



Możliwości zwiększenia donośności maksymalnej amunicji do 155 mm armatohaubicy samobieżnej Krab

WOJCIECH FURMANEK, MICHAŁ KIJAK, GRZEGORZ LEŚNIK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa,
Instytut Techniki Uzbrojenia, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa,
wojciech.furmanek@wat.edu.pl, grzegorz.lesnik@wat.edu.pl

Streszczenie. W artykule zaprezentowano sposoby zwiększania donośności maksymalnej pocisków artyleryjskich na przykładzie amunicji 155 mm. Dla poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych scharakteryzowano podstawowe dane taktyczno-techniczne, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu i „kosztu” osiągnięcia donośności maksymalnej, związanego z nią rozrzutu oraz zdolności do oddziaływania na cel. W drugiej części opracowania przedstawiono rezultaty badań własnych w tym zakresie oraz wybrane wyniki z uwzględnieniem różnych wariantów wykonania pocisku. Na bazie przeprowadzonych analiz wskazano też rekomendacje w zakresie pożądanych cech takiej amunicji. Mocno zostały również zaakcentowane wzajemne zależności pomiędzy charakterystykami przyjmowanego lub planowanego do przyjęcia na uzbrojenie sprzętu a możliwymi do uzyskania donośnościami maksymalnymi. Analiza i synteza przedstawionych w pracy danych wskazuje, że możliwe jest opracowanie siłami krajowego przemysłu zbrojeniowego amunicji dalekonośnej pod warunkiem szybkiego rozpoczęcia wskazanych do realizacji prac.

Słowa kluczowe: amunicja 155 mm, zwiększanie donośności pocisków artyleryjskich, modelowanie balistyki wewnętrznej, modelowanie balistyki zewnętrznej

DOI: 10.5604/01.3001.0015.8770

1. Wprowadzenie

Oficjalne przyjęcie w 2017 roku na uzbrojenie pierwszego dywizjonowego modułu ogniowego Regina, opartego na 155 mm armatohaubicach samobieżnych Krab (ahs Krab), wprowadziło artylerię Wojska Polskiego na nowy, dorównujący światowym standardom poziom. Było to związane z faktem, że pod koniec 2010 roku podpisana została umowa pomiędzy Zakładami Metalowymi DEZAMET S.A.

a słowacką spółką ZVS holding, a.s. z Dubnicy nad Váhom na pozyskanie amunicji pozwalającej strzelać na odległości przekraczające 40 km [1]. Jej istotą był zakup słowackiej licencji na produkcję pocisków z wgłębieniem dennym (OFdMKM) i z gazogeneratorem (OFdMKM DV), uzbrojonych w zapalnik kontaktowy KZ-984 o działaniu natychmiastowym i ze zwłoką czasową. Natomiast przeznaczone do miotania tych pocisków modułowe ładunki miotające (BC-E i TC-F), spełniające wymagania porozumienia standaryzacyjnego o wspólnej balistyce 155 mm amunicji [2], miały być kupowane od czeskiej spółki Explosia, a.s. z Pardubic. Dzięki temu artyleria Sił Zbrojnych RP uzyskała zdolność rażenia celów na dystansach większych niż praktycznie każdy inny lufowy system artyleryjski potencjalnego przeciwnika.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę parametry taktyczno-techniczne sprzętu artyleryjskiego występującego wówczas na uzbrojeniu Wojska Polskiego, to charakterystyki wdrażanego 155 mm systemu artyleryjskiego były więcej niż satysfakcjonujące. Jednak już dużo wcześniej w wielu państwach na świecie podjęto prace zmierzające do opracowania znacznie efektywniejszej amunicji artyleryjskiej, a także sukcesywnie zaczęto wprowadzać ją na uzbrojenie. W powszechnym odbiorze problematykę poprawy efektywności najczęściej sprowadza się do zwiększenia donośności maksymalnej pocisków, ale bardziej pogłębione analizy wskazują, że jest to zbyt duże uproszczenie. Dlatego w artykule krótko zostaną scharakteryzowane najnowsze rozwiązania i tendencje w dziedzinie rozwoju amunicji artyleryjskiej oraz przedstawione kierunki, w jakich należałoby podjąć działania, by na bazie krajowego potencjału technologicznego opracować perspektywiczną amunicję do 155 mm ahs Krab. Podstawą takich propozycji są wyniki analiz i obliczeń przeprowadzonych w Instytucie Techniki Uzbrojenia Wojskowej Akademii Technicznej.

2. Zwiększanie donośności maksymalnej pocisków artyleryjskich

Wszystkie dotychczasowe konflikty zbrojne, w których wykorzystana została artyleria, wskazują, że nadal stanowi ona kluczowy element w działaniach wojsk lądowych. Nawet bardzo mocno akcentowana rola bezzałogowych systemów latających (BSL) w konflikcie w Górskim Karabachu w 2020 roku nie umniejsza roli artylerii na ultranowoczesnym polu walki. Wręcz przeciwnie, to właśnie rozpoznanie i wskazywanie celów dla niej oraz dokonana za pośrednictwem BSL-i ocena skutków rażenia pozwoliły przyczynić się do znaczącego podniesienia skuteczności artylerii w tym konflikcie. O ile systemy bezzałogowe były w stanie precyzyjnie eliminować kluczowe ogniwa w systemie obrony strony przeciwnej (przeciwlotnicze zestawy raketowe, czołgi, wozy bojowe, stanowiska ogniowe itd.) i robiły to w sposób bardzo spektakularny (udostępnianie filmów z działań bojowych), o tyle zadająca równie duże straty artyleria lufowa i raketowa pozostawała nieco w cieniu towarzyszących temu konfliktowi medialnych zmagień.

Aby współczesna artyleria utrzymała wysoką skuteczność oddziaływania na przeciwnika, oprócz zdolności do rozpoznania i wskazywania celów oraz oceny stopnia ich porażenia w czasie zbliżonym do rzeczywistego musi cechować się jak największą zdolnością przeżycia. Mając na uwadze fakt, że jednym z głównych celów artylerii przeciwnika jest tzw. ogień kontrbateryjny, to sposobem na uniknięcie zniszczenia i zachowanie zdolności do prowadzenia ognia przez artylerię własną może być stosowanie amunicji o większej donośności niż ta, którą dysponuje przeciwnik. Dlatego poniżej przedstawione zostaną wybrane rozwiązania konstrukcyjne pozwalające na zwiększanie donośności maksymalnej pocisków oraz podstawowe cechy i charakterystyki taktyczno-techniczne takiej amunicji.

2.1. Pociski z dodatkowymi silnikami raketowymi i pociski z układami hybrydowymi

Podstawowe rodzaje amunicji stosowanej w nowoczesnych systemach artyleryjskich opierają się na wykorzystaniu pocisków z wgłębieniem dennym (ERFB-HB) oraz pocisków z gazogeneratorem (ERFB-BB). Ich szczegółowa budowa i sposób zwiększania donośności względem pocisków standardowych z dnem stożkowym są opisywane w literaturze, w tym w artykule [3]. Stanowią one również podstawę jednostki ognia 155 mm ahs Krab, a ich najważniejsze charakterystyki zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Podstawowe charakterystyki amunicji stosowanej w 155 mm ahs Krab

Parametr	Miano	OFdMKM	OFdMKM DV
Masa pocisku uzbrojonego w KZ984	[kg]	40,30	43,55
Masa ładunku kruszącego	[kg]	10,0	10,0
Rodzaj materiału kruszącego	-	trotyl	trotyl
Długość pocisku uzbrojonego w KZ984	[mm]	905	914
Maksymalna prędkość wylotowa	[m/s]	968	958
Donośność maksymalna	[km]	31,15	40,57
Uchylenie „w głąb” U_g na donośności maks.	[m]	155	200
Uchylenie „wszerz” U_s na donośności maks.	[m]	30	40

Dane zawarte w tabeli 1 pokazują, że wykorzystując w 155 mm ahs Krab pełne ładunki miotające, pocisk typu ERFB-HB (OFdMKM) w warunkach normalnych jest w stanie osiągnąć donośność 31,15 km, a typu ERFB-BB (OFdMKM DV) nawet 40,57 km. W przypadku każdego typu amunicji, oprócz odległości strzelania, kluczowe są też silnie z nią powiązane parametry rozrzutu. Wyniki przedstawione w tabeli wskazują, że statystycznie 50% wystrzelonych pocisków

OFdMKM nominalnie powinno upaść w odległości 31150 ± 155 m (tj. w granicach ok. $31,00 \div 31,30$ km), a pociski OFdMKM DV odpowiednio na 40570 ± 200 m (tj. w granicach ok. $40,37 \div 40,77$ km). Analogicznie sytuacja będzie wyglądała w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny strzelania. Oznacza to, że 50% pocisków OFdMKM nie powinno odchylić się od nominalnego toru lotu na maksymalnej donośności o więcej niż ± 30 m, zaś dla OFdMKM DV będzie to nie więcej niż ± 40 m.

Pomimo tego, że pierwsze pociski artyleryjskie z dodatkowym napędem raketowym pojawiły się już w czasie II wojny światowej (były stosowane w 380 mm dziale Sturmtyger), to w nowoczesnym wydaniu zostały wdrożone na uzbrojenie na początku lat 70. XX wieku. Jednym z nich był 155 mm pocisk M549, który do dna głowicy miał przykręcony silnik składający z dwóch ziaren ładunku napędowego (rys. 1a). Takie rozwiązanie było spowodowane koniecznością zmniejszenia naprężeń powstających podczas strzału w paliwie raketowym. Nawet obecnie to właśnie wytrzymałość ściskanego siłą bezwładności i jednocześnie poddanego działaniu siły odśrodkowej ziarna prochowego decyduje o możliwości zastosowania w pociskach artyleryjskich paliwa o określonych charakterystykach energetycznych. Jest to o tyle istotne, że uszkodzone ziarno prochowe podczas spalania mogłoby być przyczyną innego charakteru dopływu gazów niż oczekiwany, co w konsekwencji przejawiałoby się innym przebiegiem ciągu oraz inną niż przewidziana w tabelach strzelniczych donośnością pocisku. W skrajnym przypadku pęknięcie ładunku napędowego mogłoby doprowadzić do uszkodzenia silnika raketowego, a w konsekwencji także wybuchu pocisku.



Rys. 1. 155 mm pociski z dodatkowym silnikiem raketowym: amerykańskie M549A1 (a) i XM1113 (d) oraz w układzie hybrydowym: serbski M03 (b) i południowoafrykański M2005A1 (c). Opracowanie własne na podstawie [4]

Istotnym elementem pocisków wyposażonych w dodatkowy silnik raketowy jest opóźniacz jego zapłonu. Aby spalanie nie rozpoczynało się jeszcze w lufie i tym samym paliwo nie było w niej już częściowo zużywane, we wcześniejszych wzorach pocisków zapłon miał miejsce w pobliżu wierzchołkowej toru lotu. Dzięki temu po włączeniu silnika na kilka sekund następowało zwiększenie jego prędkości, „podniesienie” i „odsunięcie” jego wierzchołkowej, przez co uzyskiwał większą donośność. Pirotechniczny zapłon silnika w pocisku M549 następował w 7 sekund od chwili strzału, a nominalny czas działania dodatkowego napędu wynosił 3 sekundy. Zastosowanie w pocisku silnika raketowego pozwoliło w znaczący sposób (o ok. 30%) zwiększyć donośność artylerii w stosunku do wcześniej używanych pocisków. Jednak ten przyrost donośności został okupiony zauważalnie większym rozrzutem pocisków. O ile na mniejszych odległościach był on trochę większy niż dla amunicji dotychczas używanej (jednakowo liczony parametr rozrzutu wynosił $\sim 0,6\%$ odległości strzelania względem $\sim 0,2 \div 0,4\%$ dla amunicji podstawowej), to przy maksymalnych donośnościach był już zauważalnie większy — na 30 km sięgał ~ 275 m (tj. $0,92\%$ zasięgu). Przyczyną takiego stanu były m.in.: rozrzut zadziałania pirotechnicznego opóźniacza zapłonu silnika, ewentualna asymetria jego ciągu, rozrzut technologiczny wielkości dysz oraz czasów palenia ziaren prochowych.

W tabeli 2 przedstawiono charakterystyki amunicji z dodatkowym silnikiem raketowym i w układzie hybrydowym — wykorzystujące sekwencyjnie zarówno gazogenerator, jak i silnik raketowy. Przykładowe dane doskonale ilustrują rozwój zdolności i najważniejsze czynniki, które decydują o donośności maksymalnej tego typu pocisków. Zastosowanie w haubicy M109 działa M126 o długości lufy 23 kalibry, a w niej komory nabojoyej o objętości 13 dm^3 , pozwalało strzelać pociskiem M549 na odległość 19,3 km. W stosunku do amunicji podstawowej (odłamkowo-burząca miała donośność maksymalną 14,6 km) był to przyrost zasięgu o ponad 32%.

