

Prof. dr hab. inż. Józef GACEK
Dr inż. Konrad SIENICKI
Dr inż. Krzysztof MOTYL
Wojskowa Akademia Techniczna

ANALIZA SKUTECZNOŚCI ZWALCZANIA POCISKÓW MANEWRUJĄCYCH PRZY UŻYCIU AMUNICJI AHEAD

Streszczenie: Nowoczesne przeciwlotnicze systemy artyleryjskie powinny charakteryzować skuteczność zwalczania różnorodnych celów powietrznych: samolotów, helikopterów, bezpilotowych aparatów latających, pocisków manewrujących i obiektów typu RAM. Jednym z najważniejszych parametrów każdego zestawu przeciwlotniczego jest prawdopodobieństwo trafienia (porażenia) celu powietrznego. Istnieją trzy metody poprawy skuteczności artyleryjskiego zestawu przeciwlotniczego: zwiększenie szybkostrzelności, podniesienie dokładności systemu artylerii poprzez wyposażenie dział w nowoczesne i drogie systemy kierowania ogniem i zastosowanie pocisków typu AHEAD. W artykule przedstawiono analizę skuteczności zwalczania amunicją typu AHEAD pocisków manewrujących, stosowanych często do niszczenia baz lotniczych przeciwnika.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF DESTRUCTIONS CRUISE MISSILES BY THE AHEAD AMMUNITIONS

Abstract: Modern anti-aircraft artillery systems should be characterized by effective destruction to the wide range of air targets: aircraft, helicopters, unmanned aerial vehicles, cruise missiles and C-RAM objects. One of the most important parameters for each system is a probability to hit the aircraft. There are three methods to improve the effectiveness of anti-aircraft artillery system: increasing rate of fire, increasing the accuracy of the artillery by providing the system with modern and expensive fire control systems and the use of AHEAD missiles. This paper presents an analysis of the effectiveness of the engaging by the AHEAD ammunitions to the Cruise missiles, which are frequently used to destroy enemy air bases.

Słowa kluczowe: analiza skuteczności, zwalczanie pocisków, pociski manewrujące

Keywords: effectiveness analysis, missiles destruction, cruise missiles

1. WPROWADZENIE

Zasadniczą część potencjału bojowego Sił Powietrznych w zakresie aktywnej obrony przeciwlotniczej i zdolności uderzeniowej stanowi lotnictwo. Lotnictwo jest nadal uzależnione od baz lotniczych, dlatego w razie konfliktu będą one zajmowały wysokie miejsca na liście celów ataków powietrznych, a z drugiej strony będą stanowić jedne

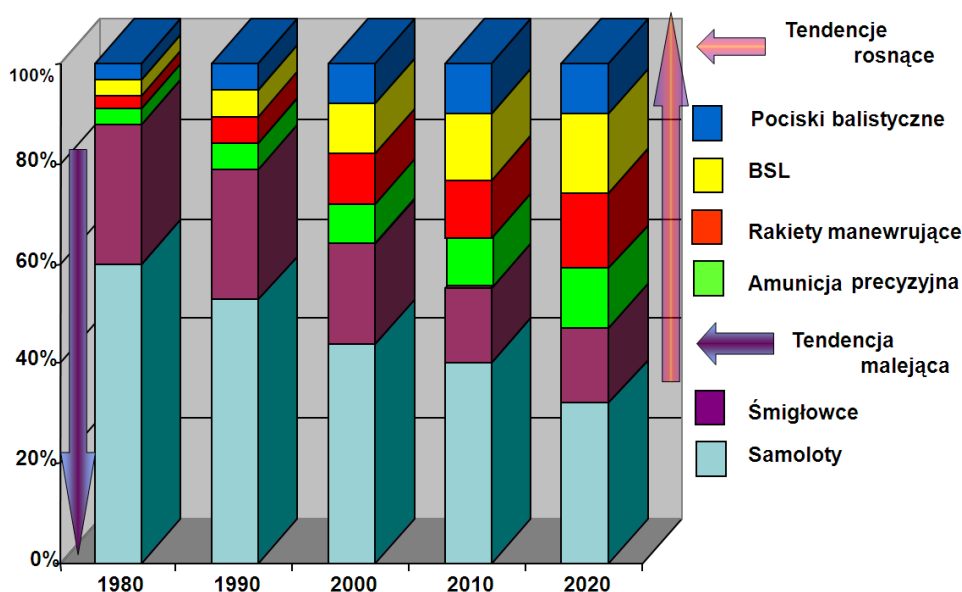
z najistotniejszych obiektów obrony przeciwlotniczej. Bazy lotnicze są obiektami stacjonarnymi dobrze rozpoznanymi w czasie pokoju, które mogą być atakowane przez różnorodne środki napadu powietrznego. Zależnie od możliwości bojowych przeciwnika i znaczenia danej bazy lotniczej mogą to być (rys. 1):

- samoloty bojowe, które nadal stanowią podstawowe zagrożenie,
- śmigłowce posiadające zdolność skrytego podejścia z wykorzystaniem rzeźby terenu,
- bezzałogowe aparaty latające, które potrafią realizować już nie tylko zadania rozpoznawcze, ale również uderzeniowe,
- pociski manewrujące i rakiety samosterujące, coraz powszechniej dostępne i często przejmujące zadania lotnictwa przy realizacji misji przeciwko obiektom stacjonarnym,
- pociski balistyczne.



