



## Koncepcja zmian parametrów balistycznych PPZR Grom do zwalczania pocisków manewrujących

Krzysztof MOTYL<sup>\*1</sup>, Bogdan ZYGMUNT<sup>1</sup>, Konrad SIENICKI<sup>1</sup>,  
Janusz NOGA<sup>2</sup>, Zbigniew PUZEWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,  
Katedra Mechatroniki

<sup>2</sup>Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki  
ul. gen. Witolda Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa,

\* autor korespondencyjny, e-mail: krzysztof.motyl@wat.edu.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 11.05.2017 r.

Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 19.09.2017 r.

DOI 10.5604/01.3001.0010.7321

**Streszczenie.** Kolejnym zagrożeniem z powietrza, dla którego nie ma obecnie skutecznych sposobów zwalczania, są pociski manewrujące, poruszające się z prędkością poddźwiękową (ok. 900 km/godz.) na niskiej wysokości (do 100 m), po marszrucie nieprzewidywalnej dla obrony powietrznej. Wykrycie oraz śledzenie takich celów przez naziemne systemy radiolokacyjne jest zadaniem trudnym. Raketowe zestawy przeciwlotnicze znajdujące się obecnie na wyposażeniu różnych państw nie są w stanie skutecznie zwalczać nisko lecących szybkich celów o słabej sygnaturze widmowej. W pracy przedstawiono możliwości techniczne wykorzystania do tego celu pocisków raketowych b. krótkiego zasięgu PPZR Grom. Przeanalizowano zasięg rażenia dla różnych modyfikacji parametrów balistycznych napędu raketowego pocisku Grom.

**Słowa kluczowe:** pocisk manewrujący, zwalczanie, PPZR Grom

## 1. WSTĘP

Za główne zagrożenie powietrzne obszaru Polski w ostatnich latach uważa się aerobalistyczne rakiety Iskander ulokowane w enklawie kaliningradzkiej. Zasięg nowszej wersji tej broni obejmuje praktycznie cały kraj [1, 2]. Obroną przed tym środkiem rażenia może być zestaw raketowy Patriot, którego włączenie do polskiego systemu obrony powietrznej i przeciwraketowej jest obecnie najbardziej prawdopodobne.

W końcu ubiegłego roku pojawiły się doniesienia o bojowym użyciu przez siły zbrojne Federacji Rosyjskiej pocisków manewrujących Kalibr [3, 4], które wystrzelone z okrętu na Morzu Kaspijskim uderzyły w cele na terytorium Syrii, na odległości ponad 2000 km. Taka sytuacja stwarza kolejne zagrożenie z powietrza, dla którego nie ma obecnie skutecznych sposobów przeciwdziałania. Pociski manewrujące poruszają się z prędkością poddźwiękową (ok. 900 km/h) na niskiej wysokości (do 50 m), po marszrucie nieprzewidywalnej dla obrony powietrznej. Wykrycie oraz śledzenie takich celów przez naziemne systemy radiolokacyjne jest zadaniem trudnym.

Ostatnio pojawiło się doniesienie o prowadzonych w USA pracach dotyczących wykorzystania MANPADS Stinger do zwalczania pocisków samosterujących. Badania skupiają się na efektywnych sposobach wykrycia i śledzenia nisko lecącego celu i szybkim przechwyceniu przez operatorów zestawów Stinger/Avenger [5, 6].

Autorzy opracowali koncepcję modernizacji pocisku raketowego Grom, której efektem jest zwiększenie jego możliwości bojowych pod kątem przechwytywania i niszczenia poddźwiękowych pocisków manewrujących. Podstawowymi parametrami decydującymi o skuteczności walki z celem powietrznym samonaprowadzającego się pocisku przeciwlotniczego jest jego zdolność przechwycenia celu na możliwie dużej odległości oraz wysoka prędkość średnia na drodze do celu. Pierwsza cecha jest pochodną czułości głowicy samonaprowadzającej (GSN), a prędkość średnia pocisku zależy od parametrów balistycznych silnika raketowego pocisku Grom.

