	PROBLEMY MECHATRONIKI UZBROJENIE, LOTNICTWO, INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA
	PROBLEMS OF MECHATRONICS ARMAMENT, AVIATION, SAFETY ENGINEERING
ISSN 2081-5891; E-ISSN 2720-5266	
https://promechjournal.pl/	

Badania lotu przeciwpancerneho pocisku kierowanego Pirat z funkcją „top attack”

Damian GOŁOŚ^{1*} (dgosol@telesystem.eu)
 Paweł ZAWADA¹ (pzawada@telesystem.eu)
 Janusz NOGA¹ (jnoga@telesystem.eu)
 Krzysztof MOTYL² (krzysztof.motyl@wat.edu.pl)

*Corresponding author
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4785-8368>

¹TELESYSTEM-MESKO Sp. z o.o.,
 ul. Warszawska 51, 05-082 Lubiczów
²Wojskowa Akademia Techniczna,
 Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa,
 ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

*Received: October 11, 2022 / Revised: November 4, 2022 / Accepted: November 15, 2022 /
 Published: September 30, 2023.*

2023, 14 (3), 9-24; <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.8817>

Cite: Chicago Style

Gołoś, Damian, Paweł Zawada, Janusz Noga, and Krzysztof Motyl. 2023. "Investigations of the PIRAT Anti-tank Guided Missile Flight with the „Top attack” Function" (in Polish). *Probl. Mechatronics. Armament Aviat. Saf. Eng.* 14 (3) : 9-24. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.8817>



This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives International 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Streszczenie. W niniejszej pracy przedstawiono budowę i zasadę działania przeciwpancernego pocisku kierowanego Pirat z funkcją „top attack”. Pocisk przeszedł pomyślnie testy na stanowisku laboratoryjnym oraz testy poligonowe. Przedstawiono również wyniki badań symulacyjnych lotu pocisku Pirat, które porównano z wynikami badań poligonowych. Badania symulacyjne przeprowadzono w oparciu o opracowany model matematyczno-fizyczny pocisku. Uzyskane wyniki potwierdzają poprawność założeń i charakterystyk przyjętych w modelu symulacyjnym.

Słowa kluczowe: sterowanie lotu pocisku raketowego, symulacja komputerowa, przeciwpancerny pocisk kierowany, naprowadzanie laserowe

1. WSTĘP

Pirat to lekki przeciwpancerny pocisk kierowany (ppk), półaktywnie samonaprowadzający się na odbite promieniowanie laserowe (ang. SALH – *Semi Active Laser Homing*) [1]. Cel oświetlany jest promieniowaniem laserowym w zakresie podczerwieni przez laserowy podświetlacz celu (LPC). Pocisk wykrywa i śledzi część odbitą promieniowania laserowego od celu i kieruje się na nią. Taki sposób naprowadzania bardzo często stosowany jest w kierowanej amunicji lotniczej klasy powietrze-ziemia. Do kluczowych zalet tego typu naprowadzania zalicza się wysoką precyzję uderzenia w cel pozwalającą na niszczenie punktowych celów takich jak wszelkiego rodzaju pojazdy. Jest to wyraźna przewaga naprowadzania typu SALH nad naprowadzaniem GPS/INS, które choć nie wymaga stosowania podświetlenia celu, to nie pozwala na uderzenie z wystarczającą precyzją w cel punktowy, jak również nie nadaje się do zwalczania celów ruchomych [2]. Laserowy podświetlacz celu nie musi znajdować się w pobliżu wyrzutni pocisku, co zwiększa bezpieczeństwo obsługi systemu, jak i elastyczność wykorzystania tego typu systemu na polu walki.

W artykule przedstawiono badania doświadczalne i teoretyczne lotu ppk Pirat. Badania doświadczalne obejmują sprawdzenia na stanowisku testowym i badania poligonowe z wykorzystaniem aparatury telemetrycznej. Badania teoretyczne zostały przeprowadzone w oparciu o symulacje numeryczne, bazujące na opracowanym modelu matematyczno-fizycznym ppk Pirat. Badania symulacyjne pozwoliły na wyznaczenie parametrów zasięgowych i prędkościowych, które zweryfikowano badaniami poligonowymi.

2. OGÓLNE PARAMETRY I OPIS POCISKU PIRAT

Ppk Pirat jest lekkim przeciwpancernym zestawem raketowym krótkiego zasięgu (do 2,5 km) samonaprowadzającym się na laserowe promieniowanie odbite od celu, odpalany z ramienia lub z uniwersalnego, modułowego stanowiska do wykrywania, śledzenia, identyfikacji oraz wskazywania celów, zawierającym wyrzutnię z trójnogiem (CLU - ang. *Command Launch Unit*).

