

## **R E C E N Z J A**

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza MERDY**

**p.t. „Modelowanie i badanie parametrów balistyki zewnętrznej naddźwiękowych pocisków moździerzowych”**

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL) prof. dr. hab. inż. Józefa ŻURKA z dnia 19 listopada 2018 r. informującego o powołaniu mnie przez Radę Naukową ITWL, Uchwałą z dnia 10.10.2018 r., w skład Komisji przewodu doktorskiego, w charakterze recenzenta, w postępowaniu o nadanie mgr. inż. Tomaszowi MERDZIE doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.

### **2. Uwagi ogólne**

Przedstawiona do recenzji, przez mgr. inż. Tomasza MERDE, rozprawa doktorska ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i dotyczy bardzo aktualnej – z punktu widzenia potrzeb Wojska Polskiego – problematyki modernizacji uzbrojenia pododdziałów i oddziałów Wojsk Lądowych.

Podstawowym celem rozważań Doktoranta było opracowanie metodyki przeznaczonej do symulacji podstawowych czynników toru opartej o nowatorski sposób wyznaczania podstawowych charakterystyk aerodynamicznych (współczynników sił i momentu stabilizującego). Przeprowadzone w ramach rozprawy rozważania wykazały, że zaproponowana metodyka umożliwia symulację komputerową lotu (w różnych warunkach) rozpatrywanego rodzaju pocisków moździerzowych z dokładnością wystarczającą dla praktyki artyleryjskiej.

Z uwagi na niejawnosć tematyki rozpatrywanej w ramach pracy (możliwość zastosowania wyników badań w technice uzbrojenia), w dostępnej literaturze brak jest wyczerpujących informacji z zakresu konstrukcji, funkcjonowania oraz użycia bojowego „naddźwiękowej” amunicji moździerzowej. Stąd też wynikła potrzeba prowadzenia własnych prac badawczych w tym zakresie.

Podstawowymi metodami stosowanymi w warunkach krajowych, których wyniki znajdowały zastosowanie do oceny przyjętych w procesie projektowania środków bojowych (w tym amunicji moździerzowej) oraz do modyfikacji konstrukcji amunicji na drodze doboru odpowiednich wartości parametrów konstrukcyjnych, są bardzo kosztowne i wymagające dużych nakładów czasu pracy metody doświadczalne.

Alternatywę metod eksperymentalnych mogą stanowić metody modelowania numerycznego oparte na modelach fizyczno-matematycznych, pozwalające na symulacje komputerowe działania dużych zbiorów wariantów konstrukcyjnych rozpatrywanych obiektów technicznych. Istotną zaletą takiego podejścia jest możliwość zmian w trakcie badań, nawet w szerokim zakresie zarówno struktury badanego modelu, jak również warunków zewnętrznych wpływających na jego działanie. Z uwagi na stosunkowo krótki okres czasu w jakim obecnie realizowane są projekty z obszaru techniki uzbrojenia można przyjąć, że komputerowe metody numeryczne będą istotnym czynnikiem, decydującym w wielu przypadkach o sukcesie prowadzonych rozwojowych prac badawczych.

Przedstawione uwarunkowania oraz potrzeby wynikające z realizacji niniejszej pracy jak i prac, w których Autor był jednym ze znaczących wykonawców, stanowiły podstawę opracowania, przedstawionej w rozprawie, metodyki prowadzenia pracy badawczej rozwojowej o charakterze numeryczno-eksperymentalnym.

### **3. Krótka charakterystyka rozprawy**

Przedstawiona do recenzji notatka z wykonanej rozprawy doktorskiej zawarta jest w czterech częściach z wyodrębnieniem: Wstępu, Wniosków końcowych, Spisu treści, Wykazu rysunków, Wykazu oznaczeń, skrótów i pojęć, Streszczenia oraz Bibliografii zawierającej 34 pozycje.



