

dr hab. inż. Jarosław Marcisz

Sieć Badawcza Łukasiewicz-Górnośląski Instytut Technologiczny

ul. Karola Miarki 12-14

44-100 Gliwice

## RECENZJA

rozprawy habilitacyjnej dr. inż. Łukasza Farbańca, stanowiącej zgodnie z Art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024 poz. 1571), cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie Art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b. W opracowaniu uwzględniono również wskazane przez habilitanta oryginalne osiągnięcia projektowe, spełniające wymagania zgodnie z Art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy. W autoreferacie habilitant wskazał następujący tytuł cyklu publikacji: **„Charakterystyka dynamicznych właściwości mechanicznych materii i mechanizmów rządzących przebiegiem deformacji w warunkach ekstremalnych obciążeń”**. Recenzja zawiera także opinie nt. dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego, które są istotne w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

### Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, prof. Bartłomieja Szafrana (WFiiS-b.511-1/498/25 z dnia 28.10.2025), informującego o powołaniu mnie do komisji habilitacyjnej w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne. Komisja w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego Panu dr. inż. Łukaszowi Farbańcowi została powołana Uchwałą nr 1/10/RD/2025 Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z dnia 23 października 2025. Otrzymałem również „Zawiadomienie o wyznaczeniu na Recenzenta i Członka komisji habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego”, stanowiące Załącznik nr 3 do zarządzenia nr 32/2025 Rektora AGH z dnia 5 czerwca 2025. Recenzję opracowano na podstawie dostarczonych kopii dokumentów (na płycie CD i e-mailem) obejmujących: Autoreferat habilitanta, Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny oraz Dyplom doktorski (z tłumaczeniem).

### 1. Informacje ogólne o Habilitancie

Dr inż. Łukasz Farbaniec jest aktualnie pracownikiem naukowo-dydaktycznym Katedry Fizyki Materii Skondensowanej na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w Krakowie (od lipca 2022). W roku 2008 ukończył studia magisterskie na Politechnice Krakowskiej. W okresie 4 lat po ukończeniu studiów obronił pracę doktorską na University of Paris 13, Sorbonne Paris Cite Villetaneuse we Francji. Rozprawa doktorska obroniona z wyróżnieniem dotyczyła mechanizmów odkształcenia i pęknięcia ultradrobnoziarnistych materiałów polikrystalicznych. Stopień doktora nauk technicznych

uzyskał w dyscyplinie mechanika materiałów. Po uzyskaniu stopnia doktora Pan Łukasz Farbaniec był zatrudniony jako pracownik naukowy kolejno w następujących jednostkach badawczych:

- a/ Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, **French National Center for Scientific Research** (CNRS), Francja (2012-2013)
- b/ Hopkins Extreme Materials Institute, **Johns Hopkins University**, USA (2013-2015)
- c/ Institute of Shock Physics, **Imperial College London**, Wielka Brytania (2016-2018)
- d/ Impact Engineering Laboratory, **University of Oxford**, Wielka Brytania (2018-2023).

Dr Farbaniec przebywał także jako „visiting scholar” w **Imperial College London (2018-2020) oraz w Johns Hopkins University (2015-2016) i jako doktorant w French National Center for Scientific Research (2009-2012).**

Kariera zawodowa Pana dr. Łukasza Farbańca jest od początku ściśle związana z tematyką przedłożonej rozprawy habilitacyjnej i dotyczy mechanizmów odkształcenia plastycznego materiałów w warunkach ekstremalnych obciążeń. Warunki ekstremalne oznaczają zarówno wysokie prędkości odkształcenia (dynamiczne) jak i wartości odkształceń jednostkowych, w tym zlokalizowanych w małej objętości materiału. Ponadto dr Farbaniec opracował zaawansowane stanowiska do badań materiałów poddanych ww. warunkom obciążenia. W tym aspekcie należy uznać długoletnie doświadczenie oraz ciągłość badań w przedmiotowym obszarze. Warto zaznaczyć zatrudnienie habilitanta w zagranicznych, uznanych w całym świecie jednostkach naukowych, w szczególności w dziedzinie fizyki ciała stałego i szeroko rozumianej dziedziny dotyczącej reakcji materiałów na wysokoenergetyczne oddziaływania udarowe, w tym zlokalizowane na małej powierzchni. Podsumowując dotychczasową karierę zawodową dra Łukasza Farbańca, w tym zatrudnienie w światowych i europejskich uniwersytetach, stwierdzam, że kandydata wyróżnia wieloletnie międzynarodowe doświadczenie naukowe oraz wysokie kompetencje w tematyce rozprawy habilitacyjnej, biorąc pod uwagę historię zatrudnienia i przedstawione osiągnięcia publikacyjne i projektowe.

