

prof. dr hab. inż. Andrzej Żyłuk
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul.Ks. Bolesława 6
01-494 Warszawa

Warszawa 31.01.2023 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Przemysława BADUROWICZA
**p.t. "ANALIZA NUMERYCZNO-EKSPERYMENTALNA PISTOLETU PW INKA
DZIAŁAJĄCEGO NA ZASADZIE KRÓTKIEGO ODRZUTU LUFY"**

wykonanej
w WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ
pod kierownictwem
płk. dr. hab. inż. Przemysława KUPIDURY

1. Wprowadzenie

Tematyka rozprawy dotyczy jednego z najważniejszych i najbardziej aktualnych problemów rozwoju uzbrojenia strzeleckiego które to uzbrojenie jest ważnym zadaniem osiągnięcia zdolności bojowych nowoczesnych armii. Obecna wojna na Ukrainie i różne konflikty zbrojne doprowadziła do istotnego wzrostu znaczenia pistoletu w systemie uzbrojenia strzeleckiego w wyposażeniu indywidualnym żołnierza. Pistolet z broni przeznaczonej do wykonywania zadań porządkowych stał się równorzędnym środkiem ogniowym, choć zwykle wykorzystywanym w sytuacji braku uzbrojenia podstawowego. Problematyka uzbrojenia strzeleckiego jest zagadnieniem ważnym i złożonym ze względu na rozwiązania techniczne i z punktu widzenia naukowo-badawczego. Wybór tematu rozprawy jest w pełni uzasadniony, a w szczególności opracowanie dwóch modeli numerycznych i ich weryfikacja podczas konstruowania nowego wzoru broni jest ważna i aktualna, z technicznego jak i badawczego punktu widzenia i jest ściśle powiązana z aktualnymi potrzebami Wojska Polskiego.

2. Omówienie treści rozprawy

Recenzowana rozprawa jest przedstawiona na 121 stronach. Składa się z dziewięciu rozdziałów oraz, zawiera 26 tabel i jest zilustrowana przez 76 ilustracji (w tym wykresy, zdjęcia, rysunki). Spis literatury obejmuje 131 pozycji, w tym 55 angielskojęzycznych.

Ze względów metodycznych całość rozprawy można podzielić na:

Część teoretyczną, obejmującą rozdziały 1. 2 i 3 (48 stron), w której Autor przedstawił genezę podjętych badań, rys historyczny przedstawiający stan wiedzy w dziedzinie projektowania i badania broni działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy oraz proces budowy modeli numerycznych nowoopracowywanego pistoletu

W poszczególnych rozdziałach pracy zawarto: wstęp, analizę działania automatyki broni z wykorzystaniem metody układów wieloczłonowych, analizę działania automatyki broni z wykorzystaniem metody elementów skończonych,

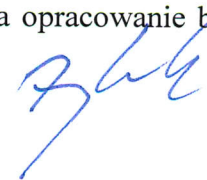
W krótkim wstępie Autor przedstawia istotę działania automatyki broni opartą o krótki odrzut lufy, historię jej rozwoju oraz genezę pracy. Został tu również sformułowany cel główny pracy, jakim jest **„Opracowanie modelu numerycznego działania broni z krótkim odrzutem lufy wykorzystującego metody: układów wieloczłonowych oraz elementów skończonych”**. W rozdziale drugim scharakteryzowano metodę układów wieloczłonowych, opisano założenia i warunki początkowo-brzegowe dla zbudowanego modelu oraz przedyskutowano wyniki badań symulacyjnych. Rozdział trzeci zawiera opis metody elementów skończonych, zbudowanego tą metodą modelu oraz wyniki symulacji w postaci charakterystyk kinematycznych oraz naprężeń występujących w konstrukcji.

Część doświadczalną, obejmującą rozdziały 4, 5, 6, 7, (50 stron), w której Doktorant opisał wyniki badań doświadczalnych i numerycznych oraz analizę parametryczną wpływu szerokiego spektrum charakterystyk konstrukcyjnych na kinematykę broni. W rozdziale czwartym autor opisał użytą metodę badawczą, zastosowane stanowisko laboratoryjne oraz przedstawił i omówił wyniki badań doświadczalnych. Rozdział piąty to walidacja obu modeli numerycznych na podstawie badań eksperymentalnych. W rozdziale szóstym przedstawiono wybrane zagadnienia analizy parametrycznej dla zbudowanego modelu autor ocenił wpływ takich parametrów konstrukcyjnych i balistycznych jak: masa zamka, sztywność sprężyny powrotnej, droga odrzutu lufy, opory kurka, opory przerywacza, opory dosyłania naboju z magazynka do komory nabojoyej, opór wyciągania i wyrzucania łuski, tarcie między częściami, opory przetłaczania pocisku przez lufę oraz ciśnienie gazów prochowych na charakterystyki kinematyczne rozważanego układu. Znajduje się tu również szeroki opis wykonanej przez autora analizy parametrycznej, przeprowadzonej w celu sprawdzenia wpływu charakterystyk konstrukcyjnych na kinematykę broni. W rozdziale siódmym opisano historię opracowania pistoletu PW INKA oraz przedstawiono wyniki dotychczas zrealizowanych jego badań.

