dr hab. inż. Krzysztof Jamroziak, prof. uczelni
Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej
i Biomedycznej
Politechnika Wrocławska,
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław 18.04.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Damian Szupieńko

pod tytułem

Teoretyczne i doświadczalne badania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „*Inżynieria Mechaniczna*" z Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 22 lutego 2024 r., do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Ryszard Woźniak, prof. WAT a promotorem pomocniczym płk dr inż. Mirosław Zahor.

2. Ocena podjętej tematyki i założonego celu rozprawy

Rozprawa doktorska odnosi się do teoretycznych i doświadczalnych badań automatycznej broni palnej działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy z przyspieszaczem krzywkowo-dźwigniowym. Temat rozprawy doktorskiej stanowi istotę prowadzonych prac badawczych z obszaru bezpieczeństwa i obronności państwa. Jej zakres wpisuje się w program Ministerstwa Obrony Narodowej zawartym w dokumencie pt. „Priorytetowe kierunki badań naukowych w resorcie obrony narodowej w latach 2021–2035" w obszar 8 (Technologie materiałowe i wytwarzania) w podrozdział 2.2 (Technologia produkcji broni strzeleckiej o dużej intensywności

ognia). Tematyka ta jest obecnie jak najbardziej zasadna z różnych względów (sytuacja międzynarodowa), ale przede wszystkim stanowi rozwój krajowego zaplecza prowadzonych prac rozwojowych w zakresie wdrażania elementów modułowego systemu broni strzeleckiej oraz zdalnie sterowanych modułów uzbrojenia, jako współczesnego trendu w modernizacji, unifikacji i niezawodności wyrobu z przeznaczeniem wojskowym. Obecnie wiele światowych konstrukcji uzbrojenia opartej jest na zasadzie odrzutu lufy. Należy zaznaczyć, że tendencje rozwojowe automatycznej broni palnej zmierzają w kierunku jej żywotności i wprowadzania amunicji uniwersalnej (amunicji programowalnej np. typu ABM – ang. Air Bursting Munition) a to ma istotny wpływ również na kinematykę elementów zespołu odrzucanego automatyki broni (m.in. przemieszczeń i prędkości elementów zespołu zamka czy zespołu lufy).

Wobec tym wyzwaniom jest opracowanie naukowe Doktoranta odnoszące się do opracowania metodyki identyfikacji niezawodnego działania broni palnej działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy z przyspieszaczem krzywkowo-dźwigniowym. Zasadniczym celem, jaki przyjął Doktorant było zbudowanie określonego modelu opisującego zjawisko procesu dania strzału podczas jednego cyklu pracy układu odrzucanego (systemu zamka i systemu lufy), aby uzmysłowić głębszą istotę zjawisk fizycznych i wpływ czynników zewnętrznych na te zjawiska (np. amunicja z różnych partii). Przyjęta określona identyfikacja zbudowanego modelu polegała na rozwiązaniu wielu problemów badawczych wynikających z zadeklarowania zasadniczych etapów położenia mechanizmów zamka i lufy oraz mechanizmów dodatkowych podczas pojedynczego strzału i problemów wynikających z balistyki wewnętrznej. Aby „rozwiać" zadeklarowane problemy badawcze Autor dysertacji zbudował model fizyczny w postaci schematu działania automatyki broni, w którym wyodrębnił 6 etapów położenia kinematycznego sił działających na analizowany układ. Po czym na bazie modelu fizycznego wprowadził model matematyczny opisujący równaniami różniczkowymi położenie zespołów automatyki broni. W zakresie rozwiązania głównego problemu balistyki wewnętrznej (GPBW) przyjął określony model matematyczny, w którym założył wiele ograniczeń, co pozwoliło Doktorantowi na wyznaczenie zasadniczych parametrów niezbędnych do opisu matematycznego funkcjonowania automatyki broni. Zakres celu pracy, jakim było opracowanie i zwalidowanie modelu matematycznego opisującego pracę automatyki broni działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy z przyspieszaczem krzywkowo-dźwigniowym został osiągnięty przez niekolizyjne rozwiązanie przyjętych osiem zasadniczych zadań badawczych, a ich odzwierciedleniem jest układ rękopisu rozprawy doktorskiej.