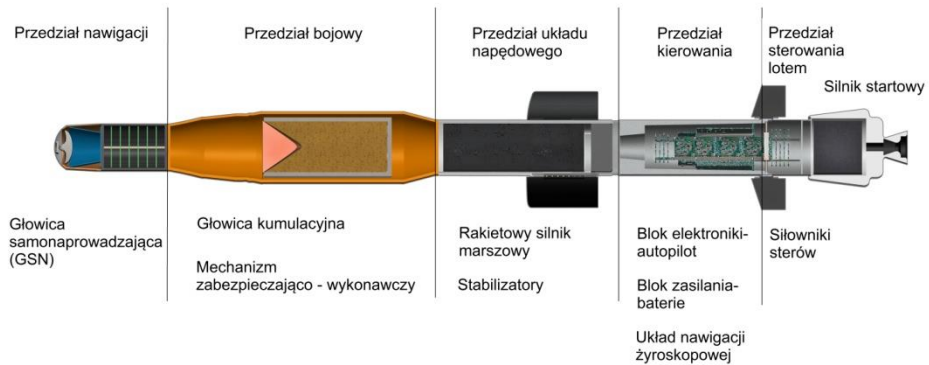
W systemie zastosowane zostało precyzyjne naprowadzanie na odbity promień laserowy oświetlający cel, który pocisk rakiety atakuje z tzw. górnej półsfery, co gwarantuje bardzo wysoką skuteczność bojową. Ppk Pirat jest zamontowany wraz z silnikiem startowym w rurowym pojemniku transportowo-startowym (fot. 1). W celu wyrzelenia osadzany jest w zespole wyrzutni i wyrzeliwany z pojemnika transportowo-startowego za pomocą silnika startowego.



Fot. 1. Pocisk Pirat umieszczony w wyrzutni na stanowisku startowym

Photo 1. PIRAT missile placed in the launcher on the launch site

Elementem zestawu jest przeciwpancerne pocisk kierowany Pirat wyposażony w głowicę bojową kumulacyjną, laserową głowicę samonaprowadzającą (GSN), blok elektroniki z autopilotem, moduł sterów, silnik marszowy i startowy (rys 1).



Rys. 1. Budowa przeciwpancerneho pocisku kierowanego Pirat

Fig. 1. Construction of the PIRAT anti-tank guided missile

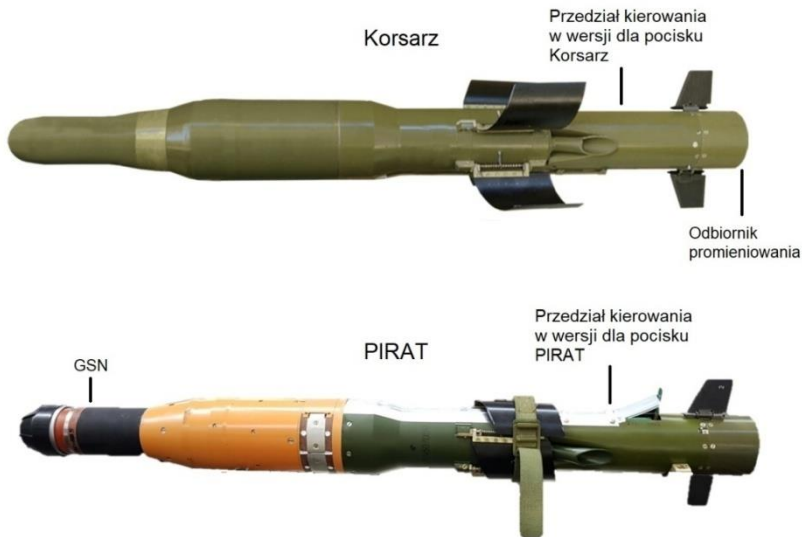
System naprowadzania wymaga rozpoczęcia śledzenia celu przed startem pocisku. Wysoka odporność na wstrząsy umożliwia przewóz zestawów za pomocą wszelkiego rodzaju środków transportu. Przeciwpancerne pociski kierowany Pirat jest przeznaczony do zwalczania punktowych celów oraz pojazdów opancerzonych, w tym współczesnych czołgów wyposażonych w pancierz kombinowany rozproszony lub monolityczny.

Tabela 1. Parametry taktyczno-techniczne pocisku Pirat

Table 1. Tactical and technical parameters of the PIRAT missile

Parametry pocisku Pirat	Wartość
Masa pojemnika z pociskiem [kg]	15,4
Masa startowa pocisku [kg]	9,83
Długość pocisku [mm]	1021
Długość pojemnika z pociskiem [mm]	1180
Średnica pocisku [mm]	107
Prędkość maksymalna [m/s]	300
Napęd	na paliwo stałe
Zasięg minimalny [m]	200
Zasięg maksymalny [m]	2500
Naprowadzanie	SALH
Typ głowicy	kumulacyjna
Przebijalność głowicy	powyżej 500 mm RHA
Czas dolotu do celu na odległość 2,5 km [s]	ok. 12
Zakres temperatury pracy zestawu [°C]	-35 ⁰ ÷50 ⁰

Pocisk Pirat zbudowany jest w układzie klasycznym, wyposażony jest w jednokanałowy system sterowania. W tylnej części pocisku, za środkiem masy umieszczono jedną parę sterów aerodynamicznych, co sprawia, że takie rozwiązanie zastosowanego systemu sterowania wymusza wprowadzenie pocisku w ruch obrotowy dookoła osi podłużnej. Algorytm naprowadzania powoduje wyprowadzenie pocisku na wysokości 15-150 m. Podobne parametry trajektorii lotu wykazuje amerykański ppk FGH-148 Javelin. Konstrukcja mechaniczna pocisku Pirat powstała na bazie pocisku RK-3 Kopcap (Korsarz) [3] (rys. 2) zaprojektowanego i produkowanego przez ukraińskie biuro konstrukcyjne "Luch".

