

BADANIA EFEKTYWNOŚCI PROCESU FRAGMENTACJI 23 MM POCISKÓW KINETYCZNYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań poligonowych opracowanych w WITU pocisków kinetycznych o działaniu odłamkowym (PELE). Rezultaty badań wykazują, pociski funkcjonują prawidłowo zarówno na torze lotu jak i przy uderzeniu w cel z płyty aluminiowej. Efektywność działania oceniano na podstawie ilości odłamków uderzających w płyty świadki umieszczone za celem. Nowa amunicja może być stosowana w istniejących systemach, a zwłaszcza do armat lotniczych i przeciwlotniczych.

FIRING TESTS OF 23 MM KINETIC PROJECTILES FRAGMENTATION

Abstract: The paper consists the results of firing tests of kinetic projectiles (PELE) which were developed by MIAT. The trials show that functioning of projectiles on trajectory and during impact in target(aluminium sheet) is correct. The effectiveness was checked on base of fragments number striking in the witness sheets. The new ammunition can be used with existing weapon systems specially with airborne and antiaircraft guns.

1. Wstęp

W momencie uderzenia pocisku kinetycznego w przeszkodę następuje rozerwanie obudowy pocisku pod wpływem ciśnienia wewnętrznego powstającego w materiale rdzenia pocisku. Mechanizm powstawania ciśnienia wewnętrznego i stanu naprężeń w obudowie pocisku kinetycznego omówione zostały w poprzednich częściach pracy. Zamieszczono tam także wyniki symulacji obciążeń w momencie uderzenia pocisku w przeszkodę.

W celu uzyskania jak najwyższej efektywności omawianych pocisków należy doprowadzić do fragmentacji skorupy pocisku w momencie uderzenia w przeszkodę.

Zjawisko to może nastąpić tylko w przypadku jeżeli dynamiczne naprężenia rozciągające w obudowie σ_m przekroczą wartość dynamicznej wytrzymałości materiału obudowy na rozciąganie R_{Md} .

Wartość dynamicznych naprężeń rozciągających zależy, zgodnie z przytoczonymi uprzednio obliczeniami, od własności materiału obudowy (praktycznie przyjmować będziemy stal), materiału rdzenia (możliwe jest zastosowanie stopu aluminium lub poliamidu), wymiarów konstrukcyjnych pocisku oraz rodzaju przeszkody (gęstości i grubości).

2. Wstępne określenie prędkości rozlotu odłamków pocisku kinetycznego metodą energetyczną.

Zgodnie z wymaganiami stawianymi dla amunicji przeznaczonej do zwalczania naziemnych celów lekkoopancerzonych oraz stosowanej w artylerii przeciwlotniczej przyjęto, że obudowa pocisku powinna fragmentować po uderzeniu w blachę aluminiową o grubości ok. 3 mm. Warunek ten jest zbieżny także z wymaganiami na działanie zapalników do pocisków odłamkowo-burzących.

Przebieg procesu fragmentacji skorupy kinetycznego pocisku o działaniu odłamkowo-burzącym jest następujący.

W momencie uderzenia obudowa pocisku wycina w materiale przeszkody krążek o średnicy równej wewnętrznej średnicy obudowy D (rys.1).

Przyjmując, że przeszkoda ma grubość g i gęstość γ , masa wyciętego krążka wyniesie:

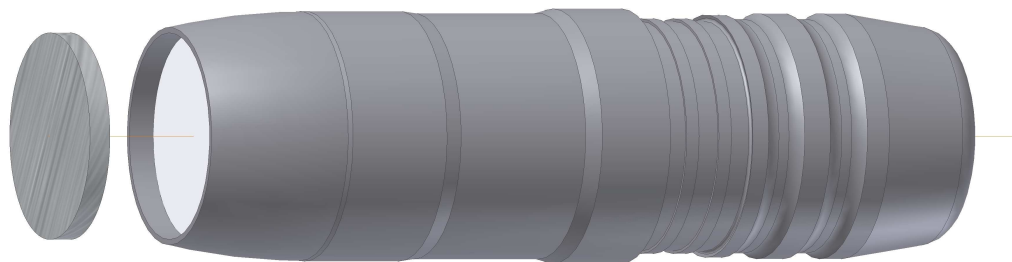
$$m_k = \pi D^2 g \gamma / 4 .$$

Po uderzeniu krążek poruszać się będzie z prędkością V_U , a energia oddziaływania na rdzeń będzie równa:

