



Analiza charakterystyk taktyczno-technicznych amunicji programowalnej średnich kalibrów*

Adam BIEDRZYCKI, Olgierd GOROCH, Marek RADOMSKI

*Politechnika Warszawska, Instytut Mechaniki i Poligrafii
ul. Narbutta 85, 05-524 Warszawa*

Streszczenie. Przedmiotem analizy była amunicja produkowana przez firmy: Oerlikon oraz Bofors, o kalibrach 30, 35, 40 oraz 57 mm. Analizowane naboje reprezentowały dwie grupy, różniące się konstrukcją, to jest: typem pocisku i zapalnika oraz sposobem jego programowania. Amunicja pierwszej grupy charakteryzowała się zastosowaniem pocisku typu szrapnel i zapalnika czasowego, programowanego po wylocie pocisku z przewodu lufy, zaś amunicja drugiej grupy posiadała pocisk odłamkowy z elementami o wymuszonej fragmentacji i wielofunkcyjny zapalnik czasowo-zbliżeniowy, programowany przed załadowaniem naboju do komory naboju. Przedstawiona metodyka analizy i otrzymane wyniki pozwalają na dokonanie porównania i wstępną ocenę systemu uzbrojenia strzelającego amunicją programowalną pod kątem jego efektywności.

Słowa kluczowe: mechanika, uzbrojenie, amunicja, pocisk

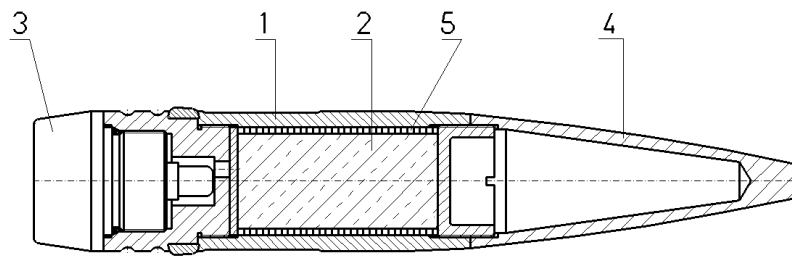
1. WSTĘP

Praca miała na celu dokonanie wstępnej analizy porównawczej efektywności amunicji z zapalnikami programowalnymi. Obszarem zainteresowań były naboje kalibru 30, 35, 40 i 57 mm.

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

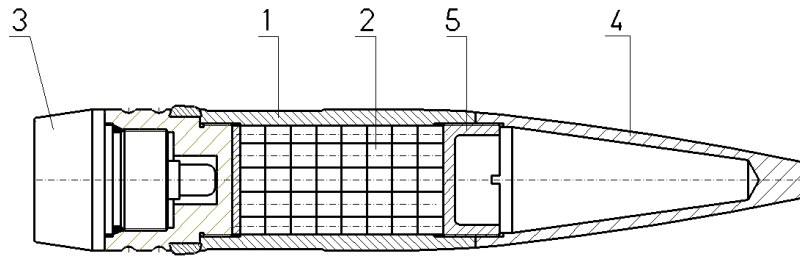
Cechą wyróżniającą system artyleryjski strzelający amunicją programowalną jest występowanie w nim podzespołów nadawczo-odbiorczych, których zadaniem jest przesłanie informacji do zapalnika umieszczonego w pocisku. Zazwyczaj informacje te przekazywane są bezprzewodowo, przy czym transmisja danych może odbywać się: przed załadowaniem naboju do komory nabojeowej, tuż po wylocie pocisku z lufy lub na początkowym odcinku toru. W pierwszych dwóch przypadkach nadajnik związany z działem i odbiornik znajdujący się w zapalniku są zaopatrzone w cewki, które w pewnym okresie przed strzałem lub po wylocie pocisku z lufy są sprzężone indukcyjnie i tworzą swego rodzaju transformator. W trzecim przypadku transmisja danych następuje za pośrednictwem fal radiowych. Ogólnie programowanie zapalnika obejmuje przekazanie informacji o trybie jego pracy oraz o czasie zadziałania. Zapalnik może bowiem pracować jako zapalnik zbliżeniowy lub jako zapalnik czasowy oraz w trybie mieszanym, gdy podzespół zbliżeniowy jest uruchamiany po upływie zadanego czasu. Mieszany tryb pracy zapalnika występuje np. w amunicji produkowanej w firmie Bofors. W wielu istniejących rozwiązaniach zapalnik może pracować jedynie w trybie zapalnika czasowego i wówczas transmisja danych jest ograniczona do informacji o czasie zadziałania zapalnika. Takie rozwiązanie jest stosowane np. przez firmę Oerlikon.