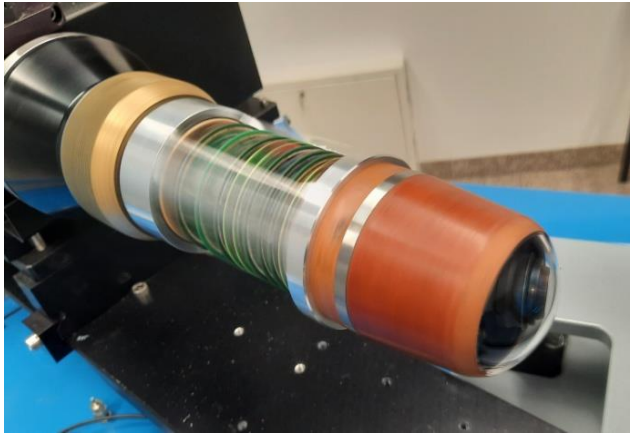


Rys. 2. Pociski Korsarz i Pirat

Fig. 2. The Corsair and PIRAT missiles

Z pocisku Korsarz do pocisku Pirat zaadoptowano konstrukcję płotowca, przedział układu napędowego, przedział bojowy i przedział sterowania lotem. Bardzo istotnej zmianie uległ natomiast przedział kierowania i przedział nawigacji. Przedział nawigacji w pocisku Pirat znajduje się z przodu, natomiast w pocisku Korsarz z tyłu. Przedział nawigacji w pocisku Pirat wykorzystuje laserową głowicę samonaprowadzającą (GSN) zaprojektowaną w całości przez spółkę CRW Telesystem-Mesko.

Głowica samonaprowadzająca pocisku Pirat (fot.2) składa się z koordynatora żyroskopowego wraz z obiektywem oraz elektroniki sterującej [4]. Elementem optoelektronicznym zamieniającym laserowy sygnał optyczny na sygnał elektryczny jest niechłodzony fotodetektor kwadrantowy umieszczony w obiektywie koordynatora. Głównym zadaniem elektroniki sterującej GSN jest śledzenie celu poprzez minimalizację kąta rozbieżności pomiędzy osią optyczną żyroskopu, a linią wizowania „rakieta-cel”. Sposób działania głowicy samonaprowadzającej przypomina pracę oka, które śledzi wybrany cel. Konstrukcja GSN Pirat umożliwia zastosowanie metody proporcjonalnej nawigacji w algorytmie kierowania, która sprawdza się w naprowadzaniu, zarówno na cele stacjonarne, jak i poruszające się.

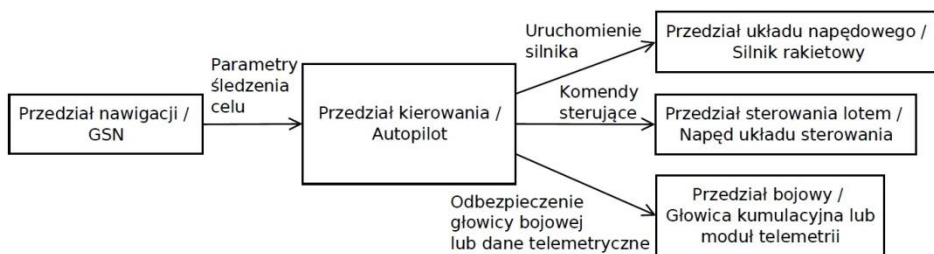


Fot. 2. GSN Pirat umieszczona na stanowisku testowym

Photo 2. GSN PIRAT placed on the test stand

3. KONSTRUKCJA I FUNKCJONOWANIE AUTOPILOTA

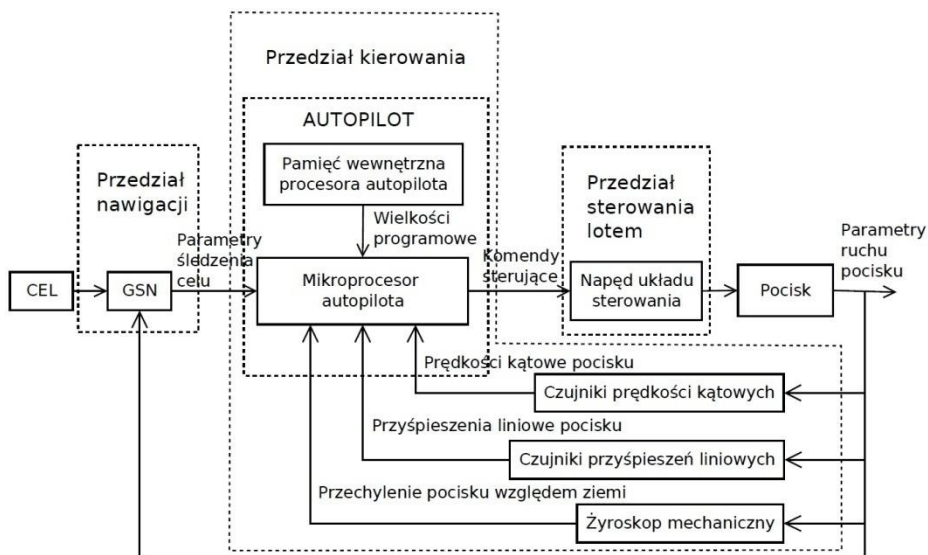
Ze względu na metodę nawigacji zastosowaną w pocisku Pirat wyraźnej modyfikacji uległ również przedział kierowania, którego kluczowym elementem jest autopilot [5], realizujący inny algorytm kierowania (sterujący) niż to ma miejsce w pocisku RK-3 Korsarz. Z tego powodu znaczna część pracy zespołu zajmującego się rozwojem pocisku Pirat, została poświęcona na wypracowanie optymalnego i skutecznego algorytmu sterującego pociskiem. W proces ten zaangażowane zostały narzędzia symulacyjne zawierające model numeryczny pocisku, narzędzia laboratoryjne, w tym specjalnie do tego celu skonstruowane przez spółkę CRW Telesystem-Mesko stanowisko testowe oraz badania poligonowe, które stanowiły ostateczną weryfikację poprawności przyjętych założeń i rozwiązań konstrukcyjnych. Przeprowadzone badania służyły również poprawie przyjętych modeli i zastosowanych metod sterowania pociskiem. Schemat przedstawiony na rysunku 3 obrazuje przepływ danych pomiędzy poszczególnymi przedziałami i układami ppk Pirat.



