

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Pauliny Paziewskiej pt. „Ładunki napędowe o zwiększonej szybkości spalania do sterowania gazodynamicznego rakiet i pocisków”.**

Opinia opracowana jest na podstawie pisma Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych z dnia 28 kwietnia 2023 podpisanego przez sekretarza Rady Naukowej ITWL dr inż. Grzegorza Kowalczyka, prof. ITWL.

1. Praca doktorska dotyczy ważnego zagadnienia opracowania specjalnych ładunków pirotechnicznych przeznaczonych do efektywnego sterowania lotem rakiet i pocisków w ostatniej fazie ich lotu. Od szybkości działania takich ładunków zależęć będzie w dużym stopniu precyzja naprowadzania rakiet i pocisków na cel. W tym aspekcie, przy obecnej sytuacji geopolitycznej, tematyka pracy jest aktualna a rozwiązanie tego problemu pozwoli na zwiększenie bezpieczeństwa kraju. Praca finansowana była przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu badań naukowych na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa pt. “Przyszłościowe technologie dla obronności – Konkurs Młodych Naukowców” – umowa nr DOB – 2P/03/01/2018.
2. Praca zawiera 4 zasadnicze rozdziały obejmujące Wstęp, Przegląd literatury, Badania własne i dyskusja oraz Podsumowanie, jak również: Wykaz symboli i skrótów, Streszczenia w języku polskim i angielskim, Bibliografię, Spis rysunków i Spis Tabel. Praca liczy 147 stron.
3. Cel pracy jest krótko zdefiniowany we wstępie do rozprawy doktorskiej i dotyczy opracowania optymalnego ładunku napędowego o niskim stopniu obciążenia środowiska naturalnego, przeznaczonego do gazogeneratora w układzie wykonawczym rakiet i pocisków o zwiększonej szybkości spalania, oraz krótkim

czasie inicjacji i generowanym ciśnieniem roboczym w zakresie 30-40 MPa. Również we wstępie opisano metodę starowania rakiety/pocisku w ostatniej fazie lotu. Polega ona na wykorzystaniu specjalnych ładunków na obwodzie głowicy rakiety/pocisku generujących impuls sterujący lotem w ostatniej fazie, co zwiększa precyzję naprowadzania głowicy bojowej na cel. Od szybkości działania tych układów zależy w dużym stopniu precyzja naprowadzania na cel w ostatniej fazie lotu. Ograniczeniem tej metody jest możliwość tylko jednokrotnego użycia tych generatorów, co przy ograniczonej średnicy głowicy rakiety/pocisku wymusi zastosowanie kilku sekcji generatorów w głowicy. Dużą zaletą jest natomiast prostota budowy, co w zastosowaniach wojskowych ma bardzo duże znaczenie. Ostatnie zdanie określające cel pracy zawiera jednak niefortunne sformułowanie „sterowanie niekierowanych pocisków raketowych”, które raczej powinno brzmieć „zapewnienie aktywnego sterowania pocisków raketowych w ostatniej fazie ich lotu w celu zwiększenia skuteczności ich rażenia”.

4. W obszernym przeglądzie literatury opisano heterogeniczne stałe raketowe materiały pędne, ich spalanie oraz ocenę środowiskową generowanych podczas spalania tych materiałów pędnych. W przeglądzie zawarto odniesienia do literatury światowej, oraz w bardzo dużym stopniu, do badań wykonanych w kraju, co potwierdzone jest obszernym cytowaniem krajowych publikacji, w tym jednej publikacji oraz jednego patentu współautorstwa autorki rozprawy. W przeglądzie literatury oraz w całej pracy jest niestety używane „żargonowe” określenie raketowych materiałów pędnych jako „paliwa raketowe”. W literaturze światowej, ale również w naukowej literaturze polskiej jest używane poprawne określenie „raketowe materiały pędne”. Autorka rozprawy zapewne bardzo dobrze wie, że głównym składnikiem raketowego materiału pędnego nie jest paliwo a utleniacz, którego ilość w raketowym materiale pędnym może dochodzić nawet do 90%. Więc jeśli już korzystać ze skrótów, to raczej utleniacz będzie główny składnikiem, a nie paliwo! W literaturze anglosaskiej jest wyraźnie używana w naukowych publikacjach nazwa „rocket propellants”, które składają się z „fuel” i oxydizer, i z tym autorka miała okazję zapoznać się w cytowanych przez siebie pracach, np. [1], [5], [9-11] i wiele innych prac cytowanych w tej rozprawie, w tym w pierwszym odnośniku do polskiej publikacji z tego zakresu [1]. Tego rodzaju nieścisłości powtarzają się niestety bardzo często w tej pracy, jak chociażby stwierdzenie na stronie 25,

„produkty spalania chloranu(VII) amonu” a powinno być „rozkładu” jak to jest na poprzedniej stronie. W pracy naukowej również obowiązuje stosowanie systemu SI. W równaniu (2.1) impuls właściwy powinien być podawany w systemie SI w m/s a nie jak to jest bardzo często cytowane w anglosaskiej literaturze w „s”, co wynika z uproszczenia, w którym funt siły jest równoważny funtowi masy. Mam jednak nadzieję, że zostaną te błędy poprawione przy publikacji wyników pracy w czasopiśmie naukowym.

