

Warszawa, dn. 05.10.2022

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Kowalewski
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
02-106 Warszawa, ul. Pawińskiego 5B

RECENZJA

**poprawionej wersji rozprawy doktorskiej mgr inż. Filipa Kagankiewicza
pt.
Doświadczalna weryfikacja rozwiązania problemu głównego balistyki
wewnętrznej broni lufowej sformułowanego we współrzędnych Lagrange'a**

wykonana na wniosek Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki
Warszawskiej z dnia 2 marca 2022 roku i pisma Dziekana z dnia 12.09.2022 roku

1. Treść i zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Filipa Kagankiewicza dotyczy tematyki o charakterze wojskowym i poświęcona została analizie problemu głównego balistyki wewnętrznej.

W poprawionej wersji rozprawa składa się z dziesięciu rozdziałów, a główna jej część, stanowiąca wkład Doktoranta do nauki, obejmuje rozdziały od szóstego do dziewiątego. Pozostałe części pracy to: jej streszczenie, w języku polskim i angielskim, spis treści, spis literatury cytowanej w rozprawie zawierający 48 pozycji oraz cztery dodatki. Całość zajmuje 172 strony. Praca zawiera 57 rysunków (w tym 1 bez numeracji) oraz 114 tabel.

Rozdział pierwszy to trzystronny wstęp do rozprawy, krótko ujmujący jej tematykę oraz zawartość.

Rozdział drugi ilustruje przegląd literaturowy i w tym zakresie nowa wersja pracy dość istotnie się różni od pierwowzoru. Nadal liczba cytowanych pozycji nie jest oszałamiająca, ale w zestawieniu z poprzednią, stanowi istotną poprawę i co może warto podkreślić, ujmuje pozycje opracowane przez wybitnych naukowców pracujących w ubiegłych latach na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Warszawskiej i zajmujących się balistyką wewnętrzną.

Rozdział trzeci pierwotnej wersji pracy został zgodnie z moją sugestią przeniesiony na koniec pracy, ponieważ zawiera treści powszechnie znane. W aktualnej wersji rozdział trzeci został utworzony z połączenia rozdziałów czwartego i piątego starszej wersji rozprawy. Przedstawione treści stanowią omówienie różnych równań wykorzystywanych w balistyce

wewnętrznej, które stanowią źródło do sformułowania problemu głównego balistyki wewnętrznej broni lufowej. Doktorant oparł się tutaj na książce dr. hab. inż. Zbigniewa Wrześcińskiego z roku 2018, wydanej przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Warszawskiej zatytułowanej „Balistyka wewnętrzna klasycznych broni lufowych”. Ponawiam tutaj moje spostrzeżenie dotyczące formy prezentacji, która dość jednak dobrze znane zagadnienia ujmuje zupełnie niepotrzebnie w zapisie, który mniej wprawnym czytelnikom może utrudniać ich zrozumienie, a mianowicie zastosowanie zapisu rachunku tensorowego w symbolice kreskowej, tak samo jak w książce Promotora ocenianego doktoratu.

Rozdział czwarty zawiera tezę rozprawy, jej cel i zakres. Sformułowana teza rozprawy mówiąca, że „Model fizyczny balistyki wewnętrznej sformułowany we współrzędnych Lagrange’a umożliwi optymalne cyfrowe rozwiązanie problemu głównego balistyki wewnętrznej układów lufowych z taką dokładnością obliczeń, która zadowalająco odzwierciedli wyniki rozwiązania PGBW metodami balistyki doświadczalnej jest dość oczywista. Jednak wskazane byłoby tutaj odniesienie się do innych możliwych opisów, na przykład zestawienie wyników z rezultatami otrzymanymi ze sformułowania PGBW we współrzędnych Eulera i wskazanie, który z tych sposobów byłby korzystniejszy z różnych punktów widzenia, np. dokładności, szybkości obliczeń, itp. W rozdziale tym Doktorant słusznie dodał schemat ideowy poszczególnych etapów realizacji pracy.

Rozdział piąty prezentuje równania wchodzące w skład modelu tworzącego sformułowanie problemu głównego balistyki wewnętrznej. Z kolei rozdział szósty zawiera komplet równań tego problemu dla czterech faz balistycznych, tj. fazy przedwstępnej pirostatycznej, fazy wstępnej pirostatycznej, fazy pirodynamicznej oraz fazy adiabatycznej. Rozdział ten został utworzony z połączenia rozdziału ósmego i dziewiątego poprzedniej wersji pracy.