Rys. 3. Ogólny schemat komunikacji pomiędzy przedziałami pocisku Pirat

Fig. 3. General diagram of communication between the PIRAT missile compartments

Komunikacja pomiędzy przedziałami ppk Pirat odbywa się całkowicie za pomocą magistrali cyfrowych, co jest zabezpieczeniem przed utratą danych w procesie transmisji, tak jak to ma miejsce w przypadku komunikacji analogowej. Cyfrowa wymiana danych pozwala na wykorzystanie systemu sum kontrolnych służącego zapewnieniu integralności danych. Jednostką kontrolującą lot pocisku, w tym proces samonaprowadzania pocisku na cel, jest autopilot znajdujący się w przedziale kierowania (rys. 4).



Rys. 4. Schemat procesu samonaprowadzania pocisku Pirat z przepływem danych pomiędzy poszczególnymi przedziałami i układami pocisku

Fig. 4. Diagram of the PIRAT homing process with data flow between individual compartments and missile systems

Zadaniem układu mikroprocesorowego autopilota jest odbiór strumienia danych pochodzących z różnych czujników i systemów pocisku, a następnie wypracowanie na ich podstawie odpowiedniej komendy sterującej pociskiem realizowanej przez przedział sterowania lotem. Dodatkowo autopilot odpowiada za realizację procesu startowego pocisku. Podczas testów poligonowych w przedziale bojowym zamiast głowicy kumulacyjnej można umieścić radiowy moduł telemetryczny wysyłający w trakcie lotu dane pochodzące z autopilota pocisku Pirat. Uzyskane w trakcie lotu dane umożliwiają późniejszą dokładną analizę lotu i sprawdzenie poprawności działania poszczególnych systemów pocisku, co znacząco przyspiesza proces projektowy. Autopilot, oprócz systemu samonaprowadzania półaktywnego, ma również autonomiczny (programowy) układ naprowadzania.

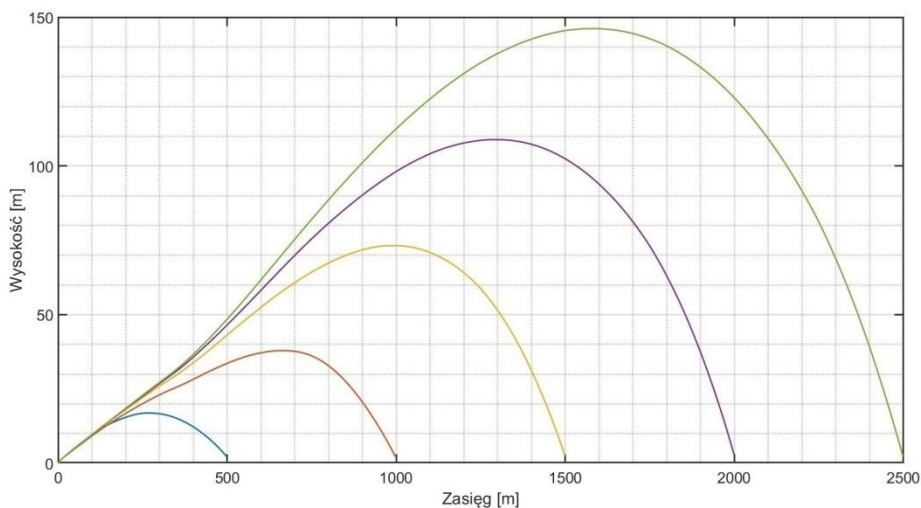
Pozwala to na uzyskanie przez pocisk Pirat wymaganego przewyższenia toru lotu, które ma za zadanie uchronić pocisk przed przedwczesnym uderzeniem w ziemię oraz umożliwić uderzenie w cel z górnej półsfery.

4. BADANIA SYMULACYJNE

Wstępnym etapem projektowym pocisku Pirat było przeprowadzenie badań symulacyjnych wykorzystujących model matematyczno-fizyczny pocisku [6, 7]. Dzięki tym badaniom opracowano algorytm sterujący pociskiem, a wyniki badań poligonowych posłużyły z kolei do weryfikacji poprawności przyjętego modelu numerycznego ppk Pirat [8].