Poszczególne części i rozdziały pracy stanowią ciąg logiczny. W szczególności w poszczególnych rozdziałach rozprawy Autor przedstawił m.in.:

- a) We Wstępie Autor przedstawił, na tle przeglądu aktualnej literatury z zakresu rozpatrywanej problematyki, genezę, uzasadnienie wyboru tematyki, oraz podstawowy cel pracy wraz z rozbiciem go na cele cząstkowe;
- b) Część druga poświęcona jest problematyce związanej z modelowaniem fizycznym i matematycznym zjawisk balistyki zewnętrznej przewidzianych do badania w ramach realizacji pracy. Podczas opracowania modelu matematycznego do symulacji pocisku w przestrzeni okołozemskiej przyjęto, że pocisk jest ciałem nieodkształcalnym o sześciu stopniach swobody. Podstawą do opracowania modelu matematycznego był model punktu materialnego. Mankamentem w tym względzie jest brak w jawnej postaci skalarnej pełnego układu równań, które stanowiły podstawę opracowania stosowanego w pracy komputerowego modelu symulacyjnego. Poza tym zastosowany proces modelowania został opisany w mało uporządkowany sposób, pomimo tego że w cytowanej w Bibliografii pozycji literatury (np. pozycja [18]) można znaleźć przedstawioną w sposób przejrzysty oraz uporządkowany metodykę modelowania fizycznego i matematycznego złożonych zjawisk fizycznych;
- c) W rozdziale trzecim przedstawione zostały wyniki strzelań doświadczalnych etatowym 120 mm odłamkowo-burzącym pociskiem moździerzowym OF 843 oraz trzema prototypowymi 120 mm pociskami, stanowiącymi kolejne wersje opracowane w ramach procesu modernizacji konstrukcji tego pocisku. W ramach tego rozdziału, dla wszystkich rodzajów badanych pocisków wyznaczono, przy wykorzystaniu zbiorów wyników badań doświadczalnych (strzelań) oraz oprogramowania CFD (numeryczna mechanika płynów), podstawowe współczynniki aerodynamiczne rozpatrywanego rodzaju pocisku;
- d) W ramach badań opisanych w rozdziale czwartym dokonano częściowej analizy porównawczej wyników badań wyznaczonych, odpowiednio: metodą teoretyczną (z wykorzystaniem metodyki zaproponowanej przez Autora) oraz metodą strzelań poligonowych znajdującym się w uzbrojeniu Wojska Polskiego

moździerzowym pociskiem odłamkowo-burzącym OF-843 i trzema wersjami prototypowych pocisków stanowiących jego zmodernizowane wersje. Pewnym mankamentem w tym zakresie jest zbyt pobieżna analiza błędów w odniesieniu do otrzymanych wyników przeprowadzona podczas tego porównania;

- e) Przeprowadzoną w rozdziale czwartym pracy analizę, ukierunkowaną na oszacowanie wpływu poszczególnych segmentów pocisku (w rozprawie nazwanych sekcjami) na wartość poszczególnych charakterystyk aerodynamicznych rozpatrywanych pocisków, oparto na rozkładzie ciśnień panujących na powierzchniach zewnętrznych tych segmentów. Należy mieć na uwadze, że takie podejście, może skutkować sformułowaniem tylko przybliżonych wniosków co do wiarygodności wartości otrzymanych w ten sposób współczynników sił i momentu stabilizującego dla poszczególnych segmentów pocisku, a tym samym także dla całego pocisku .

Przedstawione w pracy wyniki zostały zredagowane w postaci graficznej oraz tabelarycznej. W części końcowej rozprawy Autor dokonał obszernego podsumowania przeprowadzonych analiz i sformułował trafne wnioski końcowe z zaznaczeniem kierunku dalszych badań w przedmiotowej problematyce.

#### **4. Rozważania dotyczące rozprawy**

Mgr inż. Tomasz MERDA w przejrzysty sposób sformułował podstawowy cel rozprawy, który starał się konsekwentnie rozwiązywać w trakcie jej wykonywania. Tematyka rozprawy wychodzi naprzeciw bieżącym potrzebom Wojsk Lądowych Wojska Polskiego, które w chwili obecnej nie dysponuje sprzętem moździerzowym spełniającym aktualne wymagania w zakresie donośności (powyżej 10 000 m) oraz charakterystyk rozrzutu punktów upadku (punktów zadziałania zapalnika). Podjęcie się przez Doktoranta zadania opracowania metodyki wyznaczania podstawowych współczynników sił i stabilizującego momentu aerodynamicznego, dla pocisków w locie swobodnym, z wykorzystaniem metody CFD (metoda oparta na numerycznej mechanice płynów) można uznać za podejście nowatorskie w skali naszego kraju.

