

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

Warszawa 30.10.2018 r.

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Michała TARASZEWSKIEGO  
p.t. " **ANALIZA WPŁYWU INTERAKCJI BRONŃ-STRZELC  
NA CELNOŚĆ BRONI**"

wykonanej

w Politechnice Warszawskiej

pod kierownictwem

Promotora dr. hab. inż. Janusza EWERTOWSKIEGO, prof. PW

### 1. Wprowadzenie

Badania uzbrojenia strzeleckiego są istotną dziedziną mającą na celu wdrożenie nowych rozwiązań broni do uzbrojenia Sił Zbrojnych RP. Kluczowym elementem procesu projektowania jest modelowanie zjawisk balistyki wewnętrznej i zewnętrznej oraz kinematyki zespołów broni, a wyniki badań symulacyjnych stanowią dane wejściowe do projektowania układów broni. Wśród tych zagadnień jednym z najważniejszych jest uzyskanie broni charakteryzującej się możliwie najwyższą celnością. Analiza zachowania się broni w czasie strzału wymaga określenia wszystkich oddziaływujących sił, a szczególnie tych występujących między strzelcem i bronią. Prowadzone do tej pory badania dotyczyły oddziaływania broni na ramię strzelca. W niniejszej pracy podjęto próbę nowego podejścia tzn. analizę interakcji broń-człowiek (B-C). Wyznaczone siły będące wynikiem tej interakcji wpływają w sposób zasadniczy na ruchy broni, a więc jej celność.

Mimo zauważalnych różnic uzyskanych wyników badań teoretycznych i doświadczalnych, zastosowana metoda stanowi kolejny krok w badaniach zjawiska strzału i celności broni. Uwzględnienie rozpoznanych zjawisk pozwoli dopracować model broni oraz rozszerzyć jego możliwości o badania zjawiska strzelania seria.

Opracowywana lub modernizowana broń wpisuje się w obszar obronności i bezpieczeństwa państwa i powinna w przyszłości stanowić podstawowe indywidualne narzędzie walki żołnierza oraz innych formacji odpowiedzialnych za bezpieczeństwo państwa.

1 361

Uważam, że zaplecze naukowo-badawcze przemysłu zbrojeniowego powinno dysponować niezbędnymi narzędziami do prowadzenia prac badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych. Wynikiem tych prac powinny być metody badawcze umożliwiające wdrożenie własnych technologii lub weryfikację systemów importowanych.

Wybór tematu rozprawy jest celowy i w pełni uzasadniony, a tematyka ważna i aktualna z technicznego i badawczego punktu widzenia oraz jest ściśle powiązana z potrzebami Sił Zbrojnych RP.

## 2. Omówienie treści rozprawy

Przedstawiona rozprawa jest kolejną dotyczącą interakcji broń-człowiek (B-C), ze szczególnym uwzględnieniem wpływu człowieka-strzelca na broń. Zaproponowany model matematyczny opisujący ruch broni umożliwi badania w zakresie jej celności bazując na reakcjach, które człowiek wprowadza do układu B-C. Zbieżność wyników badań doświadczalnych i symulacyjnych wskazały na możliwość rozbudowy modelu uwzględniającego strzelanie seriami.

Rozprawa zawiera 138 stron i składa się z sześciu rozdziałów oraz spisu tabel i rysunków, wykazu oznaczeń i trzech załączników. Zawarto w niej 57 wzorów, 89 rysunków przedstawiających schematy obiektów badań, wyniki badań w postaci wykresów oraz 11 tabel. W treści pracy Autor odwołał się do 78 pozycji literaturowych. Jedna z cytowanych publikacji została opracowana z udziałem Autora.

We Wstępie Doktorant przedstawił podstawowy problem rozprawy, którym jest analiza teoretyczno-doświadczalna wzajemnego oddziaływania broni i człowieka (B-C) z ukierunkowaniem na możliwość oceny celności broni. Tak postawiona teza pracy niejako narzuca metodę badań, a więc opracowanie modelu układu B-C, pomiary doświadczalne sił interakcji pomiędzy B-C oraz badania symulacyjne układu i porównanie wyników badań teoretycznych i doświadczalnych.

