

Warszawa 01.12.2022

dr hab. inż. Marcin Bajkowski  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechniki Warszawskiej  
02-525 Warszawa  
Ul. Narbutta 85

**RECENZJA**

rozprawy doktorskiej

**mgr. inż. Przemysława Badurowicza**

p.t.

**Analiza numeryczno-eksperymentalna pistoletu PW INKA  
działającego na zasadzie krótkiego odrzutu lufy**

Zlecona do opracowania przez  
Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej  
„Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej  
Pana Prof. dr. hab. inż. Jerzego Małachowskiego

**1. Uwagi dotyczące genezy i tematu rozprawy, sformułowanego celu i zakresu oraz tezy pracy**

Nieustająca dążność do poszukiwania nowych lub ulepszania istniejących gotowych konstrukcji i technologii ich wytwarzania z jednoczesnym dążeniem do doskonalenia modeli fizycznych oraz opisu matematycznego projektowanych lub gotowych wyrobów jest podstawowym elementem rozwoju nauki i techniki. W taki sposób, poza oczywistym elementem promocyjnym oraz koniecznością realizacji projektu badawczego, rozumiem chęć podjęcia się opracowanej przez Doktoranta rozprawy. Sformułowana geneza pracy została przez Doktoranta rzetelnie udokumentowana, mimo że zamieszczona została dopiero na 22 stronie pracy, w podrozdziale 1.5, tj. po wcześniejszym określeniu celu dysertacji. Jak można wnioskować z materiału zaprezentowanego w tym podrozdziale, przyczynkiem do powstania pracy był brak niezbędnych, popartych wszechstronną analizą teoretyczną oraz badaniami eksperymentalnymi, danych określających właściwości i charakterystyki materiałowe, kinematyczne i dynamiczne, a także inne niezbędne w procesie projektowania, parametry analizowanego obiektu.

Zaproponowany temat pracy wpisuje się w trend poszukiwań naukowych i inżynierskich starając się wypełnić warunki, jakie są określone w art. 13 ust. 1. obowiązującej Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym... poprzez, popartą analizą naukową, projektem, wykonaniem i badaniami eksperymentalnymi prezentację konstrukcji prototypu, pistoletu, którego Doktorant jest współautorem. W tym sensie tytuł rozprawy prawidłowo odwzorowuje jej treść, mimo że nie wskazuje, iż przedmiotem badań jest również współautorska konstrukcja określonego w tytule, prototypu broni. Przyjmuję więc, że ze względu na przejrzystość i zwięzłość tytułu jego rozszerzenie nie było konieczne.

Cel pracy został przez Doktoranta sformułowany w jednym zdaniu, w pierwszym akapicie podrozdziału 1.4 pracy. Jest nim „*opracowanie modelu numerycznego działania broni z krótkim odrzutem lufy*”. Mimo że jest to sformułowanie krótkie jest dość precyzyjne. Autor dokładnie wymienia bowiem rodzaj badanego obiektu oraz podaje metody badawcze jakie zostaną zastosowane, aby tak sformułowany cel pracy został osiągnięty.

W tym samym podrozdziale Doktorant zaprezentował również zakres pracy. Został on przedstawiony w postaci streszczenia materiału, jaki znajduje się w kolejnych rozdziałach dysertacji. Moim zdaniem na tym etapie opracowywania pracy, proponowany jej zakres powinien w sposób ogólny wskazać, wybraną przez Autora bezpośrednią drogę realizacji zadania, w tym metodykę badawczą, prowadzącą do osiągnięcia sformułowanego wcześniej celu, bez zbędnego podawania szczegółów jakie, w tym przypadku znalazły się, w kolejnych rozdziałach. Niezależnie, ze względu na prezentowany charakter pracy, pozostając nawet przy przyjętej koncepcji szczegółowej prezentacji zadań gwarantujących osiągnięcie głównego celu naukowego uważam, że celowe byłoby podkreślenie również inżynierskiego jej charakteru.

Rozprawa doktorska jest pracą naukową i powinna zawierać sformułowaną tezę. W opiniowanej pracy nie została ona w sposób wyraźny zaprezentowana. W pewnym zakresie Autor zastępuje ją sformułowanym celem pracy. Te dwa pojęcia nie są równoznaczne.

W analizowanym przypadku sformułowanie tezy pracy nie jest trudne i może przyjąć np. formę: *Wykorzystując układy wielocłonowe oraz MES możliwe jest zbudowanie modeli numerycznych obowiązujących dla grupy broni z krótkim odrzutem lufy, których analiza teoretyczna potwierdzona badaniami eksperymentalnymi, istotnie ułatwia proces projektowania tej grupy obiektów.*

## **2. Struktura i ogólna charakterystyka pracy**

Opiniowana praca składa się z ośmiu rozdziałów zasadniczych, rozdziału 9., w którym zamieszczony został spis wykorzystywanych pozycji literatury, podziękowań, streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu treści oraz

wykazu symboli i oznaczeń używanych w tekście rozprawy. Cały materiał został zaprezentowany na 120 stronach. Wykaz literatury obejmuje 131 pozycji.