Rozdział siódmy Doktorant poświęcił własnym badaniom cech balistycznych ładunków miotających. Krótko zostały scharakteryzowane elementy stanowiska badawczego oraz rodzaje ładunków materiałów wybuchowych. Wyszczególniono także analizowane wielkości z pomiarów cech balistycznych prochów z trzech naboju. Rozdział prezentuje metodykę określania niepewności badanych wielkości w pomiarach wyżej wymienionych.

W rozdziale ósmym Doktorant omówił sposób symulacji rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej sformułowanego w układzie współrzędnych Lagrange’a wykorzystując środowisko komercyjnego oprogramowania Delphi.

Rozdział dziewiąty poświęcono prezentacji wyników związanych z określaniem przebiegu ciśnienia w funkcji czasu oraz prędkości wylotowej pocisku podczas strzelania

trzema rodzajami naboju kalibru 7,62 mm przy zmiennych wielkościach naważki ładunku prochowego. W zestawieniu z pierwotną wersją rozprawy Doktorant wprowadził niezbędne uzupełnienia dotyczące zastosowanej aparatury oraz procedury jej wykorzystywania. Także analiza wyników została lepiej ujęta.

W rozdziale dziesiątym zestawiono najważniejsze wnioski z prowadzonych badań stwierdzając, że przyjęta teza rozprawy została udowodniona. Mgr inż. Filip Kagankiewicz przedstawił w tej części swojej pracy także propozycje dalszych możliwych badań o charakterze doświadczalnym, teoretycznym, względnie numerycznym. W tym zakresie praca stanowi istotne uzupełnienie, którego zabrakło w pierwotnej jej wersji.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Jak już na wstępie wspomniano, tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Filipa Kagankiewicza związana jest z zagadnieniami techniki wojskowej, a ściślej dotyczącymi problematyki balistyki wewnętrznej klasycznej broni lufowej. Tematyka ta należy do zagadnień o kluczowym znaczeniu przy projektowaniu zarówno broni strzeleckiej, jak i różnych wzorów wykorzystywanych w artylerii, przy czym rozprawa Doktoranta skupiona była przede wszystkim na pierwszym z wymienionych typów sprzętu wojskowego. Podjęcie przez Doktoranta takiej tematyki uważam za wybór słuszny, wychodzący naprzeciw współczesnym tendencjom rozwoju broni lufowej w zakresie balistyki wewnętrznej, która wykorzystuje podstawowe prawa termodynamiki i mechaniki płynów.

Do mocnych stron rozprawy, obok wyboru jej tematyki, z pewnością można zaliczyć interesujący program doświadczalny zawierający dość trudne w analizie testy przeprowadzone w bombie manometrycznej, które w nowej wersji pracy zostały lepiej opisane i przeanalizowane, ale niestety w dalszym ciągu brakuje ilustracji fotograficznej stosowanego stanowiska. Do pozytywów pracy zaliczyłbym również opracowanie językowe. Doktorant włożył sporo wysiłku w tym kierunku, przez co liczba usterek o edycyjnym charakterze jest stosunkowo niewielka.

Praca ma charakter teoretyczno-numeryczno-doświadczalny, ale moim zdaniem jej wkład do nauki dotyczy jednak zwłaszcza części eksperymentalnej. Podjęte wysiłki Doktoranta w obszarze rozważań teoretycznych i numerycznych nie wnoszą praktycznie wiele nowego w stosunku do aktualnego stanu wiedzy, wyczerpująco ujętego w książce promotora rozprawy dr hab. inż. Zbigniewa Wrzesińskiego.

To, co Doktorant opisał w swojej pracy na stronach rozdziałów od 3 do 6 w dużej części zawarte jest we wspomnianej monografii. Faktem jest, że Doktorant w

zmodyfikowanej wersji swojej rozprawy nieco ograniczył te treści i część z nich znalazła się, zgodnie z moimi sugestiami zawartymi w recenzji jej pierwowzoru, w dodatkach na końcu rozprawy. Konkludując, należy stwierdzić, że w tej części pracy nic oryginalnego Doktorant nie proponuje w stosunku do monografii Promotora.

Mgr inż. Filip Kagankiewicz poczynił istotny postęp w analizie osiągnięć literaturowych dotyczących balistyki wewnętrznej w porównaniu do takiej samej analizy zaproponowanej w poprzedniej wersji rozprawy. I chociaż dalej z mojego punktu widzenia jest to analiza bardzo skromna, to jednak akceptowalna. Należy tutaj jeszcze raz podkreślić, że literatura z zakresu balistyki wewnętrznej jest bardzo bogata zarówno w kraju, jak i poza jego granicami.

