

Ocena

osiągnięć naukowych w postępowaniu, w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Zbigniewowi Surmie wykonana na zlecenie dr. hab. inż. Stanisława Kachela, prof. WAT, przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria mechaniczna (pismo DRKN.Z2.400.67.2025 z dn. 15.07.2025 r.)

A. Charakterystyka zawodowa Habilitanta

Dr inż. Zbigniew Surma uzyskał w roku 1993 tytuł zawodowy mgr. inż. w specjalności uzbrojenie wojsk lądowych na Wydziale Elektromechanicznym Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Od 1994 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, początkowo na stanowisku inżyniera, następnie asystenta, a od roku 2002 do chwili obecnej, jako adiunkt.

Pracę doktorską pt.: *„Doświadczalna weryfikacja i modyfikacja równań balistyki wewnętrznej”* obronił w 2001 roku na Wydziale Uzbrojenia i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Promotorem pracy był prof. dr hab. inż. Stanisław Torecki.

B. Ocena osiągnięcia naukowego

Podstawą do ubiegania się o stopień naukowy dr. hab. nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna jest monografia pt.: *„Uogólniony model termodynamiczny balistyki wewnętrznej układów miotających lufowej broni palnej”*, wydana przez Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej w roku 2024. Recenzentami wydawniczymi monografii byli Bogdan K. Zygmunt (WAT) i Mariusz Magier (PW).

Opiniowana praca, zawarta na 115 stronach, podzielona na 4 rozdziały, podsumowanie i spis literatury, dotyczy zagadnień związanych z modelowaniem procesów balistyki wewnętrznej zachodzących podczas strzału w układach miotających lufowej broni palnej, w których źródłem energii jest stały materiał miotający, tzw. proch. Analiza w zakresie balistyki wewnętrznej sprowadza się do wyznaczenia charakterystyk strzału, w szczególności ciśnienia gazów prochowych oraz prędkości i drogi napędzanego pocisku w przewodzie lufy broni, w

funkcji czasu lub drogi. Zadanie polegające na ilościowym wyznaczeniu charakterystyk strzału nazywane jest problemem głównym balistyki wewnętrznej (PGBW).

Mimo bogatej literatury zagadnienia podejmowane przez Habilitanta są nadal aktualne naukowo i ważne z aplikacyjnego punktu widzenia. Habilitant zaproponował w przedłożonej pracy model zjawiska strzału w uogólnionym układzie miotającym, który może być wykorzystany do ilościowej oceny procesów zachodzących w układach klasycznych, dwukomorowych, bezdrzutowych i moździerzowych. W takim ujęciu przedłożona rozprawa stanowi oryginalny wkład w dziedzinie balistyki wewnętrznej wymienionych układów miotających.

W szczególności, we Wstępie Habilitant wskazał powody podjęcia tematyki badań, którymi są - najkrócej mówiąc, wyzwania związane z obronnością po przystąpieniu Polski do NATO. W sposób skrótowy Habilitant uzasadnił celowość prowadzenia badań w zakresie balistyki wewnętrznej, jako niezbywalnego etapu w projektowaniu lufowej broni palnej. Wyjaśnił też powody podjęcia próby opisu zjawiska strzału w uogólnionym układzie miotającym. Wstęp zawiera również zakres poszczególnych rozdziałów pracy, co ułatwia jej studiowanie.

W rozdziale 1 Habilitant przedstawił klasyfikację i szczegółowo omówił budowę i zasadę działania najczęściej stosowanych układów miotających broni palnej. Przedstawione informacje podkreślają z jednej strony specyfikę poszczególnych układów miotających, a z drugiej elementy wspólne, takie jak podobieństwo dostarczania energii w wyniku spalania ładunku miotającego. Habilitant w sposób klarowny omówił podstawy fizyczne zjawiska strzału w poszczególnych układach miotających broni palnej, a także czynniki geometryczne (konstrukcyjne) i chemiczno-fizyczne ładunku miotającego mające wpływ na jego przebieg. W rozdz. 1 Habilitant zaprezentował też w sposób ogólny charakterystyki strzału (krzywe balistyczne) analizowanych układów miotających.