## **2. Ocena osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).**

Dr Farbaniec przedstawił do recenzji osiągnięcie w postaci dwunastu artykułów, na podstawie których sformułował następujący tytuł cyklu habilitacyjnego: „**Charakterystyka dynamicznych właściwości mechanicznych materii i mechanizmów rządzących przebiegiem deformacji w warunkach ekstremalnych obciążeń**”. Spośród w większości wysokopunktowanych artykułów (oznaczonych H1-12), opublikowanych w latach 2015-2025 (9 artykułów w latach 2015, 2016 i 2017 oraz 3 artykuły w latach 2021, 2023 i 2025), habilitant jest pierwszym autorem 8-u z nich, a w pozostałych 4-ech, drugim z kolei współautorem. Wskazuje to na znaczący udział w realizacji badań będących przedmiotem artykułów, a tym samym potwierdza autorstwo przedłożonej rozprawy habilitacyjnej. Sumaryczna wartość IF przedmiotowych 12-u artykułów wynosi 39,29 (na rok opublikowania), a wartość punktacji ministerialnej 1530.

Ponadto do recenzji przedstawiono opis dwóch osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych (oznaczonych w autoreferacie symbolami: P1 i P2) dotyczących specjalistycznych stanowisk badawczych, zaprojektowanych, wykonanych i wykorzystywanych w pracach B+R+I przez habilitanta.

Przewodnim tematem recenzowanej rozprawy habilitacyjnej jest zrozumienie reakcji materiału na dynamiczne i udarowe obciążenie zewnętrzne. Ma to niewątpliwie kluczowe znaczenie dla rozwoju

nowoczesnych technologii w sektorach: obronnym, lotniczym i kosmicznym. W przedstawionym cyklu artykułów przeprowadzono szereg eksperymentów w warunkach laboratoryjnych, co pozwoliło na analizę mechanizmów zachodzących w materiale w ekstremalnych warunkach obciążenia. Z pewnością przedmiotowy zakres badań wymaga interdyscyplinarnego podejścia, w tym wiedzy i doświadczenia eksperymentalnego z zakresu fizyki ciała stałego, zjawisk propagacji fal, termodynamiki, odpowiednich technik pomiarowych, inżynierii mechanicznej oraz inżynierii materiałowej. Habilitant mając świadomość interdyscyplinarnego charakteru prowadzonych badań, podkreślił, że w jego opinii przedstawione osiągnięcia mają największy wpływ na rozwój dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych w tym dyscypliny *nauki fizyczne*. Trudno nie zgodzić się z tym podejściem aczkolwiek biorąc pod uwagę aplikacyjny charakter osiągnięć wskazuję w tym miejscu istotną zbieżność tematu z dyscypliną „inżynieria materiałowa” w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Finalnie, wskazane w pracy zastosowania badanych materiałów, obejmowały konstrukcje, np. elementy systemów opancerzenia, które niewątpliwie wpisują się w zakres nowoczesnych rozwiązań materiałowych.

Przedstawione wyniki eksperymentów w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych ukierunkowano na zrealizowanie następujących celów badawczych, które stanowiły osiągnięcia i tym samym wkład naukowy do wyżej wytypowanej dyscypliny:

- a/ Wyznaczenie stałych materiałowych równania konstytutywnego, opisującego zależność pomiędzy naprężeniem, odkształceniem i szybkością odkształcenia,
- b/ Badanie mechanizmów odkształcenia plastycznego, przy założeniu i stosowaniu modelowych warunków obciążenia, uzupełnione o badania zmian mikrostruktury w celu walidacji modeli teoretycznych,
- c/ Projektowanie procesów wytwarzania, przetwarzania i eksploatacji wykorzystujących deformację plastyczną z dużymi prędkościami.