Opiniowany rękopis pracy doktorskiej jest opracowaniem naukowy,

odpowiadającym tematowi określonego w tytule oraz spełniającym wymagania art. 187.2 Ustawy. Uważam, że cel pracy został sformułowany poprawnie i ma charakter twórczy. Dysertacja wpisuje się w zakres dyscypliny naukowej „ Inżynieria mechanika" o dużych walorach utylitarno-poznawczych z ukierunkowaniem na modelowanie matematyczne procesów projektowania i konstruowania nowych wzorów uzbrojenia wykorzystującego tą zasadę, szczególnie na etapie jego wstępnego projektowania. Spostrzeżenia zawarte w pracy doktorskiej powinny stanowić wytyczne i wskazówki dla kadry inżynierskiej zajmującej się projektowaniem nowych wzorów uzbrojenia w zakresie opracowywania wielkokalibrowych karabinów maszynowych lub/i wyborowych, czy też granatników automatycznych i armat pokładowych małokalibrowych wozów bojowych (KTO, BWP).

3. Zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Szupieńko została napisana na 139. stronach, wliczając w to spis bibliografii, w którym zamieszczono 81 pozycji, oraz załącznik. Redakcja została wykonana w języku polskim i ujęta została wstępem, w ośmiu rozdziałach i podsumowaniu. Układ tekstu rozprawy doktorskiej został podzielony na logiczne i przejrzyste rozdziały.

W *rozdziale pierwszym* Doktorant skoncentrował uwagę na analizie stanu techniki w dziedzinie automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy. Analiza ta obejmowała badania zarówno stanu wiedzy w dziedzinie modelowania pracy broni działającej na tej zasadzie, jak i w obszarze rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych we współczesnej broni palnej z odrzutem lufy. Autor precyzyjnie przeanalizował wybrane konstrukcje broni z podziałem na krótki odrzut lufy i długi odrzut lufy. Zebrany materiał zestawił w postaci tabelarycznej (Tabela 1) na podstawie, której czytelnik szybko jest w stanie się rozeznać w problematyce. Zebrane wnioski z analizy stanu techniki niniejszej dysertacji Doktorant przedstawił w formie 2. postulatów odnoszących się do stosowania mechanizmów dodatkowych takich jak: przyspieszacz krzywkowo-dźwigniowy, czy mechanizm wzmacniacza odrzutu itp., oraz proponowanego modelu uzbrojenia, opartego na 12,7 mm wielkokalibrowym karabinie maszynowym M2HB, jako konstrukcji stanowiącej „bazę" w rozważaniach nad optymalizacją i niezawodnością automatyki broni w nowopowstających konstrukcjach opartych o zasadę odrzutu lufy.

Drugi rozdział Autor poświęcił na zaprezentowanie modelu fizycznego zapewniającego automatykę broni opartej na zasadzie odrzutu lufy z wykorzystaniem konstrukcji 12,7 mm wielkokalibrowego karabinu maszynowego M2HB. W ten sposób zobrazował zjawisko fizyczne występujące podczas dania pojedynczego strzału, przedstawiając te założenia w 6. etapach modelowania. Następnie przechodząc do

sformalizowanego pod względem matematycznym opisu procesu dania pojedynczego strzału opartego na założeniach modelu fizycznego Doktorant przeszedł do modelowania matematycznego. Na tej podstawie wyprowadził różniczkowe równania przyjętych etapów procesu dania strzału, w wyniku, czego otrzymał rozwiązania efektywne np.: możliwość wyznaczenia zależności prędkości ruchu elementów zespołu odrzucanego (v) od czasu (t) w trakcie cyklu pracy układu automatyki broni.