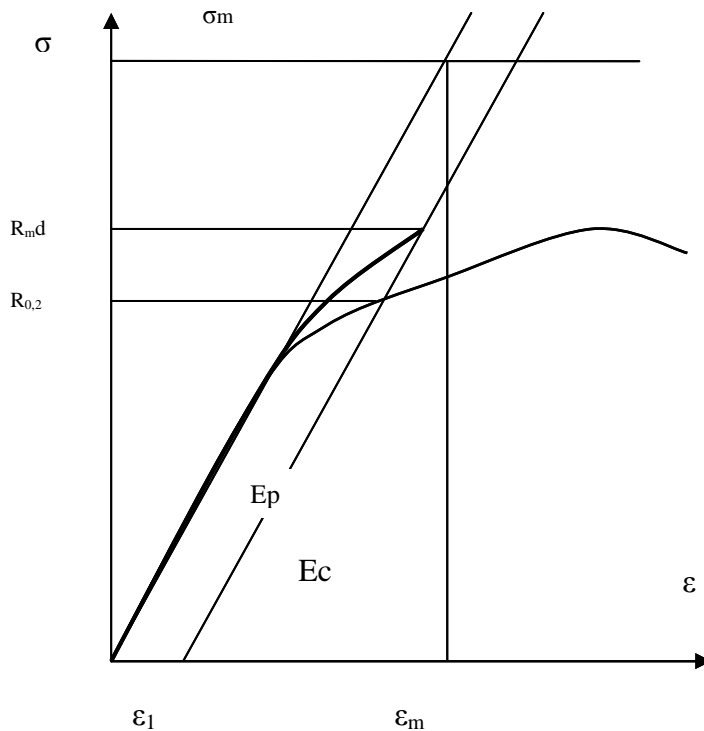
$$E_K = m_k V_U^2 / 2 .$$

Energia E_K zostaje zużyta na odkształcenie plastyczne materiału obudowy E_P i energię, która po zniszczeniu skorupy zamienia się na energię kinetyczną powstałych odłamków E_{KO} .

Względny stosunek energii E_P do energii E_{KO} określić można na podstawie rysunku 2, przedstawiającego wykres wytrzymałości obudowy pocisku.



Rys.1. Widok 23 mm pocisku kinetycznego o działaniu odłamkowym i krążka wycinanego w materiale przeszkody.



Rys.2. Wykres odkształceń i naprężeń w obudowie pocisku obciążonej wewnętrznym ciśnieniem dynamicznym.

Zakładając, że $\varepsilon_1/\varepsilon_M = 0,3$ otrzymujemy:

$$E_P = k \cdot 0,3 \cdot \varepsilon_M \cdot R_{md} ,$$

gdzie: k – współczynnik proporcjonalności;

Natomiast energia całkowita E_C „przejęta” przez pocisk wynosi:

$$E_C = k \cdot \varepsilon_M \cdot \sigma_M / 2 .$$

Energia kinetyczna wynikająca z ruchu odłamków w kierunku prostopadłym do osi pocisku E_O określona jest jako:

$$E_O = E_C - E_P = k \cdot \varepsilon_M \cdot \sigma_M / 2 - k \cdot 0,3 \cdot \varepsilon_M \cdot R_{md} ,$$

po przekształceniu:

$$E_O = E_C (1 - 0,6 R_{md}/\sigma_M)$$

Przyjmując R_{md}/σ_M w granicach od 0,8 do 0,9 otrzymamy, że energia kinetyczna powstałych w chwili uderzenia odłamków wyniesie ok. 0,52 do 0,46 całkowitej energii przejętej przez rdzeń pocisku E_C . Ponadto część energii ulegnie dyssypacji trudnej do oszacowania na tym etapie.

Obliczenia prędkości rozlotu odłamków 23 mm pocisku kinetycznego

Dane wyjściowe:

Średnica zewnętrzna $D_Z = 23$ mm,

Średnica wewnętrzna $D = 19$ mm,

Efektywna grubość przeszkody $g = 3 \text{ mm}$,
 Gęstość przeszkody $\gamma = 2,5 \text{ g/cm}^3$,
 Prędkość uderzenia $V_U = 1000 \text{ m/s}$
 Masa obudowy ulegająca fragmentacji $M_O = 140 \text{ g}$
 Obliczenia:

Masa wyciętego krążka przeszkody

$$m_k = \pi D^2 g \gamma / 4 = 1,42 \text{ g}$$

Energia kinetyczna krążka

$$E_K = m_k V_U^2 / 2 = 708 \text{ J}$$

Energia odłamków dla $R_{md}/\sigma_M = 0,9$

$$E_O = E_C (1 - 0,6 R_{md}/\sigma_M) = 325,7 \text{ J}$$

Maksymalna prędkość rozlotu odłamków:

$$V_O = \sqrt{\frac{2E_O}{M_O}} = 68 \text{ m/s}$$

Kąt odchylenia lotu odłamków w stosunku do osi pocisku:

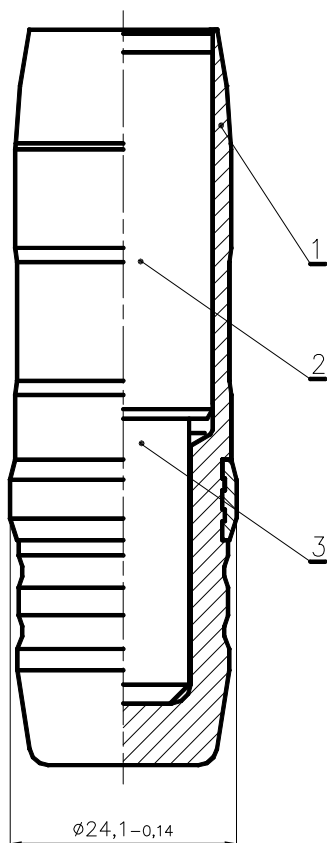
$$\alpha = \arctan(V_O/V_U) = 3,9^\circ$$

a zatem odłamki będą tworzyły stożek o kącie rozwarcia $2\alpha = 7,8^\circ$.

Oszacowana prędkość odłamków i kąt rozlotu jest górną granicą spodziewanych wartości (nie uwzględniono dyssypacji energii).

3. Konstrukcja pocisku

Budowa modelu pocisku kinetycznego przedstawiona jest na schematycznym rysunku nr 3.



Rys. 3. Model 23 mm pocisku PELE:

- 1 - Skorupa z pierścieniem wodzącym,
- 2 - Rdzeń aktywny ze stopu aluminium lub poliamidu,
- 3 - Wkładka tylna – stalowa.

Pocisk składa się ze skorupy o kształcie zewnętrznym zbliżonym do kształtu 23 mm pocisku OFZ do armaty ZU 23-2 (w modelu zrezygnowano z czepca balistycznego). W skorupie wytoczony jest otwór o średnicy $\Phi 19^{+0,03}$, w którym umieszczony jest rdzeń aktywny wykonany w wariantcie „a” ze stopu aluminium, a w wariantcie „b” z poliamidu 6. W dolnej części skorupy znajduje się wkładka tylna.

Wykonano dwie partie modelowe:

- pocisków kinetycznych z rdzeniem ze stopu aluminium w ilości 5 sztuk;
- pocisków kinetycznych z rdzeniem z poliamidu 6 w ilości 5 sztuk.

Pociski zostały scalone z łuskami zawierającymi ładunek miotający z prochu 5/7 w ilości 77 gramów.



Fot. 4. Pociski kinetyczne PELEa, z rdzeniem ze stopu aluminium.



Fot. 5. Pocisk kinetyczny PELEb przygotowany do montażu. Rdzeń poliamidowy widoczny z prawej strony.