W rozdziale 2 Habilitant zaprezentował uogólniony model balistyki wewnętrznej właściwy dla czterech wybranych układów miotających. Przedstawił schemat uogólnionego układu miotającego, model fizyczny oraz założenia upraszczające. Następnie podał równania opisujące zjawisko strzału, a w tym bilans energii w postaci różniczkowej I zasady termodynamiki uzupełniony o bilans masy gazów prochowych dla dwóch komór, na które została umownie podzielona przestrzeń lufy. W końcowej części rozdziału Habilitant omówił istotną kwestię równań dopływu gazu, podkreślając że w zaproponowanym uogólnionym modelu balistyki wewnętrznej może być zastosowany zarówno geometryczny model spalania, jak i metoda doświadczalnej względnej masowej szybkości spalania ładunków miotających.

Rozdział 3 zawiera schematy czterech szczególnych układów miotających, tj. układu klasycznego, dwukomorowego, bezodrzutowego i móździerzowego, jako uproszczone przypadki uogólnionego układu miotającego. Habilitant dokładnie omówił różnice między rzeczywistym układem miotającym, a przyjętym modelem fizycznym wynikającym z zaproponowanego uogólnionego modelu układu miotającego. Habilitant precyzyjnie wskazał również, jak przyjęte uproszczenia przekładają się na model matematyczny dla wybranego układu miotającego. Dla każdego analizowanego układu przedstawione zostały kompletne układy równań opisujących zjawisko strzału wraz z warunkami początkowymi oraz poszukiwane zmienne. Do rozwiązania układu równań Habilitant wykorzystał metodę Rungego-Kutty IV rzędu.

Rozdział 4 poświęcono prezentacji wyników obliczeń numerycznych wybranych charakterystyk balistycznych strzału. W rozdz. 4.1 Habilitant przedstawił krzywe balistyczne, tj. zależności ciśnienia w komorach I i II oraz prędkości pocisku w funkcji czasu i w funkcji drogi pocisku dla dwóch rodzajów móździerzy (kaliber 82 mm i kaliber 60 mm), a także zależności względnej części spalonego ładunku miotającego i względnej części ładunków prochowych ze spalonego ładunku miotającego, które przepłynęły pomiędzy komorami w funkcji czasu i drogi pocisku dla móździerza kaliber 82 mm. Dyskusja wyników nie budzi zastrzeżeń. Habilitant porównał wyniki obliczeń maksymalnego ciśnienia w komorze II i prędkości wylotowej pocisku dla obu móździerzy z dostępnymi danymi literaturowymi. W przypadku móździerza kaliber 82 mm obliczona prędkość wylotowa pocisku ($v_t=204.6$ m/s) mieściła się w zakresie prędkości zmierzonych ($202 < v_{eks} < 205$ m/s), natomiast obliczone ciśnienie maksymalne (39.6 MPa) było nieznacznie wyższe od zmierzonych ($37.3 < P_{max} < 38.3$ MPa). W przypadku móździerza kaliber 60 mm obliczona prędkość wylotowa pocisku ($v_t=175.2$ m/s) była o ok. 1.3% wyższa od zmierzonych ($v_{eks} \leq 173$ m/s), natomiast obliczone ciśnienie maksymalne (27.4 MPa) mieściło się w zakresie ciśnień zmierzonych ($P_{max}=28 \pm 2$ MPa).