## 2. KONSEKWENCJE ZWIĘKSZENIA PRĘDKOŚCI MAKSYMALNEJ POCISKU GROM

Z dostępnych informacji wynika, że prędkość maksymalna pocisku Stinger wynosi ponad 800 m/s [6]. Prędkość maksymalna pocisku Grom wynosi 650 m/s. Masa obu pocisków jest zbliżona i wynosi ok. 10 kg. Nie są znane parametry balistyczne silnika raketowego pocisku Stinger, zwłaszcza jego impuls całkowity oraz masa ładunku napędowego. Z przybliżonych obliczeń wynika, że konstrukcja mechaniczna i układy elektroniczne tego pocisku są odporne na przeciążenia przekraczające wartość 50.

W pierwszej kolejności należy więc przeprowadzić analizę dotyczącą wpływu zwiększenia prędkości maksymalnej pocisku Grom na jego parametry zasięgowe. Konstrukcja ładunku napędowego pocisku Grom umożliwia zmianę maksymalnej prędkości, przy zachowaniu parametru średniej prędkości na torze lotu.

## 2.1. Model matematyczny pocisku Grom

Autorzy wykorzystali opracowany w pracy [7] model matematyczny pocisku Grom, który zastosowali do wykonania symulacji lotu dla różnych wariantów zarządzania ciągiem silnika raketowego. W tabeli 1 przedstawiono rozdział impulsu ciągu silnika raketowego na poszczególne fazy pracy, zwiększając (wariant S1, S2 i S3) lub zmniejszając (wariant S0) wartość impulsu ciągu dla fazy pierwszej kosztem fazy drugiej pracy silnika.

Tabela 1. Warianty podziału impulsu ciągu silnika raketowego na poszczególne fazy  
Table 1. Versions of distribution of a rocket motor total impulse to the phases of action

Parametry napędu	GROM	GROM-S0	GROM-S1	GROM-S2	GROM-S3
Ciąg silnika I zakresu, kN	3,2	2,8	3,9	4,8	5,72
Czas pracy I zakresu, s	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Impuls całkowity I zakresu, kNs	4,8	4,2	5,85	7,2	8,58
Ciąg silnika II zakresu, kN	0,7	0,73	0,5	0,25	0
Czas pracy II zakresu, s	5,4	6,0	5,4	5,4	0
Impuls całkowity II zakresu, kNs	3,78	4,38	2,70	1,38	0
Impuls całkowity, kNs	8,58	8,58	8,55	8,58	8,58
Prędkość maksymalna, m/s	594	597	669	805	986

W wariancie S3 (skrajnym) zaproponowano całkowite spalanie ładunku napędowego w czasie przewidzianym na pierwszy zakres pracy, po którym pocisk osiągnie maksymalną możliwą prędkość i dalej wykonuje lot balistyczny. Postępowanie takie jest uzasadnione możliwościami modernizacyjnymi, jakim można poddać obecną konstrukcję silnika raketowego pocisku Grom.

## 2.2. Symulacje kinematyki pocisku z różnymi wariantami napędu

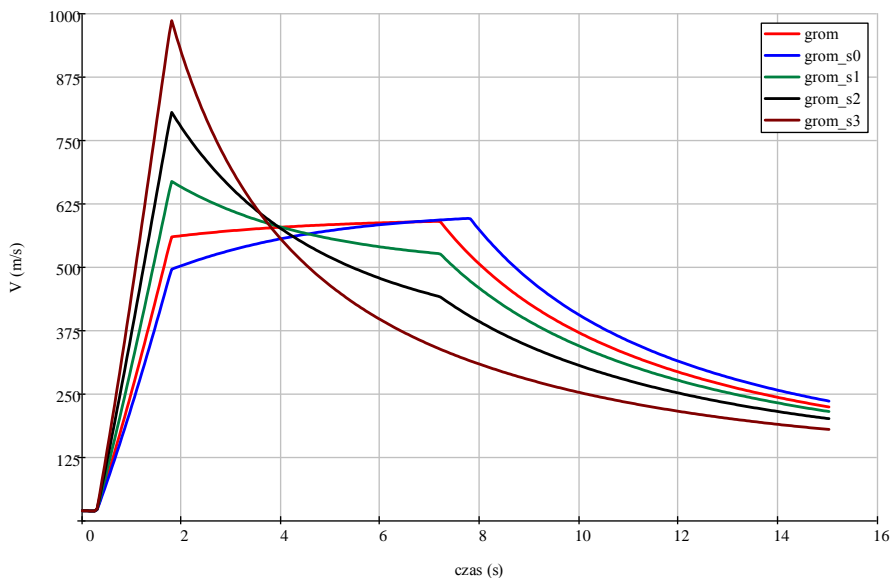
Opracowane dane dotyczące trzech dodatkowych wariantów rozdziału impulsu silnika raketowych zostały poddane analizie za pomocą opracowanego modelu numerycznego. Warunki początkowe symulacji komputerowej były następujące:

- kąt podniesienia wyrzutni  $10^\circ$ , ponieważ rozważany jest atak na cel nisko lecący;
- prędkość początkowa pocisku – 20 m/s;
- pocisk w locie nie wykonuje manewrów, stąd uzyskane wyniki mają wartości maksymalne.