Model symulacyjny przestrzennego lotu pocisku raketowego obejmuje jego model fizyczny i matematyczny, a także model atmosfery. W modelu fizycznym uwzględniono charakterystyki geometryczne, aerodynamiczne, zmienne charakterystyki masowo-bezwładnościowe i układu napędowego pocisku raketowego [9]. Model matematyczny składa się z układu równań różniczkowych zwyczajnych pierwszego rzędu, które opisują ruch pocisku, ruch celu i równania ruchu względnego pocisk-cel [10]. Równania zostały zaimplementowane w pakiecie MATLAB/Simulink.

Wynik symulacji numerycznych lotu pocisku Pirat dla zasięgów z zakresu 500-2500 m przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Trajektorie lotu pocisku Pirat dla zasięgów z zakresu 500-2500 m (symulacje numeryczne)

Fig. 5. Flight trajectories of the PIRAT missile for ranges in the range of 500-2500 m (numerical simulations)

Im większy zasięg strzału tym większa maksymalna wysokość na którą wznosi się pocisk. Wzniesienie się pocisku na większą wysokość pozwala z kolei uzyskać większy kąt uderzenia w cel.

5. BADANIA NA STANOWISKU LABORATORYJNYM

Stanowisko testowe pozwala na przetestowanie w warunkach laboratoryjnych poprawności działania przedziału nawigacji, przedziału kierowania i przedziału sterowania lotem (fot. 3). Dane z przedziału nawigacji przesyłane są za pomocą magistrali komunikacyjnej do przedziału kierowania z autopilotem, który na podstawie danych pochodzących z przedziału nawigacji, jak i m.in. z czujników prędkości kątowych i żyroskopu mechanicznego, wypracowuje odpowiednią komendę dla przedziału sterowania lotem. Zadaniem przedziału sterowania lotem jest realizacja komendy (wychylenia sterów) zadanej przez przedział kierowania.



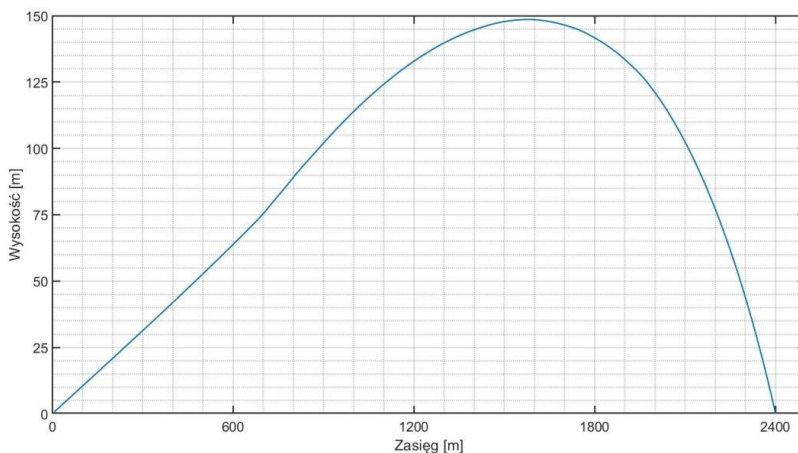
Fot. 3. Stanowisko testowe pocisku Pirat

Photo 3. PIRAT missile test stand

Wymienione wyżej przedziały pocisku Pirat przed każdym badaniem poligonowym są testowane i kalibrowane na stanowisku testowym. Tak przygotowane przedziały są następnie składane z pozostałymi przedziałami pocisku, również przetestowanymi na innych stanowiskach badawczych.

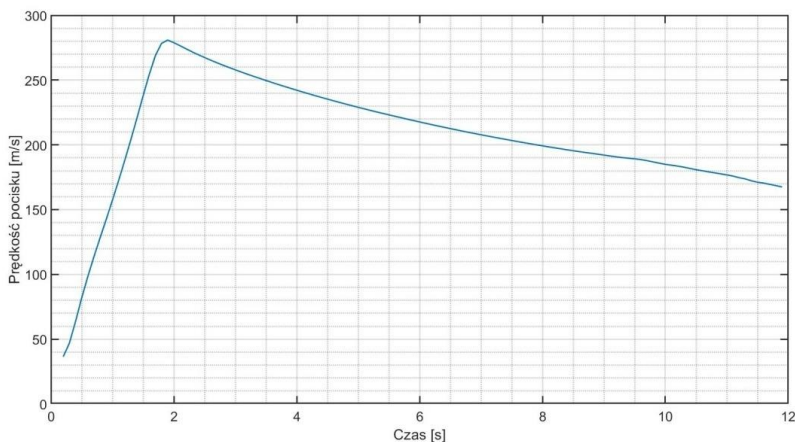
6. BADANIA POLIGONOWE

Przeprowadzone 15 lipca 2020 r. badania poligonowe w Nowej Dębie wykazały poprawny lot pocisku Pirat na zasięg zbliżony do maksymalnego, wynoszący 2400 m. Pocisk w najwyższym punkcie toru lotu wznosił się na wysokość 149 m nad powierzchnię ziemi. Umożliwiło to pociskowi w dalszej części lotu na wykonanie uderzenia w cel z tzw. górnej półsfery. Lot pocisku został zarejestrowany przez radar Dopplera. Odczyty z radaru pozwoliły na określenie położenia pocisku w przestrzeni (rys. 6) oraz prędkości pocisku (rys. 7).