W omawianej amunicji stosowane są zarówno pociski odłamkowe z elementami o wymuszonej fragmentacji, jak i pociski typu szrapnel (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Schemat budowy pocisku odłamkowo-burzącego z elementami o wymuszonej fragmentacji w postaci kulek wykonanych ze stopu wolframu
1 – skorupa pocisku; 2 – materiał wybuchowy; 3 – zapalnik programowalny;
4 – czepiec balistyczny; 5 – warstwa kulek wolframowych w osnowie ze stopu lekkiego lub tworzywa sztucznego

Fig. 1. Schematic diagram of HE projectile with parts of the forced fragmentation in the form of beads made of an alloy of tungsten
1 – bullet shell; 2 – explosive; 3 – programmable fuse;
4 – ballistic cap; 5 – layer of tungsten balls in a light alloy or plastic



Rys. 2. Schemat budowy pocisku typu szrapnel
 1 – skorupa pocisku; 2 – lotki; 3 – zapalnik programowalny;
 4 – czepiec balistyczny; 5 – łącznik

Fig. 2. Schematic diagram of a shrapnel projectile
 1 – ballistic cap; 2 – subprojectiles; 3 – programmable fuse;
 4 – ballistic cap; 5 – connector

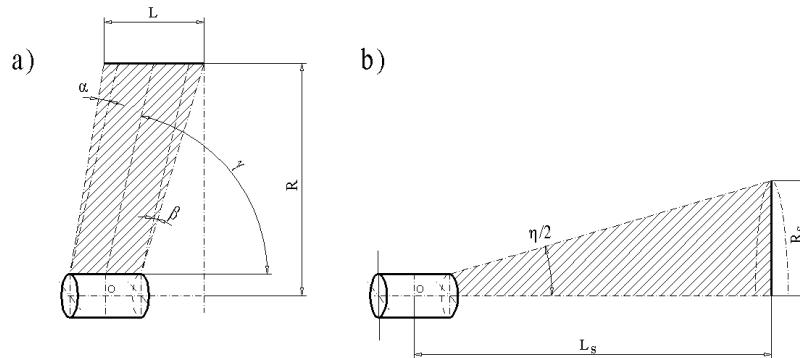
Systemy wykorzystujące amunicję programowalną mają bardzo szerokie zastosowanie, szczególnie w przypadkach zwalczania celów charakteryzujących się małymi wymiarami i dużą wrażliwością. Dotyczy to zarówno celów powietrznych, jak i celów naziemnych. Główną przesłanką stosowania tego typu uzbrojenia jest możliwość istotnego zwiększenia jego efektywności.

2. METODYKA ANALIZY

W analizie wykorzystano parametry i współczynniki charakteryzujące amunicję, które są standardowo podawane w materiałach informacyjnych [1, 2, 3, 4], takie jak: kaliber pocisku d , masa pocisku m , współczynnik $C_q = m/d^3$, prędkość początkowa pocisku v_0 , masa ładunku materiału wybuchowego q , liczba lotek N i masa lotki m_l oraz jej kształt i wymiary (dla pocisku typu szrapnel), liczba kulek wolframowych N_k i masa kulki m_k (dla pocisku odłamkowego) oraz szybkostrzelność armaty.