Wymienione w kolejności elementy składowe pracy wskazują, iż charakteryzuje ją typowy (*choć niejednolity*) układ graficzny, stosowany przy opracowywaniu tego typu prac.

Aktualnie większość jednostek doktoryzujących wymaga dołączenia do pracy oświadczenia Autora stwierdzającego, iż prezentowana praca nie zawiera elementów plagiatu, a także, że tworząc ją nie naruszono praw autorskich innych twórców. Uważam, że w tym przypadku, dołączenie takiego dokumentu byłoby celowe ze względu na współautorstwo członków zespołu zaangażowanych zarówno w projektowanie, konstrukcję, obliczenia i wykonanie, będącego przedmiotem dysertacji, prototypu analizowanego obiektu.

Kolejne, poza stroną tytułową pracy, jej początkowe strony wypełniają: podziękowania, dwustronicowy spis treści oraz czterostronicowy, spis symboli i oznaczeń jakimi posługiwano się w pracy.

Zamieszczony spis używanych w pracy symboli i oznaczeń został przez Doktoranta przesadnie uszczegółowiony. Część zamieszczonych oznaczeń jest powszechnie znana, np. MES, FEM, CAD, CAE; niektóre oznaczenia są nie są w pełni wyjaśnione.

Pierwszy rozdział pracy, który został zatytułowany „*Wstęp*” obejmuje 14 stron. Materiał w nim zawarty został podzielony na 5 podrozdziałów, w których Doktorant wypunktował kolejne grupy poruszanych zagadnień. Jego część początkowa (podrozdział 1.1) jest wprowadzeniem do tematu. W podrozdziałach 1.2. i 1.3. Autor przedstawił odpowiednio zasadę działania broni, której zasadniczą cechą jest krótki odrzut lufy oraz historyczny rys stosowania takiego rodzaju rozwiązania (podr. 1.3).

Materiał zawarty w trzech pierwszych podrozdziałach 1.1 ÷ 1.3 rozdziału 1. jest przeglądem zagadnień, które w sposób popularno-naukowy prezentują podstawowe i najbardziej charakterystyczne pojęcia oraz zasadę działania omawianego typu broni. Zarówno omawiane pojęcia jak i prezentowane w nich zagadnienia są starannie opisane w literaturze, a ich objaśnianie, niekiedy na poziomie definicyjnym, w pracy doktorskiej, uważam za zbędne. Praca doktorska jest kierowana bowiem do grona osób, które przystępując do jej studiowania są przygotowane do rozumienia i odpowiedniej interpretacji poruszanych w niej zagadnień. Należy jednak podkreślić, iż zaprezentowany w tych podrozdziałach materiał, udokumentowany przeglądem bibliograficznym (*to około 70% całego spisu pozycji literaturowych pracy*), został opracowany starannie chociaż w moim przekonaniu Autor przesadził z ilością zamieszczonego materiału ilustracyjnego.

Kolejne dwa podrozdziały (1.4 i 1.5) omawianego rozdziału 1. zostały poświęcone sformułowaniu celu i zakresu pracy (podr. 1.4) oraz jej genezy. Doktorant traktując te ważne elementy jako wstęp do pracy, w moim przekonaniu umniejszył ich znaczenie. Zarówno geneza pracy, a zwłaszcza jej cel i zakres to podstawowe elementy, które zawsze powinny być wyeksponowane, np. w postaci oddzielnego, chociaż krótkiego rozdziału pracy. Bez względu na miejsce umieszczenia omawianych elementów pracy brakuje mi w tym miejscu, o czym wcześniej już wspomniałem, sformułowanej tezy pracy.

Mimo powyższych uwag, podsumowując ten fragment pracy, jego strukturę oceniam pozytywnie.

Drugi i trzeci rozdział dysertacji są poświęcone numerycznej analizie działania broni z wykorzystaniem układów wieloczłonowych (rozd. 2) oraz MES (rozd. 3). W podrozdziale 2.1 Doktorant skoncentrował się na zbudowaniu modelu badawczego niezbędnego do analizy właściwości broni z wykorzystaniem układów wieloczłonowych, a w podrozdziale 2.2 zaprezentował wyniki obliczeń numerycznych, jakie zostały przeprowadzone tą metodą.

Podobny przebieg opracowania dotyczy analizy właściwości broni przy wykorzystaniu MES. W podrozdziałach 3.1 i 3.2 zamieszczono materiał dotyczący odpowiednio: bazowego (podr.3,1) i rozszerzonego (podr.3,2) modelu numerycznego pistoletu, by w kolejnych dwóch podrozdziałach 3.3 i 3.4 przedstawić wyniki jego właściwości kinematycznych (podr. 3.3) i wytrzymałościowych (podr. 3.4). Ostatni podrozdział 3.5 rozdziału trzeciego został poświęcony analizie wrażliwości przyjętych rozmiarów siatki w zastosowanej metodzie (MES).