Rozprawę można potraktować jako ważne autorskie osiągnięcie przedstawiające, w sposób kompleksowy, podstawowe zagadnienia balistyki zewnętrznej naddźwiękowych pocisków moździerzowych. Istotną zaletą rozprawy stanowią

zawarte w niej wskazówki i zalecenia dla konstruktorów środków bojowych umożliwiające uniknięcia wielu niepowodzeń już na etapie prac badawczo-rozwojowych dotyczących tego typu konstrukcji. Na podkreślenie zasługuje fakt, że wykorzystanie, niektórych proponowanych przez Autora wniosków, w pracach modernizacyjnych prowadzących w celu opracowania nowoczesnego 120 mm pocisku moździerzowego skutkowało konstrukcją pocisku o zasięgu stanowiącym osiągnięcie w skali ogólnosiwiatowej.

## **5. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące rozprawy**

### Uwagi ogólne:

1. Brak w treści pracy jednoznacznej informacji, czy Doktorant posiada zgodę członków zespołu badawczego oraz kierownictwa zakładu produkcyjnego opracowujących nową wersję 120 mm pocisku moździerzowego, na wykorzystanie wyników ich pracy w trakcie wykonywania rozprawy (dotyczy przede wszystkim 3 oraz 4 części pracy). Zgodnie z wiedzą jaką dysponuje Recenzent Doktorant był tylko jednym z członków zespołu badawczego w pracach modernizacyjnych przedmiotowego pocisku.
2. Przedstawione, odpowiednio na str. 32-34 oraz 47-49 opisy stosowanych w trakcie wykonywania pracy modeli matematycznych ruchu rozpatrywanego rodzaju pocisku zostały przedstawione w sposób mało czytelny. Z przedstawionych równań wektorowych nie wynika bezpośrednio, czy wszystkie czynniki wpływające na parametry ruchu pocisku zostały w nich uwzględnione. Dużo więcej informacji zawierałyby układy równań skalarnych opisujące ruch pocisku względem osi wybranego układu współrzędnych, np. układu inercjalnego i/lub układu związanego z bryłą pocisku.
3. Brak wniosków stanowiących podsumowanie rozważań przeprowadzonych w rozdziałach 2, 3, 4 i 5 w określonym stopniu utrudniają czytelność pracy. Wnioski takie można znaleźć w różnych fragmentach wymienionych rozdziałów rozprawy.
4. W wielu przypadkach występują błędy stylistyczne, które w znaczny lub wręcz uniemożliwiający sposób ograniczają czytelność niektórych fragmentów rozprawy. Ma to miejsce np. na str.: 17, 18, 26, 29, 30, 34, 36, 37, 42, 44, 45, 54, 57, 59, 64, 67, 81, 82, 86, 89, 100.

5. Praca zredagowana mało starannie – zawiera wiele pustych miejsc, które bez pogorszenia jej czytelności i przejrzystości mogły być wypełnione, np. na str.: 27, 30, 32, 35, 38, 40, 47, 48, 54, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 69, 70, 74, 77, 79, 82, 86.