Całość pracy kończy podsumowanie, w którym Autor odniósł się do własnych dokonań naukowych formułując wnioski oraz kierunki dalszych badań oraz literatura.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Zakres pracy jest szeroki i oprócz zwyczajowych elementów dotyczących szerokiej analizy obszaru badawczego obejmuje stworzenie modeli pistoletu działającego na zasadzie krótkiego odrzutu lufy metodą układów wieloczłonowych oraz elementów skończonych. Autor połączył obie metody w celu zwiększenia dokładności otrzymywanych wyników jak i skrócenia czasu wykonywania obliczeń. Metoda układów wieloczłonowych pozwala na opracowanie bardzo



szczegółowego modelu broni z uwzględnieniem wpływu praktycznie wszystkich istotnych dla jej działania sił oraz współdziałających części i mechanizmów. Możliwe jest dzięki temu przeprowadzenie obliczeń parametrycznych pozwalających na sprawdzenie poprawności konstrukcji broni jak również jej modyfikację pod względem efektywniejszej współpracy mechanizmów broni. Wyniki obliczeń parametrycznych przeprowadzonych metodą układów wieloczłonowych pokazują jak ważne jest uwzględnienie największej liczby sił działających na elementy broni, jak np.:

- oporu kurka,
- oporu przerywacza,
- oporu dosyłania naboju z magazynka do komory nabokowej,
- oporu wyrzucania łuski i tarcia między częściami,
- oporu przetłaczania pocisku przez lufę.

Dotychczas były one pomijane lub uwzględniane w bardzo uproszczony sposób. Metoda elementów skończonych umożliwia natomiast określenie charakterystyk kinematycznych broni, ale również rozkładu naprężeń występujących w poszczególnych częściach. Zbudowanie dokładnego modelu jest dużo trudniejsze, a same obliczenia znacznie bardziej czasochłonne niż w przypadku metody układów wieloczłonowych. W celu zwiększenia efektywności procesu obliczeniowego siły oddziaływania między częściami, niemożliwe do policzenia metodą elementów skończonych można importować z innego programu, określić eksperymentalnie lub obliczyć analitycznie i uwzględnić jako siły zewnętrzne, co doktorant zrealizował w postaci modelu rozszerzonego. Opracowany model został zwalidowany przy pomocy zbudowanego stanowiska laboratoryjnego. Rozszerzony model numeryczny został wykorzystany do analizy parametrycznej pozwalającej na ocenę działania broni przy zmianie poszczególnych parametrów konstrukcyjnych co pozwala na określenie granic modernizacji konstrukcji oraz adaptacji broni przez użytkownika.

Na szczególne podkreślenie zasługuje wykorzystanie opracowanych modeli podczas projektowania pistoletu PW INKA a o oryginalności zastosowanych rozwiązań świadczą uzyskane dwa patenty krajowe i trzy wzory użytkowe.

4. Uwagi

Uwagi szczegółowe:

1. Słaba czytelność rysunku 3.7. Wprawdzie pełni on tylko funkcję poglądową, ale z uwagi na duży pusty obszar wykresu można było opisać charakterystyczne punkty.
2. Rys. 3.9 można było zastosować filtrowanie przebiegu w celu poprawy czytelności, przebiegi prędkości lufy są zamazane, pokazują jedynie podobieństwo pomiędzy wynikami uzyskanymi z obu modeli.
3. Co autor rozumie pod pojęciem „wystarczające do zastosowań inżynierskich”? (str. 62 i 64 rozprawy). Jaka jest zatem granica „zastosowań inżynierskich”?
4. Brak jednostek w tabeli 7.3.

Wymienione niedociągnięcia nie mają zasadniczego wpływu na wartość merytoryczną rozprawy, pozostałe drobne uwagi przekazałem Doktorantowi.



Do rozważań nad oceną pracy należą następujące zagadnienia:

1. Tab. 3.3, można było umieścić wartości kluczowych parametrów uzyskanych z obliczeń w celu oceny wrażliwości na rozmiar elementów siatki (np. prędkość maksymalna zamka, czas ruchu zamka do zderzaka, czas cyklu itd.). Dlaczego nie zastosowano elementów o większym wymiarze niż wariant bazowy? To znacząco mogłoby skrócić czas obliczeń, przy zachowaniu – być może – podobnej dokładności obliczeń.
2. Można było się pokusić o implementację modelu balistyki wewnętrznej i ocenę wpływu zmian konstrukcyjnych na parametry krzywych balistycznych.
3. Czy autor podjął próbę oceny wpływu rodzaju zastosowanej amunicji (co za tym idzie ciśnienia gazów w przestrzeni zapociskowej) na siłę oddziaływania pocisku z lufą oraz łuski z komorą nabojową?
4. Można było pokusić się o weryfikację analitycznych wyrażeń teoretyczno – eksperymentalnych stosowanych w procesie projektowania broni.
5. Czy badano wrażliwość modeli?

5. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji praca jest ciekawa i nowatorska. Autor wykazał się orientacją w badanej problematyce, potrafił wyodrębnić najistotniejsze problemy badawcze oraz określić sposoby i metody adekwatne do ich rozwiązania.

Podsumowując należy stwierdzić, że Doktorant Pan mgr. inż. Przemysław Badurowicz:

1. Zrealizował postawiony cel pracy oraz uzasadnił słuszność przyjętej tezy.
2. Wykazał, że posiada dobrą znajomość mechaniki, matematyki stosowanej oraz współczesnych technik obliczeń numerycznych.
3. Uzyskał nowe elementy w pracy doktorskiej które mogą być wykorzystane do udoskonalenia metod wyboru broni dla wojska.
4. Wykazał się dobrą znajomością i umiejętnościami zastosowania pojęć z metod oceny i wyboru obiektów technicznych.
5. Wykazał się umiejętnościami samodzielnej pracy naukowo-badawczej i kierowania badaniami naukowymi.
6. Wyniki pracy znalazły zastosowanie w procesie rozwoju konstrukcji pistoletu PW INKA, opracowywanego zgodnie z najnowszymi wymaganiami Sił Zbrojnych RP.

Uważam, że praca doktorska mgr. inż. Przemysława Badurowicza spełnia wymogi obowiązującej ustawy o stopniach i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z dnia 14.03.2003 r.) i w związku z tym stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

