin \theta_p \frac{\cos \theta_p}{\cos^2 \beta_i} \right) + H_w^2 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_p}{\cos^2 \beta_i^2} \right) = 0 \quad (5)$$

gdzie:  $\beta_i = \frac{\phi_i}{2} + \arctg \left( \frac{v_{d \max} - v_p}{v_{d \max} + v_p} \operatorname{tg} \frac{\phi_i}{2} \right)$ ;  $i = 1, 2, \dots, I$ ;  $I = \frac{\pi}{\alpha} + 1$  – liczba

sektorów rozlotu;

$\Phi_i = 0,5\alpha + (i+1)\alpha$  (patrz poniższy rysunek).



Rys. 2. Podział przestrzeni wokół punktu wybuchu na stożkowe sektory rozlotu [3]

Fig. 2. The division of space around a point explosion in conical sectors of dispersion [3]

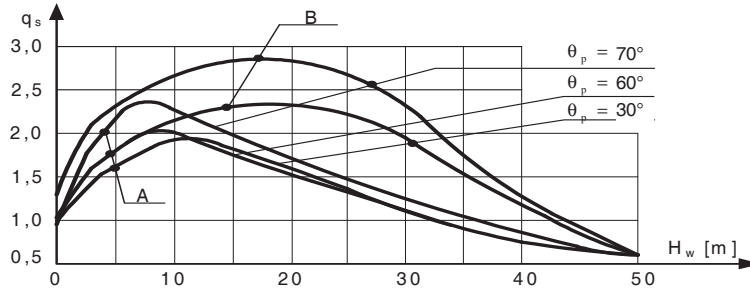
Mając obliczone powierzchnie pól  $s_{ij}$  oraz liczby odłamków skutecznych  $n_{ij}$  na te pola, możemy wyznaczyć prawdopodobieństwo  $p_{ij}$  rażenia celu co najmniej jednym odłamkiem, a następnie określić wartość oczekiwaną rażonej powierzchni  $S_o$  celu grupowego.

Posiadając umiejętność wyznaczania tego wskaźnika dla dowolnego punktu toru amunicji, potrafimy wytypować punkt rozprysku głowicy odłamkowej najodpowiedniejszy ze względu na efekt rażenia odłamkowego.

## 2. WARUNKI I WYNIKI OCENY SKUTECZNOŚCI RAŻENIA AMUNICJI ARTYLERYJSKIEJ

Ocenie skuteczności rażenia poddano pociski artyleryjskie kalibru 105 mm, 122 mm i 152 mm oraz pocisk moździerzowy 120 mm [3, 4].

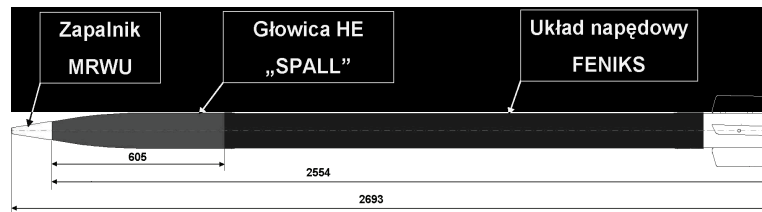
Dla przykładu przedstawiono średnie wartości współczynnika wzrostu skuteczności  $q_s$  dla pocisku moździerzowego 105 mm.



Rys. 3. Wykresy  $q_s = f(H_w)$  dla pocisku 105 mm z fragmentacją niewymuszoną (A) i fragmentacją wymuszoną (B)

Fig. 3. Charts of  $q_s = f(H_w)$  for 105 mm caliber projectile fragmentation of unforced (A) and forced (B)

Ocenie skuteczności poddano również niekierowany pocisk raketowy (NPR) 122 mm M210F z głowicą odłamkowo-burzącą HE „SPALL”, wystrzeliwanych z wyrzutni BM-21 i RM-70, którego gabaryty przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. 122 mm pocisk raketowy z głowicą odłamkowo-burzącą

Fig. 4. 122 mm caliber missile with fragmentation-destroying head

Głowicą odłamkowo-burzącą HE „SPALL” przeznaczona jest do zwalczania celów energią kinetyczną odłamków oraz fali uderzeniowej powstałej w wyniku wybuchu pocisku. Stosowana do niszczenia siły żywej, umocnień polowych i celów lekko nieopancerzonych.