W rozdz. 4.2 przedstawiono krzywe balistyczne, tj. zależności ciśnienia w komorach I i II oraz prędkości pocisku w funkcji czasu i w funkcji drogi pocisku, a także zależności względnej części spalonego ładunku miotającego i względnej części ładunków prochowych ze spalonego ładunku miotającego, które przepłynęły pomiędzy komorami w funkcji czasu i drogi pocisku dla dwukomorowego układu miotającego kalibru 23 mm. Obliczona prędkość wylotowa pocisku ($v_t=128.3$ m/s) była nieznacznie wyższa od prędkości zmierzonych, które były w zakresie $114.3 < v_{eks} < 126$ m/s, natomiast obliczone ciśnienie maksymalne w komorze I ($P_{I_{max}}=181.2$ MPa) i komorze II ($P_{II_{max}}=19.7$ MPa) było niższe od ciśnień zmierzonych, które

wynosiły odpowiednio dla komory I i komory II 186-189 MPa i 20-22 MPa. Maksymalne obliczone ciśnienie w komorze I było więc niższe od najwyższego zmierzonego o ok. 4.3%.

W rozdz. 4.3 przedstawiono krzywe balistyczne, tj. zależności ciśnienia w komorze II oraz prędkości pocisku w funkcji czasu i w funkcji drogi pocisku, a także zależności temperatury i względnej części spalonego ładunku miotającego w funkcji czasu i drogi pocisku dla klasycznego układu miotającego na przykładzie karabinu kaliber 7.62 mm. Uzyskano dobrą zgodność obliczonej prędkości wylotowej pocisku ($v_t=848.7$ m/s) ze zmierzoną w tunelu strzeleckim Laboratorium Artylerii WAT – $v_{eks}=847.4$ m/s, natomiast obliczone ciśnienie maksymalne na dno lufy ($P_{dmax}=323.8$ MPa) było niższe od ciśnienia zmierzonego (327.0 MPa) o ok. 1%, a więc różnica była w granicach błędu pomiaru ciśnienia gazów prochowych (1.1%).

Modyfikacją klasycznego układu miotającego jest układ z odprowadzeniem części gazów prochowych przez boczny otwór w lufie. W rozdz. 4.1 przedstawiono schemat takiego układu, a także układ równań opisujących zjawisko strzału. Zaprezentowano też krzywe balistyczne, tj. zależności ciśnienia gazów prochowych w komorze II i komorze gazowej w funkcji czasu i w funkcji drogi pocisku dla układu bez odprowadzenia gazów i z odprowadzeniem gazów prochowych na przykładzie karabinu kaliber 7.62 mm. Niestety Habilitant nie porównał wyników obliczeń z danymi eksperymentalnymi. Podał natomiast, że odprowadzenie gazów przez boczny otwór w lufie powoduje spadek ciśnienia o ok. 3% i prędkości wylotowej pocisku o ok. 0.2% w porównaniu do układu bez odprowadzania gazów.

W rozdz. 4.4 przedstawiono krzywe balistyczne, tj. zależności ciśnienia w komorze II oraz prędkości pocisku w funkcji czasu i w funkcji drogi pocisku, a także zależności względnej części spalonego ładunku miotającego oraz względnej części gazów prochowych, która wypłynęła przez dyszę w funkcji czasu i drogi pocisku dla bezodrzutowego układu miotającego na przykładzie działa bezodrzutowego kaliber 73 mm. Obliczenia przeprowadzono dla przypadku ładunku miotającego połączanego i niepołączanego z pociskiem. Niestety Habilitant nie porównał wyników obliczeń z danymi eksperymentalnymi. Podał natomiast, że w układzie z ładunkiem miotającym połączonym z pociskiem ciśnienie maksymalne gazów prochowych jest od kilku do kilkunastu procent wyższe w porównaniu do ciśnienia w układzie z ładunkiem miotającym spalającym się w komorze. Z kolei maksymalna prędkość wylotowa pocisku osiąga maksimum dla określonego stosunku masy ładunku miotającego do masy pocisku.

W Posumowaniu i wnioskach Habilitant wskazał na zasadnicze cechy zaproponowanego uogólnionego modelu balistyki wewnętrznej, a także możliwości jego wykorzystania w projektowaniu nowych typów broni lufowej.