Rys. 1. Zagrożenia z powietrza z punktu widzenia Sił Powietrznych

Obrona przeciwlotnicza baz lotniczych jest zadaniem szczególnie trudnym nie tylko dlatego, że są to obiekty o dobrze znanym położeniu i należy im zapewnić obronę przed różnorodnymi środkami napadu powietrznego – niezależnie od pory roku i dnia oraz od warunków atmosferycznych, ale przede wszystkim dlatego, że wymaga jednocześnie zapewnienia wysokiej efektywności w zwalczaniu środków napadu powietrznego i zapewnienia bezpieczeństwa lotnictwu własnemu. Stawia to wysokie wymagania stosowanym systemom uzbrojenia.



Rys. 2. Charakterystyka zagrożeń powietrznych dla Wojsk Lądowych

Analizując ewolucję zagrożeń powietrznych dla wojsk, można zaobserwować następujące tendencje ilościowe środków napadu powietrznego (rys. 2):

- a) tendencja malejąca: śmigłowce i samoloty;
- b) tendencja rosnąca: amunicja precyzyjna, **pociski manewrujące**, BSL, pociski balistyczne.

2. PRZEZNACZENIE I CHARAKTERYSTYKA POCISKÓW MANEWRUJĄCYCH

Pociski manewrujące (znane jako rakiety skrzydlate typu CRUISE) pierwotnie były wytwarzane z przeznaczeniem do przenoszenia głowic jądrowych. Zgodnie z podpisaną w lipcu 1991 roku międzynarodową umową o ograniczeniu broni strategicznej, liczba skrzydlatych pocisków lotniczych o zasięgu ponad 600 km podlega regulacji liczebnej, a głowice jądrowe zostały zastąpione głowicami konwencjonalnymi. Obecnie jest to precyzyjny, ale klasyczny środek bojowy, który umożliwia rażenie celów spoza zasięgu obrony przeciwlotniczej.

Pociski manewrujące są przeznaczone do niszczenia ważnych obiektów wojskowych, gospodarczych oraz ośrodków administracyjnych. Z samolotu bojowego, który jest nosicielem pocisków manewrujących odpala się je w bezpiecznej odległości od przewidywanego do zniszczenia obiektu przeciwnika, pozostając poza zasięgiem jego obrony przeciwlotniczej. Pocisk wyposażony w autonomiczny układ kierowania kontynuuje zaprogramowany przed startem lot w kierunku celu na bardzo małej wysokości z dużą prędkością poddźwiękową, wykonując ponadto manewry, co bardzo utrudnia jego wykrycie i zniszczenie. Typowymi przykładami tego typu pocisków są (tab. 1): rosyjski pocisk manewrujący CH-65, niemiecki Taurus KAPD 150/350, brytyjski STORM SHADOW i amerykański AGM-158 JASSM.

Tabela 1. Podstawowe dane taktyczno-techniczne wybranych lotniczych pocisków manewrujących

Parametr Pocisk	CH-65	AGM-158 JASSM	STORM SHADOW	KEPD 350	KEPD 150
Średnica (szerokość/wysokość) [mm]	514	-	630/480	1060/510	1060/510
Długość całkowita [mm]	6040	4270	5100	5100	4200
Rozpiętość skrzydeł [mm]	3100	2400	3000	1700	1700
Masa startowa [kg]	1250	1020	1300	1400	1100
Masa głowicy konwencjonalnej [kg]	410	454	400	450	450
Prędkość lotu [Ma]	0.8	0.8	0.82	0.85	0.85
Zasięg [km]	280	370	250	350	110

Współczesny pocisk manewrujący jest bezpilotowym aparatem latającym, wykorzystującym aerodynamiczną siłę nośną do utrzymania się w powietrzu oraz napędzanym przez jeden bądź więcej silników i wyposażonym w układ kontroli lotu, przeznaczony do dostarczenia głowicy bojowej do założonego celu. Podstawową cechą charakterystyczną tego rodzaju pocisku jest lot z wykorzystaniem aerodynamicznej siły nośnej oraz napędu silnikowego na całej trasie lotu. Na rysunku 3 przedstawiono ogólną budowę tureckiego pocisku manewrującego SOM.

Według dostępnych danych SOM ma masę 600 kg, z czego 230 kg to głowica bojowa. Silnik turbodrzutowy zapewnia wysoką prędkość poddźwiękową. Kształt kadłuba pocisku wykonano w technologii redukcji skutecznej powierzchni odbicia (SPO) radarowego (tzw.