Zastosowanie w haubicy M109A1 działa M185 o większej prędkości początkowej pocisków, otrzymanej dzięki wydłużonej do 39 kalibrów lufie (dłuższy czas działania gazów prochowych), a także o zwiększonej do 19 dm^3 objętości komory nabojoyej (możliwość stosowania większych ładunków miotających) przyczyniło się w przypadku pocisku M549 do uzyskania donośności 23,5 km. Wobec 18,1 km maksymalnego zasięgu dla pocisków standardowych dawało to jego wzrost o blisko 30%. Kolejna modernizacja haubic od wersji M109A5 i zastosowanie w nich dział M284 o większej wytrzymałości lufy, przy jej geometrii zbliżonej do M185, pozwoliły na wykorzystanie bardziej energetycznych ładunków miotających, co kolejny raz znalazło odzwierciedlenie w donośności maksymalnej — pocisk M549A1 osiągał 30,1 km w porównaniu do 22,0 km dla amunicji zwykłej. Jednak powstałe podczas strzelania z użyciem największego ładunku (M203 nr 8) przyspieszenia osiągały takie wartości, że potencjalnie stwarzały zagrożenie samoczynnego pobudzenia znajdującego się w pocisku ładunku kruszącego z kompozycji B (64 % heksogenu i 36% trotylu). Aby tego uniknąć, zmodernizowano pocisk poprzez zmianę materiału wybuchowego na trotyl oraz taką jego modyfikację, by skompensować nieco mniejszą masę ładunku kruszącego (tabela 2).

TABELA 2
 Podstawowe charakterystyki 155 mm amunicji z silnikiem raketowym (RAP) i w układzie hybrydowym z gazogeneratorem (RAP + BB)

Parametr	Pocisk														
	M549	M549 AI	M549	M549 AI	M549	M549 AI	M03	M2005	M2005	M2005	M2005	M9703	XM 1113	XM 1113	XM 1113
Typ pocisku	RAP	RAP	RAP	RAP	RAP	RAP + BB	RAP + BB	RAP + BB	RAP + BB	RAP + BB	RAP + BB	RAP + BB	RAP	RAP	RAP
Państwo pochodzenia	USA	USA	USA	USA	USA	Korea	Serbia	RPA	RPA	RPA	RPA	RPA	USA	USA	USA
Wzór działa	M109	M109 AI	M109 AI	M109 A6	M109 A6	K9	Nora B-52	G6-52	G6-52L	Pzh-2000	G6-52L	M109 A6	M 1299	M 1299	M 1299
Długość lufy	23	39	39	39	39	52	52	52	52	52	52	52	39	39	58
Obj. komory nab.	13	19	19	19	19	23	23	23	23	23	23	25	19	19	b/d
Masa pocisku	43,5	43,5	43,5	43,6	43,6	b/d	48,1	b/d	b/d	b/d	b/d	43,5	b/d	b/d	b/d
Masa ład. krusz.	7,26	7,26	7,26	6,80	6,80	b/d	4,60	4,30	4,30	4,30	4,30	b/d	6,5	6,5	6,5
Masa ład. napęd.	3,17	3,17	3,17	3,17	3,17	3,00	3,40	b/d	b/d	b/d	b/d	b/d	b/d	b/d	b/d
Masa ład. gazogen.	-	-	-	-	-	1,0	1,3	b/d	b/d	b/d	b/d	b/d	-	-	-
$V_{wyłot. maks.}$	560	678	678	826	826	b/d	940	950	1015	b/d	b/d	b/d	b/d	b/d	1200 (?)
Donośność maks.	19,3	23,5	23,5	30,1	30,1	56,0	56,2	58,0	67,5	66,9	76,2	76,2	40,0	40,0	72,0
U_g na 55 km	-	-	-	-	-	-	412	330	b/d	b/d	b/d	b/d	-	-	-
U_s na 55 km	-	-	-	-	-	-	77	68 (82)	b/d	b/d	b/d	b/d	-	-	-

Postęp technologiczny i zwiększanie donośności pocisków artyleryjskich poprzez redukcję wielkości oporu dennego przyczyniły się do tego, że w RPA (obecnie *Rheinmetall Denel Munition*) podjęto działania nad opracowaniem amunicji w układzie hybrydowym, tj. łącząc dodatkowy silnik raketowy z generatorem ciśnienia dennego. Uzyskany w ten sposób pocisk V-LAP charakteryzował się znacznie mniejszymi oporami podczas ruchu w gęstych warstwach atmosfery (redukcja oporu dennego od działania gazogeneratora), a znacznie późniejsze włączenie silnika (po 11 s od wystrzału) na wyższej wierzchołkowej pozwalało przy mniejszym oporze (mniejsza gęstość powietrza) na efektywniejsze wykorzystanie jego ciągu. Już w pierwszej wersji pociski V-LAP osiągały donośność 54 km. Dotyczyło to 155 mm luf spełniających wymagania porozumienia o wspólnej balistyce [2], tj. z komorą naboju o objętości 23 dm³ i przy lufie o długości 52 kalibrów. Korzystne parametry takiej amunicji przyczyniły się do skopiowania tego rozwiązania przez innych producentów. Przykładem takiej konstrukcji są południowokoreański pocisk K315 firmy Poongsan i serbski M03. Ten pierwszy prawdopodobnie występuje w dwóch wersjach: z samym silnikiem raketowym (donośność maksymalna 52 km) i w układzie hybrydowym (donośność maksymalna 56 km). Pocisk serbski ma natomiast unikalną konstrukcję silnika — jego dysze rozmieszczone są nie w części dennej, ale na pobocznicy korpusu. Znacznie dłuższy jest w jego przypadku czas, po którym następuje pobudzenie silnika (17 sekund od momentu wystrzału), równie duży jest też jego rozrzut, wynosi bowiem aż ± 2 s.

Permanentne doskonalenie pocisków typu V-LAP, modyfikacja konstrukcji luf oraz ładunków miotających doprowadziły do ustanowienia kolejnych rekordowych donośności. Ze standardowego działa 155 mm (L52 i 23 dm³) uzyskano 58 km, a po zastosowaniu specjalnego ładunku dalekonośnego (lepiej wykorzystującego wytrzymałość lufy niż bardziej uniwersalne ładunki modułowe) nawet 66,9 km. Zmiana objętości komory naboju do 25 dm³ pozwoliła zwiększyć ten zasięg do 67,5 km, a zmodyfikowany na potrzeby nowej lufy ładunek specjalny umożliwił wystrzelenie pocisku na 76,28 km. Przeprowadzone w grudniu 2019 roku strzelania wykazały możliwość takiej optymalizacji pocisku i układu miotającego, która pozwoli na jego miotanie na dystans przekraczający 80 km (82÷85 km).

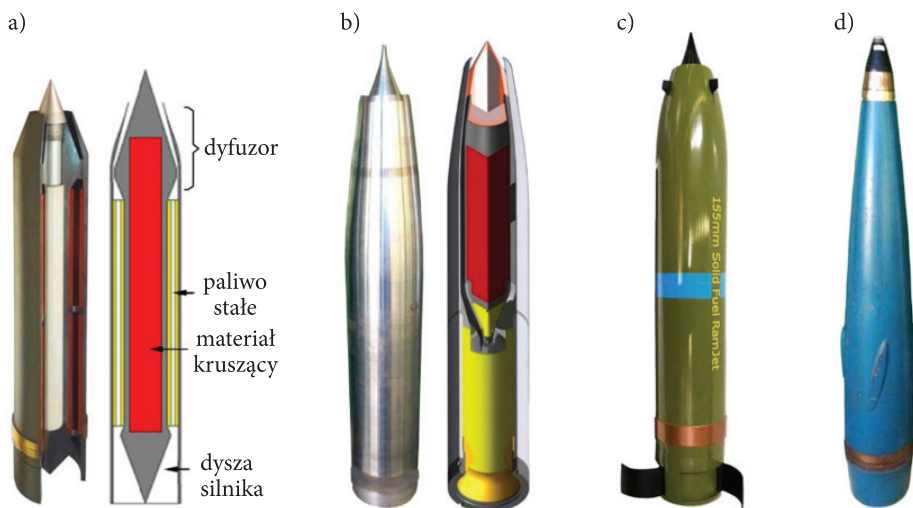
Strzelanie taką amunicją na duże odległości wiąże się nieuchronnie ze wzrostem rozrzutu pocisków. Do czynników go zwiększających, a wymienionych już w przypadku pocisków z silnikiem raketowym, dochodzi jeszcze rozrzut charakterystyk związanych z czasem działania gazogeneratora. Jak podaje serbski producent, różnica w pobudzeniu do działania silnika po czasie 17 ± 2 s ma wpływać na rozrzut pocisków o mniej niż 0,02% donośności. Natomiast sumaryczna wielkość uchylenia U_g ma nie przekraczać 0,75% odległości, na jakiej prowadzi się strzelanie, i 0,14% w przypadku uchylenia w szerokości U_s . Przy 30 i 55 km oznaczałoby to, że 50% wystrzelonych pocisków upadałoby na dystansie 30000 ± 225 m oraz 56000 ± 412 m, a rozrzut 50% trafień w szerokości dla tych odległości wynosiłby odpowiednio

± 42 m i ± 77 m. W przypadku jednej z wersji pocisków typu VLAP (w tabeli 2 ten typ reprezentują M2005 i M9703) podawane są nominalnie wartości uchyień U_g i U_s jako odpowiednio 0,6 i 0,15% donośności. Dla dystansu 30 i 55 km 50% upadków pocisków uchylałoby się od średniego punktu odpowiednio o ± 180 m i ± 330 m w odległości oraz o ± 45 m i ± 82 m w szerokości. Przytoczone powyżej wielkości są podawane jako graniczne, o czym mają świadczyć m.in. wyniki z badań kwalifikacyjnych pocisków VLAP. Najlepszy uzyskany wynik dla serii strzałów kształtował się dla U_g i U_s na poziomie 0,32 i 0,1% donośności [5]. Przy strzelaniu na 30 i 55 km dałoby to rozrzuty punktów upadku 50% pocisków odpowiednio w granicach ± 96 m i ± 176 m w donośności oraz ± 30 m i ± 55 m w szerokości.

Proces optymalizacji donośności amunicji zatoczył koło, gdy okazało się, że nie gorsze rezultaty uzyskuje się w przypadku prostszej konstrukcji pocisku niż w układzie hybrydowym. Zamiast silnika i gazogeneratora zaczęto stosować same silniki raketowe, które jednak były włączane bezpośrednio po wylocie pocisku z lufy. Zmniejszenie ciągu i wydłużenie czasu działania silnika raketowego spowodowało, że pocisk na wznoszącej części toru lotu tylko nieznacznie tracił prędkość, uzyskując przy tym wysokie wierzchołkowe. Dodatkową korzystną okolicznością działania takiego silnika był taki wpływ z niego gazów prochowych, który w sposób tylko nieco mniej efektywny niż gazogenerator redukował opór denny pocisku. Uzyskana jego mniejsza masa niż w przypadku jednoczesnego stosowania silnika oraz gazogeneratora (konieczne są takie grubości ich ścianek, by nie następowało uszkodzenie zaelaborowanych w nich ziaren prochowych) może być spożytkowana na zastosowanie większego ładunku w silniku. Jeżeli przy takiej konstrukcji pocisku (rys. 1d) zastosujemy dodatkowo wydłużoną do 58 kalibrów lufę (tabela 2) i większą niż zakłada porozumienie standaryzacyjne [2] objętość komory na ładunek miotający, to uzyskana podczas strzelania z takiego układu miotającego pociskiem XM1113 donośność 70 km jest możliwa do osiągnięcia. Przy zastosowaniu zoptymalizowanego, specjalnego ładunku miotającego, nad którym trwają obecnie prace, według deklaracji rozwijających tego typu konstrukcje możliwe będzie przekroczenie donośności 80 km, a przy dłuższych pracach nawet 100 km. Jednak zmniejszona przy zastosowaniu dużych ciśnień trwałość lufy i powstały na takim dystansie rozrzut prawdopodobnie byłyby już nieakceptowalne.

2.2. Pociski z silnikami strumieniowymi

Prace nad amunicją wykorzystującą silnik strumieniowy rozpoczęli już Niemcy w czasie II wojny światowej. Jednak dopiero obecny dostęp do nowych materiałów konstrukcyjnych oraz technologii paliw umożliwi opracowanie efektywnego środka bojowego tego typu. Skuteczne użycie silnika strumieniowego w pocisku uzależnione jest od opracowania takiej jego konstrukcji, by wykorzystując szybki przepływ otaczającego go na torze lotu powietrza, możliwe było wpłynięcie i spiętrzenie tego powietrza w znajdującej się we wnętrzu pocisku komorze spalania (rys. 2a).



Rys. 2. 155 mm pociski z silnikiem strumieniowym: koreańskiej firmy Poongsan (a), południowoafrykańskiej Denel (b) i skandynawskiego koncernu Nammo (c) w porównaniu do klasycznego pocisku typu ERFB (d). Opracowanie własne na podstawie [6]

Konstrukcja komory oraz charakterystyki zaelaborowanego w niej paliwa sprawiają, że przy określonych prędkościach ruchu pocisku (najczęściej 3÷6 Ma) następuje samoczynny zapłon i rozpoczyna się spalanie paliwa. Zaletą takiego rozwiązania jest prosta konstrukcja silnika i wykorzystanie do spalania paliwa sprężonego, otaczającego pocisk powietrza. Dzięki temu jest możliwość elaboracji do pocisku większej ilości paliwa i uzyskania kilkukrotnie większej efektywności niż w przypadku klasycznego silnika raketowego. Jednak sam pocisk pozostaje drogi, a jego konstrukcja powoduje, że asortyment dostępnych typów pocisków jest dosyć ograniczony.