Rezultaty symulacji komputerowych przedstawiono w postaci wykresów prędkości oraz zasięgu w czasie. Na rysunku 1 przedstawiono zmianę prędkości pocisku GROM w czasie dla opisanych w tab. 1 wariantów zarządzania impulsem ciągu silnika raketowego. Czas symulacji wynosi 15 s. Wynika to z faktu, że po tym czasie następuje samolikwidacja pocisku. Dla wariantu Grom-S3 prędkość maksymalna zbliża się do 1000 m/s, następnie szybko spada i w 10 sekundzie wynosi 250 m/s. Dla pozostałych wariantów prędkość maksymalna jest proporcjonalna do wartości impulsu całkowitego pierwszej fazy pracy silnika raketowego.

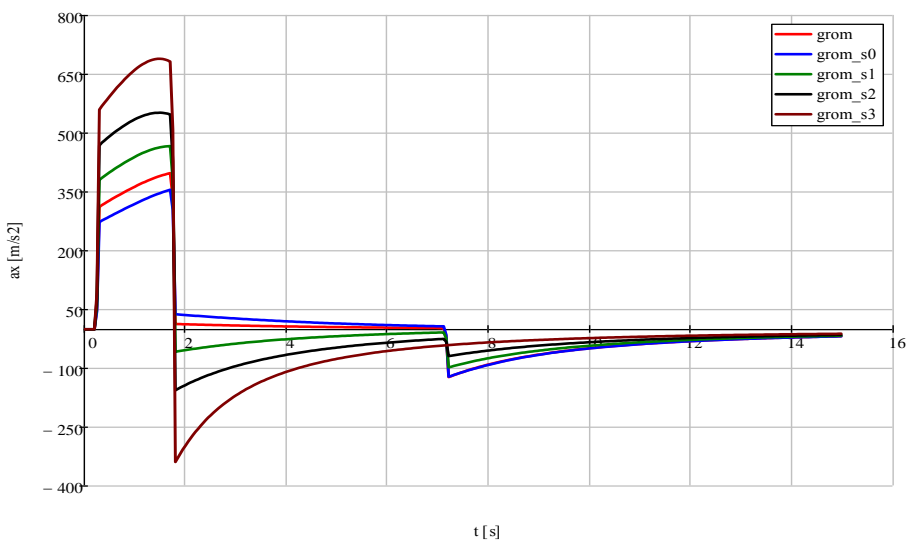
Na rysunku 2 przedstawiono zmianę przyspieszenia pocisku w czasie. Największych przyspieszeń, zarówno dodatnich, jak i ujemnych doznaje pocisk w wariancie Grom S3, co jest niedopuszczalne ze względu na odporność precyzyjnych modułów mechatronicznych. W pozostałych wariantach przeciążenia są do zaakceptowania. Na rysunku 3 przedstawiono trajektorie lotu pocisku wystrzelonego pod kątem  $10^\circ$  dla rozpatrywanych wariantów układu napędowego. Pocisk osiągający największą prędkość cechuje się zmniejszonymi parametrami zasięgowymi, ze względu na konieczność pokonania większego oporu aerodynamicznego przy większej prędkości lotu.

Najciekawsze wnioski można wyciągnąć z wykresów na rys. 4, przedstawiającym położenie (zasięg) pocisku w czasie. Do siódmej sekundy lotu, a więc praktycznie na całym zasięgu bojowym, pocisk uzyskujący większą prędkość maksymalną wyprzedza pocisk o mniejszej prędkości maksymalnej. Dla wariantu napędu Grom S3 wynosi to kilkaset metrów wyprzedzenia w stosunku do pocisku Grom, maksymalne wyprzedzenie wynosi 670 m po czasie 3,75 s.