W kolejnym rozdziale pracy zaprezentowany został opis stanowiska badawczego i zastosowanej metody pomiarowej (podr. 4.1). Otrzymane rezultaty badań eksperymentalnych i ich analizę przedstawiono w podrozdziale 4.2.

Rozdział piąty pracy nosi tytuł „*Walidacja modeli teoretycznych*”. Przeprowadzono ją oddzielnie dla metody układów wieloczłonowych (podr. 5.1) i metody elementów skończonych (podr.5.2).

Szósty rozdział pracy został w całości poświęcony analizie wpływu wybranych elementów badanego obiektu (podr. 6.1÷6.7), w tym także wpływu ciśnienia gazów prochowych (podr.6.8), na jego właściwości kinematyczne.

W siódmym rozdziale pracy zaprezentowany został model rzeczywisty oraz kolejne wersje prototypu wykonanego pistoletu. Na początku rozdziału Doktorant zamieścił informacje ogólne dotyczące wykonanego prototypu dołączając zestawienie jego charakterystyk taktyczno-technicznych,

zamieszczając w kolejnych podrozdziałach (podr. 7.1 i 7.2) opis zrealizowanych badań prototypu (podr.7.1) i szczegółowo prezentując zasadę jego działania.

Ostatni merytoryczny rozdział pracy to jej podsumowanie. Autor postarał się je przedstawić w sposób szczegółowy formułując kolejno: wnioski ogólne, szczegółowe i aplikacyjne (podrozdziały 8.1, 8.2 i 8.3) i prezentując wykorzystanie rezultatów opiniowanej pracy w rozwiązaniach konstrukcyjnych pistoletu (podr. 8.4). Sformułowane zostały również, zdaniem Doktoranta, oryginalne elementy pracy (podr. 8.5) oraz plany badawcze dalszych prac (podr. 8.6).

Zamykający merytoryczną część pracy spis literatury to rozdział 9.

Na ostatnich dwóch stronach pracy znalazło się jej streszczenie w języku polskim i angielskim

Mimo wcześniej sformułowanych uwag, oceniam układ strukturalny pracy pozytywnie. Prezentowany materiał został podzielony na właściwie dobrane grupy zagadnień tematycznych i przedstawiony zgodnie z powszechnie przyjętymi zasadami, które dotyczą przygotowywania prac doktorskich.

### **3. Ocena i uwagi merytoryczne dotyczące rozprawy**

W pierwszej części opinii wspominałem, że zaproponowany temat rozprawy jest aktualny i ważny zarówno z punktu widzenia naukowego jak i inżynierskiego. Dobrze wpisuje się dobrze w trend prac badaczy i naukowców stawiających za cel swojej działalności poszukiwanie nowych lub uściślanie modeli odwzorowujących charakterystyki rzeczywistych procesów zachodzących w urządzeniach technicznych przez co umożliwiają bardziej precyzyjny ich opis matematyczny i formułowanie nowych wniosków o charakterze inżynierskim.

Uwagi, które dotyczą struktury pierwszego rozdziału pracy zamieściłem w drugiej części mojego opracowania.

Z merytorycznego punktu widzenia zgromadzony w tym rozdziale materiał, w moim przekonaniu, jest skrótowym przedstawieniem w formie popularno-naukowej większości obiektów należących do grupy rozwiązań konstrukcyjnych, których dotyczy praca. Z naukowego punktu widzenia nie wnosi on nowości ale niewątpliwie miał wpływ na dalszą prezentację materiału pracy przyczyniając się do stworzenia jej przejrzystej struktury, jak również jasnej prezentacji omawianych zagadnień. Dlatego pomimo wcześniej poczynionych uwag, moja merytoryczna ocena omawianego materiału jest pozytywna. Zamieszczony w tym rozdziale materiał potwierdza również, o czym wspominałem wcześniej, dobre rozeznanie Doktoranta w zakresie specjalności, której dotyczy praca.

W drugim i trzecim rozdziale pracy został zgromadzony materiał, który w całości został poświęcony budowie oraz analizie modeli, będącego przedmiotem rozprawy obiektu. W tych działaniach wykorzystano metodę

układów wielocłonowych (rozdział 2) oraz metodę elementów skończonych (rozdział 3).

W podrozdziale 2.1 zaproponowany został model 3d obiektu i odpowiednio przygotowane pliki niezbędne, do wykorzystania w programie MSC Adams. W składającym się z 16. elementów modelu, uwzględnione zostały również siły oddziałujące pomiędzy częściami analizowanej broni, a także warunki początkowe i brzegowe. Odpowiednio sformułowano również siłę gazów prochowych wymuszającą ruch elementów modelu. Przyjęto, że jej źródłem jest amunicja produkcji firmy Mesko.

Siłę napięcia sprężyny mechanizmu powrotnego przyjęto z dokumentacji technicznej omawianej broni, którą jak podaje Doktorant, zweryfikowano wykonując dodatkowe pomiary. Część innych danych została zaadaptowana z bibliografii. Nie zawsze jednak były to dane, które ściśle dotyczyły omawianej grupy broni, tzn. z krótkim odrzutem lufy.