W kolejnym *rozdziale trzecim* Doktorant skoncentrował uwagę na matematycznym modelowaniu termodynamicznym właściwości balistyki wewnętrznej w oparciu o założenia STANAG 4367. Przyjmując ograniczenia w proponowanym modelu wprowadził kilka istotnych modyfikacji, np.: wykorzystanie fizycznego prawa spalania z eksperymentalną funkcją kształtu, czy współpracy pocisku z lufą w trakcie rozcalania naboju i w trakcie ruchu w lufie oraz wymianę ciepła między mieszaniną gazowo-prochową a ścianką wewnętrzną lufy. W związku z rozbudowanymi równaniami różniczkowymi Autor dysertacji zaproponował w środowisku MATLAB algorytm obliczeniowy do rozwiązania równań opisujących PGBW i wyznaczania charakterystyk kinematycznych zasadniczych elementów układu automatyki broni. W ten sposób po wprowadzeniu warunków początkowo-brzegowych uzyskał wiele charakterystyk np.: ciśnienia średniego mieszaniny gazowo-prochowej w przestrzeni zapociskowej, ciśnienia mieszaniny gazowo-prochowej w komorze nabojowej, czy przemieszczenia pocisku w lufie lub prędkości ruchu zespołu lufy i zamka.

W *rozdziale czwartym* Autor zaprezentował wyniki badań eksperymentalnych materiału miotającego (prochu), stosowanego w amunicji wielkokalibrowej 12,7×99 mm FMJ (ang. Full Metal Jacket – pocisk pełnopłaszczowy) z pociskiem M33. Jest to popularny nabój zwykły oferowany przez wielu producentów amunicji. Zakres tych badań Doktorant ograniczył do dwóch partii tj. amunicji z 2009 i 2021 roku. W ten sposób na podstawie badań pirostatycznych prochu określił wartości siły (F) potrzebnej do rozcalenia nabojów, naważki prochu (C), masy pocisków (m_p), charakterystyki ciśnienia w funkcji czasu oraz niezbędne charakterystyki siły prochu (f) i kowolumen (η) celem rozwiązania PGBW. Zawarte wykresy fazowe w tym rozdziale odnośnie żywości dynamicznej i prędkości spalania dały ogólny pogląd o rozrzutach uzyskanych wyników względem analizowanych partii badanej amunicji. Wnioski wypływające z tego rozdziału dowodzą o jakościowym wzroście produktu finalnego związanego z poziomem „kultury technicznej" i inżynierii materiałowej. Dodatkowo zidentyfikowanie różnic charakterystyk prochów pozwoliło określić skalę tolerancji w zakresie prac projektowo-konstrukcyjnych nowo projektowanych konstrukcji broni palnej w funkcji jej niezawodności.

Rozdział piąty Doktorant poświęcił na badania eksperymentalne ciśnienia generowanego przez spłonki amunicji wielkokalibrowej 12,7×99 mm FMJ z poc. M33 pod kątem określenia ciśnienia zapłonu, przyjmowanego w obliczeniach balistycznych.

W tym celu zaprojektował i opracował oryginalne stanowisko badawcze, w którym był w stanie dokonać niezbędnych pomiarów szacowania wartości ciśnienia zapłonu. Zakres tych prac przeprowadził na łuskach i spłonkach rodzimej produkcji stosując wypełnienie komory łuski masą zastępczą w postaci tulei lub materiału inercyjnego w postaci szklanych kulek o średnicy 2 i 4 mm. Uzyskane wykresy fazowe pozwoliły Autorowi pracy na zdefiniowanie ciśnień wytwarzanych przez spłonki, które korelowały z wynikami innych badaczy. Autor zauważył także, że założenia modelu termodynamicznego, a wyniki eksperymentalne przebiegów $p(t)$ badanych spłonek z przebiegami ciśnienia uzyskanymi w łusce podczas wystrzału nie były zbieżne ze sobą, co postanowił wyjaśnić w ostatnim rozdziale po badaniach weryfikacyjnych.