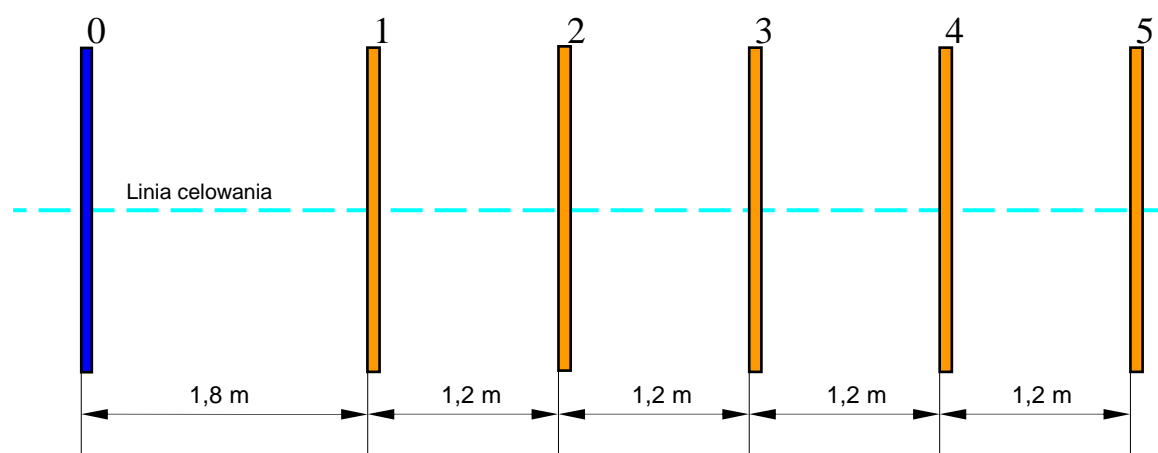
4. Badania poligonowe

4.1. Przebieg badań

Badania poligonowe wykonanych modeli (demonstratorów technologii) 23 mm kinetycznych pocisków mające na celu sprawdzenie funkcjonowania pocisków przeprowadzono w dniu 15.01.2009 roku na poligonie Ośrodka Badań Dynamicznych Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia w Stalowej Woli.

Celem badania było określenie fragmentacji pocisków przy uderzeniu w przeszkodę w postaci tarczy z blach aluminiowych i strefy rozlotu odłamków pocisków powstałych w momencie uderzenia.

Strzelania prowadzono z 23 mm armaty przeciwlotniczej ZU-23-2 ustawionej w odległości 150 metrów przed kulochwytem. Tarcza, do której prowadzono strzelanie znajdowała się w odległości 50 metrów od wylotu lufy armaty. Tarcze świadki umieszczono za tarczą-celem.



Rys. 6. Układ rozmieszczenia tarcz podczas badania: (0)- tarcza aluminiowa, (1÷5)- tarcze z płyty pilśniowej.

Ogółem w trakcie badań wystrzelono 10 pocisków:

5 sztuk z rdzeniem z poliamidu 6 – strzały nr 2, 3, 4, 5, 6;

5 sztuk z rdzeniem ze stopu aluminium – strzały nr 1, 7, 8, 9, 10.

Poniżej na przedstawiono przykładowe fotografie tarcz aluminiowych - celów i tarcz – świadków po oddanych strzałach.



Fot. 7. Widok tarczy- celu od strony przedniej (wlot pocisku). Strzał nr 4.



Fot. 8. Widok tarczy - celu od strony tylnej (wylot pocisku).



Fot. 9. Widok tarczy – świadka nr 1 od strony przedniej.



Fot. 10. Widok tarczy – świadka nr 1 od strony tylnej.



Fot.11. Widok tarczy – świadka nr 5 od strony przedniej.



Fot.12. Widok tarczy – świadka nr 5 od strony tylnej

4.2. Wyniki badań

Do określenia wielkości strefy rozlotu (rażenia) odłamków pocisku po przejściu przez kolejne tarcze stanowiska mierzono współrzędne punktów trafień. Wielkość rozrzutu odłamków na każdej tarczy określono na podstawie średniego odchylenia standardowego punktów trafienia. Pocisk po uderzeniu w tarcze ulega fragmentacji. Liczba odłamków (gęstość rażenia) na tarczy zależy od fragmentacji pocisku oraz wielkości rozrzutu (po fragmentacji nie wszystkie odłamki trafiają w tarczę).

Zbiorcze zestawienie liczby odłamków pocisków z rdzeniem poliamidowym, jakie trafiły w poszczególne tarcze stanowiska dla każdego strzału oraz ich łączną sumę dla każdej tarczy uzyskaną w całej serii badań podano w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki strzelań pociskami z rdzeniem z poliamidu 6.

Nr tarczy	1	2	3	4	5
Nr strzału					
2	15	8	8	2	5
3	19	11	4	22	29
4	11	11	7	38	29
5	10	10	3	4	9
6	25	24	15	2	7
SUMA	80	64	37	68	79

Zbiorcze zestawienie liczby odłamków pocisków z rdzeniem ze stopu aluminium jakie trafiły w poszczególne tarcze stanowiska dla każdego strzału oraz ich łączną sumę dla każdej tarczy uzyskaną w całej serii badań podano w tabeli 2

Tabela 2. Wyniki strzelań pociskami z rdzeniem ze stopu aluminium.