Oczekuję od Doktoranta pewnego wyjaśnienia, które dotyczy współczynnika tarcia. Znajdujące się na stronie 31 rozpoczynające się w pierwszym wierszu, zdanie dotyczące tego współczynnika jest niejasne, mimo zamieszczonego wykresu na rys.2.8, do którego w tekście Autor się nie odwołuje. Następujące po tym zdaniu, kolejne, jest błędne. Nie jest bowiem prawdą stwierdzenie Autora, że „*tarcie przy zerowej prędkości nie występuje, gdyż byłoby to niemożliwe do odwzorowania w programie*”. Otóż tarcie występuje również wtedy, gdy prędkość jest zerowa, a na jego wartość żaden program komputerowy nie ma wpływu. Zwracam również uwagę na rys. 2.8, który jest ilustracją do zrozumienia zdania o którym mowa bezpośrednio powyżej. Odbiega on od standardu przyjętego dla innych prezentowanych rysunków. Objaśnienia są w języku angielskim, a na osiach brakuje wartości.

W podrozdziale 2.2. Autor zamieścił, sporządzone w funkcji czasu wykresy ilustrujące przebiegi zmian wartości przemieszczeń (rys. 2.9) i prędkości (rys.2.10) oraz wykres zbiorczy tych samych wielkości (rys. 2.11) które dotyczyły zamka i lufy pistoletu.

Analogiczny proces postępowania został zaprezentowany w rozdziale trzecim pracy, w którym podobne obliczenia jakie opisano w rozdziale drugim, zostały zrealizowane przy wykorzystaniu MES. Odpowiednio przygotowane modele 3D zostały przesłane do programu Adams.

Ze względu na zastosowaną metodę obliczeń sporządzone zostały dwa modele obliczeniowe: bazowy (podr.3.1) i rozszerzony (podr.3.2). W pierwszym z nich zmniejszona została liczba elementów ograniczona została do sześciu. Podobnie jak w przypadku obliczeń metodą układów wielocłonowych, uwzględnione zostały siły zewnętrzne oraz warunki początkowo-brzegowe, a także inne niezbędne do obliczeń dane, których część zaczerpnięto z literatury.

W modelu rozszerzonym uwzględnione zostały dodatkowe cztery siły dodatkowo go uzupełniające. Do obliczeń przyjęto dane takie same, jak w przypadku obliczeń metodą układów wieloczłonowych.

Na rysunkach 3.8÷3.10, w funkcji czasu, zostały zilustrowane przebiegi zmian wartości przemieszczeń (rys.3.8) i prędkości (rys. 3.9) zamka i lufy, obliczone dla obu rozpatrywanych modeli; na rys. 3.10 przedstawiono ich wykres zbiorczy.

W kolejnym podrozdziale 3.4, przedstawione zostały rezultaty badań wytrzymałościowych modeli broni. Zostały one sporządzone w funkcji czasu i zilustrowane w postaci wykresów na rys. 3.11÷3.13. Przedstawiają kolejno: obliczone według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego przebieg zmian naprężeń zredukowanych pięciu najbardziej obciążonych obszarów badanych elementów (rys.3.11), podobnie wyznaczone naprężenia w lufie (rys. 3.12) oraz w osi sterującej (rys. 3.13), w przypadku występowania naprężeń maksymalnych.

Ważnym elementem składowym tego rozdziału jest analiza wrażliwości przyjętego modelu MES, której rezultaty wraz komentarzem przedstawił Doktorant na rysunku 3.15, w podrozdziale 3.5. pracy.

Oceniając materiał zawarty w rozdziałach 2. i 3. Pragnę zwrócić uwagę na absolutnie błędnie sformułowane ich tytuł. W tym przypadku, powszechnie używane przez inżynierów pojęcia żargonowe znalazły się w tytułach obu rozdziałów. Ani w rozdziale 2. ani w 3. prowadzona analiza nie dotyczy automatyki, której podstawowym elementem jest sterowanie. O tej cesze, w opiniowane pracy nie ma mowy. Omawiana część rozprawy to: „*Analiza właściwości broni itd...*”. To nie jest również opis „*działania*” co mogą sugerować tytuły omawianych rozdziałów. Zarówno w 1., jak i 2. rozdziale rezultatem analizy, przeprowadzonej przy wykorzystaniu metody układów wieloczłonowych lub MES nie jest wyznaczenie „*działania*” broni i nie jest też wyznaczenie „*działania automatyki*” broni. Jest to więc, wyznaczenie właściwości kinematycznych i wytrzymałościowych odpowiednich elementów badanego obiektu.

Materiał zgromadzony w obu omawianych rozdziałach pracy oceniam pozytywnie. Mam jednak duży niedosyt, który dotyczy niezwykle oszczędnej, a niekiedy wręcz braku interpretacji otrzymanych rezultatów badań. Traktuję to jako poważny mankament rozprawy.