W *rozdziale szóstym* Autor pracy przeprowadził badania balistyczne charakterystyk przebiegów ciśnienia gazów prochowych (p) w przestrzeni zapociskowej oraz prędkości początkowej pocisku w odległości 5 m od wylotu lufy (v_5). Zakres tych prac zrealizował w oparciu o profesjonalne stanowisko do testowania amunicji z wykorzystaniem luf ciśnieniowych w standardzie EPVAT (ang. Electronic Pressure, Velocity and Action Time – NATO standard testowania amunicji z wykorzystaniem elektronicznego pomiaru ciśnienia i prędkości oraz czasu pomiędzy impulsem wystrzału a opuszczeniem pocisku z lufy) oraz luf ciśnieniowych w standardzie C.I.P. (ang. Commision Internationale Permanente pour les épreuves des armes a feu portatives – Międzynarodowa Stała Komisja ds. testowania broni palnej i amunicji do użytku cywilnego) na amunicji produkcji krajowej z 2009 i 2021 roku. Wnioski wypływające z badań, jakie uzyskał Autor pomimo różnic w naważkach prochowych (C), masach pocisku (m_p) i zarejestrowanych maksymalnych wartości ciśnienia gazów prochowych (p) sprowadzają się do następujących stwierdzeń: pociski z obu partii amunicji uzyskały zbliżone wartości prędkości wylotowych (v_5), proces zapłonu ładunku prochowego w łusce w amunicji strzeleckiej „dużego" kalibru wykazywał niewielki wpływ na cały proces wystrzału, różnice wartości maksymalnych ciśnień zarejestrowanych przy badaniu 2. partii amunicji spowodowane były różnymi wartościami parametrów prochu określonych w badaniach pirostatycznych.

W przedostatnim *siódmym rozdziale* Doktorant przeprowadził badania eksperymentalne na dwóch partiach amunicji krajowej celem określenia charakterystyk kinematycznych układu automatyki broni z odrzutem lufy na testowym egzemplarzu 12,7 mm wielkokalibrowego karabinu maszynowego Browning M2HB zgodnie z przyjętym modelem fizycznym (por. rozdz. 2). W tym zakresie wykorzystał metody optyczne do identyfikacji pełnego cyklu pracy zespołu zamka i lufy podczas pojedynczego strzału oraz pomiaru prędkości wylotowych pocisków na odległości 5 m od wylotu lufy. Uzyskane wyniki zostały zobrazowane w postaci graficznej dla przebiegów przemieszczenia zespołu lufy i zespołu zamka w funkcji czasu $x(t)$ oraz przebiegów wartości prędkości w funkcji czasu $v(t)$ dla 6. etapów kinematyki zespołu

odrzucanego w procesie jednego cyklu pojedynczego strzału. Wartości prędkości wylotowe pocisków (v_5) zostały zestawione w postaci tabelarycznych. Autor stwierdził, że wyznaczone na podstawie wyników badań przebiegi prędkości ruchu elementów zespołu odrzucanego w funkcji czasu wykazały poprawność przyjętego modelu matematycznego działania układu automatyki z krótkim odrzutem lufy z przyspieszaczem pod kątem wydzielenia poszczególnych okresów charakterystycznych w cyklu pracy układu. Badany układ pracował poprawnie, a różnice występujące w czasie trwania pełnego cyklu wystrzału spowodowane charakterystyką amunicji nie wpływały znacząco na funkcjonowanie automatyki broni.

W ostatnim *ósmym rozdziale* Doktorant przeprowadził badania walidacyjne zaproponowanego modelu matematycznego balistyki wewnętrznej i modelu matematycznego układu automatyki broni. Dodatkowo model działania automatyki broni zweryfikował z wykorzystaniem metody układów wieloczłonowych (MUW). Walidacja modelu opisującego balistykę wewnętrzną oparta została na identyfikacji funkcji kształtu prochu amunicji testowej. Wyznaczona w ten sposób funkcja pozwoliła na bardzo dobre odwzorowanie eksperymentalnych wartości prędkości wylotowej pocisku, przebiegów ciśnienia w przestrzeni zapociskowej oraz chwili wylotu pocisku z lufy. Walidację modelu matematycznego kinematyki elementów zespołu odrzucanego automatyki broni Doktorant przeprowadził implementując dane modelu do autorskiego programu obliczeniowego. Wyznaczone w ten sposób charakterystyki prędkości ruchu elementów broni w czasie porównał z przebiegami prędkości uzyskanymi na drodze eksperymentu. W wyniku obliczeń uzyskał odpowiednią zgodność w ujęciu jakościowym z eksperymentem a w ujęciu ilościowym dokonał korekty w zakresie współczynników tarcia między poszczególnymi elementami układu, w szczególności w mechanizmie przyspieszacza celem uzyskania wymagającej zgodności wyników. Zgodność ta została dodatkowo zweryfikowana badaniami symulacyjnymi z wykorzystaniem MUW. Ostatecznie uzyskane wyniki w obliczeniach analitycznych i eksperymentalnych w ujęciu ilościowym i jakościowym korespondowały z wynikami badań symulacyjnych. W ten sposób Doktorant potwierdził poprawność funkcjonowania autorskiego modelu matematycznego opisującego działanie automatycznej broni palnej z krótkim odrzutem lufy z przyspieszaczem dźwigniowo-krzywkowym.