STEALTH). Kombinowany układ naprowadzania składa się z nawigacji INS i GPS oraz głowicy termowizyjnej. Pocisk sam identyfikuje cel na podstawie danych w pamięci pokładowej. Dzięki systemowi rozpoznawania terenu i radiowysokościomierzowi, SOM może lecieć na małej wysokości, według rzeźby terenu. Można też zmienić cel ataku już po odpaleniu pocisku. SOM może atakować cele stacjonarne i ruchome (np. statki).

Reasumując, specyficznymi zaletami pocisków manewrujących są:

- lot na małych albo bardzo małych wysokościach z uwzględnieniem rzeźby terenu;
- duża prędkość lotu i odległość działania;
- mała skuteczna powierzchnia odbicia z uwagi na małe wymiary geometryczne, a także stosowanie pokryć pochłaniających wiązkę elektromagnetyczną, a coraz częściej również rozpraszający wiązkę specjalny kształt „STEALTH”;
- mała liczba wrażliwych przedziałów.



Rys. 3. Ogólna budowa pocisku manewrującego SOM (materiały firmy: TUBITAK-SAGE)

3. METODY ZWIĘKSZANIA SKUTECZNOŚCI ARTYLERII PRZECIWLOTNICZEJ PRZEZ ZASTOSOWANIE AMUNICJI TYPU AHEAD

Skuteczność bojowa przeciwlotniczego systemu artyleryjskiego to możliwość zwalczania różnorodnych celów powietrznych, której miarą jest prawdopodobieństwo trafienia (porażenia) celu powietrznego.

Prowadzone są liczne prace nad zwiększeniem skuteczności artylerii przeciwlotniczej wobec dużego zagrożenia ze strony szybkich i manewrowych samolotów, helikopterów i rakiet manewrujących. Istnieją trzy metody poprawienia dokładności strzelania z przeciwlotniczego systemu artyleryjskiego.

Pierwsza metoda polega na zwiększeniu szybkostrzelności, co jest tradycyjnym sposobem uzyskania efektu podwyższenia skuteczności. Praktyka wykazała, że podwojenie szybkostrzelności i tak nie powoduje wzrostu skuteczności więcej niż dwukrotnie. Druga metoda polega na podniesieniu dokładności działania systemu artylerii, co znacznie poprawia

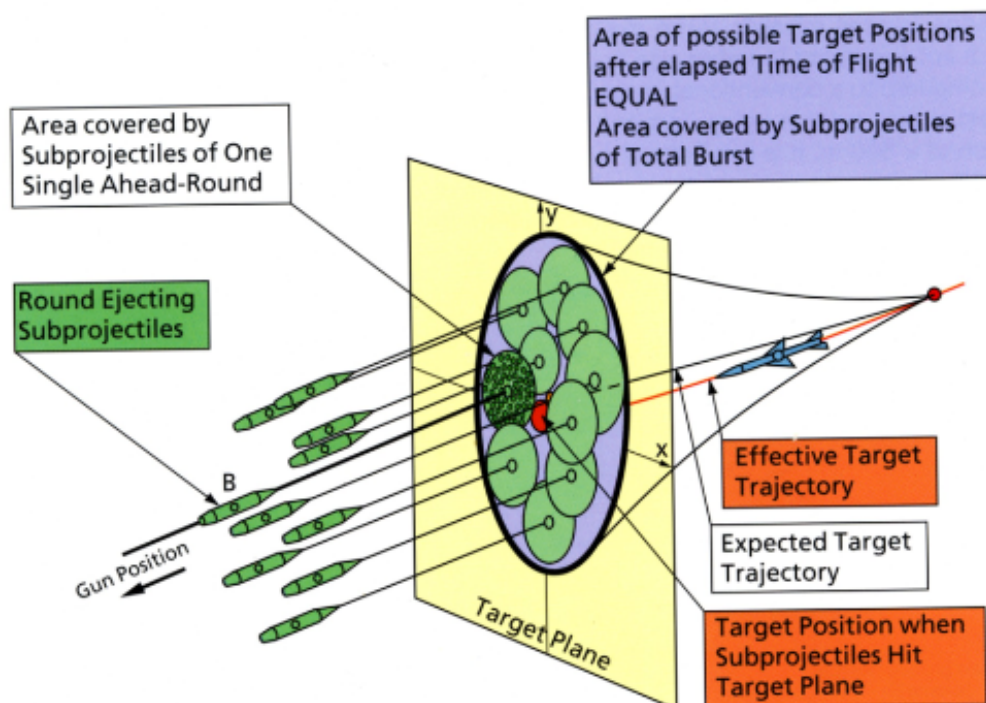
ogólną skuteczność, ale wiąże się to z wyposażeniem dział w nowoczesne, ale bardzo drogie systemy kierowania ogniem. Trzecia metoda, pozwalająca na uzyskanie największej poprawy skuteczności, polega na zastosowaniu pocisków typu AHEAD, o dobranych parametrach pod względem optymalnej odległości detonacji. W efekcie wszystkie przełoty pocisku „blisko” celu będą skuteczne.