W rozdziale 2 Autor dokonał przeglądu stanu wiedzy dotyczącej interakcji B-C. Omówił badania Wilniewczyca dotyczącej energii odrzutu swobodnego, Kochańskiego dotyczące odrzutu hamowanego, Ewertowskiego wprowadzającego dwuetapowy charakter oddziaływania broni. Więcej uwagi poświęcił omówieniu modeli reologicznych, w tym badaniom Czepukajtisa oraz Gacka dotyczących wpływu parametrów konstrukcyjnych na charakterystyki balistyczne i kinematyczne broni. Na koniec wskazał nowe kierunki badań jak identyfikację strzału za pomocą weryfikacji dźwięku, światła i ruchu.

W rozdziale 3 Doktorant przedstawił obiekt badań, którym był karabinek AK. Omówił model fizyczny broni oraz jej działanie pod kątem budowy modelu matematycznego. Założył, że badany układ ma pięć stopni swobody: dwa przemieszczenia liniowe środka masy w płaszczyźnie strzału, kąt podrzutu i ucieczki oraz przemieszczenie układu zamka względem korpusu broni.

Model matematyczny układu został opracowany na podstawie równań Lagrange'a II-go rodzaju w przyjętym układzie współrzędnych. Dodatkowo zostały wyprowadzone zależności opisujące m.in.: siły interakcji B-C, równania energii

2  
3  
LH

kinetycznej i potencjalnej, wyrażenie na pracę przygotowaną sił uogólnionych, równania opisujące zmianę położenia środka masy elementów broni itp. Lewe strony równań różniczkowych Lagrange'a II-go rodzaju zostały wyprowadzone za pomocą modułu obliczeń symbolicznych oprogramowania Wolfram Mathematica.

Doświadczalną część rozprawy Autor przedstawił w rozdziale 4. Przedmiotem badań eksperymentalnych były: reakcje więzów, przemieszczenia broni, rozkład ciśnienia w lufie wzdłuż jej długości oraz charakterystyki ruchu układu zamka.

W celu wyznaczenia reakcji więzów oraz przemieszczeń broni karabinek AK został oprzyrządowany w czujniki na trzewiku kolby i rękojeści oraz dwa źródła światła laserowego. W celu wyznaczenia charakterystyk balistyki wewnętrznej i kinematyki układu zamka przygotowano drugie stanowisko badawcze z czujnikami ciśnienia w lufie oraz czujnikiem przemieszczeń. Badania polegały na oddaniu odpowiedniej liczby strzałów oraz rejestracji określonych parametrów. Na zakończenie Autor przeprowadził dyskusję dokładności wyników badań.

W rozdziale 5 Doktorant przedstawił wyniki analizy numerycznej zjawiska strzału z uwzględnieniem interakcji B-C. Do badań symulacyjnych wykorzystano dane i charakterystyki uzyskane z badań doświadczalnych jak:

- dla znanej charakterystyki sprężyny powrotnej wyznaczono parametry ruchu układu zamka oraz zmianę momentów bezwładności broni;
- wzajemne oddziaływanie między pociskiem, a lufą opisano wg podejścia Carlucci'ego i Jacobson'a jako siłę wypadkową będącą superpozycją siły tarcia i oporu w brzdach.

Z kolei Autor omówił model matematyczny zjawiska strzału przygotowany w środowisku Mathematica. Do modelu wprowadzono uzyskane dane doświadczalne, geometryczne, masowe, oraz elementy równań. Do rozwiązania równań różniczkowych zastosowano metodę Runge-Kutta (RK) z automatycznym doбором rzędu metody oraz kroku całkowania i dla porównania również metodę RK czwartego rzędu.

Celem zweryfikowania zgodności opracowanego modelu matematycznego ze zjawiskiem strzału porównano wyniki badań symulacyjnych i doświadczalnych w zakresie przemieszczeń środka masy oraz kąta podrzutu i ucieczki broni.

W Podsumowaniu Doktorant krytycznie ocenił uzyskane rezultaty. Wyraził niedosyt w zakresie zgodności wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych, co tłumaczył technologią pomiarów, których wyniki wprowadzone do modelu mogły wypaczyć obraz zjawiska. Za ważne osiągnięcie w pracy uważa opracowanie metody analizy ruchów broni znajdującej się w interakcji ze strzelcem. Z kolei przedstawiając kierunki dalszych badań sugeruje dopracowanie technologii badań eksperymentalnych w celu uzyskania bardziej wiarygodnych wyników oraz rozwój metody badań umożliwiającej analizę strzałów seryjnych.