4. Ocena merytoryczna i uwagi

Strona merytoryczna układu pracy została zredagowana prawidłowo. Zaprezentowane badania przez mgra inż. Damiana Szupieńko cechują się ogromem nakładu pracy. Zasadniczą wartością pracy są badania eksperymentalne, które

stanowiły podstawę do walidacji przeprowadzonych analiz zaproponowanego modelu matematycznego opisującego automatykę broni strzeleckiej z krótkim odrzutem lufy z przyspieszaczem krzywkowo-dźwigniowym. Bardzo cennym z punktu poznawczego, jak i aplikacyjności badań jest pragmatyczne podejście Doktoranta do opracowania modelu matematycznego. Należy podkreślić przemyślane podejście Autora – W jaki sposób „ugryźć" problem opracowania modelu matematycznego analizowanego zjawiska fizycznego? Zostało to rozwiązane wzorowo. Autor po wyczerpujących analizach modelu fizycznego podzielonego na fazy dania strzału i pracy elementów oraz układów zapewniających automatykę broni doskonale przełożył działanie sił na opis matematyczny w wyniku, czego otrzymał równania ruchu, które należało zidentyfikować w odpowiedni sposób i określić ich charakterystyki. Tutaj także potrzebował niezbędne parametry wynikające z problemów balistyki wewnętrznej. Na bazie modelu termodynamicznego zalecanego przez dokumenty normatywne STANAG 4367 przeprowadził obszerną analizę konkretnych parametrów modelu dochodząc do wniosku, że model ten wymaga korekty. Zastosowana korekta przez autora oraz opracowana autorska metodyka z wykorzystaniem oprogramowania MATLAB przyczyniła się do wygenerowania określonych parametrów z obszaru PGBW, które były niezbędne do identyfikacji parametrów modelu matematycznego opisujące zasadę działania automatyki broni z odrzutem lufy.

Jak wykazał Doktorant opracowany i zwalidowany model matematyczny procesu zapewnienia automatyki broni podczas strzelań prowadzi do następujących wniosków:

- wyniki modelowania potwierdziły poprawność przyjętej metodyki budowy adekwatnego matematycznego modelu działania automatycznej broni palnej z odrzutem lufy,
- zmodyfikowany model balistyki wewnętrznej wg STANAG 4367 w połączeniu z opracowaną metodą określania efektywnej funkcji kształtu prochu pozwala na odwzorowanie uzyskanych eksperymentalnie przebiegów ciśnienia gazów prochowych w przestrzeni zapociskowej z odpowiednią dokładnością dla modelowania ruchu elementów układu automatyki broni,
- opracowany model matematyczny działania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy z przyspieszaczem w połączeniu z przyjętym modelem balistyki wewnętrznej i metodą identyfikacji funkcji kształtu pozwala na bardzo dobre odwzorowanie jakościowe eksperymentalnych przebiegów prędkości ruchu elementów badanego układu automatyki, odwzorowanie ilościowe wymaga korekty w doborze współczynników tarcia, zwłaszcza w mechanizmie przyspieszacza,
- badany układ automatyki broni jest wrażliwy na różnice w wartościach impulsu ciśnienia generowanego w trakcie procesu strzału, co zauważono przy wykorzystaniu w badaniach doświadczalnych dwóch partii amunicji cechujących

się zbliżonymi wartościami osiąganej przez pocisk prędkości wylotowej, lecz innymi wartościami maksymalnego ciśnienia gazów prochowych,

- pewne rozbieżności między wartościami ciśnienia gazów prochowych uzyskanymi eksperymentalnie i oszacowanych zauważalne w początkowym okresie wystrzału świadczą o zbytnim uproszczeniu wybranych elementów z PGBW, niemniej nie wpływają znacząco na pracę układu automatyki i na cały proces wystrzału w przypadku badanego układu.