Nr tarczy	1	2	3	4	5
Nr strzału					
1	5	12	7	12	8
7	18	25	12	8	18
8	13	21	28	11	18
9	15	21	18	19	7
10	4	11	13	11	18
SUMA	55	90	78	61	69

4.3. Podsumowanie badań

Badania strzelaniem wykazały, że modele kinetycznych pocisków odłamkowo-burzących, wykonane według opracowanego w WITU projektu, funkcjonują prawidłowo zarówno w przewodzie lufy armaty, na torze lotu i w momencie uderzenia w cel.

Żaden z wystrzelonych pocisków nie uległ zniszczeniu w przewodzie lufy. Wszystkie pociski stabilizowały się prawidłowo na torze lotu. Świadczą o tym ślady pocisków na tarczach-celach. Otwory te mają kształt kołowy, regularny. W przypadku fragmentacji pocisku w lufie kształt byłby nieregularny lub widoczne byłyby miejsca uderzeń fragmentów pocisku. Natomiast przy niewłaściwej stabilizacji pocisku na torze lotu kształt otworu byłby zbliżony do elipsy.

Wszystkie pociski, zgodnie z założeniami, ulegały fragmentacji w momencie uderzenia w tarczę-cel. Liczbę odłamków określano na podstawie przebieg tarcz - świadków.

Najistotniejsza z punktu efektywności bojowej pocisków jest liczba odłamków rejestrowana na dwóch pierwszych tarczach–świadkach to jest w odległości 1,8 m i 3 m od tarczy-celu.

Średnia liczba odłamków z pięciu strzałów dla pocisków z rdzeniem z poliamidu wyniosła odpowiednio: 16 i 13.

Średnia liczba odłamków z pięciu strzałów dla pocisków z rdzeniem z aluminium wyniosła odpowiednio: 11 i 18.

Średnia gęstość odłamków w kwadracie o boku równym średniej z uchyień standardowych w pionie i poziomie dla pocisków z rdzeniem z poliamidu wyniosła odpowiednio: 11,6 odł/dm² i 6,3 odł/dm².

Średnia gęstość odłamków w kwadracie o boku równym średniej z uchyień standardowych w pionie i poziomie dla pocisków z rdzeniem z aluminium wyniosła odpowiednio: 6,0 odł/dm² i 8,5 odł/dm².

Średnia promieniowa prędkość odłamków oszacowana na podstawie odległości uderzeń 50% odłamków pocisków w pierwszą tarczę wyniosła ok. 50 m/s (kąt odchylenia 2,7⁰ - 3,2⁰).

Reasumując należy stwierdzić, że pociski z rdzeniem wykonanym z poliamidu fragmentują szybciej i dają większą liczbę odłamków na pierwszej tarczy niż pociski z rdzeniem z aluminium. Jest to zgodne z wcześniej wykonanymi obliczeniami teoretycznymi [6] wskazującymi, że materiał rdzenia charakteryzujący się większą wartością liczby Poisson'a powoduje zwiększenie naprężeń obwodowych, powodujących rozerwanie skorupy pocisku.

5. Wnioski

Badania poligonowe wykazały, że modele 23 mm pocisków kinetycznych opracowanych w Wojskowym Instytucie Technicznego Uzbrojenia funkcjonują prawidłowo na torze lotu oraz przy uderzeniu w przeszkodę.

Na podstawie wcześniej przytoczonych prac teoretycznych i badań dwóch wariantów pocisków kinetycznych można stwierdzić, że:

- wariant pocisku z rdzeniem z poliamidu 6 będzie bardziej skuteczny w zastosowaniu do małokalibrowych armat przeciwlotniczych i lotniczych;
- w dalszych pracach nad pociskami kinetycznymi należy za podstawę przyjąć wariant z rdzeniem z poliamidu 6.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2006-2009 jako projekt badawczy rozwojowy nr R 00 021 02

Literatura

- [1] Borngen L., Stein W., PELE Firing Results, NDIA – Conference & Exhibition, New Orleans, April 2005.
- [2] Pankowski Z.-Nowe trendy w rozwoju amunicji odłamkowo-burzącej, PTU 4/2006.
- [3] PELE – The New Ammunition Generation – materiały firmy DIEHL BGT Defence.
- [4] Rheinmetal demonstrates low-cost urban tank round, JDR, February 2004.
- [5] Pankowski Z., Szablowski K. – Projekt koncepcyjny pocisku uderzeniowego o działaniu odłamkowo-burzącym, PTU 3/2007.
- [6] Pankowski Z., - Analiza wpływu własności materiałowych i zależności konstrukcyjnych na funkcjonowanie kinetycznego pocisku odłamkowo-burzącego, PTU2/2008.