5. Rozdział pracy pt. „Badania własne i dyskusja” powinien być podzielony na co najmniej trzy rozdziały: jeden, w którym będą opisane urządzenia i metody badawcze, drugi, w którym opisane będą metody wykorzystane do badań oraz metody stabilizacji fazowej azotanu (V) amonu. W pozostałych podrozdziałach 3.3-3.16 jest praktycznie opisana cała metodyka i badania prowadzące do wyboru odpowiedniego heterogenicznego raketowego materiału pędnego (HRMP), który będzie spełniał warunki określone do spełnienia przez generatory impulsów sterujących. Przed rozpoczęciem doboru HRMP do badań doktorantka przy wykorzystaniu programu ICT-Code obliczyła właściwości termodynamiczne i termochemiczne paliw, w skład których wchodziły oprócz podstawowych składników tj. utleniacza (chloran(VII) amonu), składnika energetycznego (glin), środka utwardzającego (diizocyjanian dimerylu) oraz lepiszcza (HTPB) inne składniki tj. związki neutralizujące i materiały wybuchowe kruszące. Jako bazowy HRMP został wybrany skład w którym rolę utleniacza całkowicie pełnił chloran(VII) amonu, względem którego utleniacz został częściowo zastąpiony wybuchowym materiałem kruszącym (I grupa paliwa) lub częściowo związkiem neutralizującym (azotan(V) sodu, chloran(VII) amonu), które stanowiły grupę II. Na podstawie tych badań wytypowano skład HRMP wchodzącą do serii I. Następnie wytypowano 38 HRMP, podzielone na pięć podgrup, które różniły się składem oraz właściwościami. Każda następna grupa poddana była modyfikacji mającej na celu zwiększenie szybkości spalania czy obniżenie emisji gazów. W wyniku kolejnych modyfikacji została wytypowana grupa dziewięciu składów ŁN, dla których przeprowadzono badania polegające na zmodyfikowaniu sposobu ich otrzymywania poprzez zastosowanie ciśnieniowego formowania ŁN. Jednak dopiero zastosowanie metody prasowania ŁN pozwoliło na uzyskanie zamierzonych efektów. Przeprowadzone badania balistyczne pozwoliły na ostateczny wybór geometrii ŁN, która zapewniała

uzyskanie założonych w celu pracy parametrów. Można więc stwierdzić, że przeprowadzone badania modyfikacyjne pozwoliły na uzyskanie ładunków spełniających wymagania projektu. Według oceny autorki pracy opracowana technologia jest na poziomie TRL 4, co będzie wymagało jeszcze przeprowadzenia badań rozwojowych, mających na celu wdrożenie ich do produkcji i zastosowanie w technice wojskowej. Wydaje się jednak problematyczne wykorzystanie tej metody do celów kosmicznych. Dodatkowo stwierdzenie, że zmniejszenie ilości toksycznych związków w produktach spalania korzystnie wpłynie na środowisko naturalne, ale również będzie bezpieczniejsze dla żołnierzy obsługujących pociski raketowe, jest raczej stwierdzeniem z grupy „czarnego humoru”, gdyż głównym celem takiego sterowania jest bardziej efektywne eliminowanie siły żywej przeciwnika. Dodatkowo należało by porównać emisje ładunków korekcyjnych uruchamianych bezpośrednio przed wybuchem głowicy bojowej na terenie przeciwnika z emisją gazów spowodowanych wybuchem znacznie większego ładunku bojowego. Trudno zresztą, zdaniem recenzenta, rozpatrywać elementy ekologiczne działań bojowych, przy założeniu, że właśnie takie środki mają między innymi, eliminować siłę żywą przeciwnika.

## **6. Podsumowanie i opinia końcowa.**

W pracy przedstawiono obszernie badania doboru optymalnych ładunków HRMP przeznaczonych do zastosowania w końcowym etapie lotu pocisków czy raket do ich efektywnego kierowania na cel przeciwnika. Do wyboru optymalnego ładunku wykorzystano serie badań pięciu różnych grup rodzajów ładunków, które były modyfikowane w celu osiągnięcia założonych w celu pracy parametrów. W pracy został przedstawiony przegląd literatury z tego zakresu, opisane metody badawcze oraz sposoby modyfikacji ładunków/technologii mających na celu osiągnięcie założonego celu. Niedostatkami pracy jest stosowanie żargonowej nomenklatury dotyczącej nazewnictwa raketowych materiałów pędnych, która może być stosowana co najwyżej w publikacjach prasowych a nie w opracowaniach naukowych. Co prawda, możliwe nawet przy takim nazewnictwie jest zrozumienie sensu pracy, ale nie powinno to mieć dużego znaczenia na merytoryczną wartość pracy. To samo dotyczy stosowania w opracowaniach naukowych systemu SI. Mam jednak nadzieję, że te mankamenty zostaną usunięte w publikacji w czasopiśmie naukowym wyników pracy zrealizowanej na podstawie grantu z NCBiR

“Przyszłościowe technologie dla obronności – Konkurs Młodych Naukowców” –  
umowa nr DOB – 2P/03/01/2018.

Reasumując, pragnę stwierdzić, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Pauliny  
Paziewskiej pt. „Ładunki napędowe o zwiększonej szybkości spalania do  
sterowania gazodynamicznego rakiet i pocisków”, spełnia wymogi stawiane pracom  
doktorskim i może być dopuszczona do publicznej obrony.

*Prof. Andrzej Golaniński*