Osiągnięcie wyżej wymienionych celów wymagało realizacji eksperymentów w szerokim zakresie szybkości odkształcenia. Problematyka badawcza zawarta w przedłożonym cyklu publikacji obejmowała odkształcenie plastyczne w zakresie szybkości powyżej  $100 \text{ s}^{-1}$ , które uzyskano w eksperymentach za pomocą techniki dzielonego pręta Hopkinsona i uderzeniowego testu płytowego.

Jednym z osiągnięć habilitanta było poznanie i opisanie zjawisk zachodzących podczas ekstremalnego obciążenia węgliku boru. Zainteresowanie tym materiałem ceramicznym było i jest bardzo duże w sektorze obronnym i narzędziowym. Pomimo wyjątkowych właściwości, szerokie zastosowanie tego materiału w osłonach balistycznych jest nieznacznie ograniczone np. z uwagi na tendencję do formowania pasm amorficznych o nanometrowych rozmiarach w warunkach ekstremalnych obciążeń, w tym naprężenia ścinającego. W konsekwencji faza amorficzna stanowi miejsca koncentracji odkształceń i aktywacji mikropęknięć co jest powodem obniżenia wytrzymałości i odporności na pękanie.

Głównym celem badawczym cyklu artykułów dotyczących materiałów ceramicznych była identyfikacja i charakterystyka mikromechanizmów odpowiedzialnych za uszkodzenia podczas dynamicznego obciążenia. Cel został zrealizowany z wykorzystaniem szczegółowej analizy zmian mikrostruktury i jej wpływu na procesy inicjacji, propagacji pęknięć oraz fragmentację materiału. Niewątpliwie osiągnięte rezultaty prac badawczych wskazują na wysokie kwalifikacje habilitanta, znajomość specjalnych technik badawczych a przede wszystkim umiejętność interpretacji wyników eksperymentów. Z uwagi na złożoność stanu naprężenia i odkształcenia dynamicznego, bardzo często w stosunkowo małym obszarze oddziaływania, analiza zmian mikrostruktury w celu poznania i zrozumienia mechanizmów reakcji materiału jest niezwykle ambitnym wyzwaniem naukowym. Wykazał przy tym świadomość wskazania istotnych miejsc, elementów mikrostruktury, które stanowią „najsłabsze ogniwo” w procesie eksploatacji materiału, a tym samym decydują o jego

potencjale aplikacyjnym. W tym aspekcie habilitant z pewnością wniósł wkład w dziedzinę badań w obszarze eksperymentów, interpretacji wyników oraz wskazania potencjalnych mechanizmów odkształcenia.

Dodatkowo wykazano, że wyniki badań posiadają potencjał aplikacyjny co pozwoliło na opracowanie wytycznych dla poprawy procesu wytwarzania elementów płyt balistycznych. Wzrost wytrzymałości SiC, zdaniem habilitanta można uzyskać poprzez kontrolę lub znaczące ograniczenie zarodkowania dużych wtrąceń faz węgla podczas procesu prasowania na gorąco. Zaprojektowano nową generację materiałów ze zmniejszoną ilością defektów i wtrąceń faz węgla, czego rezultatem była poprawa właściwości użytkowych, w odniesieniu do materiału referencyjnego. Te właśnie elementy mikrostruktury stanowiły parametr krytyczny materiału istotny z punktu widzenia odporności na pękanie w warunkach dynamicznych obciążeń. Zaproponowana ilościowa charakterystyka ww. defektów wprowadziła nowe wytyczne i standardy w zakresie kontroli jakości ceramicznych płyt balistycznych. Na podstawie uzyskanej wiedzy na temat mechanizmów dezintegracji materiału oraz wpływu wstępnego obciążenia na wytrzymałość zaprojektowano wielowarstwowe systemy balistyczne. Otrzymane wyniki stanowią zbiór danych do walidacji zaawansowanych, wielkoskalowych modeli konstytutywnych dla materiałów kruchych, jak również dla rozwoju narzędzi symulacyjnych. Przeprowadzone badania naukowe przyczyniły się do zmiany oceny wyników testów ceramiki technicznej, z prostego pomiaru właściwości makroskopowych w kierunku kontrolowania krytycznych cech mikrostrukturalnych. Ten praktyczny aspekt badań habilitanta zasługuje na podkreślenie z uwagi na weryfikację opracowanych wcześniej wytycznych dotyczących reakcji materiału na obciążenia dynamiczne.