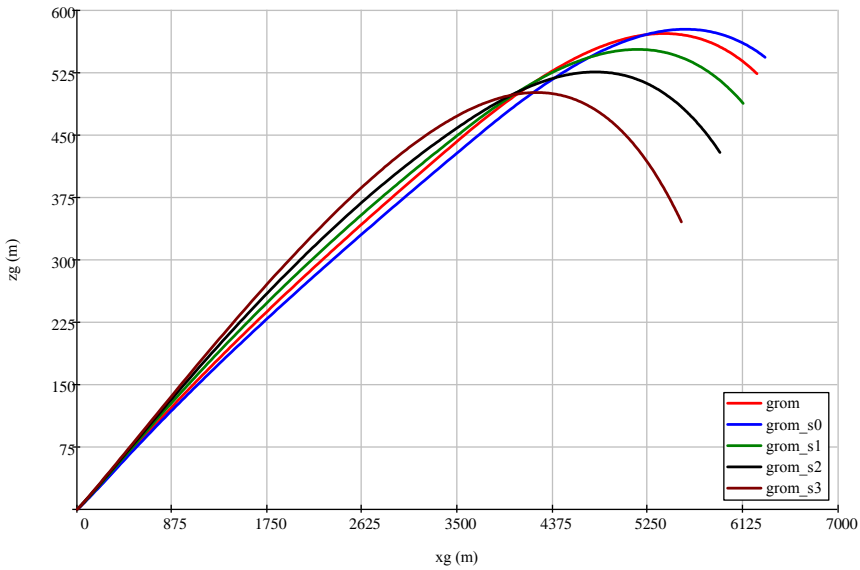
Rys. 1. Zmiana prędkości rakiety Grom w czasie dla kąta strzału  $10^\circ$ , dla rozpatrywanych wariantów układu napędowego

Fig. 1. Grom missile velocity vs. time for different versions of propelling systems fired at an angle of shot equal  $10^\circ$



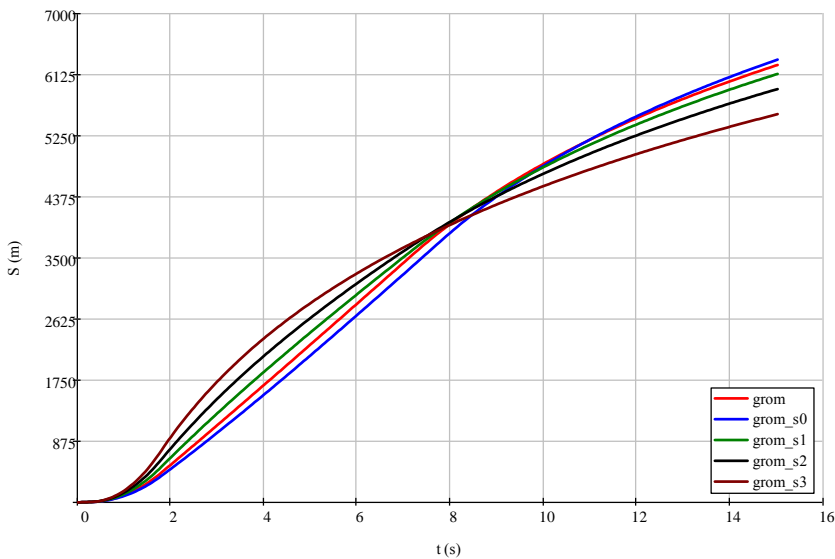
Rys. 2. Zmiana przyspieszenia rakiety Grom wystrzelonej pod kątem  $10^\circ$  dla rozpatrywanych wariantów układu napędowego

Fig. 2. Acceleration of Grom missile vs. time for different versions of propelling systems fired at an angle of shot equal  $10^\circ$



Rys. 3. Trajektoria lotu rakiety Grom wyrzuczonej pod kątem  $10^\circ$  dla rozpatrywanych wariantów układu napędowego

Fig. 3. Range-height diagram of a Grom missile for different versions of propelling systems fired at an angle of shot equal  $10^\circ$