Ponadto dla poszczególnych pocisków wyznaczano obszary skutecznego rażenia, zakładając, że dla skutecznego rażenia lekko opancerzonego celu wymagana jest gęstość energii elementu rażącego równa $E_{kl} = 800 \text{ J/cm}^2$ oraz powierzchniowa gęstość poruszających się w przestrzeni lotek lub kulek N_{TI} równa co najmniej: 60 szt./m² podczas strzelania do rakiet przeciwradarowych; 30 szt./m² podczas strzelania do pocisków typu Cruise oraz 8 szt./m² podczas strzelania do samolotów wielozadaniowych i helikopterów. Podane kryteria zostały zaczerpnięte z prac [5, 6]. Jako miarę obszaru skutecznego rażenia przyjęto jego maksymalne wymiary charakterystyczne (patrz rys. 3), które są funkcją odległości strzelania, gdyż ruch lotek lub kulek zależy także od prędkości postępowej i obrotowej pocisku w chwili zadziałania zapalnika.

Maksymalne wymiary obszarów skutecznego rażenia wyznaczano tak, aby w ich wnętrzu były spełnione podane wyżej kryteria rażenia.



Rys. 3. Schematy obszarów skutecznego rażenia: a) w kształcie tarczy dla pocisku odłamkowego wg rysunku 1; b) w kształcie stożka dla pocisku typu szrapnel wg rysunku 2; O – epicentrum wybuchu; α , β – kąty rozlotu kulek zależne od budowy pocisku; γ – kąt odchylenia tarczy zależny od stosunku prędkości postępowej pocisku w chwili zadziałania zapalnika do prędkości początkowej kulek napędzanych za pomocą materiału wybuchowego zawartego w pocisku; L , R – szerokość i promień powierzchni walcowej; L_s , R_s – wysokość i promień podstawy stożka; η – kąt rozwarcia stożka

Fig. 3. Diagrams of areas of effective destruction:

a) Disc-shaped for HE projectile – Figure 1;

b) cone-shaped for a shrapnel projectile – Figure 2;

O – the epicenter of the explosion; α , β – angles of the flight of balls depending on the construction of a projectile; γ – blade angle dependent on the ratio of velocity projectile at the time of the detonator response to the initial speed of balls that are propelled by explosive material contained in the projectile; L , R – width and radius of the cylindrical surface; L_s , R_s – height and radius of the base of the cone; η – cone angle

Wymagana gęstość energii elementu rażącego E_{kl} oraz jego wymiary i masa pozwalają wyznaczyć graniczną wartość energii kinetycznej, a co za tym idzie – graniczną prędkość elementu rażącego v_G . Jeżeli pominie się prędkość celu, to poszukiwana prędkość graniczna będzie równa:

$$v_G = \sqrt{\frac{2E_{kl}S}{m_l}} \quad (1)$$

gdzie: S – powierzchnia przekroju poprzecznego elementu rażącego;
 m_l – masa kulki lub lotki.

Wykorzystując natomiast uproszczoną zależność opisującą prędkość rozlotu odłamków w powietrzu [5], można wyznaczyć odległość od epicentrum wybuchu, na jakiej prędkość kulki lub lotki zrówna się z prędkością graniczną:

$$x_G = \frac{2m_l}{S\rho C_D} \ln \frac{v_0}{v_G} \quad (2)$$

gdzie: v_0 – prędkość początkowa kulki lub lotki;
 ρ – gęstość powietrza;
 C_D – współczynnik oporu czołowego.

Odległość x_G wyznacza zatem w przybliżeniu promień R dla pocisków odłamkowych lub wysokość stożka L_s dla pocisków typu szrapnel, ze względu na wymaganą gęstość energii elementu rażącego E_{kl} . Prędkość początkową v_0 kulek dla pocisków odłamkowych obliczano jako wypadkową prędkości postępowej i kątowej pocisku oraz prędkości obliczonej za pomocą wzoru Gurneya, natomiast dla lotek szrapnelowych, jako wypadkową prędkości postępowej i kątowej pocisku. Dane dotyczące prędkości postępowej i kątowej pocisku w funkcji odległości strzelania obliczano, rozwiązując problem główny balistyki zewnętrznej dla analizowanych pocisków z wykorzystaniem modelu matematycznego podanego w pracy [7], który opisuje ruch pocisku jako ruch bryły sztywnej w powietrzu o sześciu stopniach swobody. W tym celu został opracowany stosowny program komputerowy rozwiązujący zagadnienie początkowe Cauchy'ego dla układu równań różniczkowych zwyczajnych z zastosowaniem metody numerycznej opartej na algorytmie Rungego–Kutty–Fehlberga [8].