Zasada działania amunicji programowalnej typu AHEAD

Zagrożenia występujące na współczesnym polu walki, szczególnie w misjach wojskowych, w których uczestniczą jednostki Wojska Polskiego, wymuszają stosowanie uzbrojenia o zwiększonej precyzji trafienia. Zmianą jakości obrony przeciwlotniczej Sił Zbrojnych RP jest zastosowanie amunicji programowalnej, skutecznie zwalczającej obiekty typu RAM, bezpilotowe obiekty latające i niszczące urządzenia optoelektroniczne montowane na czołgach i pojazdach opancerzonych. Na rysunku 4 przedstawiono koncepcję oddziaływania szwajcarskiej amunicji typu AHEAD na pocisk rakietowy w przypadku strzelania serią.

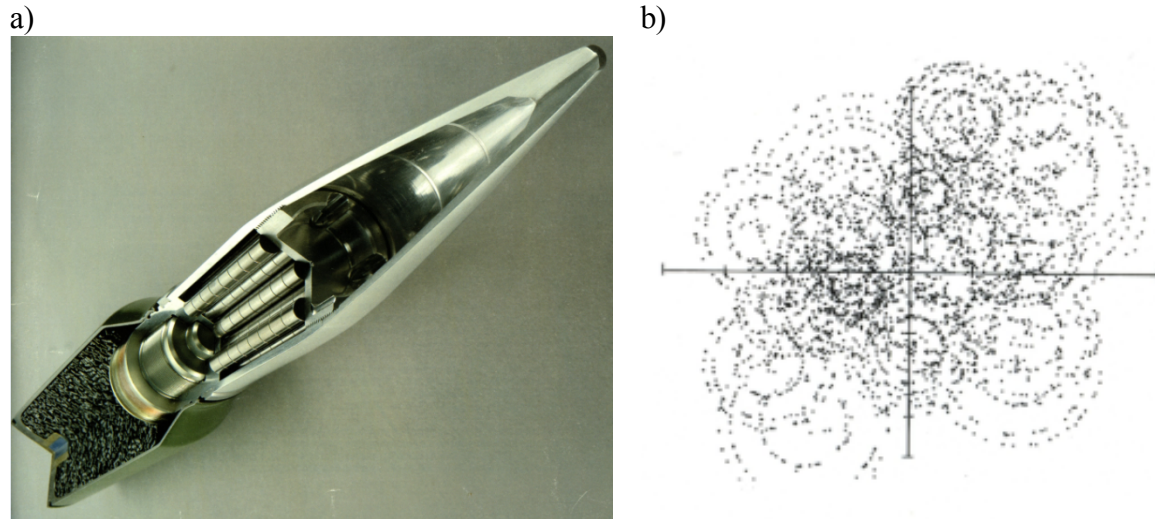
Szwajcarski koncern zbrojeniowy Oerlikon Contrave AG zaproponował swój system AHEAD. System ten składa się z programowalnej amunicji artyleryjskiej i automatycznej armaty, umożliwiającej programowanie. Każdy pocisk typu AHEAD zawiera w swoim wnętrzu podpociski w kształcie walców. Podpociski te ułożone są kolejno w rzędach jeden za drugim (rys. 5).

Obecnie producent amunicji AHEAD, firma Oerlikon Contraves, oferuje dwa rodzaje amunicji typu AHEAD: PMD 330 i PMD 062. Oba typy amunicji różnią się liczbą i wielkością subpocisków wykonanych ze stopu wolframu.



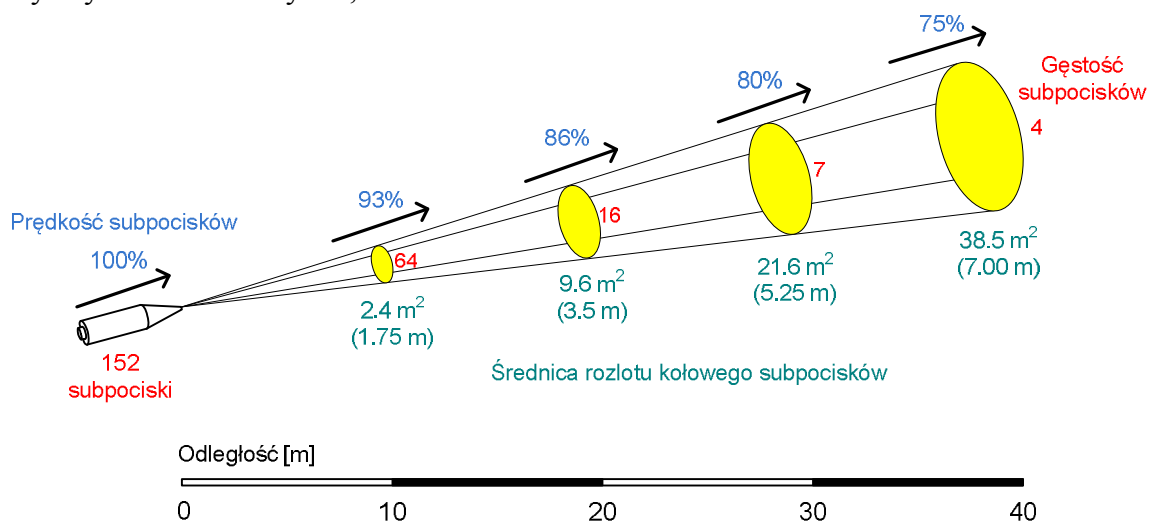
Rys. 4. Koncepcja oddziaływania serii pocisków typu AHEAD na cel powietrzny (materiały firmy Oerlikon Contrave)