Podstawowe parametry głowicy przedstawiono poniżej [5]:

|   |               |
|---|---------------|
| Kaliber   | 122 mm        |
| Długość   | 605 mm        |
| Masa całkowita                                  | 18,4 kg       |
| Średnia masa kadłuba                            | 12,3 kg       |
| Średnia masa ładunku wybuchowego (TGAF-5)       | 6,1 kg        |
| Liczba odłamków skutecznych o masie 0,25-3 g    | ok. 6000 szt. |
| Procentowy udział masy odłamków w masie skorupy | 83%;          |

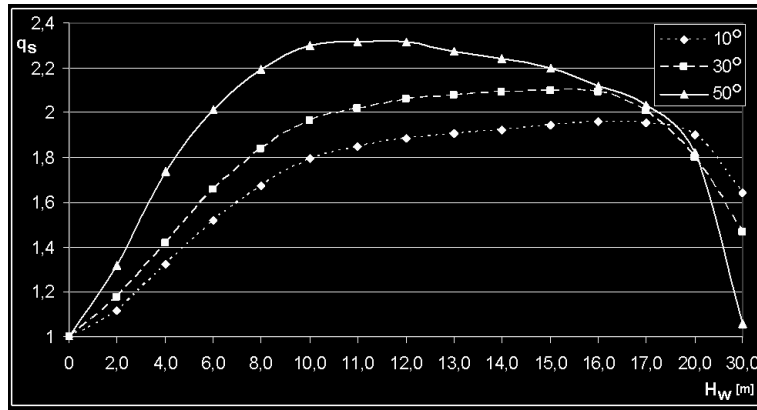
W tabeli 1 przedstawiono ilościowy i masowy rozkład odłamków, jakie wyodrębniono po eksplozji głowicy. W wyniku przeprowadzonych obliczeń numerycznych uzyskano pełny obraz zmian wskaźników skuteczności rażenia NPR w zależności od  $H_w$ ,  $\theta_p$  i  $v_p$ . Przykładowe wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 5).

Tabela 1. Zestawienie wyników fragmentacji głowicy „SPALL”

Table 1. Summary results of the fragmentation of the “SPALL” head

| Nr grupy masowej | Zakres masy odłamka [g] | Ilościowy rozkład odłamków [szt.] | Masowy rozkład odłamków [g] |
|------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| I                | 0-0,25                  |                                   | 125                         |
| II               | 0,25-0,50               | 1239                              | 432                         |
| III              | 0,50-1,00               | 1177                              | 825                         |
| IV               | 1-2                     | 2250                              | 4216                        |
| V                | 2-3                     | 1344                              | 3595                        |
| VI               | 3-5                     | 70                                | 265                         |
| VII              | 5-10                    | 63                                | 440                         |
| VIII             | 10-15                   | 11                                | 127                         |
| IX               | 15-30                   | 2                                 | 32                          |
| X                | >30                     | 0                                 | 0                           |

Wyniki obliczeń skuteczności rażenia odłamkowego różnych typów amunicji wykonywane w Polsce oraz dostępne informacje zagraniczne (np. pochodzące z Bułgarii – tab. 2 [3]) na ten temat pozwalają wnioskować, że ocena skuteczności pocisku 105 mm oraz NPR 122 mm (przedstawionych wyżej) może stanowić podstawę do formułowania wstępnych wymagań na wysokość zadziałania projektowanych zapalników zbliżeniowych do pocisków artyleryjskich 122 mm i 152 mm oraz NPR 122 mm.



Rys. 5. Wykres  $q_s = f(H_w)$  NPR dla różnych kątów upadku głowicy, cel leżący  
 Fig. 5. Charts of  $q_s = f(H_w)$  for different angles of Unguided Missile head falling, lying target

Tabela 2. Średnia wartość współczynnika  $q_s$

Table 2. The average value of the  $q_s$  coefficient

| Kaliber pocisku<br>[mm]       | Cel – siła żywa   |                |           |
|-------------------------------|---|----------------|-----------|
|                               | Pozycja leżąc   | Pozycja stojąc | W okopach |
| 120                           | 2,8   | 4,8            | 10,3      |
| 122                           | 1,8   | 4,2            | 16,3      |
| 152                           | 1,8   | 3,6            | 8,8       |
| Wypadkowy wzrost skuteczności | 2,3   | 3,6            | 9,6       |
| $H_w \in <4;14>m;$            | $\theta_p \in <20;70>^\circ$ – dla pocisków 122 mm i 152 mm<br>$\theta_p \in <45;85>^\circ$ – dla pocisków 120 mm |                |           |