Ze względu na to, że amunicja z takimi rozwiązaniami jest jeszcze w fazie rozwojowej, nie można dyskutować o jej docelowych charakterystykach taktyczno-technicznych (analogicznie jak w przypadku części eksperymentalnych pocisków z silnikiem raketowym i w układzie hybrydowym). W literaturze jednak dla kilku ujawnionych dotychczas konstrukcji podawane są pewne kluczowe informacje. Część z nich dotyczy parametrów osiągniętych podczas badań, a inne wskazują na ich docelowe do osiągnięcia wartości. Z uwagi na poziom gotowości technologicznej tej amunicji, możliwe do uzyskania w toku rozwoju korzystniejsze charakterystyki użytkowe oraz brak innych źródeł trudno krytycznie podejść do wartości zestawionych w tabeli 3. Nie ma jednak wątpliwości, że dają one obecnie potencjalnie największe możliwości w zakresie zwiększania donośności maksymalnej pocisku artyleryjskiego. Przy wystrzeliwaniu z dużymi prędkościami uzyskuje się samoczynny zapłon jego silnika i czas działania nawet znacznie ponad 20 sekund. Stąd też uzyskiwane już obecnie dystanse ponad 80 km po zoptymalizowaniu konstrukcji

takich pocisków i użytego w nich paliwa umożliwią, według deklaracji ich twórców, nawet blisko dwukrotne zwiększenie tej donośności. Na obecnym etapie prac nad tą amunicją nie są jeszcze podawane żadne parametry rozrzutu pocisków, lecz wiele wskazuje, że na maksymalnych dystansach jedno uchylenie w donośności mogłoby przekraczać 1 km. Jest to m.in. wynik wady takich silników, która nie daje możliwości regulacji ciągu.

TABELA 3

Podstawowe dane na temat 155 mm amunicji z silnikiem strumieniowym

Pocisk		GAM155 (XKC00)	ProRam	155 mm HE-ExR (RamJet)
Parametr				
Producent		Poongsan	Denel	Nammo
Wzór działa		K9	G5 (?)	Pzh2000 (?)
Masa ładunku kruszącego	[kg]		5,0	6,0
Prędkość wylotowa maks.	[m/s]	900		
Długość lufy	[kal.]	52	52	52
Objętość komory naboju	[dm ³]	23	23	23
Donośność maksymalna	[km]	~80 (100)	~88	~85 (100÷150)
Czas działania silnika	[s]	14		

Inną, wspólną amunicji dalekonośnej, wadą takich pocisków jest mała objętość przeznaczona na ładunek użyteczny (rys. 2). Konstrukcja dotychczas opracowanych pocisków wskazuje, że są one elaborowane ładunkiem kruszącym, co umożliwia rażenie celu odłamkami powstałymi z fragmentacji jego korpusu oraz produktami reakcji rozkładu materiału wybuchowego.

Ujawnione zdjęcia i dokumenty patentowe wskazują, że podjęte w Rosji badania mogą się przyczynić do opracowania takich pocisków, w których będzie możliwa elaboracja ładunku użytecznego w postaci kasety/podpocisków. Ich wymiary, analogicznie jak w przypadku obecnie stosowanej amunicji kasetowej, będą mogły być niewiele mniejsze od średnicy pocisku (rys. 3).

Wprowadzeniu na uzbrojenie armii rosyjskiej 152 mm systemów artyleryjskich 2С35 Коалиция-СВ (pol. 2S35 Koalicja-SW) towarzyszyła informacja, że oprócz zastosowania bezzałogowej wieży i ultrawysokiej szybkostrzelności ma ona możliwość rażenia celów na dystansie do 70 km (równie często dostępne źródła podają tu odległość 80 km). Jednak na targach uzbrojenia i na plakatach pokazujących przyszłościową amunicję do tego systemu artyleryjskiego prezentowane były rysunki i modele pocisków, które miały niemal identyczną konstrukcję jak te przedstawione na rysunku 3 (skrajnie z lewej i z prawej). Ten fakt oraz dostępne fragmentaryczne informacje o takich pociskach wskazywałyby, że w Rosji prowadzone

są zaawansowane prace nad opracowaniem amunicji dalekonośnej wyposażonej w silnik strumieniowy, a podawana wartość donośności maksymalnej systemów artyleryjskich 2С35 Коалиция-СВ zostanie osiągnięta dopiero po wprowadzeniu takich pocisków na uzbrojenie.



Rys. 3. Rysunki patentowe i modele 152 mm rosyjskich pocisków dalekonośnych, w tym z silnikiem strumieniowym. Opracowanie własne na podstawie [7]

2.3. Pociski szybujące i podkalibrowe

Jednym z najefektywniejszych sposobów zwiększenia donośności pocisków lufowej artylerii polowej jest zastosowanie w nich takich rozwiązań, które po osiągnięciu wierzchołkowej toru lotu umożliwiają pociskowi lot ślizgowy. W przypadku amunicji 155 mm taki pocisk jest wystrzelony z klasycznych dział, a dopiero w okolicach wierzchołka toru lotu rozpoczyna się proces hamowania jego prędkości obrotowej, tak aby po rozłożeniu dotychczas ukrytych w jego wnętrzu powierzchni nośnych mógł przejść do lotu szybującego. Istotne jest w tym przypadku to, że strzela się takim pociskiem z nastawami, które pozwalają uzyskać jak najwyższą wierzchołkową toru lotu, co odróżnia amunicję szybującą od innej artyleryjskiej (rys. 4c). W takiej konfiguracji aerodynamicznej pocisku powstaje duża siła nośna, która sprawia, że przy stosunkowo niewielkiej utracie wysokości jest on w stanie polecieć na znaczne odległości (rys. 4c i tabela 4).

TABELA 4

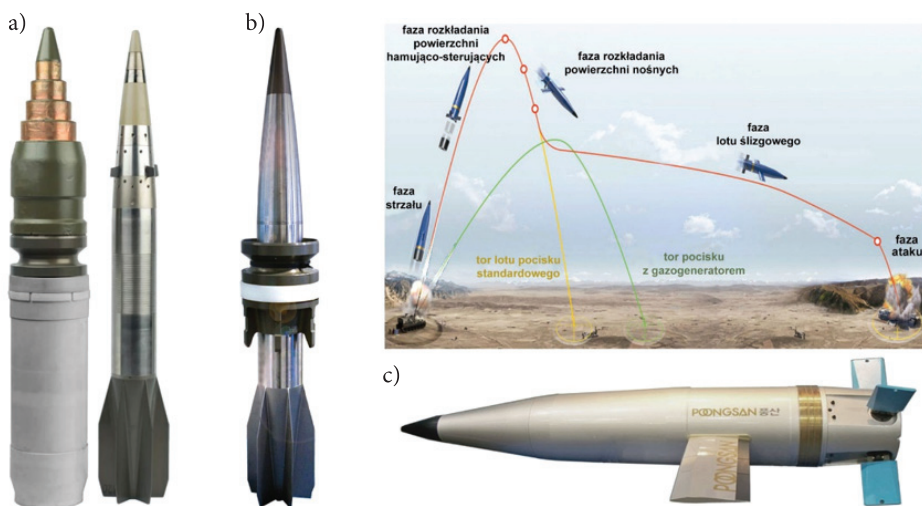
Podstawowe dane na temat 155 mm amunicji szybującej i podkalibrowej

Pocisk		GGAM-155 (GAP155)	Vulcano BER	Vulcano GLR
Państwo pochodzenia		Korea	Włochy	Włochy
Masa pocisku	[kg]	b/d	26	b/d
Prędkość pocisku	[m/s]	b/d	b/d	1150 (?)
Średnica pocisku	[mm]	155	92	b/d
Długość lufy	[kal.]	52	52/58	52/58
Donośność maksymalna	[km]	~100 (150?)	50/75	70 (80)/100
Precyzja trafienia CEP	[m]	10 (90%), 6 (60%)	20 (?)	3÷15 GPS/INS, 1÷3 SAL

Przykładem 155 mm amunicji szybującej jest pocisk GGAM155 południowo-koreańskiej firmy Poongsan (rys. 4c). Analogiczna konstrukcja była jedną z propozycji w początkowej fazie amerykańskiego programu ERAMS jako przyszłościowy pocisk XM1155. Jednak obecnie wiele wskazuje na to, że zwiększenie donośności maksymalnej zostanie tam osiągnięte poprzez zastosowanie pocisku z silnikiem strumieniowym.

W nietypowy dla artylerii polowej sposób donośność maksymalna została zwiększona w 155 mm pociskach typu Vulcano. Metodą na poprawę zasięgu jest tu przyjęcie układu stabilizowanego brzechwowo pocisku podkalibrowego. Po wystrzeleniu z lufy sabot, który otacza pocisk (rys. 4a i rys. 4b), oddziela się od jego zasadniczej części, która dalej leci już sama do celu. Mniejsza masa takiego pocisku (tabela 4) pozwala uzyskać znacznie większe prędkości wylotowe, a jednocześnie mniejszy przekrój poprzeczny i korzystniejsza aerodynamika daje na torze lotu mniejsze spadki prędkości i związane z tym znaczne donośności (tabela 4).

Dla dział 155 mm opracowano dwie wersje pocisków Vulcano: BER oraz GLR. Pierwszy z nich (*Ballistic Extended Range*) jest pociskiem niekierowanym, umożliwiającym pobudzenie ładunku kruszącego przez zapalnik uderzeniowy z funkcjami: o działaniu natychmiastowym i ze zwłoką, czasową, zbliżeniową lub w trybie samolikwidacji. Druga jego odmiana (*Guided Long Range*) jest wyposażona w system nawigacyjny oparty na układach satelitarnym i bezwładnościowym. Dzięki niewielkim powierzchniom sterującym w części głowicowej pocisk może precyzyjnie korygować tor swojego lotu, uzyskując niewielki rozrzut (tabela 4). Odpowiednie wychylenie sterów pozwala takiemu pociskowi przejść w tryb lotu ślizgowego, co zwiększa donośność maksymalną w porównaniu do odmiany BER (tabela 4). Pociski w wersji GLR mogą być też wyposażone w głowicę samonaprowadzającą na cel podświetlony laserem (SAL), wówczas precyzja ich naprowadzania wzrasta jeszcze bardziej (tabela 4).



Rys. 4. 155 mm pociski Vulcano w wersji GLR (a) i BER (b) oraz fazy lotu i konstrukcja pocisku szybiącego GGAM155 (c). Opracowanie własne na podstawie [8]

Obie wersje pocisków mają głowice zaelaborowane małowrażliwym kruszącym materiałem wybuchowym, a w celu poprawy skuteczności rażenia znajdujące się w niej prefabrykowane elementy rażące wykonane są z wolframu. Jednak główną wadą pocisków podkalibrowych jest to, że przy średnicy ok. 92 mm zawarty w nich ładunek użyteczny jest bardzo mały.

3. Sposoby poprawy efektywności pocisków artyleryjskich

Przedstawione powyżej sposoby zwiększania donośności pozwalają uzyskać odległości przekraczające nawet więcej niż dwukrotnie zasięgi uzyskiwane przez stosowaną dotychczas 155 mm amunicję dalekonośną. Wiąże się to nieuchronnie z przyjęciem takiej konstrukcji pocisku, która ma istotnie mniejszą objętość przeznaczoną na ładunek użyteczny (najczęściej kruszący materiał wybuchowy), a na większych dystansach charakteryzuje się zwiększonym rozrzutem. Mając na uwadze, że oprócz donośności maksymalnej na sumaryczną efektywność rażenia mają wpływ zdolność oddziaływania pocisków na cel oraz ich skupienie, warto zasygnalizować, jakie są obecnie stosowane sposoby pozwalające utrzymać wysoki poziom zdolności rażenia i ograniczyć rozrzut pocisków. Najważniejsze z nich zostaną krótko scharakteryzowane poniżej.

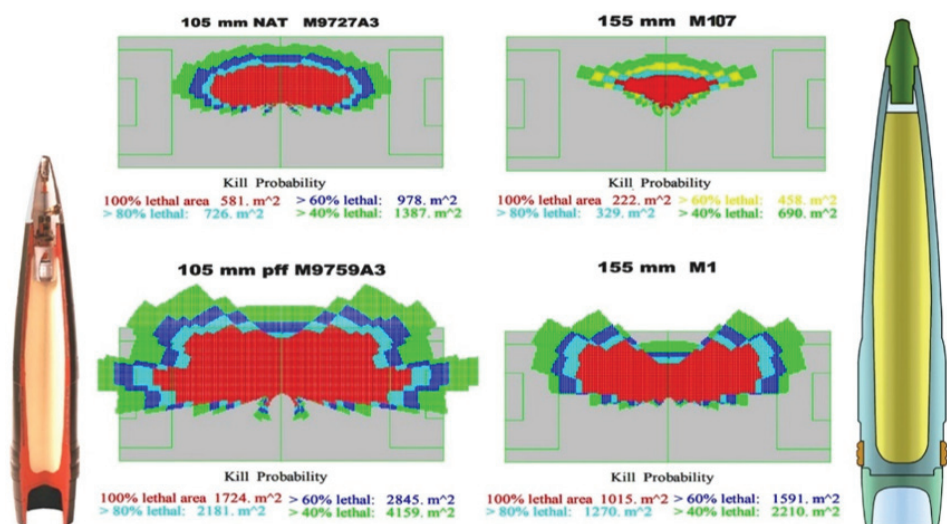
3.1. Poprawa działania rażącego

Zastosowanie określonej geometrii pocisku oraz dodatkowych urządzeń wspomagających uzyskiwanie dużych donośności wiąże się nieuchronnie ze znacznym ograniczeniem objętości dostępnej dla ładunku użytecznego. O ile do podstawowych wzorów 155 mm pocisków odłamkowo-burzących można zaelaborować $7\div 11$ kg kruszącego materiału wybuchowego, to w nowych konstrukcjach pocisków dalekonośnych ich masa jest ograniczona do $50\div 70\%$ tej wielkości (a w przypadku pocisków z silnikiem strumieniowym jeszcze mniej). Bez stosowania dodatkowych działań poprawiających efektywność oddziaływania na cel uzyskuje się wtedy potencjał tylko nieznacznie większy niż w przypadku pocisków kalibru 130 mm. Jeżeli chodzi o działanie niszczące fali uderzeniowej i postępujących za nią produktów detonacji, to są one silnie uzależnione od charakterystyk pobudzonego materiału wybuchowego oraz jego masy. Natomiast w przypadku kinetycznego oddziaływania odłamkami pocisku na cel, stosując określone zabiegi konstrukcyjno-technologiczne, możemy uzyskać znacznie większy wpływ na kształt i wielkość strefy rażenia oraz na charakterystyki odłamków.