Pocisk PMD 330 zawiera 407 podpocisków o masie 1,24 g każdy. Amunicja ta służy do niszczenia lekkich schronów, helikopterów i siły żywej. Pocisk PMD 062 jest amunicją przeciwlotniczą i zawiera 152 podpociski o masie 3,3 g każdy. Amunicja ta służy do niszczenia samolotów, bezzałogowych aparatów latających, kierowanych ракет skrzydlatych, ракет typu CRUISE, pocisków przeciwradiolokacyjnych, bomb kierowanych. PMD 062 nie jest optymalna w zastosowaniu do niszczenia celów typu RAM.



Rys. 5. Szwajcarska amunicja programowalna typu AHEAD (materiały firmy Oerlikon Contrave): a) widok przekroju pocisku z podpociskami; b) chmura podpocisków po rozcaleniu

W amunicji AHEAD stosowane są pociski programowalne. Czas, po którym następuje rozcalenie pocisku i uwolnienie podpocisków, jest programowany w chwili opuszczania przez pocisk lufy działa. Subpociski, po uwolnieniu się z pocisku nosiciela, tworzą stożek o kącie rozwarcia zmieniającym się od 10 do 15°. W małej odległości od punktu rozcalenia kąt stożka wynosi 10°; w miarę wzrostu tej odległości kąt rozcalenia zwiększa się do 15°. Stożek rozcalenia wraz z gęstością subpocisków pokazany jest na rys. 6. Jeżeli z jakichś powodów czas rozcalenia pocisku nie zostanie zaprogramowany, pocisk automatycznie rozcala się po domyślnym czasie równym 8,192 s.



Rys. 6. Stożek rozcalenia pocisku AHEAD

Obecnie dostępna w sprzedaży amunicja AHEAD jest optymalizowana do zwalczania:

- raket manewrujących typu CRUISE,
- helikopterów bojowych,
- bezzałogowych aparatów latających,
- klasycznych samolotów bojowych,
- przeciwradiolokacyjnych pocisków raketowych powietrze-ziemia,
- bomb naprowadzanych lub samonaprowadzających się,
- czołgów i pojazdów opancerzonych oraz bojowych wozów piechoty – poprzez oślepienie, metodą niszczenia sensorów subpociskami,
- nieopancerzonych samochodów i pojazdów lądowych.

4. ANALIZA NUMERYCZNA SKUTECZNOŚCI ZWALCZANIA POCISKÓW MANEWRUJĄCYCH AMUNICJĄ TYPU AHEAD

Pod pojęciem skuteczności przeciwlotniczego systemu artyleryjskiego rozumie się prawdopodobieństwo porażenia celu w wyniku strzelania do celu powietrznego. Każdy cel powietrzny posiada określoną wrażliwość na zniszczenie. Pod pojęciem wrażliwości rozumie się potrzebną średnią liczbę trafień określonym kalibrem broni, w wyniku których cel pozbawiony jest możliwości wykonywania zadania, czyli uszkodzenia celu pozbawia go możliwości wykonania zadania. Liczbę potrzebnych trafień określonego kalibru broni potrzebnych do zniszczenia celu powietrznego ustala się doświadczalnie. Inaczej krzywa ta przebiega dla samolotu myśliwskiego, a inaczej dla śmigłowca czy rakiety sterowanej.

Do oceny skuteczności strzelania wprowadza się pojęcie prawdopodobieństwa porażenia celu, które jest jedną z charakterystyk liczbowych skuteczności strzelania. Przez pojęcie prawdopodobieństwo porażenia celu należy rozumieć możliwość pozbawienia statku powietrznego (lub innego celu) lotu, a nie tylko samego trafienia.

W ogólnym przypadku przez prawdopodobieństwo porażenia celu rozumie się prawdopodobieństwo trafienia go co najmniej pewną określoną liczbą pocisków, co można wyrazić równością:

$$P_{poraż} = P_N \quad (1)$$

gdzie:

$P_{poraż}$ – prawdopodobieństwo porażenia celu;

P_N – prawdopodobieństwo trafienia celu co najmniej N razy.