Drugim kryterium, które było brane pod uwagę przy wyznaczaniu obszaru skutecznego rażenia, była powierzchniowa gęstość poruszających się w przestrzeni lotek lub kulek N_{Tl} . Na tej podstawie można było wyznaczyć maksymalną powierzchnię S_G , która zawiera rozlatujące się kulki lub lotki i zapewnia wymaganą liczbę trafień w cel. Z dobrym przybliżeniem można przyjąć, że powierzchnia S_G będzie równa iloczynowi powierzchniowej gęstości poruszających się w przestrzeni lotek lub kulek N_{Tl} i liczby kulek N_k lub lotek N , zawartych w pocisku. W przypadku pocisków odłamkowych można przyjąć, że powierzchnia ta jest powierzchnią walcową o promieniu R i wysokości L , zaś dla pocisków typu szrapnel jest powierzchnią podstawy stożka o promieniu R_s (patrz rys. 3). Jak łatwo zauważyć, powierzchnie te także są funkcją promienia R lub wysokości L_s . W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że dla pocisku odłamkowego:

$$S_G = 2\pi RL \quad (3)$$

zaś dla pocisku typu szrapnel:

$$S_G = \pi R_s^2 \quad (4)$$

Na podstawie zależności geometrycznych, znając powierzchnię S_G , można wyznaczyć promień R lub wysokość L_s z następujących zależności:
dla pocisku odłamkowego (dla $\gamma=0$):

$$R \approx \sqrt{\frac{S_G}{2\pi(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta)}} \quad (5)$$

dla pocisku typu szrapnel:

$$L_s = \frac{\sqrt{\frac{S_G}{\pi}}}{\operatorname{tg}\left(\frac{\eta}{2}\right)} \quad (6)$$

3. WYNIKI ANALIZY

Jak już wspomniano we wstępie, przedmiotem analizy były naboje kal. 30, 35, 40 i 57 mm. Skoncentrowano się na produktach firm Oerlikon i Bofors, pominięto natomiast nabój 30 mm MK310 Mod 0 PABM-T firmy ATK. Na podstawie dokonanego przeglądu literatury [1-5] zebrano dane niezbędne do wykonania stosownych obliczeń, które zestawiono w tabelach 1 i 2. W tabeli 2 zamieszczono także masy kulek lub lotek wystrzeliwane w jednostce czasu. Ze względu na ograniczoną objętość artykułu zaprezentowano jedynie przykładowe wyniki analizy. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono zmiany wymiarów charakterystycznych obszarów skutecznego rażenia dla 35 mm pocisku AHEAD i 40 mm pocisku 3PIM.

Tabela 1. Dane techniczne nabojów artyleryjskich objętych analizą

Table 1. Technical details of the analysis artillery rounds

Oznaczenie naboju	m [kg]	d [mm]	C_q [kg/dm ³]	v_0 [m/s]	N [szt.]	m_l [g]
30 mm 173 ABM/PMC 380 ¹	0,362	30	13,4	980	162	1,24
35 mm x 228 Ahead/PMD 062 ¹	0,75	35	17,5	1050	152	3,3
40 mm 3P IM ²	0,975	40	15,2	1012	1100	0,25
57 mm 3P IM ²	2,4	57	13,0	1035	2400	0,25