Zasadniczym sposobem poprawy działania rażącego pocisku jest przyjęcie w nim wymuszonej fragmentacji korpusu. Polega to na zastosowaniu takiej jego konstrukcji lub technologii, które prowadzą do uzyskania kontrolowanej liczby, wielkości i kształtu odłamków po pobudzeniu ładunku kruszącego. Najważniejsze informacje z tej dziedziny można znaleźć w [3], pogłębione, wybrane aspekty tych zagadnień poruszane są m.in. w artykule [9] lub innych publikacjach jego autorów.

Analizując wyniki prowadzonych badań, można zauważyć, że za zmniejszeniem ilości materiału kruszącego w pocisku nie musi iść adekwatny spadek jego zdolności rażenia. O ile w takim przypadku można mówić o pewnym ograniczeniu działania burzącego („słabsza” energetycznie fala uderzeniowa z mniejszej masy ładunku kruszącego), o tyle optymalizując proces fragmentacji, możemy uzyskać wynik wręcz lepszy niż podczas pobudzenia standardowego 155 mm pocisku z fragmentacją przypadkową. Przedstawione w prezentacji [10] dane pokazują, jak duże znaczenie ma stosowanie w pocisku przeciwko nieosłoniętej sile żywej prefabrykowanych elementów rażących. W przypadku 155 mm standardowych pocisków odłamkowo-burzących fragmentujących przypadkowo w zależności od rodzaju materiału wybuchowego, jego masy, użytego na jego korpus materiału oraz zastosowanych podczas produkcji technologii obróbczych można uzyskać różne wielkości i kształty stref rażenia (dla pocisków M1 oraz M107 pokazano je na rysunku 5). Umieszczenie ich na tle boiska piłkarskiego pokazuje, na jakiej powierzchni można uzyskać prawdopodobieństwo 100%, 80%, 60% i 40% porażenia siły żywej według metodyki autorów (rys. 5). Zdolność ta dotyczy tylko działania odłamkowego pocisku, uwzględniając zarówno energetykę odłamków, jak i ich średniostatystyczną gęstość w przestrzeni po jego sfragmentowaniu. Istotę tych stref dobitnie podkreśla rysunek 6, ze stalowymi

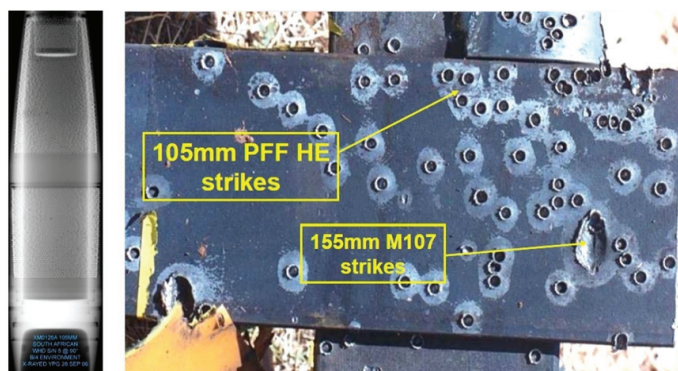
płytami ukazującymi działanie rażące pocisków: 105 mm, w którego korpusie znajdują się elementy rażące w postaci kulek (rentgenogram na rysunku 6), oraz fragmentującego przypadkowo 155 mm. Widać tam tylko trzy trafienia odłamkami pocisku 155 mm i znacznie liczniejsze ślady elementów rażących pocisku 105 mm. Nie ulega wątpliwości, że dzięki większej energii kinetycznej odłamków pocisku M107 i bardziej „postrzępionym” i zaostrozonym ich krawędziom charakteryzować się będą większą zdolnością rażenia, w tym osłoniętej indywidualnymi osłonami balistycznymi siły żywej czy też nieopancerzonej lub lekko opancerzonej techniki bojowej. Jednak ich mała gęstość w przestrzeni skutkuje niezbyt dużą wielkością strefy, w której można oczekiwać wysokiego prawdopodobieństwa skutecznego porażenia celu (rys. 5).



Rys. 5. Porównanie wielkości stref rażenia 105 mm pocisków z fragmentacją wymuszoną i 155 mm pocisków fragmentujących przypadkowo. Opracowanie własne na podstawie [10, 11]

Optymalizacja działania odłamkowego jest zagadnieniem na tyle złożonym, że wymaga oddzielnych analiz i badań, co znacząco wykracza poza ramy tego artykułu.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę fakt, że przedstawione na rysunku 5 strefy zostały określone w analogicznych warunkach (kąt uderzenia pocisku 65°, prędkość uderzenia 300 m/s, zapalnik kontaktowy z nastawą na działanie natychmiastowe na gruncie), to bardzo rzuca się w oczy dysproporcja w wielkości stref dla obu typów pocisków. W przypadku starszej wersji pocisku 155 mm ma on od swojego mniejszego odpowiednika więcej niż siedmiokrotnie mniejszą strefę 100% prawdopodobieństwa skutecznego porażenia. Nowszy pocisk 155 mm jednak też ustępuje wielkością tej strefy, ale jest ona mniejsza już tylko o około 70% (rys. 5) od tej, którą wyznaczono dla 105 mm pocisku M9759A3.



Rys. 6. Rentgenogram 105 mm pocisku XM0125A typu PFF z widocznymi prefabrykowanymi elementami rażącymi (po lewej) oraz widok tarczy po fragmentacji tego pocisku, a także 155 mm pocisku odłamkowo-burzącego o fragmentacji przypadkowej (z prawej). Opracowanie własne na podstawie [11]

Przedstawione wyniki badań wskazują, że zastosowanie w pociskach urządzeń zwiększających ich donośność maksymalną, pomimo zajmowania znacznej przestrzeni w ich wnętrzu, nie musi oznaczać ograniczenia zdolności do rażenia celów przez takie pociski. Warto jednak podjąć prace w tych dziedzinach, tak aby przebiegały one równolegle. Skoro w przypadku pocisków 105 mm udaje się uzyskać wielkości stref niebezpiecznego rażenia większe niż dla amunicji 155 mm, to zastosowanie fragmentacji wymuszonej pozwoli w znacznej części skompensować deficyty związane ze zmniejszeniem objętości na ładunek użyteczny w 155 mm pociskach dalekonośnych. Fakt ten potwierdzają też wyniki badań nowej 155 mm amunicji dalekonośnej (rys. 7).

Assegai Lethality

Characteristic	M2005 HE V-LAP	M0256 IHE PFF V-LAP	M0121 IHE Nat Frag	M0603 IHE PFF	XM1218 IHE PFF - DP
Terminal velocity	350m/s	350m/s	350m/s	350m/s	350m/s
Angle of impact	65°	65°	65°	65°	65°
Detonation	Ground burst	Ground burst	Ground burst	Ground burst	Ground burst
MEA m ²	1 947	4 890	3 498	5 247	8016
Explosive	TNT	PBX4 IM	PBX4 IM	PBX4 IM	PBX4 IM
# Nat Frag	3 400	3 500	13 000	12 000	10 000
# Pre-Frag	-	13 000	-	14 000	20 800

Rys. 7. Porównanie wielkości stref rażenia różnych wersji 155 mm południowoafrykańskich pocisków dalekonośnych z rodziny Assegai [12]

Na rysunku 7 dla analogicznych warunków (kąąt uderzenia pocisku 65°, prędkość uderzenia 350 m/s, zapalnik kontaktowy z nastawą na działanie natychmiastowe na gruncie) i dla różnych wersji pocisków przedstawione zostały na tle boisk piłkarskich uśrednione strefy rażenia (MEA w m²) w kolorach o analogicznym znaczeniu jak na rysunku 5 (różnica dotyczy jedynie zmienionej na rysunku 7 kolejności odcieni koloru niebieskiego: akwamaryny z chabrowym). Łatwo zauważyć, że w przypadku występowania fragmentacji wymuszonej (# Pre-Frag) liczba odłamków jest znacznie większa niż w wariancie pocisku tylko fragmentującym przypadkowo (# Nat Frag). W pocisku, gdzie w części głowicowej są zatopione prefabrykowane odłamki, a jego części najbardziej obciążone fragmentują przypadkowo, przyrost strefy rażenia znacznie silniej jest uzależniony od liczebności prefabrykowanych odłamków.

Problematyka działania odłamkowego została nakreślona powyżej tylko w aspektach kluczowych dla konstrukcji pocisków dalekonośnych, ale ze względu na jej obszerność nie mogła być tu w pełni wyczerpana. Dotyczyć to może m.in. kwestii optymalizacji wielkości i liczby prefabrykowanych odłamków do charakterystyk konkretnych celów czy też poprawy efektywności rażenia poprzez zastosowanie w takich pociskach zapalników zbliżeniowych.

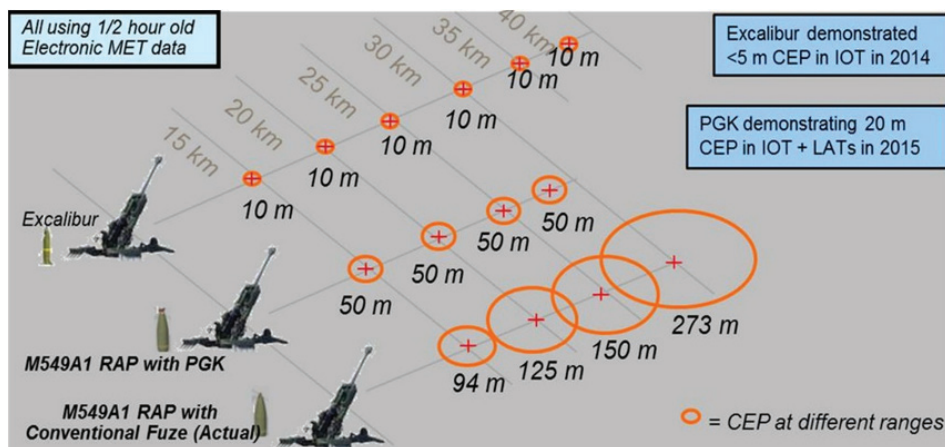
Przedstawione powyżej rozważania odnosiły się przede wszystkim do zdolności rażenia rozumianej jako oddziaływanie kinetyczne odłamków. Jednak pomimo istotnego ograniczenia objętości ładunków użytecznych w amunicji dalekonośnej (najczęściej jest to kruszący materiał wybuchowy) możliwe jest też oddziaływanie taką amunicją na cel poprzez jej silne działanie burzące. Wiąże się to m.in. ze stosowaniem silniejszych, a przy okazji charakteryzujących się znacznie wyższym poziomem bezpieczeństwa mało-wrażliwych materiałów wybuchowych (rys. 7). Druga okoliczność dotyczy znacznego zmniejszenia rozrzutu pocisków, co przyczyni się do pobudzenia ich bliżej celu, a przez to, pomimo mniejszego ładunku, uzyskania silnego działania burzącego. Sposoby poprawy skupienia pocisków artyleryjskich zostaną opisane w kolejnym podrozdziale.

3.2. Poprawa precyzji trafienia

Poszczególne rozwiązania konstrukcyjne stosowane w pociskach dalekonośnych mają określony wpływ na wielkość ich rozrzutu u celu. Przy porównaniu wielkości stref rażenia (rys. 5 i 7) do uzyskiwanych lub możliwych do wyznaczenia rozrzutów punktów upadku widać, że już na dystansie kilkunastu kilometrów, aby uzyskać wymagane prawdopodobieństwo porażenia nieruchomego celu pociskiem standardowym, należy wystrzelić więcej niż jedną jego sztukę. Im większa odległość strzelania, a przyjęte w pocisku rozwiązania konstrukcyjne są bardziej podatne na rozrzut donośności, tym trzeba wystrzelić większą liczbę pocisków, by zapewnić oczekiwane prawdopodobieństwo obezwładnienia/zniszczenia celu. Dotyczy to oczywiście sytuacji, gdy uwzględniamy tylko błędy zależne od rozrzutu naturalnego amunicji, bez uwzględnienia błędów związanych z przygotowaniem strzelania.