Za główny wkład Doktoranta do rozwoju nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna uważam:

- (a) Realizację dość wymagających technicznie badań w celu charakteryzacji cech balistycznych kilku rodzajów prochów poprzez pomiar rozwoju ciśnienia w funkcji czasu z wykorzystaniem stanowiska bomby manometrycznej, oraz;
- (b) Potwierdzenie możliwości zastosowania modelu fizycznego balistyki wewnętrznej sformułowanego we współrzędnych Lagrange'a do optymalnego cyfrowego rozwiązywania problemu głównego balistyki wewnętrznej układów lufowych.

Poprzednia wersja rozprawy doktorskiej mgr inż. Filipa Kagankiewicza oprócz wspomnianych już wcześniej słabości zawierała braki o mniejszym kalibrze, które również miały spory wpływ na jej ocenę końcową. W aktualnej wersji niedociągnięcia tego typu zostały w większości wyeliminowane

Układ pracy pod względem kolejności omawianych zagadnień był wprawdzie poprawny, ale jego kompozycja strukturalna już nie. Praca zawierała zbyt dużo rozdziałów, a co gorsze ich objętość była silnie zróżnicowana od rozdziałów jedno- względnie dwustronicowych do bardzo obszernych wielostronicowych. W zmodyfikowanej wersji rozprawa jest bardziej zrównoważona pod tym względem, a przez to korzystniejsza w jej analizie. Istotnym elementem wygodniejszego śledzenia kolejnych kroków prezentacji równań balistyki wewnętrznej jest wprowadzenie spisu stosowanych w rozprawie oznaczeń. To znacznie poprawiło wizerunek tej pracy.

Prezentacja własnych wyników Doktoranta dalej moim zdaniem nie w pełni może zadowolić potencjalnego czytelnika. Chociaż wiele miejsc pracy zostało usprawnione, to jednak w niektórych rozdziałach forma prezentacji wyników raczej odpowiada raportom z badań. Obserwuje się tutaj duży schematyzm prezentacji i nie chodzi tu tylko o zastosowanie

tych samych formatów tabel i rysunków, ale przede wszystkim tych samych akapitów opisu, patrz rozdział dziewiąty.

W nowej wersji doktoratu widać poprawę w zakresie opisu szczegółów eksperymentu i uzupełnień dokumentacji rysunkowej i zdjęciowej.

Przyjęta forma prezentacji wyników Doktoranta w rozdziale siódmym (w poprzedniej wersji dziesiątym) uległa zalecanej modyfikacji polegającej na przeniesieniu do dodatku specjalnego rozprawy tych fragmentów pracy, które przedstawiały w sposób schematyczny ten sam rodzaj otrzymanych danych, co w efekcie rodziło uczucie zwykłego raportowania.

Rozdział ósmy (w poprzedniej wersji jedenasty) w zamierzeniu Doktoranta miał za zadanie zaprezentować sposób modelowania oraz jego wyniki dotyczące rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej klasycznej broni lufowej sformułowanego we współrzędnych Lagrange'a. W porównaniu do pierwowzoru pracy, jej modyfikacja, istotnie wzmocniła ten rozdział. Pojawił się schemat blokowy ogólnego algorytmu programu wykorzystywanego przez Doktoranta w prowadzonych przez niego obliczeniach numerycznych. Ponadto, Doktorant zamieścił w dodatku nr 3 fragment autorskiego kodu źródłowego opracowanego do pracy w środowisku programu Ball-Lagr. Dzięki tym zabiegom czytelnik tej części pracy nie ma już problemu z ustaleniem, czego właściwie dokonał Doktorant, co jest nowego i jakie to ma korzystne znaczenie w rozwiązaniu rozważanego zadania.

Przy prezentacji wyników symulacji numerycznych Doktorant dokonał pewnych modyfikacji, które w jakimś stopniu uporządkowały raportowanie uzyskanych danych, ale nadal opisy wyników, ich ocena i wnioskowanie jest dalekie od ideału.