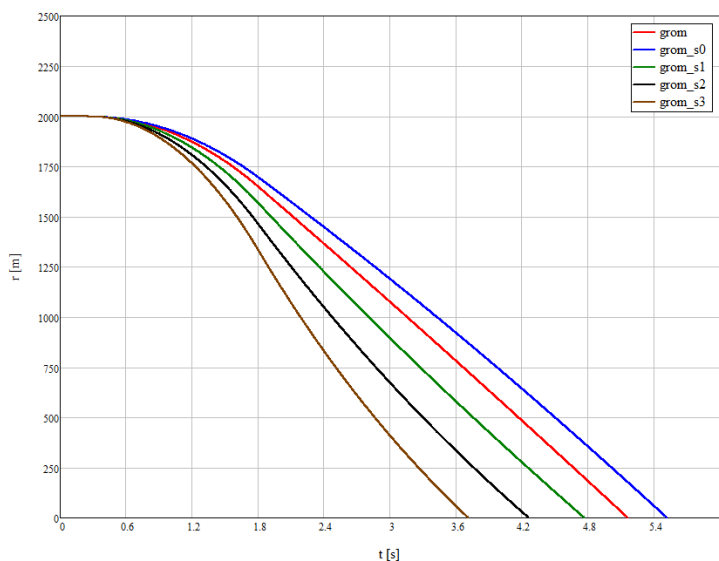
Rys. 4. Zasięg rakiety GROM w czasie wyrzuczonej pod kątem  $10^\circ$  dla rozpatrywanych wariantów układu napędowego

Fig. 4. Range of a Grom missile vs. time for different versions of propelling systems fired at an angle of shot equal  $10^\circ$

### 3. MOŻLIWOŚCI NISZCZENIA POCISKÓW MANEWRUJĄCYCH PRZEZ PPZR GROM

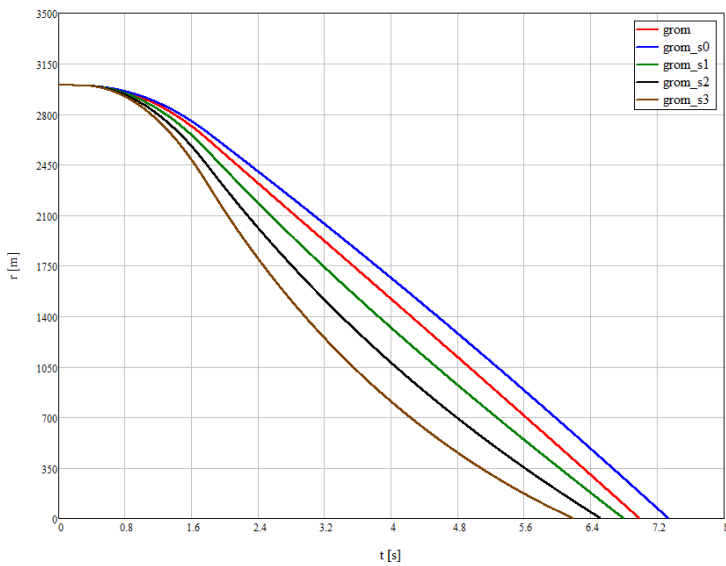
Zakładając wspomaganie wykrycia celu przez inne elementy systemu sieciocentrycznego, uwzględniając niski pułap lotu pocisków manewrujących, wykrycie, przechwycenie przez głowicę termalną pocisku Grom i odpalenie rakiety do takiego celu termicznego jest możliwe najwcześniej w sytuacji, gdy operator pocisku Grom znajdzie się na trawersie kursu pocisku typu cruise. Dla takiego przypadku sytuacji bojowej pocisk Grom będzie wykonywał misję w wariacie pościgu. W celu przeanalizowania możliwości zniszczenia pocisku manewrującego przez pocisk Grom, przeprowadzono symulacje kinematyczne efektywności bojowej pocisku z wariantami układów napędowych opisanymi w pkt. 2.2.

Założono, że atakowane pociski manewrujące poruszają się ze stałą prędkością 250 m/s po linii prostej, w zmieniającej się odległości od stanowiska operatora, skąd wystrzelony jest pocisk Grom. Jako minimalną odległość stanowiska startowego pocisku Grom od celu przyjęto 2, 3, 4 oraz 5 km. Nie uwzględniono mniejszych odległości przelotu celu, ponieważ w takich przypadkach wysoka prędkość kątowna celu staje się utrudnieniem w obserwacji i jego przechwyceniu przez głowicę samonaprowadzającą pocisku Grom.