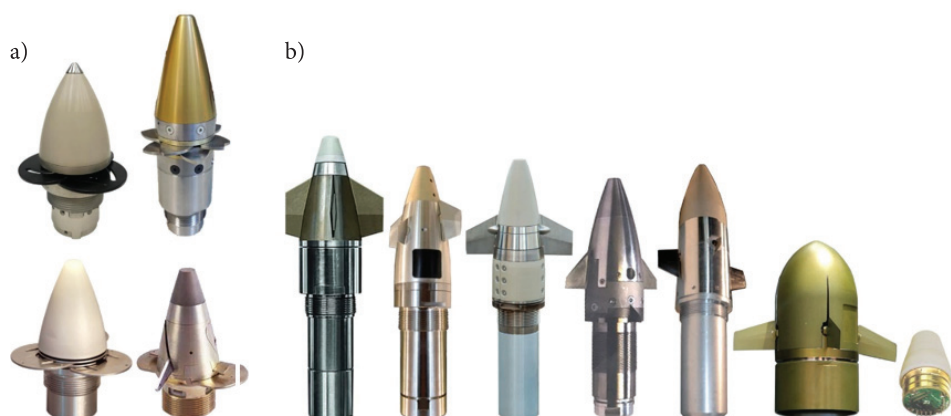
Aby ograniczyć zużycie amunicji, obniżyć zapotrzebowanie na wsparcie logistyczne, przyspieszyć wykonanie zadania, zmniejszyć liczbę niezbędnych do użycia środków ogniowych, ... itd., opracowane zostały artyleryjskie pociski precyzyjne wyposażone w zintegrowane urządzenia korygujące tor ich lotu. Na podstawie wprowadzonych przed strzałem współrzędnych położenia działa i celu pokładowe systemy nawigacji satelitarnej i/lub bezwładnościowej na opadającej części toru lotu takiego pocisku dokonują korekty jego położenia w przestrzeni. Optymalizacja do konkretnych charakterystyk pocisku zintegrowanych w nim systemów nawigacji i sterowania pozwala na uzyskanie dużej precyzji trafienia. Uzyskane promienie obejmujące 50% punktów upadku ($CEP = R_{50}$) są znacznie mniejsze od wielkości stref skutecznego rażenia takich pocisków. Cechą charakterystyczną tego typu rozwiązań jest też rozłączność wielkości rozrzutu z odległością, na jakiej prowadzi się strzelanie — na każdym dystansie skupienie jest podobne (rys. 8).

Wysoka cena jednostkowa pocisków wyposażonych w integralne układy korygujące tor lotu (koszt amerykańskiego pocisku Excalibur to 70-80 tys. dol.) spowodowała, że podjęto prace nad opracowaniem modułów korygujących, które byłyby wkręcane w gniazdo zapalnika. Oprócz typowych funkcji pobudzenia ładunku użytecznego w pocisku do działania w odpowiednim czasie mają one możliwość korekcji toru lotu. Przyjęty w nich sposób korygowania trajektorii jest analogiczny jak w przypadku pocisków precyzyjnych. Takie podejście pozwala, poprzez wymianę zapalnika, dokonać konwersji pocisku zwykłego do wersji niemalże precyzyjnej.



Rys. 8. Rozrzuty przy strzelaniu na różnych dystansach dla: pocisków precyzyjnych Excalibur, pocisków M549A1 z zapalnikowymi modułami korekcyjnymi PGK oraz pocisków M549A1 wyposażonych w zapalniki standardowe [13]

Obecnie stosowane są dwa zasadnicze typy zapalnikowych modułów korygujących: korygujące tor lotu tylko w donośności (rys. 9a) oraz w donośności i szerokości (rys. 9b). Te pierwsze wyposażone są w sekwencyjnie (w zależności od potrzeb wskazywanych przez moduł nawigacji) wysuwane hamulce aerodynamiczne, które zwiększając opór, „przyhamowują” pocisk na torze lotu i korygują „w dół” (skracają) jego donośność. Druga kategoria tych urządzeń dysponuje powierzchniami sterowymi, które wychylane według odpowiedniego programu pozwalają na korygowanie uchybów powstałych na torze lotu. Przez to, że korygują trajektorię zarówno w donośności, jak i w szerokości, ich rozrzut jest zbliżony do kołowego i przypomina ten, jaki uzyskują pociski precyzyjne (rys. 8).

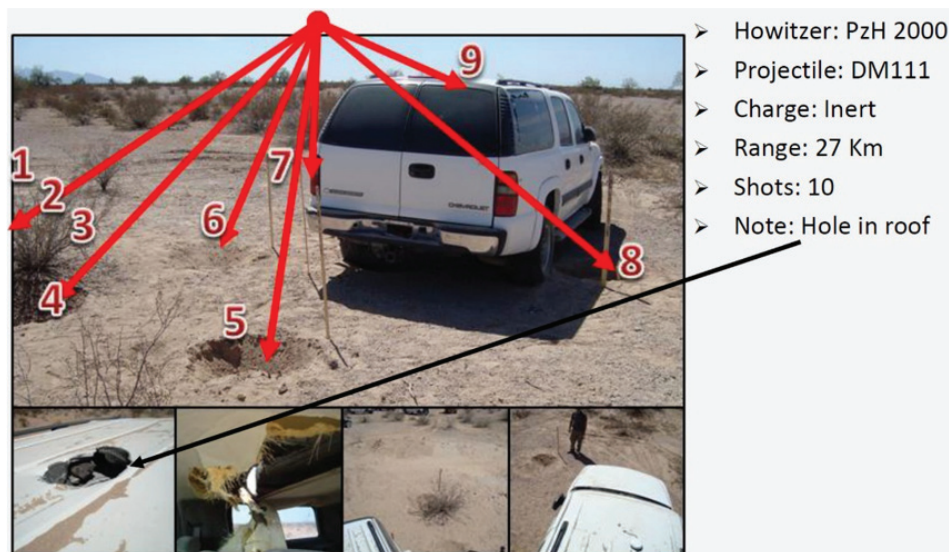


Rys. 9. Przykładowe moduły zapalnikowe korygujące tor lotu pocisku w donośności (a) oraz w donośności i szerokości (b). Opracowanie własne na podstawie [14]

Konieczność stosowania miniaturyzacji w takich modułach zapalnikowych oraz ich uniwersalność (brak możliwości dostosowania charakterystyk do konkretnego pocisku) powodują, że dokładność korekcji toru lotu jest w takich urządzeniach mniejsza niż w przypadku pocisków precyzyjnych (rys. 8).

Analizując przedstawione na rysunku 8 wartości rozrzutów, należy podkreślić dwie istotne kwestie. Na grafice znajdują się informacje właściwe dla wczesnych wersji pocisków Excalibur i zapalnikowych modułów korekcyjnych PGK. Kolejne ich odmiany (na co wskazują informacje w ramkach — dane z lat 2014-15!) uzyskiwały znacznie lepsze parametry w zakresie skupienia. Ponadto zaprezentowane na rysunku charakterystyki dotyczą tzw. wartości progowych, tzn. takich, które w realnych działaniach nie mogą okazać się gorsze. Fakt ten potwierdzają też rzeczywiste strzelania, ich przykładem są testy niemieckiej armatohaubicy PzH-2000 we wrześniu 2014 roku na amerykańskim kompleksie poligonowym Yuma Proving

Ground w Arizonie. Wystrzelenie dziesięciu pocisków M982 Excalibur na odległości w granicach 9-48 km pozwoliło uzyskać skupienie na poziomie CEP = 3 m, podczas gdy „oficjalnie” ta wartość to 10 m. Wystrzelenie na odległość 27 km takiej samej liczby elaborowanych obojętnie 155 mm pocisków DM111, uzbrojonych w zapalnikowy moduł korekcyjny PGK, pozwoliło uzyskać takie skupienie, że żaden z nich nie uchylił się od środka celu o więcej niż 5 metrów (rys. 10).

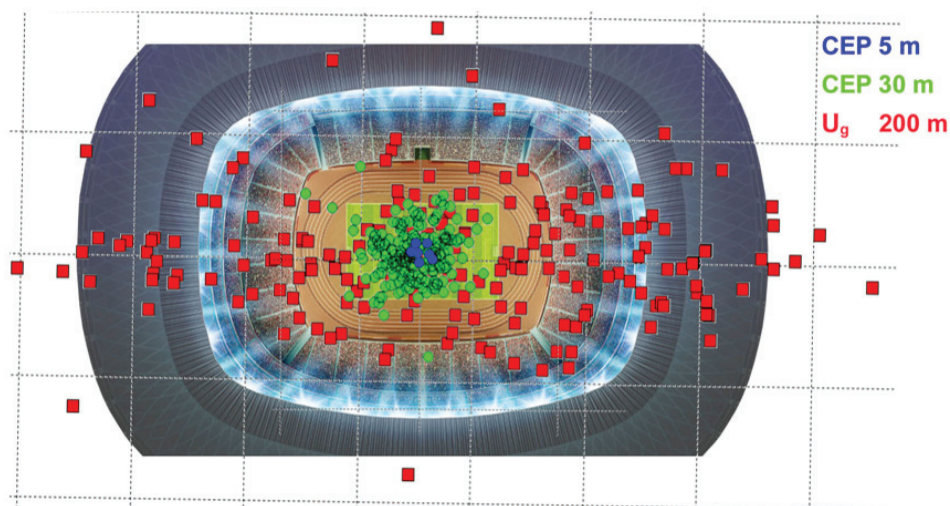


Rys. 10. Rozrzut 155 mm pocisków DM111 uzbrojonych w zapalnikowy moduł korekcyjny PGK, uzyskany podczas strzelania z PzH-2000 na poligonie Yuma [15]

Warte podkreślenia jest to, że analogiczne strzelania przeprowadzone zostały w USA z wykorzystaniem produkowanych w Zakładach Metalowych Dezamet S.A. 155 mm pocisków OFdMKM. Niewielka modyfikacja ich ładunku kruszącego pozwoliła na zamocowanie w nich modułów PGK i przetestowanie takiej konfiguracji amunicji w praktyce (możliwość stosowania w produkowanych w Polsce pociskach modułów PGK, znacznie cięższych od zapalników KZ984, omawia m.in. opracowanie [16]). Wyniki uzyskane podczas strzelań nie są przeznaczone do upowszechniania, lecz z uwagi na podobieństwo badanej amunicji niemieckiej i polskiej trudno oczekiwać, że byłyby one istotnie różne od tych przedstawionych na rysunku 10.

Uwzględniając przedstawione powyżej informacje oraz uwarunkowania techniczne i charakterystyki amunicji, potencjał rażenia dostępnych obecnie pocisków można przedstawić w sposób graficzny. Rysunek 11 pokazuje, jak prezentowałoby się skupienie amunicji przy strzelaniu na odległość 30 km przy użyciu pocisków:

ERFB-HB (kolor czerwony), ERFB-HB z modułem PGK (kolor zielony) i pocisku precyzyjnego (kolor niebieski) naprowadzanego z wykorzystaniem nawigacji satelitarnej. Jeżeli uzyskany na tle stadionu piłkarskiego rozrzut poszczególnych konfiguracji pocisków porównamy do wielkości stref rażenia amunicji 155 mm (rys. 5 i 7), to łatwo zauważyć, że zastosowanie pocisków z korygowanym torem lotu pozwala wykonać zadanie ogniowe nieporównywalnie mniejszą liczbą amunicji i tym samym w znacznie krótszym czasie. Dotyczy to nie tylko amunicji precyzyjnej, charakteryzującej się bardzo małym rozrzutem, lecz także mającej gorsze skupienie, a wyposażonej w zapalnikowe moduły korekcji toru lotu. Jeżeli weźmiemy pod uwagę fakt, że koszt pozyskania modułu PGK kształtuje się w granicach 10 tys. dol. (dochodzi do tego jeszcze znacznie niższy od niego koszt naboju), to za kilkukrotnie mniejszą cenę niż w przypadku naboju Excalibur uzyska się wystarczającą precyzję rażenia, nieporównywalnie większą niż podczas stosowania amunicji standardowej.



Rys. 11. Położenie punktów upadku 155 mm pocisków o różnych charakterystykach skupienia na tle stadionu piłkarskiego, dystans strzelania to 30 km. Opracowanie własne

Przedstawione powyżej cechy wskazują, że bez wątpienia do zwalczania ważnych celów punktowych, celów wrażliwych czasowo lub innych, wymagających szybkiego i skutecznego porażenia, coraz częściej stosowana będzie amunicja wyposażona w moduły korekcji toru lotu. Ze względu na swoją wysoką skuteczność będzie stanowiła „budżetowy” odpowiednik naboju z pociskami precyzyjnymi.

4. Krajobowe możliwości w zakresie opracowania 155 mm amunicji dalekonośnej

Program modernizacji polskiej artylerii jest jednym z najbardziej ambitnych w Europie. Na obecnym etapie skupia się przede wszystkim na generacyjnej wymianie i pozyskaniu nowego sprzętu uzbrojenia. Aby uzyskać odpowiednie zdolności do prowadzenia działań, niezbędne jest nasycenie wojsk nowoczesnymi środkami rozpoznania oraz zgrywanie załóg i całych pododdziałów. O ile w przypadku sprzętu rozpoznania finalizuje się jego opracowanie (AWR) lub znajduje się on już w niewielkiej liczbie na uzbrojeniu (i zawsze można zwiększyć jego liczebność — np. RZRA Liwiec, BSP FlyEye), to szkolenie wojsk może być bardziej ograniczone, przede wszystkim przez mniejszą dostępność poligonów, w tym szczególnie umożliwiających strzelanie na maksymalne donośności, co jest związane z koniecznością zachowania odpowiednich stref bezpieczeństwa. Finalizacja prac nad amunicją precyzyjnego rażenia APR-155, naprowadzaną na cel podświetlony laserem, wskazuje, że w perspektywie raczej miesięcy niż lat powinien rozpocząć się proces jej pozyskiwania. Jej wprowadzenie do eksploatacji oraz szkolenie załóg zajmie co najmniej kilka lat.