Przedłożona monografia pokazuje kompetencje Habilitanta w zakresie rozważań teoretycznych i badań eksperymentalnych złożonych zjawisk cieplno-przepływowych w układach miotających.

Opiniowana praca jest oryginalnym osiągnięciem Habilitanta w obszarze modelowania złożonych układów, w których energia chemiczna paliw stałych jest wykorzystywana do nadania masie (pociskowi) maksymalnej energii kinetycznej.

W szczególności Habilitant wnosi własny wkład do rozpoznania i opisu procesu strzału w układach miotających różniących się zasadą działania i konstrukcją, a przedstawione wyniki badań są niezwykle cenne zarówno z poznawczego, jak i użytkowego punktu widzenia.

Mimo poważnego mankamentu pracy, którym jest brak przeglądu literatury dotyczącego metod rozwiązywania problemu głównego balistyki wewnętrznej, uważam, że przedłożona praca spełnia warunki stawiane rozprawom habilitacyjnym w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

C. Opinia o pozostałych osiągnięciach badawczych

Oprócz problemów przedstawionych w monografii Habilitant zajmował się również badaniami teoretycznymi i doświadczalnymi nietypowych układów miotających, wśród których można wymienić cztery zagadnienia:

1. *Modelowanie balistyki wewnętrznej układu miotającego z odprowadzeniem gazów prochowych.*

Opracowany model balistyczny umożliwiający analizę działania układu z odprowadzeniem gazów oraz badania wpływu konstrukcji węzła gazowego i zespołu suwadła na charakterystyki strzału i działanie automatyki broni został wykorzystany m.in. przy projektowaniu i budowie karabinka MSBS-5,56 „Grot”, który został wprowadzony do uzbrojenia Sił Zbrojnych RP.

Wyniki badań z tego obszaru opublikowano w 7 współautorskich pracach, w tym 3 w Biuletynie Wojskowej Akademii Technicznej (20 pkt., 2024), 2 w Problemach Mechatroniki. Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria bezpieczeństwa (40 pkt., 2024) oraz w 2 referatach na konferencjach międzynarodowych. Niestety, nie podano udziałów poszczególnych autorów.

2. *Modelowanie balistyki wewnętrznej pneumatycznego układu miotającego.*

Opracowany model balistyczny pozwala na analizę ciśnienia gazu w przewodzie lufy, drogi i prędkości napędzanego pocisku w lufie, a także umożliwia ocenę wpływu warunków początkowych i parametrów konstrukcyjnych układu na charakterystyki jego pracy.

Wyniki badań z tego obszaru opublikowano w autorskim artykule w Biuletynie Wojskowej Akademii Technicznej (20 pkt., 2024), w 1 współautorskim artykule w Problemach Mechatroniki. Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria bezpieczeństwa (40 pkt., 2024) i w 1 współautorskim artykule w czasopiśmie Mechanik. Nie podano udziałów poszczególnych autorów.

3. *Modelowanie balistyki wewnętrznej silnika raketowego na paliwo stałe.*

Opracowany model balistyczny pozwalający na analizę ciśnienia gazu w komorze spalania oraz ciągu silnika został wykorzystany do zaprojektowania i budowy demonstratora przeciwlotniczej dwustopniowej rakiety krótkiego zasięgu.

Wyniki badań z tego obszaru opublikowano we współautorskim artykule w Central European Journal of Energetic Materials (70 pkt., 2024). Nie podano udziałów poszczególnych autorów.

4. *Modelowanie balistyki wewnętrznej układu wyrzutnia lufowa-pocisk z napędem raketowym.*

Opracowany model balistyczny pozwalający na analizę odrzutu i podrzutu wyrzutni lufowej podczas strzału, powodujących zaburzenia trajektorii lotu pocisku, został wykorzystany do zaprojektowania i budowy demonstratora inteligentnego antypocisku do zwalczania pocisków przeciwpancernych.