W opracowaniu przedstawiono wykorzystanie metody uderzeniowego testu płytowego do badania zjawisk zachodzących w materii podczas udarowego obciążenia. Materiałem badań był magnez i jego stopy. W pracach analizowano wpływ kierunku działania obciążenia na dominujący mechanizm odkształcenia. Badano odporność na obciążenia dynamiczne i udarowe, która jest silnie uzależniona od rodzaju mikrostruktury (tekstury, wielkości ziarna czy obecności faz międzymetalicznych). Wskazano na kluczowy mechanizm niszczenia materiałów pod wpływem obciążeń udarowych jakim jest pękanie rozdzielcze / odłupianie (z ang. *spall fracture*). Habilitant stwierdza, że w momencie rozpoczęcia badań nad stopami magnezu, brak było danych dotyczących wpływu określonych cech mikrostruktury (np.: granice ziaren, wtrącenia międzymetaliczne) na zarodkowanie pustek i rozwój pęknięcia rozdzielczego. Prowadzono także badania na monokryształach magnezu celem poznania fundamentalnych mechanizmów deformacji plastycznej, takich jak bliźniakowanie, występujących przy dużych szybkościach odkształcenia. Tego typu prace eksperymentalne dostarczają użytecznych danych do opracowania modeli materiałowych. Głównym celem tych prac było zrozumienie fundamentalnych mechanizmów odkształcenia plastycznego i pęknięcia rozdzielczego w warunkach obciążenia udarowego magnezu i jego stopów. Celem szczegółowym były badania wytrzymałości na pękanie rozdzielcze, w tym wyznaczenie rzeczywistego profilu fali uderzeniowej i granicy sprężystości. Celem badań było również zidentyfikowanie preferencyjnych miejsc zarodkowania i rozwoju pęknięć rozdzielczych. Z kolei w badaniach monokryształu magnezu, celem było zbadanie mechanizmów aktywujących bliźniakowanie w krystalicie obciążonym wzdłuż osi krystalograficznej  $\langle a \rangle$ , która klasycznie nie sprzyja temu mechanizmowi. Wymienione cele badań wpisują się we wskazane wcześniej, określenie istotnych elementów mikrostruktury materiału („najsłabszych ogniw”), które stanowią o jego odporności na szeroko rozumiane obciążenia udarowe.

Innowacyjność badań polegała na połączeniu testów dynamicznych z kompleksową charakterystacją mikrostruktury. Wyniki przedstawionych badań posiadają potencjał aplikacyjny. Wykazano, że poprawa wytrzymałości krytycznej w warunkach udarowych wymaga określonej kontroli wielkości, morfologii i dystrybucji faz międzymetalicznych w procesie produkcyjnym. Wyniki badań stanowiły dane dla rozwoju modeli konstytutywnych i zniszczeniowych magnezu i jego stopów.

## Ocena wkładu w rozwój technik pomiarowych (osiągnięcia projektowe)

### Radiografia synchrotronowa

Postęp w rozwoju technik synchrotronowych i bardziej powszechny dostęp do źródeł promieniowania synchrotronowego otworzyły nowe możliwości w zakresie badań dynamicznych właściwości. Jedną z największych zalet jest możliwość obserwacji dynamicznych procesów zachodzących wewnątrz materiału w czasie rzeczywistym przy pomocy ultraszybkiej radiografii rentgenowskiej z efektem kontrastu fazowego. Wykorzystano tę technikę w badaniach materiałowych z użyciem metody dzielonego pręta Hopkinsona. Urządzenie zostało specjalnie zaprojektowane do pracy na linii pomiarowej, a jedno z pierwszych przeprowadzonych na nim eksperymentów zaproponowane przez habilitanta, to badania nad dynamicznymi właściwościami mechanicznymi meteorytów.