Rys. 6. Trajektoria lotu pocisku Pirat wyznaczona przez oprogramowanie radaru Dopplera

Fig. 6. PIRAT missile flight trajectory determined by the Doppler radar software



Rys. 7. Prędkość lotu pocisku Pirat wyznaczona przez oprogramowanie radaru Dopplera

Fig. 7. PIRAT missile flight velocity determined by the Doppler radar software

Pocisk w chwili opuszczenia wyrzutni ma prędkość nadaną mu przez raketowy silnik startowy, wynoszącą ok. 33 m/s. Po przebyciu przez pocisk ok. 5 m, autopilot uruchamia silnik marszowy rozpędzający pocisk do prędkości maksymalnej wynoszącej w tym przypadku 280 m/s. Po ok. 2 s lotu, gdy raketowy silnik marszowy wypala się, prędkość pocisku stopniowo maleje. Pod koniec lotu prędkość pocisku spada do 167 m/s, co wciąż jest wartością wystarczającą do zapewnienia efektywnego działania powierzchni sterujących pocisku. Zbliżanie się pocisku Pirat do będącej celem tarczy przedstawiono na rysunku 8.

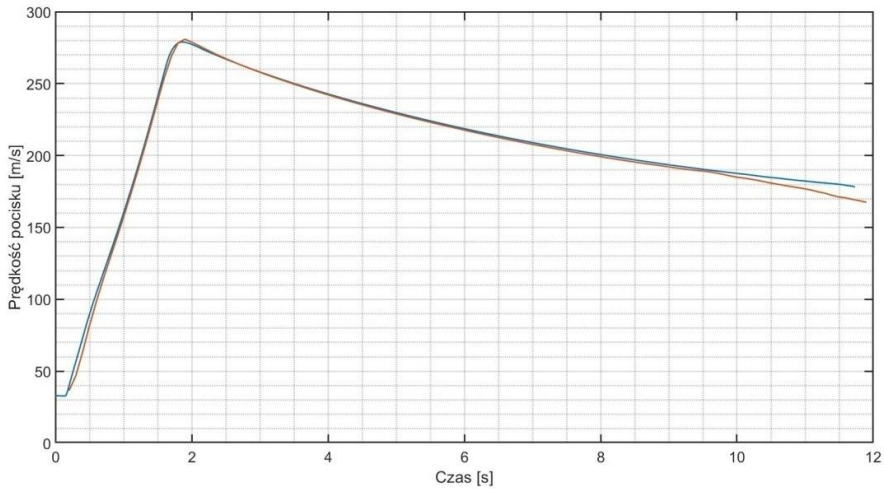


Rys. 8. Pocisk Pirat (oznaczony w ramkach) zbliżający się do celu (biała tarcza)

Fig. 8. PIRAT missile (marked in the frames) approaching the target (white board)

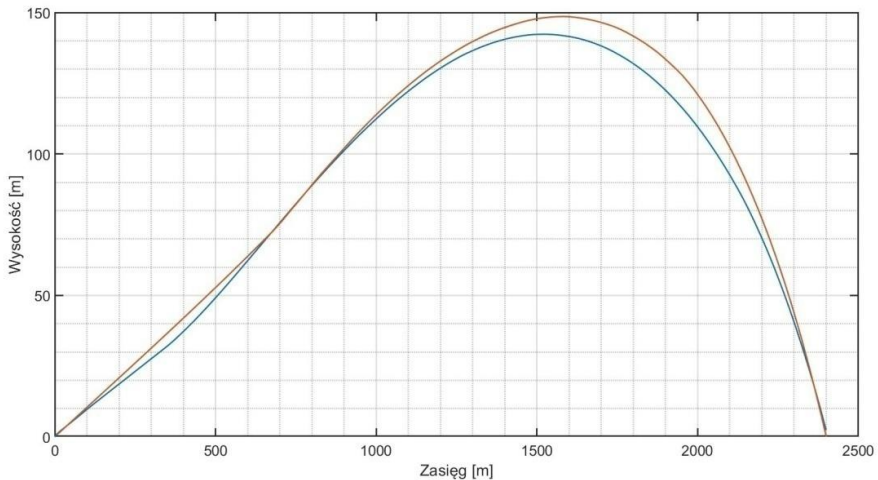
7. PORÓWNANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

Rezultaty badań poligonowych porównane zostały z wynikami symulacji komputerowej, wykorzystującej model matematyczno-fizyczny pocisku Pirat. Model numeryczny pozwala na przeprowadzenie symulowanego lotu pociskiem na dowolny zasięg, w dowolnych warunkach atmosferycznych i z dowolnym algorytmem sterującym. Stanowi więc bardzo istotny element w procesie wypracowywania odpowiedniego algorytmu sterującego. Na poniższym rysunku przedstawiono porównanie prędkości uzyskanych z radaru Dopplera z prędkościami wynikającymi z symulacji komputerowej.