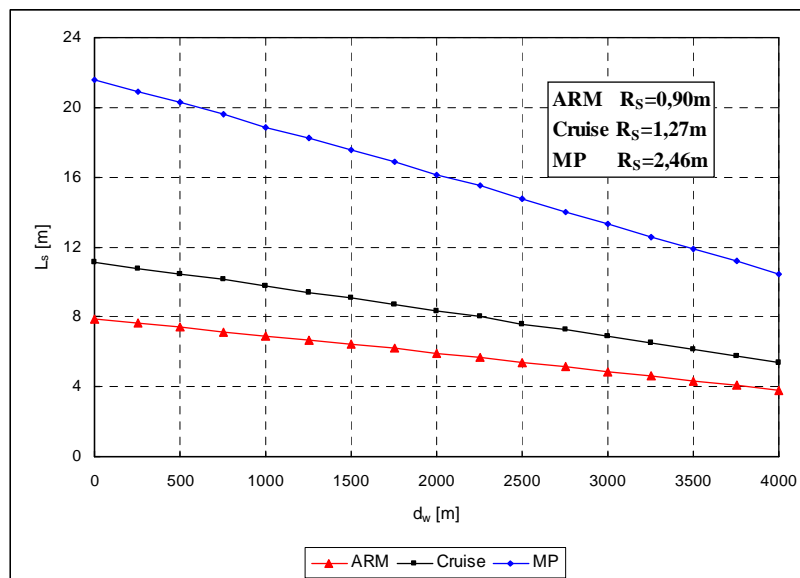
¹ pocisk typu szrapnel

² pocisk odłamkowo-burzący z elementami o wymuszonej fragmentacji w postaci kulek

Tabela 2. Szybkostrzelność armat

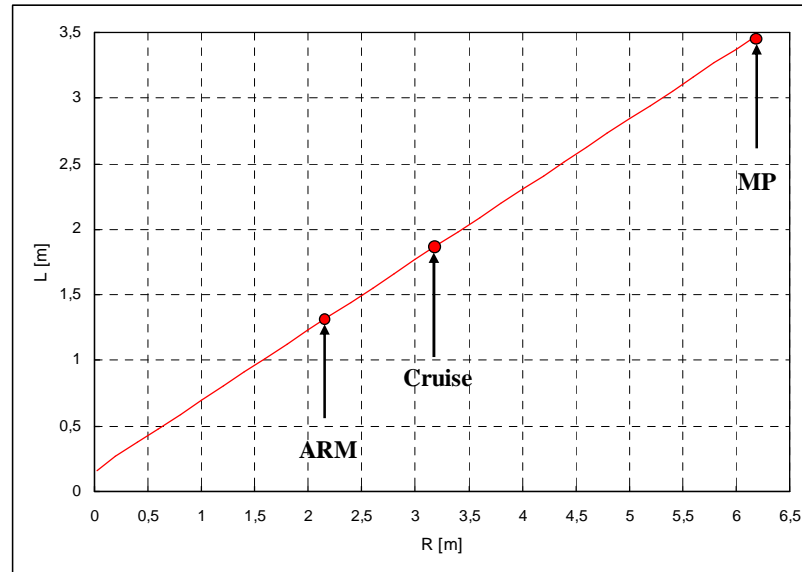
Table 2. Rate of automatic cannons

Oznaczenie naboju	Armata	Szybkostrzelność [strzałów/min]	Masa kulek lub lotek wystrzelona w jednostce czasu [kg/s]
30 mm 173 ABM/PMC 380	Bushmaster II	200	0,67
35 mm x 228 Ahead/PMD 062	35/1000 Revolver Gun	1000	8,37
	KDA	550	4,6
	KDC	550	4,6
	Bushmaster III	200	1,67
40 mm 3P IM	RH 503	400	3,35
	40 mm/70 Sea Trinity	300	1,49
	40 mm/70 Mark 3	330	1,63
57 mm 3P IM	Bushmaster IV	200	0,99
57 mm 3P IM	57 mm Mk3 naval gun	220	2,38



Rys. 4. Wysokość stożka obszaru skutecznego rażenia w funkcji odległości strzelania d_w oraz typu celu: ARM – pocisk przeciwradarowy; Cruise – pocisk samosterujący; MP – samolot wielozadaniowy lub helikopter, dla pocisku 35 mm AHEAD

Fig. 4. The height of the cone area of the effective destruction as a function of distance d_w and the type of shooting to target:
 ARM – anti-radiation missile; Cruise – missile;
 MP – aircraft or helicopter, for projectile 35 mm AHEAD