Zaprezentowana metodyka badawcza pozwoliła Autorowi na zrealizowanie celu głównego rozprawy oraz istotnych osiągnięć, do których należy zaliczyć:

1) Istotny dobór tematu i kierunek badań, którego potrzeba została wygenerowana przez czynniki zewnętrzne wpływające na zainteresowania Doktoranta.
2) Opracowanie autorskiego oryginalnego modelu matematycznego działania automatycznej broni palnej z krótkim odrzutem lufy z przyspieszaczem dźwigniowo-krzywkowym.
3) Opracowanie i zbudowanie oryginalnych stanowisk badawczych do przeprowadzenia badań pirostatycznych materiałów miotających, badania spłonek wraz systemem akwizycji obrazu spalania materiału inicjującego.
4) Dostosowaniem stanowisk badawczych do potrzeb badań balistycznych amunicji w oparciu o specjalistyczną aparaturę pomiarową ciśnień wewnątrz luf oraz identyfikację działania automatyki broni na modelowym stanowisku wyposażonym z 12,7 mm wielkokalibrowy karabin maszynowy Browning M2HB z rejestracją cyfrową obrazu.
5) Opracowanie modelu kinematycznego kluczowych elementów układu automatyki broni działającej na zasadzie krótkiego odrzutu z przyspieszaczem krzywkowo-dźwigniowym z wykorzystaniem MUW i jego analiza w środowisku MSC Adams.
6) Walidacja wyników analitycznych z wynikami uzyskanymi eksperymentalnie celem oceny opracowanego modelu matematycznego działania automatycznej broni palnej z krótkim odrzutem lufy z przyspieszaczem dźwigniowo-krzywkowym w ujęciu jakościowym i ilościowym.
7) Rzeczowa i merytoryczna identyfikacja parametryczna istotnych zespołów broni na określone charakterystyki kinematyczne celem oceny niezaburzonego procesu automatyki broni oraz parametrów modelu balistyki wewnętrznej ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji eksperymentalnej funkcji kształtu prochu.
8) Umiejętne posługiwanie się przez Doktoranta nowoczesnymi narzędziami do modelowania metodą układów wieloczłonowych w zagadnieniach projektowania i konstrukcji uzbrojenia strzeleckiego oraz aparaturą badawczą.
9) Bogaty dobór rysunków i zestawień uzyskanych wyników w postaci odpowiednich wykresów i tabel.

10) Aplikacyjność uzyskanych wyników pracy w odniesieniu do potrzeby opracowania nowych wzorów uzbrojenia z obszaru broni ręcznej i armat pokładowych małokalibrowych wozów bojowych.

Opisane w rozprawie doktorskiej oryginalne badania naukowe, wskazują na właściwą znajomość przez Autora problematyki związanej z zagadnieniami projektowania i konstrukcji broni palnej. Przedstawiony teren i obszar badań jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na możliwość wykorzystania rezultatów pracy w praktyce. Obszerność opracowania naukowego świadczy o dużej dojrzałości naukowej Autora, jego samodzielności w generowaniu problemu i celu naukowego oraz rozwiązywaniu w sposób logiczny i kompleksowy, aż do wyciągania konstruktywnych wniosków z proponowaniem określonego rozwiązania.

Po zapoznaniu się z treścią dysertacji przedłożonej do recenzji, należy zwrócić uwagę na wątpliwości i kwestie dyskusyjne, do których Autor powinien się ustosunkować:

1) Autor już we stępie na s. 12 odnosi się do problemu modelowania, gdzie dokładnie to zagadnienie rozwija w drugim rozdziale. W tym zakresie Recenzent stwierdza pewien niedosyt w stosowaniu pojęć model fizyczny, model matematyczny. Czy zdaniem Autora waga tych pojęć ma określone znaczenie?
2) Doktorant w weryfikacji matematycznego modelu balistyki wewnętrznej rozwiązując PGPW posłużył się 2. partiami amunicji rodzimej produkcji. Różnice były znaczące. Brak było informacji, co do certyfikacji tej amunicji zgodnie ze standardem NATO. Czy zasadnym byłoby rozpatrzyć amunicję od innego producenta?
3) Na s. 64 Autor rozprawy analizuje naważki prochu z obu partii nabojów. Sugeruje, że składy chemiczne tych naważek mogą się różnic. Zasadnym było przeprowadzenie analizy składu chemicznego. Jednak pominięto ten zakres badań. Czy sugerowano się, że proch w obu partiach amunicji był o oznaczeniu NC1214, czy rozrzuty wyników mieściły się w zakresie błędu akceptowalnego?
4) Recenzent nie bardzo rozumie opisu wartości ciśnienia po czasie według zależności (50) ponieważ Autor dalej dodaje, że (...) uzyskane eksperymentalnie powinny zostać wygładzone (s. 65). Czy tutaj nie zastosowano skrótu myślowego?
5) Autor zgodnie z (56) prezentuje postać matematyczną teoretycznej funkcji kształtu (s. 69). Równanie to, jak sam Autor przyznaje jest trzeciego stopnia, więc postać graficzna powinna także być krzywą a nie linią prostą. Należy to wyjaśnić, ponieważ Autor przemilczał identyfikację współczynników a_1, a_2 i a_3.
6) W podrozdziale 8.2 Doktorant zaprezentował wyniki przebiegu prędkości ruchu elementów zespołu odrzucanego podczas pełnego cyklu pojedynczego strzału. W tym zakresie Doktorant uwzględniał siły tarcia tego układu. W obliczeniach

przyjął współczynnik tarcia na poziomie 0,1 posiłkując się danymi z literatury. Po zweryfikowaniu tego współczynnika założył go na poziomie 0,2. Natomiast w podsumowaniu pracy we wniosku nr 4 ostrożnie podchodzi do oceny ilościowej zgodności funkcjonowania badanego układu automatyki. Gdzie Autor upatruje rozbieżności, a może należało dokonać szczegółowej iteracji oceny współczynnika tarcia dla określonych par kinematycznych? Czy może stanowisko testowe było niedostatecznie przygotowane?

5. Ocena redakcyjna

Praca zredagowana jest poprawnie w sposób zrozumiały z właściwą systematyką rozwiązywanych zagadnień. Większość fragmentów pracy pod względem stylistycznym napisana jest w sposób wzorowy, niektóre jej fragmenty charakteryzują się hermetycznym językiem. Ponadto w tekście Autor rozgranicza podpis pod rysunkami, jako Rys. lub Fot. Nie jest to błędem niemniej przyjęte jest w nomenklaturze redagowania prac naukowych stosowanie Rys. (rysunek) lub Ryc. (Rycina). W takim przypadku należy stosować tylko jeden styl konsekwentnie opisu. Niemniej Autor opracowania w tekście stosuje również fotografie, więc wówczas zalecanym nazewnictwem powinna być Rycina. Brak konsekwencji stosowania w zapisie ułamka zwykłego. Praca zawiera w swej kompozycji sporą ilość wykresów, zwłaszcza w rozdziale ósmym, gdzie kontrasty kolorów charakterystyk analizowanych parametrów są mało czytelne. Zaleceniem byłoby np. zrobić w tle tzw. powiększeń tych obszarów wykresu, gdzie Autor odnosi się do określonych punktów przebiegu krzywej (np. Rys. 49).

Drobne uwagi i błędy redakcyjne zostały zaznaczone w tekście pracy i przekazane Autorowi, natomiast uwagi dyskusyjne zostały przytoczone poniżej:

1) Zapis równania (5) nie koresponduje z układem sił na Rys. 11. Siła F_{BF} w równaniu powinna mieć znak minus.
2) Zapis dla równań (62-64) raczej jest błędem edytorskim (s. 94). Powinno być wyznaczenie współczynników z równania (60) według zależności.
3) Strona 95 wiersz 7. od dołu Autor opisuje sposób identyfikacji funkcji kształtu. Czy nie zasadnym byłoby tą procedurę przedstawić w postaci schematu blokowego?
4) W niektórych fragmentach tekstu Autor stosuje wyraz „przypuszcza" (wiersz 3. od dołu np. s. 109-110). Jeśli brak pewności zrozumiałym byłoby podać ograniczenia w zakresie identyfikacji określonego parametru, co ucina dyskusję.
5) Recenzent akcentuje, że w najważniejszym rozdziale (8 rozdział pracy) wskazane byłoby wprowadzić krótkie podsumowanie dla każdego podrozdziału.

W obecnej postaci zredagowane wyniki walidacji modelu matematycznego zostały zaprezentowane w formie graficznej i danych tabelarycznych z ubogą dyskusją.