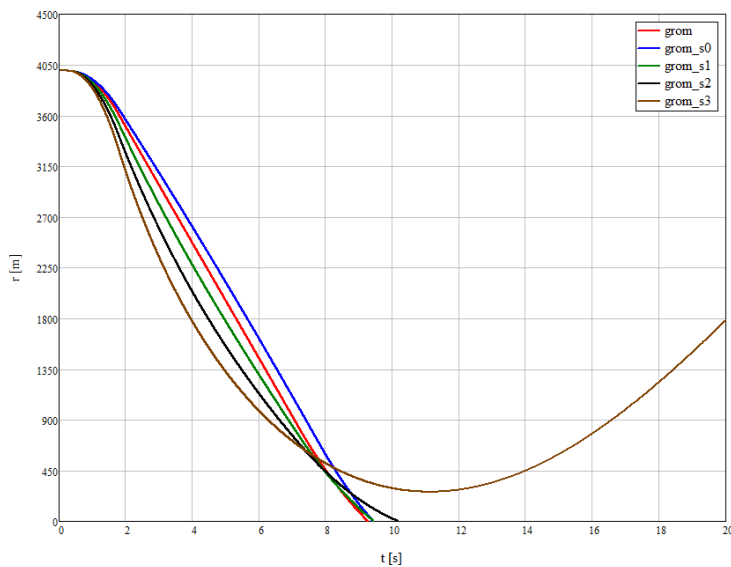
Rys. 5. Zmiana odległości pocisku Grom w czasie naprowadzania na cel znajdujący się na odległości 2 km

Fig. 5. A distance of a Grom missile from the target in time for different versions of propelling systems. Minimal distance of a target equal 2 km



Rys. 6. Zmiana odległości pocisku Grom w czasie naprowadzania na cel znajdujący się na odległości 3 km

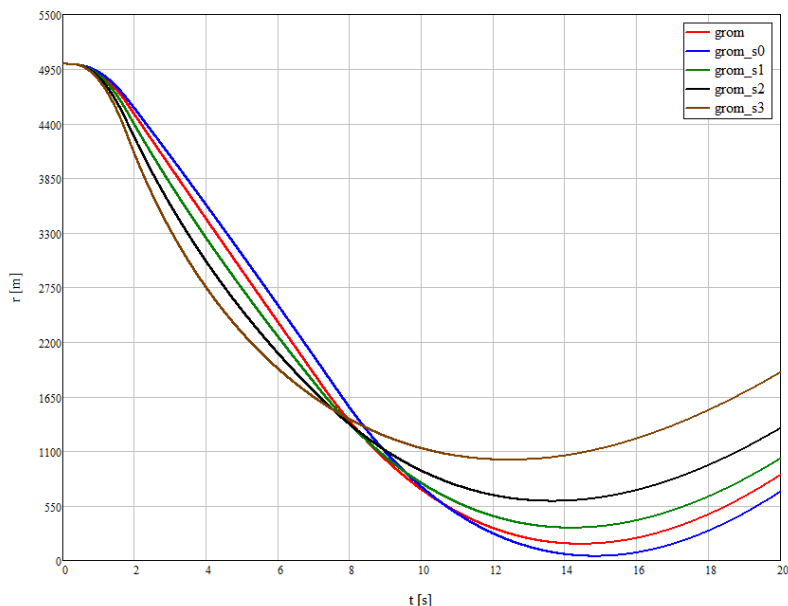
Fig. 6. A distance of a Grom missile from the target in time for different versions of propelling systems. Minimal distance of a target equal 3 km



Rys. 7. Zmiana odległości pocisku Grom w czasie naprowadzania na cel znajdujący się na odległości 4 km

Fig. 7. A distance of a Grom missile from the target in time for different versions of propelling systems. Minimal distance of a target equal 4 km





Rys. 8. Zmiana odległości pocisku Grom w czasie naprowadzania na cel znajdujący się na odległości 5 km

Fig. 8. A distance of a Grom missile from the target in time for different versions of propelling systems. Minimal distance of a target equal 5 km

Na rysunkach 5-8 przedstawiono historię zbliżania się pocisku Grom do celu, czyli wykresy chwilowej odległości w czasie wystrzelonego pocisku Grom od pocisku przechwyconego. Z analizy wykresów wynika, że do ósmej sekundy lotu pociski wykazujące większą prędkość maksymalną (wersja Grom S1, S2 i S3) skuteczniej mogą zwalczać cele szybkie, zwłaszcza ponadźwiękowe. Wersja pocisku ze zmniejszonym impulsem ciągu w pierwszej fazie pracy silnika raketowego uzyska większy zasięg i jest w stanie zwalczać cele poddźwiękowe na odległości do 5 km (rys. 8 – Grom S0).