W ogólnym przypadku, dla przestrzennego rozrzutu trafień prawdopodobieństwo porażenia celu $P_{poraż}$ określa zależność:

$$P_{poraż} = \int \int \int G(x, y, z) \cdot f(x, y, z) dx dy dz \quad (2)$$

gdzie:

$G(x, y, z)$ – funkcja opisująca warunkowe prawdopodobieństwo rażenia celu pociskiem przeciwlotniczym (prawo rażenia),

$f(x, y, z)$ – funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa położenia punktów trafień (tzw. prawo rozrzutu),

x, y, z – współrzędne położenia punktów trafień.

Symulacja komputerowa procesu strzelania do pocisku manewrującego typu Storm Shadow amunicją klasyczną i rozcalaną programowo kalibru 35 mm

W badaniach numerycznych, jako cel powietrzny dla 35 mm przeciwlotniczego zestawu artyleryjskiego przyjęto pocisk manewrujący typu Storm Shadow (rys. 7). Jest to zasobnik szybujący nowej generacji, który umożliwia atakowanie celów bez potrzeby przelatywania nad celem bądź w jego bezpośredniej bliskości. Pociski tego typu zapewniają duże prawdopodobieństwo trafienia i pozwalają atakować wybrane cele z dużej odległości bez narażania załóg własnych samolotów na ogień obrony przeciwlotniczej.



Rys. 7. Taktyczny pocisk manewrujący Storm Shadow

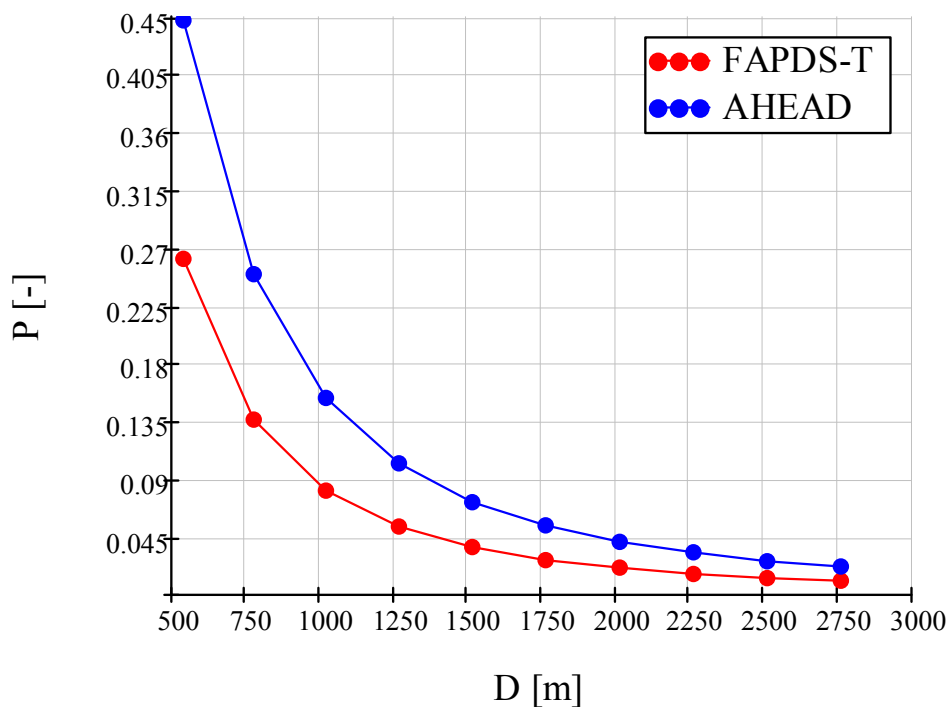
W tabeli 2 przedstawiono podstawowe parametry geometryczne pocisku manewrującego, które są istotne do wyznaczenia prawdopodobieństwa trafienia (porażenia) celu powietrznego.