Bardzo podobny styl raportowania wyników Doktorant zademonstrował w rozdziale dziewiątym. Wprawdzie uzupełnił tę część swojej pracy o opis stanowiska pomiarowego i warunki eksperymentu, to jednak w dalszym ciągu czytelnik dysertacji może odczuwać dyskomfort związany ze schematyzmem prezentacji wielokrotnie powtarzanej konstrukcji akapitów przedstawiających ocenę zgodności wyników symulacji numerycznej z wynikami pomiarów balistycznych. Ponadto, po raz kolejny stwierdzam, że załączone wykresy opisano w sposób zbyt lakoniczny, tak, że potencjalny czytelnik musi domyślać się, o co właściwie się walczy.

W podsumowaniu mojej opinii podkreślam, że prezentowana nowa wersja rozprawy napisana jest w istotnie lepszym stylu zarówno od strony strukturalnej, jak i merytorycznej. Dalej jednak występują problemy w precyzowaniu racjonalnych wniosków z uzyskanych wyników. Spis literatury cytowanej w tekście pracy został wyraźnie wzmocniony i na tyle, że

w dostatecznym stopniu odzwierciedla ogromne zainteresowanie tematyką balistyki wewnętrznej znacznej liczby ośrodków krajowych i międzynarodowych.

Praca mimo wprowadzonych poprawek ciągle jeszcze zawiera pewne mankamenty pod względem terminologii. Szczegóły tej sprawy oraz inne uchybienia omawiam w kolejnym punkcie recenzji zatytułowanym uwagi szczegółowe.

3. Uwagi szczegółowe

Jak już wcześniej wspomniałem, w rozprawie znajdują się pewne potknięcia terminologiczne i drobniejsze usterki o charakterze zarówno merytorycznym, jak i edycyjnym, które były już wskazane w recenzji pierwotnej wersji pracy, ale w dalszym ciągu nie zostały wyeliminowane. Spośród najważniejszych wymienilibym następujące:

1. Doktorant operuje terminami: zasób masy; zasób pędu; zasób energii; gęstość zasobu masy; gęstość zasobu pędu, gęstość zasobu energii. Proszę o uzasadnienie konieczności stosowania takiej terminologii, moim zdaniem użycie dodatkowego terminu „zasób” jest zbędny i nadmiernie rozbudowuje nazewnictwo powszechnie stosowanych znanych parametrów.
2. Czym się różni powszechnie stosowany w mechanice i termodynamice termin „energia całkowita” od terminu wykorzystywanego w rozprawie „energia łączna”.
3. Przyjęty sposób numeracji wzorów przez Doktoranta wymaga przemyślenia, a następnie modyfikacji. W pracy występuje duża swoboda w tym zakresie, tj. w niektórych rozdziałach prawie wszystkie wzory są ponumerowane, a w innych tylko część, a w jeszcze innych wcale nie są ponumerowane.
4. Przy cytowaniu wielu publikacji dotyczących tego samego zagadnienia należy zachować porządek numeryczny (narastający np. (1, 2, 6), a nie (6, 1, 2)), w manuskrypcie znajdują się liczne usterki w tym względzie.
5. Uporządkowanie literatury w aktualnej wersji szwankuje pod względem zawartych danych, np. brakuje roku; w niektórych pozycjach występują imiona autorów, a w innych inicjały, itp.

Pozostałe uchybienia dotyczące głównie usterek językowych, względnie komentarze odnośnie drobnych spraw zaznaczyłem w dostarczonym egzemplarzu rozprawy.

4. Wniosek końcowy

Mgr inż. Filip Kagankiewicz jest autorem rozprawy doktorskiej, która dotyczy ciągle aktualnych problemów balistyki wewnętrznej i wnosi pewien wkład do nauki w

dyscyplinie inżynieria mechaniczna (dawniej mechanika), zwłaszcza w zakresie wyników badań doświadczalnych.

Dużą część uchybień z pierwowzoru pracy, związanych głównie z brakiem wystarczającej dyskusji prezentowanych zagadnień, Doktorant wyeliminował doprowadzając do postaci, która w wystarczającym stopniu spełnia wymagania stawiane przez aktualną Ustawę.

Od strony merytorycznej Doktorant wykazał się dobrą znajomością wybranych zagadnień teoretycznych z zakresu balistyki wewnętrznej, jednak z wyczerpującym opisem dyskutowanych problemów oraz trafnym formułowaniem wniosków z prowadzonych testów numerycznych i doświadczalnych ma pewne kłopoty.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione aspekty uważam, że w aktualnej postaci praca dostatecznie spełnia wymagania Ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych z dnia 14 marca 2003 roku z uwzględnieniem późniejszych zmian i dlatego stawiam wniosek o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Zowalewski'.