#### 4. WNIOSKI

W świetle ostatnich faktów bojowego użycia pocisków manewrujących („cruise missiles”), pilną potrzebą jest podjęcie prac dotyczących wykrywania i zwalczania tego typu środków napadu powietrznego. Wykrywanie tradycyjnymi metodami (radiolokacja) jest w tym przypadku mało efektywne ze względu na małą powierzchnię odbicia oraz niską wysokość lotu. Alternatywą zwalczania pocisków manewrujących są zestawy MANPADS zintegrowane z sieciocentrycznym systemem obrony powietrznej.

Celowe jest również dostosowanie charakterystyk kinematycznych pocisku Grom/Piorun do podjęcia nowych zastosowań bojowych. Zarządzanie ciągiem silnika raketowego pocisku przeciwlotniczego bardzo krótkiego zasięgu (MANPADS) PPZR Grom pozwala na zauważalną zmianę jego właściwości kinematycznych. Z przeprowadzonych symulacji komputerowych wynika konkluzja, że zwiększenie prędkości maksymalnej pocisku spowoduje zmniejszenie jego zasięgu rażenia. Jednakże na bliższych odległościach do celu (< 4 km), efektywniejsze będzie zwalczanie celów szybkich. Można tę cechę wykorzystać do zwiększenia skuteczności zwalczania określonych celów powietrznych.

Do zwalczania pocisków manewrujących istotne jest zwiększenie zasięgu pocisku Grom, co jest możliwe poprzez optymalizację podziału impulsu ciągu silnika raketowego na fazę pierwszą (rozpędzającą) i fazę drugą (podtrzymującą) pracy silnika. Zwiększenie zasięgu pocisku Grom w taki sposób jest możliwe nawet do 10%. Stworzy to jednocześnie możliwość efektywniejszego zwalczania innych nisko lecących celów o małej prędkości, np. śmigłowców i bezałogowych statków powietrznych.

## LITERATURA

- [1] <http://www.defence24.pl/472956,iskandery-z-kaliningradu-celuja-w-redzikowo>
- [2] <http://www.defence24.pl/559813,rosyjskie-zakazane-rakiety-celuja-w-europe-odciac-wsparcie-nato-analiza>
- [3] <http://www.defence24.pl/491188,rosyjskie-bomby-i-pociski-manewrujace-leca-na-aleppo-raketowy-bastion-uderzyl-z-ladu-wideo>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=X7UjOXanJcs>
- [5] <http://www.defence24.pl/243057,czy-stingery-beda-zwalczac-rakiety-manewrujace>
- [6] <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-92.html>
- [7] Motyl Krzysztof, Mirosław Makowski, Bogdan Zygmunt, Zbigniew Puzewicz, Jan Noga. 2017. „A Concept For Striking Range Improvement Of The Grom/Piorun Man-Portable Air-Defence System”. *Problemy Mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa – Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering* 8 (1) : 55-70.

## **Conception of Ballistic Parameters Change of the Grom MANPADS to Cruise Missiles Interception**

Krzysztof MOTYL<sup>1</sup>, Bogdan ZYGMUNT<sup>1</sup>, Konrad SIENICKI<sup>1</sup>,  
Janusz NOGA<sup>2</sup>, Zbigniew PUZEWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Military University of Technology, Faculty of Mechatronics and Aerospace,  
Department of Mechatronics,*

<sup>2</sup>*Military University of Technology, Institute of Optoelectronics,  
2 gen. Witolda Urbanowicza Street, 00-908 Warsaw, Poland*

**Abstract.** Cruise missiles seem to be a topical subject for contemporary air defense systems. Operating at low altitude and flying with subsonic velocity, are extremely difficult for interception by existing surveillance means and there is no information about an effective combat methods. In the paper authors considered to apply Grom MANPADS to intercept and fight with cruise missiles. Some optimisations of kinematic properties of the missile are conducted. The importance of a missile range were underlined and discussed.

**Keywords:** cruise missile, interception, Grom MANPADS