Wyniki badań z tego obszaru opublikowano we współautorskim artykule w Central European Journal of Energetic Materials (70 pkt., 2024). Nie podano udziałów poszczególnych autorów.

Ponadto, Habilitant posiada bogate doświadczenie w prowadzeniu prac eksperymentalnych, które obejmują:

1. *Badania pirostatyczne stałych materiałów miotających.*

Osiągnięcia Habilitanta w tym obszarze dotyczą:

- wyznaczania własności termofizycznych gazów prochowych i rzeczywistej szybkości spalania prochów,
- ustalenia wpływu temperatury początkowej prochu na jego charakterystyki energetyczno-balistyczne oraz charakterystyki strzału,

- określenia składu chemicznego i geometrii wielobazowego prochu mało wrażliwego, przeznaczonego do amunicji czołgowej nowej generacji,
- udział w budowie stanowiska do badań pirostatycznych z wykorzystaniem zapłonu mieszaniną gazów metan-tlen oraz zapłonu plazmowego.

Wyniki badań z tego obszaru opublikowano w 3 współautorskich artykułach, w tym 2 w *Energies* (140 pkt.) oraz 1 w *Combustion, Explosion, and Shock Waves* (70 pkt.). Nie podano udziałów poszczególnych autorów.

2. *Badania pirodynamiczne lufowych układów miotających.*

W tym obszarze Habilitant ma udział w badaniach eksperymentalnych:

- zjawiska strzału (pomiar ciśnienia gazów prochowych w przewodzie lufy, określanie prędkości pocisku) oraz
- zachowania się pocisku na torze lotu i po trafieniu w cel,

których wyniki wykorzystano do opracowania nowoczesnych wzorów broni i amunicji.

Wymiernym osiągnięciem w tym obszarze badań jest współautorstwo patentu krajowego i europejskiego. Nie podano udziałów poszczególnych autorów.

W mojej opinii osiągnięcia przedstawione w omówionych powyżej obszarach aktywności naukowej Habilitanta, innych niż opisane w monografii, świadczą o jego bardzo dobrych kompetencjach do prowadzenia samodzielnych badań w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

D. Opinia o pozostałych osiągnięciach

Całkowita lista publikacji Habilitanta zawiera 75 pozycji, z czego 20 to współautorskie artykuły w czasopiśmie z listy JCR, wszystkie opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora. Sumaryczny impact factor publikacji naukowych wynosi 45.398. Łączna suma cytowań (z wyłączeniem autocytowań) wynosi 127 (wg WoS). Indeks Hirscha – również wg WoS, to 7. Habilitant jest autorem 1 i współautorem również 1 monografii.

Habilitant brał udział w 33 zrealizowanych, krajowych projektach badawczych, w tym w 30 był wykonawcą, w 2 był głównym wykonawcą i w 1 był kierownikiem zadania. W roku 2025 i 2027 kończą się kolejne 2 projekty krajowe, w których Habilitant jest wykonawcą. Habilitant brał też udział - jako wykonawca, w realizacji 1 projektu europejskiego, a w kolejnym, który kończy się w roku 2027, jest również wykonawcą.

Habilitant jest współautorem 117 referatów przedstawionych na konferencjach, w tym 23 prac zaprezentowanych na konferencjach zagranicznych.

Od roku 2019 Habilitant jest członkiem International Ballistics Society. Habilitant był recenzentem 35 artykułów do czasopism znajdujących się w wykazie MEN. Habilitant był współautorem 38 ekspertyz i innych opracowań wykonanych na rzecz otoczenia przemysłowego. Habilitant aktywnie współpracuje z wiodącymi firmami z zakresu obronności kraju, m.in. z Zakładami Metalowymi DEZAMET S.A. w Nowej Dębie, Zakładem Produkcji Specjalnej GAMRAT Sp. z o.o. w Jasle, Hutą Stalowa Wola S.A., Zakładami Chemicznymi NITRO-CHEM S.A. w Bydgoszczy. Habilitant odbył krótkoterminowy (1 tydz.) staż naukowy w High Pressure Instrumentation, Graz Austria, a także uczestniczył w The 13th International Scientific Internship Programme "Nobel Laureates: Researching the Experience and Professional Achievements for Successful Personality Development and World Transformation" in Dubai, Oslo, Stockholm, Rome, Burgas, New York, Jerusalem and Beijing (09.06.2023 – 22.07.2023).