Rys. 5. Wysokość powierzchni walcowej w funkcji jej promienia dla pocisku 40 mm 3PIM, dla odległości strzelania $d_w = 1500$ m. Strzałkami zaznaczono miejsca odpowiadające maksymalnym wymiarom obszarów skutecznego rażenia dla poszczególnych typów celów: ARM – pocisk przeciwradarowy; Cruise – missile; MP – samolot wielozadaniowy lub helikopter

Fig. 5. Cylindrical surface height as a function of radius for projectile 40 mm 3PIM for shooting distance $d_w = 1500$ m. The arrows indicated the place corresponding to the maximum dimensions of the effective destruction of areas for different types of objectives: ARM – anti-radiation missile; Cruise – missile; MP – aircraft or helicopter, for projectile 35 mm AHEAD

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona w zarysie metodyka analizy i otrzymane wyniki pozwalają na dokonanie porównania i wstępną ocenę systemów uzbrojenia strzelających amunicją programowalną pod kątem ich efektywności, jak również sformułowanie założeń projektowych dla algorytmu strzeleckiego realizowanego przez system kierowania ogniem (SKO), gdyż algorytm ten jest ściśle związany z typem zastosowanego pocisku. Wynika to bowiem z istotnej różnicy w kształcie obszaru skutecznego rażenia dla pocisków odłamkowych i pocisków typu szrapnel.

W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że system wystrzeliwujący większą masę lotek lub odłamków w jednostce czasu będzie charakteryzował się większym prawdopodobieństwem rażenia celu.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że szczegółowa analiza zagadnienia prawdopodobieństwa rażenia celu wymaga uwzględnienia algorytmu strzeleckiego realizowanego przez SKO i wielu innych czynników, jak np. rozrzut błędu celowania, rozrzut balistyczny itp. Ponadto oceniając efektywność systemu uzbrojenia, należy dodatkowo uwzględnić jeszcze koszty, jak np.: koszt amunicji i armaty, koszt utrzymania systemu w gotowości bojowej itp.

Artykuł zawiera wyniki pracy finansowanej przez MNiSW ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt rozwojowy nr O R00001908.

LITERATURA

- [1] ANN., *Sky Ranger Multi Mission Vehicle Armament & Air Burst Munition for Expeditionary Warfare Force Protection*, Oerlikon Contraves AG.
- [2] Buckley A., Freymond P.H., *30mm x 173 Ammunition Family*, Oerlikon Contraves Pyrotec AG; NDIA 2002 International Infantry & Joint Service Small Arms Systems, Atlantic City, NJ – May 13-16, 2002.
- [3] ANN., *Less Than Lethal Weapons Requirements For Military Forces*, Oerlikon Contraves AG.
- [4] Boren M., *Presentation of the Bofors 3P and System Concept*, Bofors Weapon Systems, 2002.
- [5] Pogorzelski F., Ocena skuteczności rażenia ludzi i sprzętu wojskowego odłamkami granatów, *Problemy Techniki Uzbrojenia i Radiolokacji*, z. 33, s. 47-63, Zielonka, 1984.
- [6] ANN., *The Evolution and Design of the 35 mm Ahead Ammunition*, Oerlikon Contraves AG, Zurich, 1996.
- [7] McCoy R.L., *Modern Exterior Ballistics*, Schiffer Military History, Atglen, 1999.
- [8] Marciniak A., *Podstawowe procedury numeryczne w języku Turbo Pascal*, Poznań, 1997.

The Tactical and Technical Characteristics of Medium Calibre Programmable Ammunition Analysis

Adam BIEDRZYCKI, Olgierd GOROCH, Marek RADOMSKI

Abstract. The subject of analysis was ammunition produced by: Oerlikon and Bofors (30, 35, 40 and 57 mm calibre). The analysed ammunition represented two groups, differ by construction, which is: type of shell, fuse and the method of programming. The Ammunition of first group was characterised by shrapnel type of shell and time fuse, programming after exiting the barrel. The second group is specified by fragmentation shell with forced fragmentation elements and multifunctional time-proximity fuse, programmed before round is loaded to the chamber. The presented method of analysis and results will allow to do comparison and initial prognosis of programmable ammunition firing system, by efficiency.

Keywords: mechanics, armament, ammunition, shell, programming fuze