### 3. Ocena merytoryczna rozprawy

Na podstawie oceny przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że podjęte w niej trudne i ciekawe zadanie naukowo-badawcze zostało

przez Autora zrealizowane. Rozprawa zawiera oryginalne osiągnięcia poznawcze i praktyczne, a sam Autor wykazał się wysokimi kompetencjami w zakresie prowadzonych analiz teoretycznych i doświadczalnych.

Problematyka rozprawy wpisuje się w badania mające na celu wzrost efektywności bojowej broni. Celem badań było uzyskanie danych do założeń projektowych broni charakteryzującej się możliwie największą celnością. W pracy przeprowadzono analizę teoretyczno-doświadczalną zjawiska strzału, uwzględniając interakcję układu B-C. W wyniku analizy powstał model broni jako układu mechanicznego o pięciu stopniach swobody. Nowym podejściem przy opracowywaniu modelu było rozprzęgnięcie układu B-C zgodnie z zasadą d'Alamberta tzn.: odizolowanie broni od strzelca. Wpływ strzelca na broń został zamodelowany wyznaczonymi doświadczalnie siłami reakcji podczas strzelania. Opracowana metoda badań pokazuje ścisły związek eksperymentu z badaniami teoretycznymi. Badania eksperymentalne były z jednej strony źródłem danych wejściowych do modelu, a z drugiej weryfikują opracowany model.

Uważam, że zakres wykonanych przez Autora analiz, jest wystarczający dla uzasadnienia postawionego celu pracy. Temat pracy ściśle odpowiada zawartej w niej treści. Proporcje tematyczne zamieszczone w kolejnych rozdziałach, stanowią logiczną całość.

W zakresie merytorycznej oceny rozprawy, można uznać, że cel pracy został osiągnięty, a założony zakres pracy został zrealizowany.

#### ***Uwagi szczegółowe:***

##### 1. Uwagi ogólne:

- Autor konsekwentnie używa pojęcie „środek ciężkości”, a tymczasem od szeregu lat używane jest pojęcie „środek masy”, Dlaczego?

##### 2. Uwagi redakcyjne:

- Numerowanie rysunków i tabel – ciągłe, nie związane z rozdziałami, utrudnia analizę omawianych problemów w pracy;
- Numerowanie wzorów – ogólny bałagan: w rozdziale 1 i 2 brak numerów; w rozdziale 3 numery 1.1 do 1.31; w załączniku A kontynuacja numeracji z rozdziału 3 (1.32 do 1.50);
- Rys.75 do 80 (str.104 do 105) – podpisy, to nie są rysunki.

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

#### **4. Podsumowanie**

Recenzjowana rozprawa opisuje metodę badań interakcji układu B-C w procesie strzelania. Opracowany model umożliwił analizę ruchów broni oraz co jest oczywiste ocenę jej celności. Model broni był walidowany strzelaniami. Wyniki badań mogą być wykorzystane do opracowania założeń konstrukcyjnych polepszających parametry techniczne i taktyczne broni.

Podsumowując należy stwierdzić, że Doktorant mgr inż. Michał TARASZEWSKI:

- rozwiązał postawione zadanie przy pomocy właściwych metod;
- zrealizował cel pracy oraz uzasadnił słuszność przyjętej metody rozwiązania problemu;
- wykazał, że posiada dobrą znajomość balistyki oraz współczesnych technik obliczeń numerycznych,
- uzyskał nowe elementy w pracy doktorskiej które mogą być wykorzystane do prac w zakresie opracowania założeń projektowych na urządzenie techniczne;
- wykazał się umiejętnościami samodzielnej pracy naukowo-badawczej i kierowania badaniami naukowymi.

Za najważniejsze i oryginalne osiągnięcie rozprawy z punktu widzenia poznawczego i praktycznego uważam opracowanie metody analizy ruchów broni z uwzględnieniem interakcji w układzie B-C pod kątem oceny jej celności i w konsekwencji oceniam rozprawę doktorską mgr inż. Michała TARASZEWSKIEGO pozytywnie.

## 5. Wniosek końcowy

Przedstawiam Szanownej Radzie Naukowej Wydziału Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej wniosek o dopuszczenie Pana mgr inż. Michała TARASZEWSKIEGO, do publicznej obrony i przyjęcia ww. pracy, jako podstawy do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Reasumując uważam, że praca doktorska mgr inż. Michała TARASZEWSKIEGO pt.: "Analiza wpływu interakcji broń-strzelec na celność broni" spełnia warunki określone w art. 13 ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z dnia 14.03.2003r).