Habilitant posiada duże doświadczenie dydaktyczne. Prowadzi zajęcia (wykłady, ćwiczenia audytoryjne i laboratoryjne, seminaria, projekty) na studiach I i II stopnia, jednolitych studiach magisterskich oraz studiach III stopnia, w ramach takich przedmiotów jak: balistyka wewnętrzna, modelowanie zjawisk balistyki i dynamiki lotu, symulacja numeryczna zjawisk balistyki oraz zaawansowane działy balistyki. Ponadto prowadził zajęcia m.in. z przedmiotów: badania broni i amunicji, podstawy konstrukcji maszyn, numeryczne metody obliczeniowe, informatyka. Pod jego opieką zostało zrealizowanych 26 prac dyplomowych. Habilitant pełnił funkcję promotora pomocniczego w 2 przewodach doktorskich. Jest bardzo zaangażowany w budowę stanowisk laboratoryjnych.

Habilitant od wielu lat pełni odpowiedzialne funkcje w strukturach WAT. W latach 1998-2017 był kierownikiem Laboratorium Balistyki, w latach 2012-2020 był kierownikiem Zakładu Balistyki, w latach 2020-2021 był kierownikiem Zakładu Artylerii i Balistyki, a od 2021 roku jest kierownikiem Laboratorium Artylerii i Balistyki. Habilitant bierze czynny udział w organizacji życia akademickiego, m.in. jako członek wielu komisji na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa WAT. Angażuje się również w działania promocyjne na rzecz wydziału i uczelni. Habilitant odbył liczne kursy i szkolenia. Za swoje osiągnięcia Habilitant był wyróżniony Nagrodą Rektora WAT, a także nagrodami na konkursach z zakresu obronności.

Za całokształt działalności, w tym osiągnięcia naukowo-badawcze, dydaktyczne oraz organizacyjne Habilitant został wyróżniony m.in.: Brązowym Krzyżem Zasługi, Wojskowym Krzyżem Zasługi, Brązowym, Srebrnym i Złotym Medalem Siły Zbrojne w Służbie Ojczyzny, Brązowym, Srebrnym i Złotym Medalem za Zasługi dla Obronności Kraju, Medalem Komisji Edukacji Narodowej, Srebrnym Medalem Za Zasługi dla Wojskowej Akademii Technicznej,

Tytułem Zasłużony Nauczyciel Akademicki WAT, Medalem Zasłużony dla Wydziału Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa WAT.

W mojej ocenie dorobek organizacyjno-dydaktyczny Habilitanta spełnia zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom na stopień doktora habilitowanego.

E. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawiona przez dr. inż. Zbigniewa Surmę monografia pt.: „Uogólniony model termodynamiczny balistyki wewnętrznej układów miotających lufowej broni palnej” stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy dotyczącej zjawiska strzału w uogólnionym układzie miotającym i spełnia wymogi stawiane kandydatom na stopień doktora habilitowanego przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Ważne jest, że prace Habilitanta w sposób istotny przyczyniły się do rozwoju Sił Zbrojnych RP, a tym samym poprawy zdolności obronnych kraju.

Biorąc powyższe pod uwagę popieram wniosek dr. inż. Zbigniewa Surmy o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

A handwritten signature in blue ink, reading "J. Gisiński". The signature is written in a cursive style. Below the signature, there is a large, faint, blue ink mark that resembles a stylized triangle or a large letter 'A'.