Rys. 9. Wykres przedstawiający prędkość pocisku Pirat. Radar Dopplera – linia czerwona, symulacja komputerowa – linia niebieska

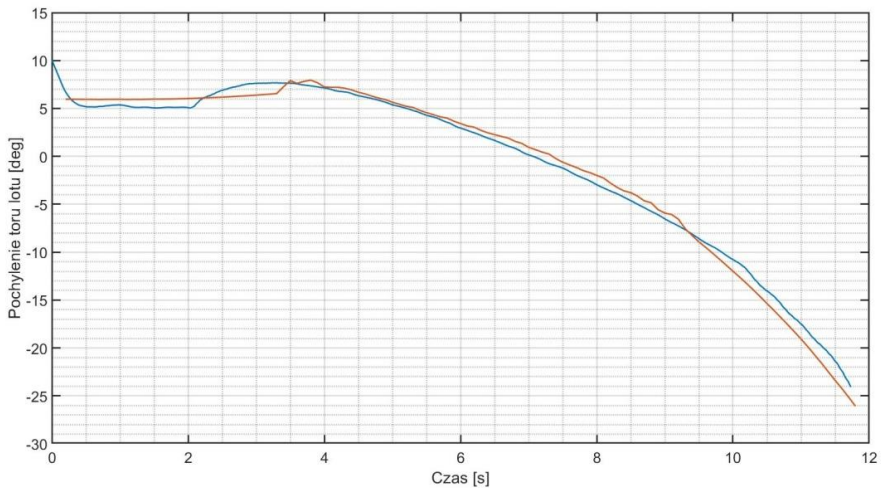
Fig. 9. Graph showing the speed of the PIRAT missile. Doppler radar - red line, computer simulation - blue line



Rys. 10. Tor lotu pocisku Pirat w płaszczyźnie pionowej. Radar Dopplera – linia czerwona, symulacja komputerowa – linia niebieska

Fig. 10. PIRAT missile flight path in the vertical plane. Doppler radar - red line, computer simulation - blue line

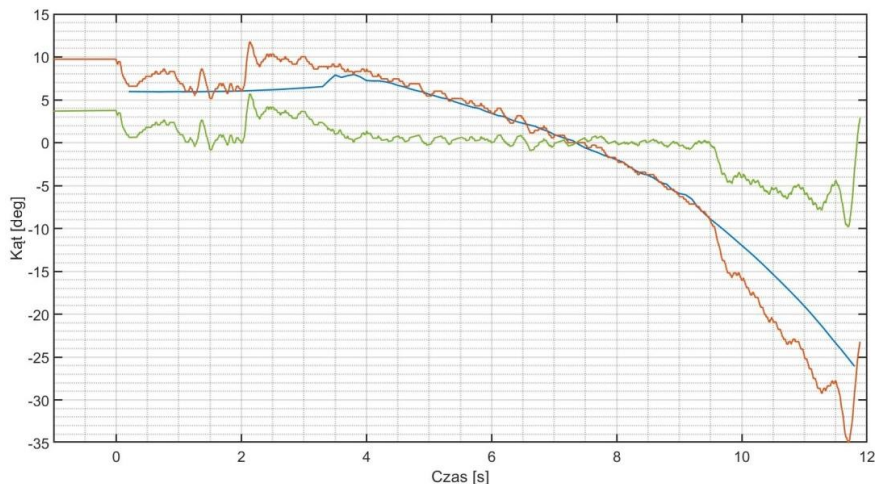
Dla przebiegu toru lotu w płaszczyźnie pionowej wyznaczono styczne, zgodne z chwilowym kierunkiem wektora prędkości pocisku. Wynik przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Kąt pochylenia toru lotu pocisku Pirat. Radar Dopplera – linia czerwona, symulacja komputerowa – linia niebieska

Fig. 11. The angle of the PIRAT projectile's flight path. Doppler radar - red line, computer simulation - blue line

Początkowy kąt pochylenia osi podłużnej pocisku względem celu wynosi 10° . Kąt pochylenia wektora prędkości środka masy pocisku w chwili uderzenia w cel wyniósł -26° , według danych obliczonych z radaru Dopplera i -24° według symulacji komputerowej. Różnicę na poziomie 2° można uznać za nieistotną. Kąt pochylenia osi pocisku obliczany jest przez moduł autopilota, a następnie przesyłany przez moduł telemetrii do stacji odbiorczej. Na rysunku 12 przedstawiono przebieg pochylenia osi podłużnej pocisku wraz z pochyleniem wektora prędkości pocisku oraz różnicę tych dwóch kątów tworzącą kąt natarcia pocisku. Moduł kąta natarcia nie przekracza w danej chwili 10° . Kąt pochylenia osi podłużnej pocisku w chwili uderzenia w cel wyniósł -23° , jednakże ok. 0,2 s wcześniej kąt ten wyniósł -35° . Występowanie dużego kąta natarcia na początku i przy końcu lotu związane jest z występowaniem silnej komendy sterującej pociskiem. Dodatni kąt natarcia występuje na początku lotu gdy pocisk wyprowadzany jest w górę, ujemny natomiast przy końcu lotu gdy pocisk sprowadzany jest w dół. Kąt natarcia pocisku dodaje się do kąta pochylenia wektora prędkości pocisku, razem tworząc ostateczny kąt uderzenia w cel.