Aby utrzymać wysoką zdolność do oddziaływania na przeciwnika, już teraz dynamiczny rozwój techniki wojskowej wymusza wprowadzanie kolejnych wzorów 155 mm amunicji. Dlatego w wielu państwach już lata temu podjęto prace zmierzające do opracowania pocisków charakteryzujących się większą efektywnością rażenia. Kupując licencję ze Słowacji na 155 mm pociski dla ahs Krab, polski przemysł zbrojeniowy pozyskał pewne ograniczone kompetencje w tej dziedzinie. Tym bardziej więc zasadne jest rozpoczęcie prac badawczo-rozwojowych zmierzających do opracowania nowoczesnych wzorów amunicji artyleryjskiej. Z uwagi na zaawansowanie technologiczne i czas potrzebny na opracowanie najlepszym rozwiązaniem wydaje się podjęcie prac nad amunicją dalekonośną. Poniżej przedstawione zostaną najważniejsze wnioski związane z procesem projektowania takiej amunicji oraz zaprezentowane wybrane wyniki modelowań i badań, w tym przeprowadzonych w ramach prac dydaktyczno-naukowo-badawczych w Instytucie Techniki Uzbrojenia Wojskowej Akademii Technicznej.

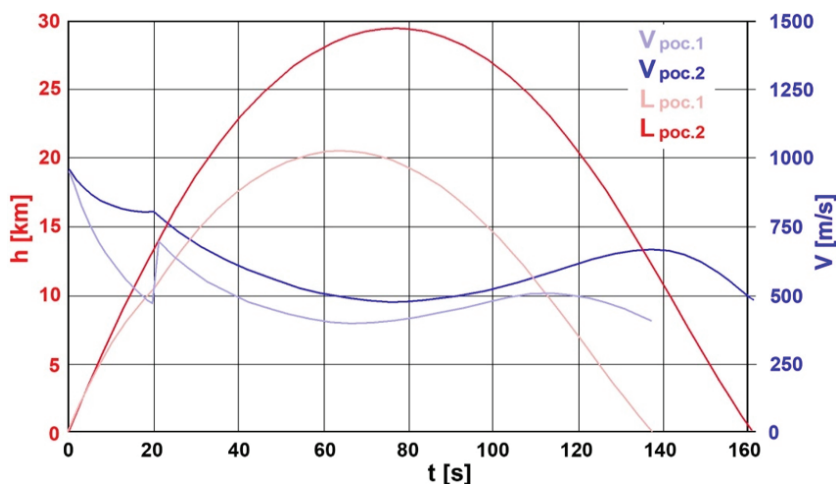
4.1. Zwiększenie donośności maksymalnej pocisków

Przedstawione powyżej sposoby zwiększania donośności maksymalnej pocisków artyleryjskich pozwalają uzyskać różne przyrosty zasięgu, a w różny sposób ograniczając jego inne charakterystyki bojowe, wymagają także zastosowania urządzeń i technologii o różnym zaawansowaniu. Na bazie występującego w krajowym przemyśle zbrojeniowym parku maszynowego, dostępnych technologii, a także przytoczonych w pracy [17] wyników zrealizowanych już badań oraz przeprowadzonych analiz własnych można stwierdzić, że przy zaangażowaniu potencjału naukowo-badawczego najkorzystniej będzie rozpocząć prace nad opracowaniem

krajowej technologii produkcji gazogeneratorów, co będzie punktem wyjścia do opracowania amunicji wyposażonej w dodatkowy silnik raketowy. Rezygnacja z układu hybrydowego umożliwi zmniejszenie masy pocisku (brak konieczności stosowania dwóch urządzeń, których korpusy muszą charakteryzować się wymaganą wytrzymałością podczas strzału) lub zastosowanie większej ilości paliwa w silniku. Przedstawione poniżej, a zaczerpnięte z pracy [17] wyniki symulacji zostały oparte na najbardziej złożonych modelach balistyki wewnętrznej (wykorzystujące równania dla ładunku wieloskładnikowego — [18]) i zewnętrznej [19]. Aby uwiarygodnić przyjęte do symulacji dane uzyskane na ich podstawie, wyniki poddano walidacji. W zakresie balistyki wewnętrznej dla pocisku OFdMKM, przy strzelaniu z wykorzystaniem pełnego modułowego ładunku miotającego, zarówno w przypadku ciśnienia, jak i prędkości wylotowej uzyskano pełną zbieżność z rezultatami otrzymanymi w pracy [16] oraz podczas badań odbiorczych amunicji. Modelowanie torów lotu dla tego pocisku pozwoliło uzyskać wyniki bardzo zbliżone do ujętych w tabelach strzelniczych [1] oraz otrzymanych z wykorzystaniem specjalizowanego oprogramowania Prodas. W przypadku silnika raketowego przyjęto charakterystyki paliwa zastosowanego w pracy [20]. W czasie jej realizacji w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia zaprojektowano, wykonano oraz przebadano na hamowni silnik do 120 mm dalekonośnego pocisku do moździerza RAK.

Na podstawie zweryfikowanych modeli zjawisk i danych pozwalających uzyskać wiarygodne, zbliżone do rzeczywistych rezultaty przeprowadzono liczne sprawdzenia, które z proponowanych rozwiązań konstrukcyjnych byłyby lepsze. Określona objętość przestrzeni w pociskach dalekonośnych oraz charakterystyki energetyczne dostępnych obecnie ładunków napędowych o pożądanym parametrach [20] wskazują, że możliwe jest zastosowanie w nich silników o całkowitym impulsie ciągu na poziomie 10 kNs. Podczas przeprowadzonych analiz sprawdzano różnice w zachowaniu się pocisku na torze lotu przy silnikach pracujących w różnych warunkach, ale przy jednakowej wartości impulsu całkowitego ciągu. Na rysunku 12 przedstawiono wyniki modelowania działania silników przez 1 sekundę z ciągiem 10 kN oraz 20 sekund przy ciągu 500 N. Przeprowadzone sprawdzenia wykazały, że korzystniejsze jest stosowanie dodatkowego silnika raketowego uruchamianego bezpośrednio po wylocie pocisku z lufy (rys. 12).

Przedstawione na rysunku 12 przebiegi prędkości w funkcji czasu pokazują, że włączenie silnika na dużej wysokości (po ok. 20 s — $V_{poc.1}$) nie pozwala na zrekomensowanie strat jego prędkości w gęstszych warstwach atmosfery w stosunku do pocisku z silnikiem uruchamianym bezpośrednio po wylocie z lufy ($V_{poc.2}$). W tym przypadku, podczas pracy silnika, prędkość pocisku spada znacznie wolniej, na co, oprócz ciągu, wpływa też generowanie do przestrzeni dennej znacznych objętości gazów prochowych z silnika. Uzyskuje się tu zbliżony efekt jak przy zastosowania gazogeneratora. Przytoczone wyniki wskazują, że pocisk z silnikiem uruchamianym bezpośrednio po wylocie z lufy ma znacząco wyższą trajektorię lotu, jego ruch odbywa się dłużej, przez co też ma istotnie większą donośność niż pocisk wykorzystujący rozwiązania stosowane w starszych wzorach amunicji.



Rys. 12. Porównanie przebiegów zmian prędkości (kolor niebieski) i wysokości toru lotu (kolor czerwony) dla pocisku z silnikiem uruchamianym na torze lotu (pocisk 1) i bezpośrednio po wylocie z lufy (pocisk 2). Opracowanie własne

Dla założonej wartości całkowitego impulsu ciągu przeprowadzono również optymalizację parametrów jego pracy. Wyniki tych symulacji zestawiono w tabeli 5. Najkorzystniejszy wariant pracy silnika związany był z najdłuższym, spośród analizowanych, czasem jego działania przy najmniejszym ciągu. Jednak do dalszych analiz przyjęto wariant z ciągiem 500 N oddziałującym przez czas 20 s. Jest to związane z koniecznością zachowania określonej, powtarzalnej prędkości spalania ładunku napędowego oraz wymogiem zachowania stałości ciśnienia roboczego. Założenie zbyt niskiej jego wartości mogłoby skutkować niestabilną pracą silnika i spadkiem jego sprawności [21]. Przyjęte parametry jego pracy pozwalają uzyskać zadowalającą donośność maksymalną (nominalnie 68,9 km) przy jednoczesnym utrzymaniu ich w granicach zapewniających stabilność i powtarzalność jego działania.

Założone parametry pracy silnika wskazują, że ich rozrzut może mieć istotny wpływ na uzyskiwane przez poszczególne pociski donośności maksymalne. Kolejny cykl analiz został więc poświęcony określeniu wpływu rozrzutu charakterystyk pocisku na uzyskiwane maksymalne zasięgi. Wybrane wyniki zostały zestawione w tabeli 6. Można zauważyć bardzo duży wpływ odchyłek wartości ciągu na donośność maksymalną, co jeszcze mocniej podkreśla konieczność zachowania stabilnych i powtarzalnych warunków pracy silnika. Istotny wpływ ma też rozrzut prędkości początkowych/wylotowych pocisków, co stawia wysokie wymagania dla współczesnych ładunków miotających. Przeprowadzone analizy potwierdziły też twierdzenia przedstawione w opisie serbskiego pocisku M03, wskazujące, że rozrzut czasu pracy silnika pracującego bezpośrednio po wylocie z lufy przez dłuższy czas ma mały wpływ na donośność maksymalną. Jednak najbardziej wpływa on

na wielkość zboczenia pocisku na tym dystansie, pomimo że są to tylko odległości sięgające kilku dziesiątek metrów.

Przeprowadzone modelowania umożliwiły sporządzenie wykresu obrazującego tory lotu analizowanego pocisku dalekonośnego (rys. 13). Pokazują one, że dla donośności maksymalnej i dla większych kątów rzutu (na wykresie wyrażonych w tysięcznych NATO — mils) wierzchołkowe torów lotu są znacznie wyższe niż w przypadku dotychczas stosowanej amunicji [1].

TABELA 5

Wpływ ciągu i czasu pracy silnika na donośność maksymalną analizowanego 155 mm pocisku dalekonośnego

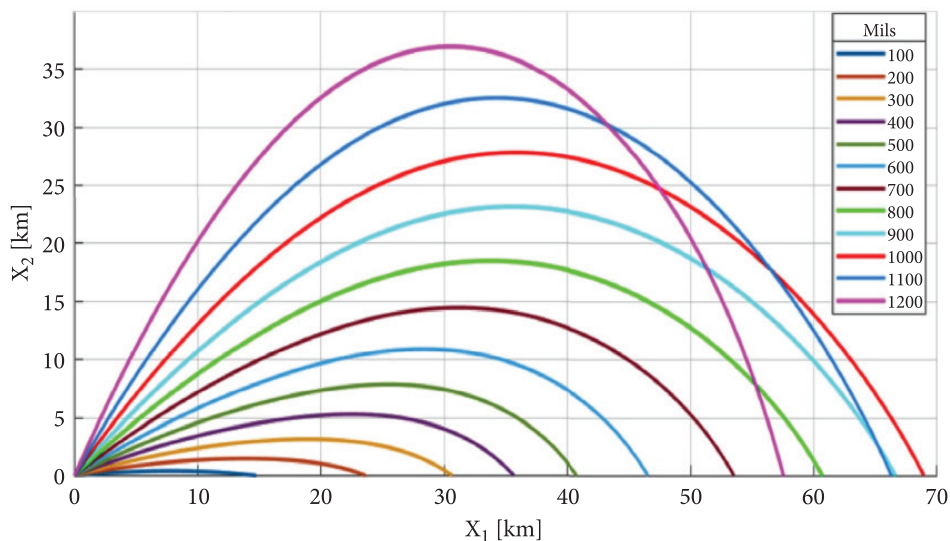
Lp.	Czas pracy silnika [s]	Ciąg [N]	Donośność maksymalna [km]
1.	10	1000	61,6
2.	12	833	63,8
3.	14	714	65,4
4.	16	625	66,9
5.	18	555	67,7
6.	20	500	68,9
7.	22	455	69,5
8.	24	417	69,8

TABELA 6

Wpływ odchyłek prędkości pocisku, czasu pracy i ciągu silnika na donośność maksymalną analizowanego 155 mm pocisku dalekonośnego

Wartość	Donośność [km]	Odchyłka donośności [km]	Zboczenie [km]	Odchyłka zboczenia [km]
Wpływ różnicy dopuszczalnych odchyłek prędkości początkowej o $\pm 1/3\%$				
954,8 [m/s]	68,4	-0,5	2,31	0,02
958,0 [m/s]	68,9	-	2,33	-
962,1 [m/s]	69,4	+0,5	2,35	0,02
Wpływ odchyłek czasu pracy silnika o 0,5 s				
19,5 [s]	68,8	-0,1	2,31	0,02
20,0 [s]	68,9	-	2,33	-
20,5 [s]	69,0	+0,1	2,36	0,03
Wpływ odchyłek ciągu silnika o 10 N				
490 [N]	68,2	-0,7	2,32	0,01
500 [N]	68,9	-	2,33	-
510 [N]	69,7	+ 0,8	2,35	0,01

Analogiczna sytuacja będzie miała oczywiście miejsce w przypadku pocisków charakteryzujących się jeszcze większą donośnością.