#### Uwagi szczegółowe:

1. Jak należy rozumieć stwierdzenie na str. 5; cyt. „...Analiza wykresów współczynnika  $C_R$ ”? Autor miał chyba na myśli analizę wyników przedstawionych na tym wykresie.
2. Jak należy rozumieć stwierdzenie na str. 5; cyt. „...Program komputerowy do modelowania lotu...” – Czy Autorowi chodzi o program komputerowy do symulacji lotu...?
3. Jak należy rozumieć stwierdzenie na str. 10; cyt. „...LAT – szerokość geograficzna strzelania [°]...”?.
4. Str. 11 – zamiast określenia „...prędkości obrotowej pocisku...”, powinno być „...prędkości kątowej pocisku...”.
5. Str. 12 – „... $\Omega$  – wektor prędkości kątowej...” – do jakiej wielkości fizycznej wektor należy odnieść?
6. Informacja zawarta na str. 15 i 16 pracy sugeruje, że pewne dane dotyczące naboju mózdzierzowego z pociskiem OF843 B są także zawarte w ZTT na nowy nabój do mózdzierza RAK (pozycja Bibliografii - [3])? Czy tak jest w rzeczywistości?
7. W pracy występują liczne błędy w postaci tzw. „literówek” – str.: 11, 17, 26, 27, 40, 42, 54, 67, 70, 75, 78, 97, 100.
8. Str. 37. Błędne odwołanie do pozycji literatury: jest [16] – powinno być [19].
9. Str. 38. Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...wskazują na konieczność wykorzystania metody określania momentu stabilizującego...” – o jaką metodę chodzi?
10. Str. 38. Czy pod nazwą OF-843 należy rozumieć pocisk, czy nabój? W informacji zawartej na tej stronie nazwą tą określono zarówno pocisk jak i nabój!
11. Str. 38. Na stronie tej zawarta jest informacja; cyt. „...W dalszej części pracy pociski będą oznaczane następująco: OF843 B, RAK wariant 1, RAK wariant 2, RAK wariant 3.” Dlaczego w dalszej części pracy dla trzech ostatnich

- rodzajów pocisków stosuje się nazwy z pominięciem oznaczenia RAK? Czy należy rozumieć, że to są inne wersje pocisków niż podane na tej stronie?
12. Str. 39 (rys. 2-14), str. 40 (rys. 2-15) i str. 41 (rys. 2-16) dlaczego w konstrukcji pocisków zastosowano skokową zmianę średnicy części tylnej i stabilizatora? W treści pracy brak komentarza czy ma to wpływ na charakterystyki balistyczne pocisku.
  13. Str. 42. Przyjęto założenie o pominięciu prędkości obrotów własnych pocisku bez komentarza. Czy będzie to miało wpływ na zmianę prędkości postępowej pocisku?
  14. Str. 42. I str. 43 – Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...Dla dodatniego współczynnika stabilizującego  $C_{m0}$  moment stabilizacji będzie działał przeciwnie do kąta nutacji...”?
  15. Str. 53 – Czy wyniki zawarte w tabeli 3.1 oraz na rysunku 3-1 odnoszą się do tych samych, czy do różnych pocisków?
  16. Str. 59 – Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...Otrzymane wartości wskazują na dość dokładne określenie współczynnika  $C_R$  dla pocisku o tym kształcie? Posłuży on do weryfikacji wyników otrzymanych numerycznie...”.
  17. Str. 64 - Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...tak wysoki współczynnik oporu jest zbieżny z bardzo małą donośnością strzału. Taki wzrost wypadkowego współczynnika oporu (jak dla punktu materialnego) może być spowodowany...”?
  18. Str. 65 - Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...nie zauważono obracania się pocisku w czasie lotu...” – O jaki obrót w tym przypadku chodzi?
  19. Str. 67 - Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...gwałtowne zmiany współczynnika wypadkowej siły aerodynamicznej (patrząc od najwyższej liczby Macha w dół) od liczby Macha ok. 1,2 i kończą się później...”?
  20. Str. 68 - Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...Porównanie współczynników wyznaczonych eksperymentalnie (pamiętając o ograniczonej wiarygodności wyników dla OF-843 B) i numerycznie może określić dokładność metod numerycznych w zakresie wyznaczania współczynników aerodynamicznych...”?
  21. Str. 73 – Jest „...zmiany atmosfery pomiędzy...” – powinno być „...zmiany parametrów atmosfery pomiędzy...”.