Rys. 12. Kąt pochylenia pocisku pochodzący z danych telemetrycznych pocisku Pirat – linia czerwona, kąt pochylenia wektora prędkości pocisku obliczony na podstawie danych z radaru Dopplera – linia niebieska, obliczony kąt natarcia pocisku – linia zielona

Fig. 12. Missile inclination angle derived from telemetry data of the PIRAT missile - red line, inclination angle of the missile velocity vector calculated on the basis of data from Doppler radar - blue line, calculated missile angle of attack – green line

8. WNIOSKI KOŃCOWE

Uzyskane wyniki prowadzą do sformułowania następujących wniosków:

1. Zbudowany model fizyczny i matematyczny ppk Pirat pozwala na przeprowadzenie symulacji lotu pocisku poprawnie odwzorowujących rzeczywiste parametry kinematyczne rejestrowane w trakcie badań poligonowych.
2. Potwierdzone zostało poprawne działanie w locie opracowanych przez zespoły polskich inżynierów modułów, takich jak napęd raketowy, układ naprowadzania na odbity promień lasera oraz autopilot pokładowy realizujący funkcję „top attack”.
3. Wykonane prace teoretyczne i eksperymentalne wskazują na możliwość zwiększenia efektywności bojowej ppk Pirat poprzez wzrost kąta uderzenia pocisku w cel.
4. Celowe jest dokonanie modyfikacji w algorytmie sterującym pociskiem Pirat, aby zwiększyć kąt uderzenia pocisku w cel, jak również zwiększyć kąt pochylenia pocisku w chwili uderzenia w cel.

FINANSOWANIE

Autorzy nie uzyskali zewnętrznego źródła finansowania pracy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Koruba, Zbigniew, Jan W. Osiecki. 2006. *Budowa dynamika i nawigacja wybranych broni precyzyjnego rażenia*. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.
- [2] Gołoś, Damian, Janusz Noga, Bogdan Zygmunt, Paweł Zawada. 2021. Optyczne metody naprowadzania amunicji precyzyjnej na cel. W *Fotonika w wojskowej i cywilnej rewolucji technologicznej XXI wieku*, 63-77. Wydawnictwo Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia.
- [3] RK-3 Kopcap. 2021. Prospekt State Kyiv Design Bureau „LUCH”.
- [4] Noga, Janusz. 2019. *Badania modułu kierowania rakiety wirującej z elektrycznym napędem sterów*. Rozprawa doktorska. Warszawa: Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych.
- [5] Derek, Artur. 1979. *Systemy sterowania rakiet cz. 1. Dynamika systemów sterowania rakiet*. Warszawa: Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej.
- [6] Zygmunt, Bogdan, Krzysztof Motyl. 2015. „Animacja komputerowa lotu pocisku raketowego w pakiecie MathCad”, *Mechanik 7* : 997-1006.
- [7] Motyl, Krzysztof, Mariusz Magier, Jacek Borkowski, and Bogdan Zygmunt. 2017. „Theoretical and experimental research of anti-tank kinetic penetrator ballistics”. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences* 65 (3) : 399-404.
- [8] Motyl, Krzysztof, Mirosław Makowski, Bogdan Zygmunt, Zbigniew Puzewicz, and Janusz Noga. 2017. „A Concept for Striking Range Improvement of the GROM/PIORUN Man-Portable Air-Defence System”, *Probl. Mechatronics. Armament Aviat. Saf. Eng.* 8 (1) : 55-70.
- [9] Gacek, Józef. 1997. *Balistyka zewnętrzna cz.1. Modelowanie zjawisk balistyki zewnętrznej i dynamiki lotu*. Warszawa: Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej.
- [10] Zygmunt, Bogdan, Krzysztof Motyl, Bogdan Stanisław Machowski, Mirosław Makowski, Edward Olejniczak, and Tomasz Rasztabiga. 2015. „Theoretical and experimental research of supersonic missile ballistics”. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences* 63 (1) : 229-233.

Investigations of the PIRAT Anti-tank Guided Missile Flight with the „Top attack” Function

Damian GOŁOŚ¹, Paweł ZAWADA¹, Janusz NOGA¹,
Krzysztof MOTYL²

¹*TELESYSTEM-MESKO Sp. z o. o.,
51 Warszawska Str., 05-082 Lubiczów, Poland*

²*Military University of Technology
2 Sylwestra Kaliskiego Str., Warsaw, Poland*

Abstract. The paper presents the structure and principle of operation of the PIRAT anti-tank guided missile (ATGM) with the „top attack” function. PIRAT is a light anti-tank missile guided to the target using Semi-Active Laser Homing (SALH) method. A system maximum range is 2500 m. The missile has successfully passed laboratory and field tests. The results of the PIRAT missile flight simulation tests have been presented and compared with the results of field tests. The simulation tests were carried out on the basis of the created mathematical and physical models of the missile. The obtained results confirm the correctness of the assumptions and characteristics adopted for the simulation model. A distance between a missile launcher and a target during field test, presented in the paper, was 2400 m. Missile behaviour in flight was consistent with the simulation results, what is shown in figures 9, 10, and 11. The velocity of the projectile throughout the flight was sufficient to provide adequate control force. The velocity vector of the projectile at the moment of impact with the target is inclined to the horizontal plane at an angle of -26° . Approximately 0.2 s before missile hitting the target, an inclination angle of the projectile body was -35° . This is due to high value of control command signal developed by the autopilot at that moment. In the actual moment of missile hitting, the target value of control command signal was low causing a change of an inclination angle of the projectile body up to the value of -23° . It is advisable to modify the PIRAT's missile control algorithm to increase an inclination angle of the velocity vector at the moment of missile hitting the target, as well as to increase an angle of inclination of the missile body when it hits the target.

Keywords: missile flight control, computer simulation, anti-tank guided missile, laser guidance