Tabela 2. Podstawowe parametry geometryczne pocisku manewrującego Storm Shadow

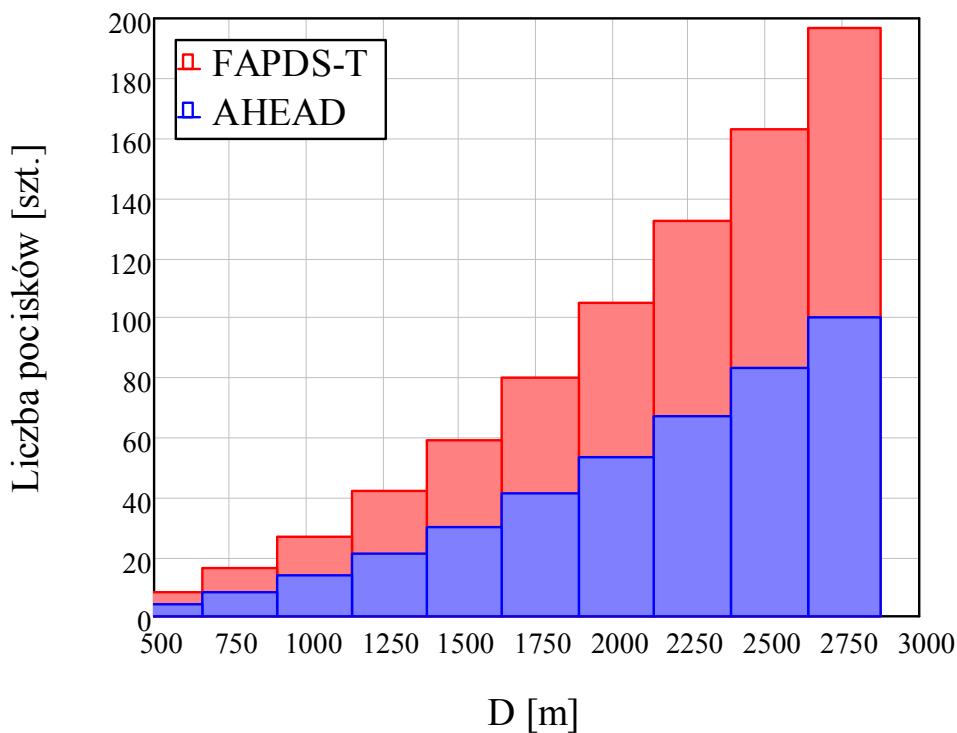
Lp.	Parametry taktyczno-techniczne	Wartości
1.	Długość pocisku [m]	5,1
2.	Szerokość/wysokość kadłuba pocisku [m]	0,63/0,48
3.	Rozpiętość skrzydeł pocisku [m]	2,84
4.	Maksymalna prędkość pocisku [m/s]	278
5.	Maksymalny zasięg pocisku [km]	250

W badaniach symulacyjnych mających na celu wyznaczenie prawdopodobieństwa trafienia zasobnika szybującego amunicją typu AHEAD przeanalizowano dwa scenariusze lotu tego typu obiektu:

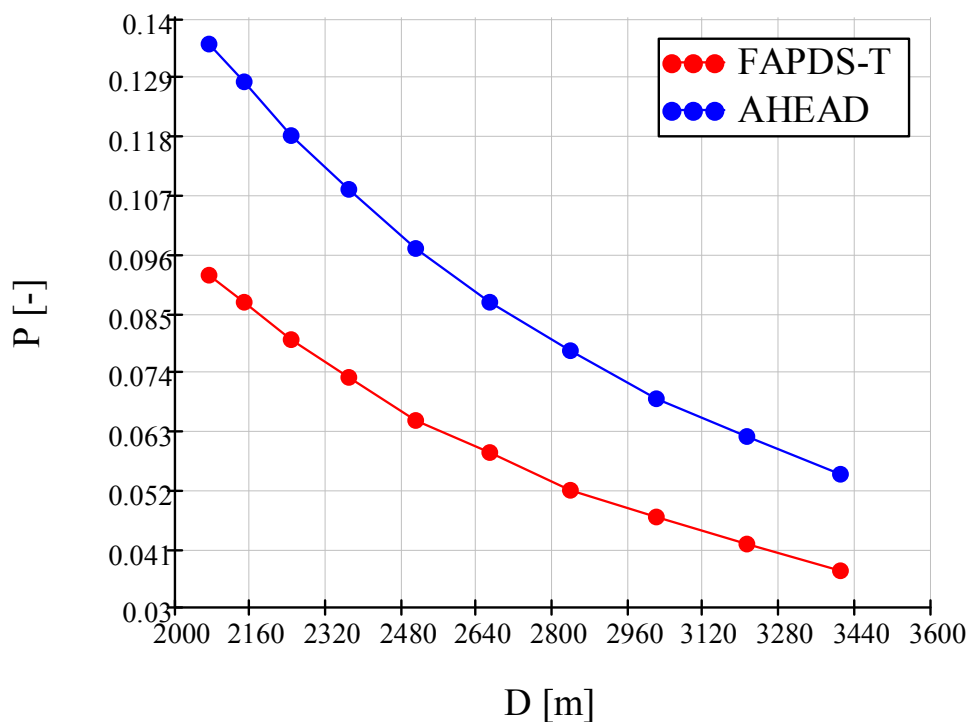
- lot prostoliniowy pocisku manewrującego na wysokości $Y_{c0} = 200$ m, z prędkością 250 m/s na kursie $Z_{c0} = 0$ (rys. 8-9),
- lot prostoliniowy pocisku manewrującego na wysokości $Y_{c0} = 200$ m, z prędkością 250 m/s na kursie $Z_{c0} = 2000$ m (rys. 10-11).