22. Str. 74 – Jest „...Na rysunku 3-21 przedstawiono wykres momentów stabilizujących...” – powinno być „...Na rysunku 3-21 przedstawiono wykres współczynników momentu stabilizującego  $C_{m0}$ ...”.
23. Str. 75 - Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...po wylocie z lufy moment aerodynamiczny działający na pocisk działa przeciwnie do kąta nutacji przyczyniając się do jego wzrostu...”?
24. Str. 76 – Jest „...Dla przedziału 0,9÷1,2 wartości...” – powinno być „...Dla liczb Macha z przedziału 0,9÷1,2 wartości...”
25. Str. 77 i inne – rys.: 4-1, 4-2, 4-5 i 4.7 mało czytelne. Należało te rysunki przedstawić dla zakresu donośności np. 9800 [m] do 10100 [m].
26. Str. 77 – Jest: „...Przedstawiona wcześniej analiza...” – powinno być „...Przedstawiona w podrozdziale... analiza...”, lub „...Przedstawiona na str. ... analiza...”
27. Str. 77÷87 oraz 95÷96 – dla jakich warunków strzelania (warunków początkowych strzału o raz kątów nutacji) uzyskano dane przedstawione na rysunkach: 4-1 do 4-10 oraz 5-1 do 5-11? Od wymienionych czynników będą w istotny sposób zależały rozkłady ciśnień na podstawowych segmentach pocisku!
28. Str. 81 - Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...niewielkie różnice pomiędzy wartościami wyznaczonymi eksperymentalnie, a obliczonymi opracowanym modelem...”? oraz stwierdzenie, cyt. „...Praktyka artyleryjska przyjmuje wartości błędów do 3%...”?
29. Str. 82 – Błędne odwołanie do równania 2.28! W równaniu tym nie występują wielkości  $q$  i  $r$ !
30. Str. 86 - Jak należy rozumieć stwierdzenie; cyt. „...Jednakże w przeciwieństwie do zjawiska „podrzutu aerodynamicznego” nie są niezbędne...”?
31. Str. 89 – Jest „...nie znaleziono badań części tylnej...”, powinno być „...nie znaleziono informacji na temat badań wpływu części tylnej...”.
32. Str. 100 – Jak należy rozumieć pojęcie „pseudo stabilny lot”.
33. Brak odwołania do pozycji Bibliografii: [31]÷[34].

Przedstawione wyżej uwagi w określony sposób wpływają na wartość wykonanej przez mgr. inż. Tomasza MERDEĘ pracy.





## 6. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawę można potraktować jako ważne autorskie osiągnięcie przedstawiające w sposób kompleksowy problematykę balistyki zewnętrznej naddźwiękowych pocisków moździerzowych. Za nowe podejście, w skali kraju, do rozważanej problematyki można także uznać propozycję wykorzystania metody CFD (metoda oparta o numeryczną mechanikę płynów) do opracowania metodyki wyznaczania podstawowych współczynników sił i stabilizującego momentu aerodynamicznego, dla pocisków w locie swobodnym.

Podsumowując rozprawę stwierdzam, że jej temat jest aktualny i rozwojowy. Postawione cele pracy zostały osiągnięte. Analizy wyników badań symulacyjnych i doświadczalnych zostały w przeważającej części przeprowadzone poprawnie, a ich interpretacje poza niektórymi przypadkami wymienionymi w punkcie 5 recenzji są prawidłowe. Stwierdzam, że problematyka rozprawy mieści się w dyscyplinie ***budowa i eksploatacja maszyn***.

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską przez mgra inż. Tomasza MERDEĘ oceniam pozytywnie, gdyż zawiera elementy nowatorskie oraz posiada elementy poznawcze. Poza tym praca świadczy o dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora. Doktorant wykazał się nie tylko obszerną wiedzą z zakresu budowy i eksploatacji maszyn, mechaniki, modelowania i dynamiki układów, metod symulacyjnych i numerycznych oraz programowania, ale również umiejętnością formułowania zagadnień naukowych i realizacji ich rozwiązań.

Reasumując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez obowiązującą Ustawę o tytule i stopniach naukowych. Poziom naukowy i redaktorski potwierdza, że rozprawa zasługuje na dopuszczenie jej do publicznej obrony.