W czwartym rozdziale pracy Autor prezentuje przeprowadzone badania eksperymentalne pistoletu wyznaczając jego charakterystyki kinematyczne. W podrozdziale 4.1 przedstawiona została przyjęta metoda badawcza, wraz z uzasadnieniem opis wybranego do badań triangulacyjnego czujnika pomiarowego oraz stanowiska badawczego.

Materiał zawarty w omawianym rozdziale 4. oceniam wysoko zarówno za jakość i zakres przeprowadzonych badań jak również za jakość prezentacji i analizę wyników.

Kolejny 5. rozdział pracy poświęcony został walidacji otrzymanych rezultatów badań eksperymentalnych i przeprowadzonych badań numerycznych. Zostały one przedstawione, w postaci wykresów, które znajdują się na rys. 5.1 i rys.5.2, w przypadku porównania wyników z otrzymanymi metodą układów wieloczłonowych i na rys.5.3 i 5.4, w przypadku porównania rezultatów otrzymanych z obliczeń metodą MES. Przeprowadzona analiza wykazała, wprawdzie ocenianą tylko graficznie, zaskakująco wysoką ich zbieżność. Żałować należy, że Autor nie przeprowadził pogłębionej analizy matematycznej ujawniającej wartości otrzymanych rozbieżności.

W szóstym rozdziale rozprawy, Doktorant wykorzystując metodę układów wieloczłonowych, zaprezentował możliwości metody, obliczając wpływ wybranych elementów broni na jej właściwości kinematyczne.

W podrozdziale 6.1, na rysunkach 6.1 ÷ 6.4 przedstawione zostały wykresy prędkości i przemieszczeń zamka, ilustrujące wpływ ciężaru masy zamka. Obliczenia zostały zrealizowane aż w 13 przypadkach wartości tych mas. Szczegółowe wyniki tych obliczeń zostały zamieszczone w tabelicy 6.2, wraz z komentarzem. Najważniejszym wnioskiem wynikającym z tych obliczeń jest to, że zwiększenie masy zamka o około 20% zapewnia bezpieczny nadmiar energii koniecznej do realizacji powrotnego ruchu zamka dzięki czemu, na pistolecie jest możliwy montaż celownika kolimatorowego.

Oceniając materiał, jaki został zamieszczony w tym podrozdziale (podr.6.1) nie widzę celowości prowadzenia obliczeń w tak szerokim zakresie zmiany masy zamka. Nie widzę, np. sensu prowadzenia i prezentacji wyników ich obliczeń, w przypadku zwiększenia masy zamka do wartości 806,04g, (wariant +137%, w stosunku do masy nominalnej zamka), podczas gdy masa całej omawianej konstrukcji wynosi 780g.

Podobną uwagę formułuję również w stosunku do innych wybranych wariantów obliczeń, w tym dotyczących charakterystyk, które zostały zamieszczone w podrozdziale 6.2 i są rezultatem badań wpływu sztywności sprężyny powrotnej na wyznaczone wartości prędkości i przemieszczeń pistoletu. Zostały one zilustrowane na rys. 6.5 ÷ 6.8. Szczegółowe zestawienie interesujących parametrów zamieszczone zostało w tabelicy 6.4 i opatrzone odpowiednim komentarzem.

W kolejnym podrozdziale (podr.6.3) Autor przedstawił wykresy ilustrujące w funkcji czasu prędkości i przemieszczenia zamka i lufy pistoletu zależne od drogi odrzutu. Szczegółowe wyniki badań zamieszczone zostały w tabelicy 6.5 i były podstawą do przeprowadzonej dyskusji otrzymanych rezultatów badań.



Zamieszczone rezultaty analizy wpływu różnych elementów analizowanego modelu obiektu, jakie zostały zamieszczone w podrozdziałach 6.4 ÷ 6.8, zostały zaprezentowane w podobnej formie graficznej do tej, w jakiej przedstawiono wyniki prezentowane w podrozdziałach 6.1 ÷ 3.3. Wszystkie zamieszczone na rysunkach 6.11 ÷ 6.21 wykresy, z wyjątkiem rys. 6.19, ilustrują, w funkcji czasu, przebiegi zmian wartości prędkości i przemieszczeń zamka. Niezbędne do dyskusji szczegółowe rezultaty odpowiednich wielkości zostały zamieszczone w tablicach i opatrzone stosownym komentarzem.

Przechodząc do oceny materiału jaki został zgromadzony w rozdziale 6. pragnę zwrócić uwagę, na moim zdaniem, niewłaściwie sformułowany tytuł rozdziału:

- „*analiza parametryczna*” jest pojęciem, które w matematyce wymaga spełnienia ściśle określonych warunków,
- w rozdziale nie jest wyznaczany „*wpływ wybranych charakterystyk*” lecz są wyznaczane charakterystyki kinematyczne,
- wyznaczana jest nie „*kinematyka*” broni lecz jej właściwości (charakterystyki) kinematyczne.