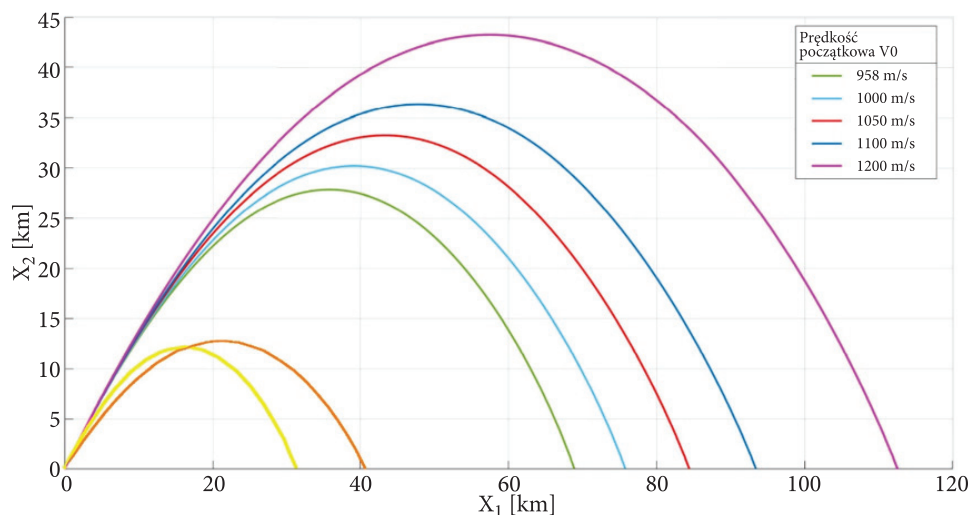


Rys. 13. Tory lotu analizowanego 155 mm pocisku dalekonośnego uzyskane przy różnych kątach rzutu wyrażonych w tysięcznych NATO (mils). Opracowanie własne

Przeprowadzone w pracy [17] analizy pozwoliły wstępnie zaprojektować pocisk tak, by spełniał wymagania amerykańskiego programu ERCA. Jego rolą jest opracowanie oraz wprowadzenie na uzbrojenie działa i amunicji 155 mm o znacznie zwiększonej donośności maksymalnej niż osiągnięta z obecnie stosowanych środków ogniowych. Oprócz zastosowania dłuższej lufy (55 kalibrów dla haubicy M777A2 i 58 kalibrów dla działa XM1299) dostosowanie pocisku do tych standardów wiązało się z uwzględnieniem jego wytrzymałości na oddziaływanie większych ciśnień niż występujące w lufach broni spełniającej wymagania porozumienia o wspólnej baliście [2]. Dość wczesny etap prac w ramach programu KRYL pozwala uwzględnić te wnioski już na etapie założeń, co pozwoliłoby na wprowadzenie na uzbrojenie najnowszych rozwiązań konstrukcyjnych w dziedzinie artylerii.

Odpowiednio dobrane do charakterystyk pocisku specjalne dalekonośne ładunki miotające (np. XM654), większe objętościowo komory naboju oraz wydłużone lufy pozwalają na uzyskanie istotnie większych prędkości wylotowych. Zakładając użycie analizowanego w pracy [17] 155 mm pocisku dalekonośnego w takich nowo projektowanych układach miotających, sprawdzono jego potencjalne donośności maksymalne. Charakterystyki silnika w tych analizach pozostały analogiczne jak we wcześniejszych modelowaniach (czas działania 20 s i ciąg 500 N). Uzyskane wyniki zestawiono na rysunku 14. Zakładając, że dla masy pocisku ok. 43,55 kg jego

prędkość z działa XM1299 mogłaby osiągnąć ok. 1050 m/s, taki pocisk uzyskałby donośność maksymalną 84,4 km. Dalsze zwiększenie jego prędkości wylotowej przyczyniłoby się do analogicznego powiększenia zasięgu (rys. 14).

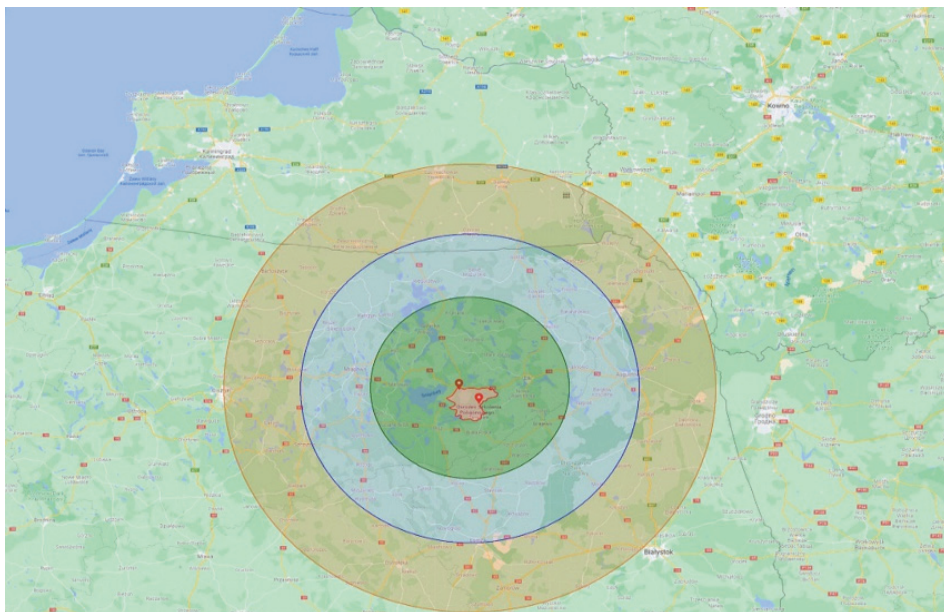


Rys. 14. Donośności maksymalne uzyskane dla analizowanego pocisku dalekonośnego przy założeniu jego różnych prędkości początkowych w porównaniu do donośności pocisków OFdMKM ($V_0 = 968$ m/s — kolor żółty) i OFdMKM DV ($V_0 = 958$ m/s — kolor pomarańczowy). Opracowanie własne

Konieczność dysponowania amunicją o zbliżonej/większej donośności maksymalnej niż ma potencjalny przeciwnik jest poza wszelką dyskusję. Jednak operowanie nią wiąże się też z określonymi konsekwencjami. Obecnie w żadnym lądowym ośrodku szkolenia poligonowego nie ma możliwości przeprowadzenia strzałów na donośność maksymalną 155 mm amunicją już występującą na uzbrojeniu Wojska Polskiego. Dotyczy to zarówno pocisków OFdMKM DV, jak i charakteryzujących się mniejszym zasięgiem maksymalnym OFdMKM. Skalę tego problemu pokazuje rysunek 15, gdzie widać wielkość strefy potencjalnych upadków pocisków przy strzelaniu na maksymalne odległości. Już dla obecnie stosowanej amunicji dalekonośnej trzeci co do wielkości Ośrodek Szkolenia Poligonowego Wojsk Lądowych w Orzyszu jest blisko 2,5 razy „za krótki”, a pole możliwych upadków pocisków OFdMKM DV przekracza jego powierzchnię więcej niż 30-krotnie.

Potencjalne wprowadzenie amunicji o charakterystykach analogicznych jak w przypadku analizowanego w pracy [17] pocisku dalekonośnego pozwoliłoby zwiększyć tę strefę o ponad 2,9 razy, a perspektywiczne pozyskanie pocisków o donośności maksymalnej 100 km zwiększyłoby powierzchnię potencjalnych upadków pocisków o dalsze 2,1 razy. W pierwszym przypadku dałoby to możliwość rażenia celów z jednego działa na powierzchni odpowiadającej obwodowi kaliningradzkiemu,

w drugim zaś na obszarze zbliżonym wielkością do województwa mazowieckiego, przy jednoczesnej możliwości porażenia celu w dowolnym punkcie wspomnianej eksklawy (rys. 15).



Rys. 15. Strefy upadku 155 mm pocisków artyleryjskich podczas strzelania w Ośrodku Szkolenia Polygonowego Wojsk Lądowych Orzysz (granice w kolorze czerwonym): pociskiem OFdMKM DV (kolor zielony — $R_{\max} = 40,57$ km), pociskiem o analizowanych charakterystykach (kolor niebieski — $R_{\max} = 68,90$ km) oraz pociskiem o donośności 100 km (kolor pomarańczowy). Opracowanie własne

W licznych armiach świata (i niegdyś też w Wojsku Polskim) problem z daleko-nośnym strzelaniem rozwiązywany był administracyjnie — na czas strzelań blokowano ciągi komunikacyjne znajdujące się pod potencjalnymi torami lotów pocisków. Dlatego też m.in. na Słowacji czy w Serbii możliwy jest intensywny rozwój amunicji dalekonośnej. Tymczasem w Polsce, pomimo intensywnych prac w ostatnim czasie nad takimi rozwiązaniami, nie zostały one jeszcze wprowadzone w życie.

4.2. Zmniejszenie rozrzutu pocisków i poprawa efektywności ich rażenia

Przedstawione sposoby zwiększania donośności maksymalnej mogą wiązać się z przyspieszeniem zużycia przewodu lufy (mniejsza trwałość jest wynikiem m.in. wyższych ciśnień balistycznych), ale też ze zwiększeniem rozrzutu pocisków u celu. Zasygnalizowane powyżej sposoby jego niwelacji są efektywne, ale niekiedy wiążą się z pewnymi ograniczeniami (np. w zakresie możliwości łączności i rozpoznania

celów), dlatego rozwój artylerii powinien iść w parze z odpowiednim dostosowaniem pracujących na jej rzecz systemów, w tym np. C4I. Problemem mogą też być potencjalne ograniczenia w dostępie do precyzyjnych danych z wojskowych systemów nawigacji satelitarnej. Z tą kwestią wiązałoby się też planowane pozyskanie dla Wojska Polskiego amerykańskich zapalnikowych modułów korekcyjnych M1156 PGK. Zaletą tego urządzenia jest wysoka precyzja działania, do wad można zaliczyć jednak znaczną cenę nabycia oraz zależność od zgody na dostęp do wojskowego systemu GPS, który w określonych okolicznościach może być zakłócony. Wprawdzie moduł PGK może też działać w trybie nawigacji bezwładnościowej, ale jego dokładność w tym trybie działania jest kilka razy gorsza niż z wykorzystaniem danych z systemu satelitarnego. W takim przypadku w grę mogą też wchodzić tego typu urządzenia korzystające z systemów bezwładnościowych od innych producentów (rys. 9). Rynek w tej dziedzinie rozwija się dosyć intensywnie i oprócz rozwiązań z USA (PGK), Izraela (TopGun) czy Wielkiej Brytanii (Silver Bullet) sukcesywnie zaczynają być już wdrażane rozwiązania m.in. koreańskie i tureckie. Jeżeli jednak weźmiemy pod uwagę, że hiszpańska spółka Escribano Mechanical & Engineering z Madrytu realizowała zadanie opracowania swojego modułu FGK od 2017 roku, a już w lipcu 2021 roku przedstawiła go do badań kwalifikacyjnych (wyniki badań były pozytywne), to temat ten wydaje się też możliwy do realizacji przez ośrodki krajowe. Moduły korekcyjne korzystające z nawigacji bezwładnościowej są istotnie tańsze, a jednocześnie zapewniają wystarczającą precyzję trafienia (rys. 11). Mając na uwadze doświadczenia krajowych podmiotów w dziedzinach związanych z tą tematyką (np. CRW Telesystem-Mesko sp. z o.o. w zakresie systemów sterowania amunicji precyzyjnej, PIT-Radwar S.A. w systemach czasu rzeczywistego, Hertz Systems w systemach nawigacji, Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniw w zakresie źródeł zasilania itd.), dosyć realne wydaje się opracowanie krajowego zapalnikowego modułu korekcyjnego. W kontekście przyjętej ostatnio przez liczne państwa blokady pozyskania przez Ukrainę broni defensywnej, wobec jej zagrożenia przez Rosję, nie wymaga chyba komentarza możliwość produkcji/montażu w kraju tak strategicznie ważnych urządzeń. Uwzględniając fakt, że zarówno prace nad opracowaniem amunicji dalekonośnej, jak i modułu korekcyjnego do tej pory nie były finansowane — to czas ich wdrożenia mógłby wynieść co najmniej kilka lat (≥ 5), a zakończenie obu tych projektów byłoby zbieżne czasowo. *Conditio sine qua non* uzyskania wspomnianych zdolności w tym okresie byłoby jak najszybsze rozpoczęcie finansowania prac badawczo-rozwojowych w tych kierunkach.