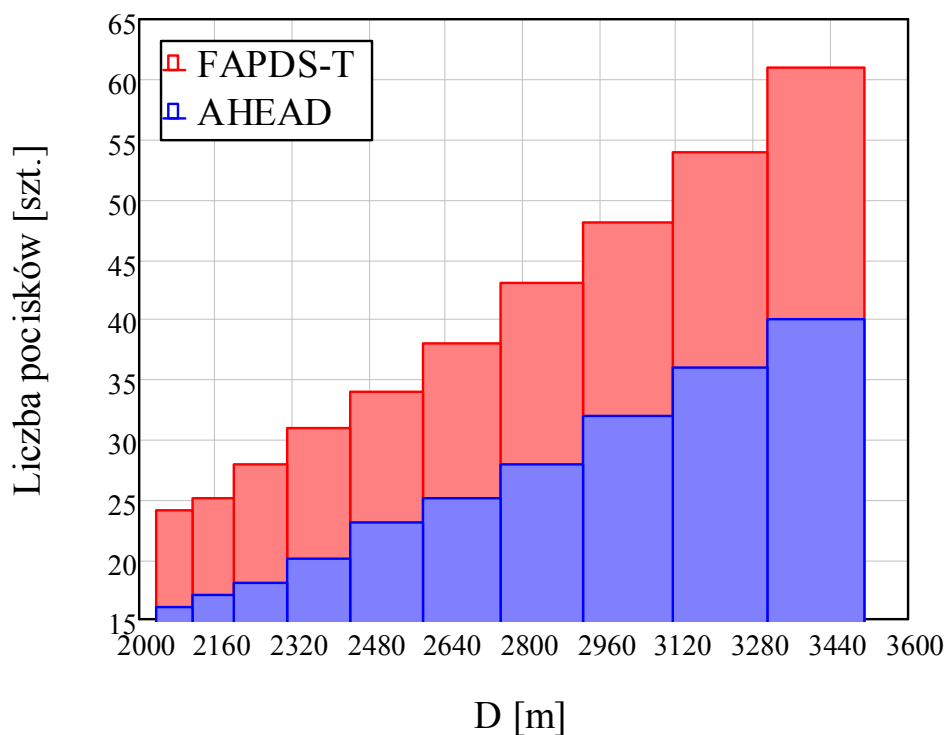
Rys. 8. Zmiana prawdopodobieństwa trafienia w zastępczą sylwetkę zasobnika szybującego pojedynczym pociskiem amunicją FAPDS-T i co najmniej 50 odłamkami w jednym strzale amunicją typu AHEAD w funkcji odległości



Rys. 9. Liczba pocisków potrzebna do trafienia z prawdopodobieństwem 0,9 w zastępczą sylwetkę zasobnika szybującego w przypadku strzelania amunicją FAPDS-T i typu AHEAD w zależności od odległości do celu



Rys. 10. Zmiana prawdopodobieństwa trafienia w zastępczą sylwetkę zasobnika szybującego pojedynczym pociskiem amunicją FAPDS-T i co najmniej 50 odłamkami w jednym strzale amunicją typu AHEAD w funkcji odległości



Rys. 11. Liczba pocisków potrzebna do trafienia z prawdopodobieństwem 0,9 w zastępczą sylwetkę zasobnika szybującego w przypadku strzelania amunicją FAPDS-T i typu AHEAD w zależności od odległości celu

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

1. Skuteczność bojowa przeciwlotniczego systemu artyleryjskiego to możliwość zwalczania różnorodnych celów powietrznych, której jednym z najważniejszych parametrów jest prawdopodobieństwo porażenia celu.
2. Amunicja AHEAD doskonale nadaje się do niszczenia małych obiektów latających, takich jak: pociski manewrujące, pociski przeciwradiolokacyjne, bezpilotowe aparaty latające, pociski powietrze-ziemia.
3. Amunicja AHEAD jest skuteczna do zwalczania obiektów wyposażonych w „inteligencję” na pokładzie, którą można zniszczyć subpociskiem wolframowym (uszkodzenia bloków elektroniki lub optoelektroniki).
4. Badania numeryczne wykazały, że prawdopodobieństwo trafienia pojedynczym pociskiem FAPDS-T jest mniejsze od prawdopodobieństwa trafienia co najmniej 50 odłamkami w jednym strzale amunicją typu AHEAD w funkcji odległości w zastępczą sylwetkę zasobnika szybującego.
5. Badania numeryczne wykazały, że liczba pocisków potrzebna do trafienia z prawdopodobieństwem 0,9 w zastępczą sylwetkę zasobnika szybującego w przypadku strzelania amunicją FAPDS-T jest wyższa niż amunicją typu AHEAD.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2012-2015
jako projekt badawczy rozwojowy nr O ROB 00 50 001*

LITERATURA

- [1] Gacek J., Sznuć K.: *Teoria i zasady strzelania*, WAT, Warszawa, 1998.
- [2] Tomaszek H., Wróblewski M.: *Podstawy oceny efektywności eksploatacji systemów uzbrojenia lotniczego*, WAT, Warszawa, 2000.
- [3] Radomski M.: *Ocena skuteczności zestawów małokalibrowych armat automatycznych przeznaczonych do zwalczania celów powietrznych*, Mat. III Międzynarodowego Sympozjum „Rozwój Techniki Wojskowej”, Systemy dowodzenia, Gdynia, 1995, s. 219-231.