W związku z tym uważam, że tytuł ocenianego rozdziału powinien brzmieć np.: *Analiza wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych na właściwości (charakterystyki) kinematyczne broni.*

Oczywiście ta moja dyskusyjna uwaga nie ma wpływu na ogólną pozytywną ocenę materiału jaki zgromadzony został w omawianym rozdziale.

Kolejny rozdział (7.) dysertacji nosi tytuł „*Praktyczne zastosowanie opracowanych metod numerycznych*”. W pierwszej jego części, w formie fotograficznej, Autor zaprezentował opracowany model pistoletu (rys.7.1) oraz trzy wersje zaprojektowanych i wykonanych prototypów omawianej broni (rys.7.2 ÷ 7.4). W tablicy 7.1 zostały zestawione dane taktyczno-techniczne pistoletu. Wymienieni zostali również pomysłodawcy, projektanci konstruktorzy oraz wykonawcy konstrukcji. Wymienione zostały również dokumenty urzędu Patentowego chroniące własność intelektualną, autorską i techniczną pistoletu. Na podstawie tych dokumentów, a także na podstawie materiału, jaki został zamieszczony w podrozdziałach 7.1 i 7.2 jednoznacznie wynika, iż Doktorant odegrał wiodącą rolę w opracowanie i wszechstronne badania wykonanej konstrukcji broni.

W podrozdziale 7.1 Doktorant wyszczególnił wszystkie rodzaje badań analizowanego prototypu pistoletu, jakie muszą być wykonane zgodnie z obowiązującymi Normami Obronnymi celem sprawdzenia zgodności jego parametrów z założeniami programu Tytan. Dotychczas zrealizowano tylko część takich badań. Przykładowe wyniki dotyczące prędkości początkowej pocisku oraz celności i rozrzutu, Autor zamieścił odpowiednio w tablicach 7.2 i 7.3 opatrując, niestety tylko bardzo krótkim komentarzem.

Drugi podrozdział 7.2 opisywanego rozdziału nosi tytuł „*Charakterystyka funkcjonowania „automatyki” pistoletu PW INKA*”. Zgromadzony w nim obszerny materiał jest profesjonalnym, szczegółowym, doskonale graficznie zilustrowanym opisem zasady działania wszystkich elementów broni. Niestety, w moim przekonaniu, umieszczenie go w pracy doktorskiej uważam za niepotrzebne.

Podsumowując siódmy rozdział pracy, zwracam uwagę, że zaprezentowany w nim materiał, ma dość luźny związek z jego tytułem; to tylko pierwsze zdanie rozdziału wiąże się z nim ściśle. Usprawiedliwiając w tym względzie Doktoranta przypuszczam, że założył On, że ma do czynienia z czytelnikiem inteligentnym, który sam dopowie, że bez wykonanych obliczeń kinematycznych i wytrzymałościowych, opisana konstrukcja w aktualnej postaci, nie powstałaby. Tylko w takim sensie zaproponowany tytuł można przyjąć za prawidłowy. Pozostały, zgromadzony w tym rozdziale materiał obejmuje prezentację wyników badań eksperymentalnych (podr. 7.1 ; tablice 72. i 7.3).

Pragnę zwrócić również uwagę na zupełnie niepotrzebne wstawienie do tytułu podrozdziału 7.2 słowa „*automatyka*”. Tytuł podrozdziału z pominięciem tego słowa byłby prawidłowy i kompletny. Wydaje mi się, że sam Autor jest tego samego zdania, ponieważ w tytule podrozdziału zamieścił je w cudzysłowie. Szerzej odniosłem się do kontekstu umieszczania takich pojęć, jak „*automatyka*”, „*kinematyka*” czy „*dynamika*” omawiając rozdział 3. niniejszej pracy.

Ostatni merytoryczny rozdział pracy (8.) to jej podsumowanie. Doktorant opracował je starannie i precyzyjnie grupując wszystkie spostrzeżenia i wyniki w sześciu podrozdziałach. Materiał zamieszczony w podrozdziale 8.1, to bardzo trafnie sformułowane wnioski ogólne dotyczące pracy, a w nich, zawarte w pierwszym wierszu pierwszego wniosku zdanie mówiące o tym, iż założony „Cel pracy został osiągnięty,....”. W pełni potwierdzam to stwierdzenie Doktoranta, jak również prawidłowość pozostałych wniosków ogólnych. Pozytywnie oceniam również materiał dotyczący wniosków szczegółowych (podr. 8.2), aplikacyjnych (podr.8.3), a także skrótową prezentację wykorzystania głównych wyników wykonanych badań numerycznych, w projektowaniu i konstrukcji pistoletu (podr. 8.4). Bardzo trafnie zostały zaprezentowane w podrozdziale 8.5 oryginalne elementy pracy, które zostały potwierdzone dokumentami Urzędu Patentowego. W podrozdziale 8.6 zaprezentowane zostały propozycje przyszłościowych badań analizowanej grupy broni. W znacznej mierze są to plany życzeniowe ale życzę Doktorantowi by mógł je zrealizować w bliższej, a nawet dalszej przyszłości.