Kolejnym bardzo zaniedbanym obszarem z dziedziny rażenia jest kwestia działania odłamkowego amunicji. To zagadnienie dobitnie podkreśliły badania kwalifikacyjne najnowszej 120 mm amunicji do moździerza RAK. Na etapie formułowania wymagań zostały skwantyfikowane zdolności do działania odłamkowego (notabene chyba pierwszy raz w historii), które nie opierały się na wynikach badań uwzględniających wiele specyficznych uwarunkowań konstrukcyjno-technologiczno-balistycznych

pocisku. Brak w tej dziedzinie technologii, badań, a przez to wiedzy nie pozwala też na przyjmowanie na uzbrojenie najefektywniejszych konstrukcji pocisków. Nie zasila także nowoczesnych systemów walki w informacje o ich rzeczywistych strefach rażenia i nie ułatwia m.in. szacowania prawdopodobieństwa porażenia przypadkowych celów pobocznych (*Collateral Damage Estimation*). O skali ewentualnej „niewiedzy” w zakresie amunicji 155 mm dotychczas wykorzystywanej w Wojsku Polskim mogą świadczyć m.in. różnice w wielkości stref uwidocznione na rysunku 5 dla amunicji 155 mm, a o potencjale drzemiącym w takich pociskach porównanie tych stref z przedstawionymi na rysunku 7. Dlatego też konieczne jest podjęcie krajowych działań zmierzających do opracowania nowych, bardziej wytrzymałych materiałów konstrukcyjnych na kadłuby pocisków oraz technologii stosowania w nich prefabrykowanych elementów rażących. Stworzenie amunicji bazującej na zoptymalizowanej do charakterystyk pocisku dalekonośnego fragmentacji wymuszonej pozwoli znacząco (nawet kilkukrotnie) zmniejszyć jej zużycie względem dotychczas stosowanych pocisków OFdMKM. W przypadku opracowywania pocisków dalekonośnych, charakteryzujących się znacznie mniejszymi objętościami na ładunek użyteczny niż amunicja dotychczas stosowana, przyjęcie takiego rozwiązania konstrukcyjnego jest obligatoryjne.

5. Podsumowanie

Rozwój dalekonośnych systemów artyleryjskich jest procesem skomplikowanym i trudno zasygnalizować wszystkie jego najważniejsze aspekty, nawet w dość długim artykule. O znaczeniu tego procesu świadczyć może m.in. fakt, że dalsze zwiększanie donośności maksymalnej dział kalibru 155 mm może wiązać się z zastosowaniem niestandardowych rozwiązań w zakresie objętości komory nabojeowej i długości lufy. Perspektywa wprowadzenia na uzbrojenie 155 mm dywizjonowych modułów ogniowych na podwoziu kołowym (ahs Kryl) powinna być ściśle powiązana z długofalowymi trendami rozwoju amunicji. Może się bowiem okazać, że aby uzyskać znaczne przyrosty zasięgu, konieczne będzie wprowadzenie dział o innych, „poprawionych” charakterystykach układu miotającego. Z uwagi na koincydencję czasową opracowania/wyboru działa na takim podwoziu oraz pozyskania przyszłościowej amunicji procesy decyzyjne w tych dziedzinach powinny być nie tylko skorelowane ze sobą, lecz także zakończone jak najszybciej.

Treści prezentowane na rosyjskich branżowych portalach internetowych wskazują, że nowa, 152 mm amunicja dalekonośna powinna charakteryzować się zasięgiem przekraczającym głębokość tzw. przesmyku suwalskiego („brama” pomiędzy Litwą a Polską ma ok. 65 km). Pojawiające się wyniki analiz oraz strzelań wskazują, że ma to być donośność w granicach 70-80 km. Pociski te będą najprawdopodobniej wykorzystywać silniki strumieniowe. Elaborowane będą zapalnikowymi modułami

korygującymi tor lotu na podstawie danych pozyskanych z systemu satelitarnego GLONASS i GPS. Przeznaczone do nich moduły satelitarne (pierwszy z prawej na rysunku 9), opracowane przez moskiewskie biuro projektowe МКБ Компас, wykorzystywane są już m.in. w prototypowych zapalnikach korygujących tory lotu 122 mm pocisków raketowych. Jeżeli uwzględnimy realne zdolności do korygowania toru lotu na poziomie CEP 5 m (niektóre rosyjskie źródła podają mało wiarygodną wartość 1 m), to okaże się, że 152 mm systemy artyleryjskie 2С35 Коалиция-СВ uzyskają groźny, bo dalekonośny i precyzyjny środek bojowy. Wiele wskazuje, że w czasie do kilku lat amunicja ta wejdzie na uzbrojenie i tym samym artyleria rosyjska zdominuje zdolności ahs Krab zarówno w zakresie donośności, jak i precyzji rażenia.

W resorcie obrony narodowej jeszcze w 2021 roku funkcjonowało wiele komórek w różny sposób mających wpływ lub w jakiejś mierze odpowiedzialnych za pozyskiwanie sprzętu oraz planowanie uzyskania określonych zdolności (Inspektorat Uzbrojenia, Inspektorat Implementacji Innowacyjnych Technologii Obronnych, Departament Polityki Zbrojeniowej, Departament Innowacji, Organizator Systemu Funkcjonalnego Rażenia w P3/P7, Departament Strategii i Planowania Obronnego, oddziały gestorskie). Częściowe zazębianie się kompetencji mogło w jakiś sposób wpływać na ograniczenia w podejmowaniu decyzji w bardziej szczegółowych kwestiach. Powołanie z dniem 1 stycznia 2022 roku Agencji Uzbrojenia i skumulowane w niej kompetencje dają szansę na odsunięcie na bok bezwładu decyzyjnego oraz otworzenie nowego rozdziału w procesie badań, projektowania i w konsekwencji pozyskiwania sprzętu. Uwzględniając zaawansowanie obecnych programów, zgromadzony już i planowany do pozyskania potencjał w obszarze artylerii lufowej, jednym z najważniejszych zagadnień staje się wprowadzenie na uzbrojenie 155 mm amunicji dalekonośnej.

Celem artykułu było wskazanie kierunków rozwoju w tej dziedzinie, a na podstawie syntezy wiedzy w tym obszarze i w zakresie możliwości krajowych instytucji naukowo-badawczych i podmiotów przemysłu zbrojeniowego również zaproponowanie opracowania takiej amunicji siłami polskich ośrodków naukowo-przemysłowych. Bliski koniec prac i wdrożenie, we współpracy z ukraińskimi ДП СЗТФ Прорпец i ДПД ККБ Луч, amunicji precyzyjnego rażenia APR-120 oraz APR-155 wskazuje, że polski przemysł zbrojeniowy z sukcesem nadrabia istniejące w nim zapóźnienia techniczne i technologiczne. Uzyskane przez rodzime przedsiębiorstwa zbrojeniowe doświadczenia w pokrewnych dziedzinach oraz przedstawione fragmentaryczne wyniki opracowań własnych wskazują, że byłby on w stanie podolać takiemu wyzwaniu, ale będzie to wymagało stosownych decyzji kompetentnych organów w zakresie uruchomienia finansowania takich prac. Podjęcie odpowiednio wcześniej tych decyzji mogłoby sprawić, że nieaktualna stałaby się w tym przypadku, jakże jednak często prawdziwa słynna konstatacja Mistrza z Czarnolasu zawarta w *Pieśni o spustoszeniu Podola* mówiąca o Polaku i szkodzie. Alternatywą braku takich działań jest pozyskiwanie bardzo dobrej, ale drogiej amunicji od sojuszników albo

zakup sprzętu gorszego lub ewentualnie znacznie droższej licencji na nowoczesne opracowania z państw legitymujących się znacznie wyższym poziomem opracowań technologicznych niż dostępny obecnie w kraju (np. z Serbii). Podjęte decyzje będą miały wpływ na istotne zdolności polskiej artylerii na kilka najbliższych dekad i możliwości uzupełniania dostaw w czasie potencjalnego kryzysu. W kontekście roli artylerii w systemie rażenia wojsk uzyskanie krajowych zdolności produkcji amunicji dalekonośnej, w tym z możliwością korekcji toru lotu pocisku, jest kluczowym problemem dla zdolności obronnych państwa.

Źródło finansowania pracy — środki własne autorów.

Artykuł wpłynął do redakcji 21.12.2021. Zatwierdzono do publikacji 28.04.2022.

Wojciech Furmanek <https://orcid.org/0000-0003-3492-639X>

Grzegorz Leśnik <https://orcid.org/0000-0003-1229-335X>

LITERATURA

- [1] *Tabele strzelnicze do strzelania 155 mm nabojami z pociskiem odłamkowo-burzącym EOFdMKM oraz 155 mm nabojami z pociskiem odłamkowo-burzącym z gazogeneratorem EOFdMKM DV z 155 mm sh Krab, DU-3.2.5.8.71/74, Dow. Gen. wewn. 66/2016, Warszawa 2016.*
- [2] *Memorandum of Understanding Between the United States of America and Other Governments, Treaties and Other International Acts Series 09-1218.*
- [3] FURMANEK W., *Sposoby zwiększania efektywności rażenia współczesnej odłamkowej i odłamkowo-burzącej amunicji artyleryjskiej*, Zeszyty Naukowe WSOWL, nr 1,167, 2013.
- [4] strony internetowe: General Dynamics, <https://www.gd-ots.com>; Yugo Import, <https://www.yugoimport.com>; Newskij Bastion, <http://nevskii-bastion.ru>; Topwar, <https://en.topwar.ru> [dostęp: 13.12.2021].
- [5] KRÜGER T., *Leap Ahead – 52 cal Artillery System*, International Armaments Technology Symposium, Parsippany 2004.
- [6] strony internetowe: blog Defense and High Tech, <https://defensehightech.blogspot.com>; Indian Defence News, <http://www.indiandefensenews.in>; <https://m.blog.naver.com> [dostęp: 13.12.2021].
- [7] strony internetowe: Bastion Karpenko, <http://bastion-karpenko.ru/>; Find Patent, <https://find-patent.ru/>; Top War, <https://en.topwar.ru/> [dostęp: 14.12.2021].
- [8] strony internetowe: Lara News, <https://news.laran.it>; Tapa Talk, <https://www.tapatalk.com>; blog Indo Defense, <https://indodefense.wordpress.com>; Ruli web, <https://bbs.ruliweb.com> [dostęp: 15.12.2021].
- [9] CATOVIC A., ZECEVIC B., TERZIC J., *Analysis of Terminal Effectiveness for Several Types of He Projectiles and Impact Angles Using Coupled Numerical – CAD Technique*, New Trends in Research of Energetic Materials, Pardubice 2009.
- [10] LANG D., *South Africa-US International Armaments Cooperation (IAC) Framework*, 2013.
- [11] KURZIK G., *XM1131 105mm High Explosive Pre-Formed Fragmentation (PFF) Cartridge*, Guns and Missiles Conference, Charlotte 2007.
- [12] Valpolini P., *Modular improvements for Assegai artillery ammunition*, European Defence Review, 21.03.2019, <https://www.edrmagazine.eu/modular-improvements-for-assegai-artillery-ammunition> [dostęp: 15.12.2021].

- [13] GILMORE M., *M1156 Precision Guidance Kit (PGK)*, Operational Test and Evaluation, 2016.
- [14] strony internetowe: Nevski Bastion, <http://nevskii-bastion.ru/kompas>; Top War, <https://en.topwar.ru>; Global Defence and Security News, <https://www.armyrecognition.com>; Secret Projects. Unbuilt projects, military and aerospace technology, <https://www.secretprojects.co.uk>; Defensa.com, <https://www.defensa.com>; Escribano Mechanical and Engineering, <https://www.eme-es.com>; Defence Turk, <https://en.defenceturk.net> [dostęp: 16.12.2021].
- [15] HUNTER R., *Precision Guidance Kit (PGK) Program Update*, NDIA Armament Systems Forum, Baltimore 2015.
- [16] FURMANEK W., SURMA Z., GRĄŻKA M., *Sprawozdanie z realizacji pracy naukowo-badawczej PBN/03-574/2019/WAT*, praca niepublikowana dostępna w Zakładach Metalowych Dezamet S.A., WAT, Warszawa 2019.
- [17] KIJAK M., *Projekt wstępny 155 mm naboju z dalekonośnym pociskiem odłamkowo-burzącym do armatohaubicy Krab*, praca dyplomowa na studiach II^o, WAT, Warszawa 2021.
- [18] TORECKI S., *Balistyka wewnętrzna*, WAT, Warszawa 1980.
- [19] The Modified Point Mass and Five Degrees of Freedom Trajectory Models, STANAG 4355 (Edition 4), 2006.
- [20] ROCZEK M., *Projekt wstępny 120 mm naboju z pociskiem z dodatkowym napędem raketowym do moździerza samobieżnego RAK*, praca dyplomowa na studiach II^o, WAT, Warszawa 2020.
- [21] TORECKI S., *Balistyka wewnętrzna silników raketowych na paliwo stałe*, WAT, Warszawa 1989.

W. FURMANEK, M. KIJAK, G. LEŚNIK

Possibility of increasing the maximum range of ammunition for the KRAB 155 mm self-propelled gun-howitzer

Abstract. The article presents methods of increasing the maximum range of artillery projectiles on the example of 155 mm ammunition. For individual solutions, basic tactical and technical data were characterised with particular emphasis on the method and “cost” of achieving the maximum range, the associated dispersion, and the ability to reach the target. The second part of this article presents the results of our own research in this area and it presents selected results taking into account variants of the projectile. On the basis of the conducted analyses, the recommendations were also presented regarding the required characteristics of such ammunition. The mutual dependencies between the characteristics of the weapons, being introduced or planned for introduction, and the maximum possible ranges to be obtained were also strongly emphasised. The analysis and synthesis of the data presented in the research paper show that it is possible to develop long-range ammunition by the domestic armaments industry, provided that the works indicated for implementation are commenced quickly.

Keywords: 155 mm ammunition, increasing the maximum range of artillery projectiles, modelling of interior ballistics, modelling of exterior ballistics

DOI: 10.5604/01.3001.0015.8770