6. Ocena końcowa

W końcowej ocenie wartości poznawczej i aplikacyjnej recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Damiana Szupieńko pt. *Teoretyczne i doświadczalne badania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy* uważam, że jej treść doskonale prezentuje czynności związane z procesem projektowo konstrukcyjnym nowoopracowywanych wzorów uzbrojenia. Doktorant w bardzo zwartej formie zaprezentował definiowanie modelu fizycznego procesu dania strzału automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy z przyspieszaczem krzywkowo-dźwigniowym. Na tej podstawie zaprezentował matematyczne podejście do opisu zjawisk fizycznych w zakresie działania automatyki broni i w zakresie balistyki wewnętrznej, której charakterystyka jest nieodzownym elementem niezawodności funkcjonowania zespołów broni. Autor zaprezentował obszerny materiał z analiz modelu matematycznego i jego walidacji „bogatymi" badaniami eksperymentalnymi w zakresie właściwej oceny zaproponowanego autorskiego modelu matematycznego, jako bazę pomocną w procesie projektowania i konstruowania nowych wzorów broni palnej działających na tej zasadzie. To pozwoli w przyszłości na skrócenie całkowitego czasu projektowania z uwagi na możliwość badania wpływu zmian parametrów konstrukcyjnych broni na jej działanie, bez potrzeby wykonywania zbędnych modeli badawczych.

Doktorant wykazał się umiejętnością właściwego doboru materiału, metod i narzędzi badawczych, oraz umiejętnością krytycznej analizy i dyskusji uzyskanych wyników. Mimo drobnych potknięć zawartych w ocenie redakcyjnej, które mają jedynie charakter korektorski oraz pewnych uwag w ocenie merytorycznej stanowiących podstawę do dyskusji na obronie, nie pomniejsza to mojej bardzo wysokiej oceny osiągnięć Autora opracowania.

Reasumując Doktorant udowodnił swoją dojrzałość naukową i jako młody naukowiec jest w stanie podjąć się wyzwań, które według mojej opinii będą kończyć się sukcesami.

Pragnę też zaakcentować, że zgodnie z Regulaminem wyróżniania rozpraw doktorskich na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Wojskowej Akademii Technicznej wnioskuję o jej wyróżnienie. Uzasadnieniem mojego postulatu jest przede wszystkim istotny wkład Doktoranta w przeprowadzenie oryginalnych badań teoretyczno-doświadczalnych w zakresie zapewnienia automatyki broni palnej działającej na

zasadzie krótkiego odrzutu lufy z przyspieszaczem krzywkowo-dźwigniowym. Zasadniczym argumentem są zawarte wyniki badań w rozdziałach 5-8. Doktorant dokonując analiz parametrów modelu matematycznego wykazał się bardzo dobrym przygotowaniem aparatu matematycznego, a zaprezentowana forma opracowania naukowego jest na bardzo wysokim poziomie merytorycznym. Podkreślam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Szupieńko stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim było opracowanie modelu matematycznego opisującego zasadę działania automatyki broni z odrzutem lufy i jego weryfikację w badaniach eksperymentalnych na autorskich stanowiskach badawczych. Stwierdzam, że osiągnięcia uzyskane w dysertacji wzbogacają zakres inżynierii mechanicznej w obszarze konstrukcji wojskowych.

Oceniając sylwetkę Doktoranta podkreślam, że jest on osoba aktywną. Podczas swych studiów w szkole doktorskiej był współautorem 4. artykułów naukowych i 6. referatów konferencyjnych, z czego 2 artykuły są rejestrowane w bazie JCR. Dane naukometryczne Pana mgr. inż. Damiana Szupieńko są na zadawalającym poziomie. Autor dysertacji wykazał również aktywność w realizacji Uczelnianych Grantów Badawczych WAT. Był beneficjentem 3 takich grantów, w ramach których mógł zrealizować badania i przygotować rękopis pracy doktorskiej. W tym zakresie spełnia wymagania ustawowe.

Biorąc powyższe pod uwagę, Recenzent stwierdza, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Damiana Szupieńko spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021 poz. 478 ze zm.) i wnioskuje do Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna" w Wojskowej Akademii Technicznej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

.....