#### **4. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące układu edytorskiego i graficznego oraz komentarz dotyczący prezentowanych rysunków i tekstu pracy**

1. Szereg uwag dotyczących fragmentów pracy, niekiedy odnoszących się do całej pracy, zgłosiłem omawiając bezpośrednio zagadnienia merytoryczne w niej poruszane.

2. Prezentacja zamieszczonego w pracy zasadniczego materiału merytorycznego nie została przez Doktoranta dokładnie przemyślana. Mam tu na myśli, o czym wspominałem wcześniej w opinii, wstawienie podrozdziału ze sformułowanym celem i zakresem pracy oraz jej genezą do rozdziału 1., który został zatytułowany jako wstęp do pracy. Ponadto, materiał dotyczący genezy pracy powinien znaleźć się przed sformułowaniem celu i zakresu dysertacji. Za istotny mankament uważam brak sformułowanej tezy pracy.

Zamieszczona we wstępie do pracy ilustracja graficzna dotycząca różnego rodzaju pistoletów jest zbyt obszerna. Podobne zdanie mam, o czym również wspominałem wcześniej, o ilustracji graficznej wyjaśniającej szczegółowo zasadę działania różnych elementów pistoletu PW INKA, jaki zamieszczono w rozdziale 8.

Wykaz symboli i oznaczeń należało ograniczyć tylko do najważniejszych pomijając powszechnie znane i używane. Część zamieszczonych oznaczeń nie została jasno wyjaśniona.

Jestem przeciwny oznaczaniu spisu literatury jako kolejnego rozdziału, co ma miejsce w pracy.

3. Odnosząc się do ogólnego układu pracy stwierdziłem wcześniej, że jej układ edytorski nie odbiega od powszechnie przyjmowanego standardu jaki obowiązuje dla prac doktorskich. broni

W pracy nie został jednak zachowany jednolity układ edytorski i graficzny pracy. Materiał zgromadzony w rozdziałach 1., 4., 5. i 8. został przedstawiony w formie klasycznej, powszechnie stosowanej. Pozostałe rozdziały (2., 3., 6. i 7.) zostały zaprezentowane przez Autora w układzie graficznym z tzw. „*tekstem wiszącym*”. Aktualnie wydawcy odchodzą od tego rodzaju prezentacji stosując ją tylko wtedy, gdy to jest konieczne. Oznacza to, że:

-po przyjęciu cyfrowej numeracji rozdziałów, np. rozdziału 4.,

-po tytule rozdziału powinien wystąpić od razu tytuł podrozdziału, np. 4.1.,

Pomiędzy nimi nie powinno być żadnego tekstu (zwanego wiszącym).

Teksty te to z reguły ogólne wprowadzenia do rozdziałów, omówienia czy streszczenia. Przyjmuje się, że jeżeli tekst wiszący jest cennym i niezbędnym wprowadzeniem, powinien mieć numer i tytuł; jeśli tekst zawiera same ogólniki lub omówienie dalszej części rozdziału, nie powinien być zamieszczany.

4. W wielu fragmentach pracy Autor nie zawsze wyraża swoje myśli precyzyjnie. Komentowałem to wcześniej omawiając bezpośrednie zagadnienia. Dotyczy to wielokrotnie stosowanych w pracy, niepełnych lub błędnie interpretowanych, np. takich pojęć, jak „*automatyka*”, „*kinematyka*” i inne. Użyte w odpowiednim zestawieniu, co wielokrotnie ma miejsce w pracy, stają się one określeniami żargonowymi. Mimo że w potocznej mowie inżynierskiej są powszechnie używane, jako skróty określające pewne zachowania lub cechy obiektów, w pracy doktorskiej należy stosować określenia precyzyjne. Stąd również pojawiły się moje uwagi dotyczące, m.in. sformułowań tytułów niektórych rozdziałów pracy.

5. Podczas wyliczania zagadnień, np. str. 12. dużą literą rozpoczynamy zdanie tylko po kropce, a więc np.

1. *Po zapaleniu...*; gdy mamy zamknięcie nawiasem, należy rozpocząć wyliczanie małą literą, a więc :

1) *po zapaleniu....*

6. Studiując tekst w miarę starannie zauważyłem również błędy składniowe i potknięcia literowe, a w tym m.in.:

-w całej pracy, w wielu zdaniach, Autor bardzo często używa przymyka „*dla*”; np. na str. 25., 15. i 19 wiersz od góry (i kilkanaście innych zdań), jest:

*...jest wymuszeniem dla układu... oraz ...wykonano dla amunicji...(rusycyzmy);*

powinno być: *...jest wymuszeniem ruchu układu... oraz ... wykonano wykorzystując amunicję...*

-str. 8., 7. i 8, wiersz od dołu, jest:  $\omega_1$  *początek zakresu częstotliwości* oraz  $\omega_2$  *początek zakresu częstotliwości*

co oznaczają te wyjaśnienia?