### 3. WYMAGANIA DOTYCZĄCE WYSOKOŚCI ZADZIAŁANIA ZAPALNIKÓW ZBLIŻENIOWYCH

Zadaniem zapalników zbliżeniowych jest inicjowanie, w rzeczywistych warunkach strzelania, wybuchów amunicji artyleryjskiej na wysokości  $H_w$  należącej do ściśle określonego przedziału wysokości skutecznej  $<H_s>$ . Przedział ten określa się z wykresów skuteczności rażenia odłamkowego dla wymaganego wzrostu skuteczności rażenia amunicji, jaki powinno się uzyskać w wyniku zastąpienia zapalnika uderzeniowego ( $H_w = 0$  m) – zapalnikiem zbliżeniowym.

Ponadto dla potrzeb projektowania czujników wysokości tych zapalników ustala się średnią wymaganą wysokość wybuchu  $H_{w\acute{s}r}$  (średnią wymaganą wysokość zadziałania zapalnika  $H_{Z\acute{A}s\acute{r}}$ ).

Na podstawie danych o skuteczności rażenia odłamkowego, danych firm producentów zapalników zbliżeniowych, doświadczeń autorów z prac nad artyleryjskimi zapalnikami zbliżeniowymi o kryptonimach „Antymon” i Uran”, a także informacji zawartej w dostępnej literaturze fachowej można w sposób przybliżony, jednak wiarygodny, ustalić wartości przedziału  $\langle H_w \rangle$  i wysokości  $H_{w\acute{s}r}$  dla zapalnika zbliżeniowego do pocisków artyleryjskich kalibru 122 mm „Goździk”, 152 mm „Dana” i 155 mm „Krab” oraz dla zapalnika zbliżeniowego do niekierowanych pocisków raketowych kalibru 122 mm „Grad” i „Feniks”. I tak od zapalnika zbliżeniowego do pocisków artyleryjskich wymaga się, aby spełniony został warunek:

$$(\langle H_w \rangle \approx \langle 3; 25 \rangle \text{ m}) \cap (H_{w\acute{s}r} \approx 8 \div 10 \text{ m})$$

natomiast dla zapalnika zbliżeniowego do niekierowanych pocisków raketowych warunek powyższy przyjmuje postać

$$(\langle H_w \rangle \approx \langle 6; 22 \rangle \text{ m}) \cap (H_{w\acute{s}r} \approx 10 \div 12 \text{ m})$$

Podane warunki należy poddać weryfikacji na etapie badań poligonowych opracowywanych modeli zapalników zbliżeniowych.

*Artykuł zawiera wyniki pracy finansowanej ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt rozwojowy nr O R00 0001 09.*

## LITERATURA

- [1] Podciechowski M., Zimończyk K., Żygadło S., Ocena skuteczności amunicji odłamkowej wyposażonej w zapalniki zbliżeniowe, *Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”*, na nośniku elektronicznym, s. 742-750, Pułtusk, 2010.
- [2] Sznuć K., *Symulacyjna metoda badania skuteczności głowic odłamkowych*, praca doktorska, Wydawnictwo WAT, Warszawa, 1979.
- [3] Sznuć K., Zimończyk K., Komputerowe badania skuteczności rażenia odłamkowego, *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, s. 103-116, vol. XXXIX, nr 4, 1990.
- [4] Gacek J., Sznuć K., Zimończyk K., Komputerowe badania skuteczności rażenia odłamkowego niekierowanych pocisków raketowych „z-z”, *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, s. 67-78, vol. XXXIX, nr 6, 1990.
- [5] <http://www.fps.com.pl/>



## **Results of Effectiveness Destruction of Fragmentation Ammunition Equipped With Proximity Detonators**

Maciej PODCIECHOWSKI, Krystian ZIMOŃCZYK,  
Stanisław ŻYGADŁO

**Abstract.** In the paper there are presented the results of evaluating the effectiveness of fragmentation destruction of artillery ammunition and bombs. On the basis of them, the requirements on the amount of activation proximity fuses designed for artillery projectiles and unguided missiles are formulated. Evaluate the effectiveness of fragmentation destruction of artillery ammunition showed that increasing the efficiency of destruction is achieved by explosions at an altitude ranging between <3, 20> m, as a result of the shock fuse replacement on the proximity fuse.

**Keywords:** mechanics, artillery proximity fuses, destruction efficiency