-str. 11., 13. w. od d., jest: *... 5.56x45mm, gdzie praca....*; powinno być: *...5.56x45. Praca...*

-str. 21., 8. w. od g., jest: *...siły i momenty [92-94].*; powinno być: *...siły i momenty sił [92-94].*

-str. 26., rys.2.3. –niezgodne z obowiązująca normą oznaczenie stanu powierzchni.

-str. 31., drugie zdanie na stronie: -sformułowanie niejasne,

-str. 31., 4., 5. i 6. w. od g., jest: zdanie nieprawdziwe, to kompletnie błędna interpretacja tarcia Coulomba,

-str. 31., rys. 2.8 : -brak jednostek na osiach współrzędnych; dlaczego opis osi jest w języku angielskim?

-str. 52., 53., jest: Rys.4.1 oraz Fot.4.1 co może utrudniać interpretację dalszych rysunków, tym bardziej, że oznaczenie Fot.4.1 występuje pierwszy i ostatni raz.

-str. 67., 17. w. od d., jest: *...były by...* ; powinno być: *...byłyby...*,

-str. 88., rys, 6.18, jest: *Wyniki obliczeń prędkości i drogi zamka ...*; powinno być: *Wyniki obliczeń drogi zamka ...*

Wymienione powyżej drobne potknięcia nie mają większego znaczenia w ocenie merytorycznej pracy. Również stronę edytorską i graficzną omawianej rozprawy; oceniam pozytywnie.

## **5. Końcowa ocena pracy**

Mimo na pozór teoretycznego tytułu rozprawy, całość materiału, jaki został zgromadzony w dysertacji dotyczy zrealizowanego, w istotnym stopniu przez Doktoranta, realnego rozwiązania technicznego. Jest nim opracowanie koncepcyjne, projektowe, konstrukcyjno-technologiczne i wykonawcze pistoletu PW INKA z krótkim odrzutem lufy. W tym względzie oceniam opiniowaną rozprawę jako współautorskie opracowanie zaawansowanego technicznie obiektu, do realizacji którego konieczne było zarówno spełnienie ściśle określonych założeń taktyczno-technicznych, jak i złożonych obliczeń projektowych. Doktorant zrealizował te wymagania, budując odpowiednie modele obiektu, a następnie wykorzystując metodę układów wielocłonowych oraz metodę elementów skończonych. Po uprzednim odpowiednim przygotowaniu danych, niezbędnych w projektowaniu obiektu, korzystając z programu Adams, wyznaczył niezbędne w projektowaniu obiektu charakterystyki analizowanej konstrukcji. Rzetelność i poprawność teoretycznych rezultatów działań obliczeniowych wymienionymi dwiema metodami Autor potwierdził badaniami eksperymentalnymi obiektu, które wykazały wysoką zbieżność wartości, ujawnioną w procesie walidacji rezultatów badań numerycznych i eksperymentalnych. Ich przydatność okazała się bardzo pomocna w procesie projektowania i konstrukcji obiektu, a poprawność zarówno obliczeń prowadzonych tymi metodami, jak również wyników badań eksperymentalnych została potwierdzona, jak dotychczas wprawdzie jeszcze niekompletnymi badaniami eksploatacyjnymi, wykonanych prototypów pistoletu.

Oceniając całość zaprezentowanej rozprawy należy podkreślić przede wszystkim fakt opracowania oryginalnego i opatentowanego nowego rozwiązania technicznego do którego Autor opracował, zastosował i wykorzystał własne wyniki zaawansowanych obliczeń.

Pragnę podkreślić również nowe elementy poznawcze jakie wniosła przeprowadzona przez Autora analiza, zwłaszcza, w zakresie modelowania

określonej grupy obiektów specjalnych, co przyczynia się również do pozytywnej oceny całej pracy. Cennym materiałem jest również przedstawiony w pracy eksperymentalny wątek badawczy.

Na każdym etapie dysertacji, poprzez dobór modelowania obiektu, wybór zastosowanych metod badawczych oraz przeprowadzenie obliczeń inżynierskich, dobór badań podstawowych i eksperymentalnych, Doktorant wykazał się dobrą znajomością i umiejętnością rozwiązywania głównych zagadnień projektowych i konstrukcyjnych poprzez wykorzystywanie zastosowanych metod obliczeniowych i badań eksperymentalnych, które dotyczyły Budowy i Eksploatacji Maszyn, wpisując się tym samym swoim opracowaniem w dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna.

Biorąc pod uwagę przedstawiony mi do zaopiniowania materiał, oryginalność rozwiązane w rozprawie, zagadnienia inżynierskiego oraz całokształt działań związanych z realizacją dysertacji, a tym samym fakt potwierdzenia umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i badawczej uważam, że przedłożona rozprawa może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. Wobec spełnienia wymogów *określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2022 poz. 574 z późn. zm.)*. *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 z późniejszymi zmianami)* formułuję wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Przemysława Badurowicza do publicznej obrony opiniowanej pracy jako pracy doktorskiej reprezentującej dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna.

Niniejszą opinię przedkładam Panu Prof. dr. hab. inż. Jerzemu Małachowskiemu Przewodniczącemu Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie zleciennodawcy powyższej recenzji.