Głównym celem badawczym było poznanie mechanizmów pęknięcia i fragmentacji próbki meteorytu w warunkach obciążenia dynamicznego. Celem szczegółowym była wizualizacja w czasie rzeczywistym procesu obciążenia próbki i skorelowanie zidentyfikowanych wcześniej cech mikrostrukturalnych z obserwowanymi w czasie rzeczywistym miejscami inicjowania i drogami propagacji pęknięć. Innowacja rozwiązania dotyczyła aspektu metodologicznego. Z udziałem habilitanta przeprowadzono pierwszy na świecie eksperyment, w którym zastosowano jednocześnie dynamiczne obciążenie próbki oraz *in situ* synchrotronową radiografię i synchrotronową tomografię komputerową w badaniach meteorytu. Badania synchrotronowe pozwoliły uzyskać bezpośredni wgląd w mechanizmy rozpadu małych ciał planetarnych, łącząc stan *przed*, *w trakcie* i *po*, co stanowiło istotny postęp względem dotychczasowych eksperymentów. Uzyskana wiedza stanowi również dane do doskonalenia modeli numerycznych symulujących kolizje asteroid, formowanie kraterów uderzeniowych, a także dla rozwoju skutecznych strategii obrony planetarnej. Opracowana metodyka stanowi wartościowy wkład w dziedzinę fizyki eksperymentalnej i jako uniwersalna może być stosowana w badaniach materiałów niejednorodnych, np. kompozytów, ceramiki czy materiałów geologicznych, w celu zrozumienia ich reakcji na obciążenia dynamiczne.

### Obrazowanie termiczne

Podczas obciążenia dynamicznego lub udarowego, odkształcenie plastyczne koncentruje się w małych obszarach materiału, w których następuje bardzo szybki wzrost a następnie spadek temperatury. Prowadzi to w wielu przypadkach do zjawiska dynamicznej rekryształizacji lub nawet lokalnej przemiany fazowej, w tym do przetopienia. Z tego powodu precyzyjne pomiary temperatury mają istotne znaczenie dla zrozumienia fundamentalnych właściwości termomechanicznych materiałów w ekstremalnych warunkach obciążenia.

Celem badawczym omawianego oryginalnego osiągnięcia było zaprojektowanie i budowa stanowiska pomiarowego, umożliwiającego kontrolowany i precyzyjny pomiar zmian współczynnika odbicia światła od powierzchni próbki materiałowej przy jednoczesnej modulacji pola temperatury. Ważnym aspektem było opracowanie procedur kalibracyjnych, pozwalających na jednoznaczne powiązanie względnej zmiany współczynnika odbicia światła ze zmianą temperatury złota, które jako cienkie warstwy napyłono na odkształcaną próbkę. Wynikiem pracy było stanowisko badawcze do wyznaczenia rozkładu przestrzennego temperatury przy użyciu ultraszybkiej kamery oraz dowolnego źródła światła. Użycie metody pozwoliło na analizę zjawisk związanych z tworzeniem pasm adiabatycznego ścinania, przemianami fazowymi, czy rozpraszaniem energii w wyniku odkształcenia plastycznego. Technika ta jest uniwersalna i może być również wykorzystana do obrazowania rozkładu przestrzennego pola temperatury w aplikacjach niewymagających ultraszybkich pomiarów.

## *Interferometria laserowa*

Stanowisko badawcze metodą dzielonego pręta Hopkinsona w warunkach naprężenia skręcającego, pozwala na analizę dynamicznych właściwości mechanicznych w procesie ścinania w zakresie prędkości odkształcenia  $10^2 - 10^4 \text{ s}^{-1}$ . Tego rodzaju obciążenie biorąc pod uwagę rodzaj i zakres wartości jest kluczowe dla wielu zastosowań inżynierskich w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym oraz obronnym. W praktyce, wygenerowanie impulsu składającego się wyłącznie ze sprężystej fali skręcającej nie jest zadaniem łatwym. W konsekwencji, może to prowadzić do błędów w interpretacji wyników przy wyznaczaniu stałych materiałowych. Wynikła potrzeba opracowania alternatywnej metody pomiarowej, pozwalającej na rejestrację odkształcenia sprężystego prętów podczas eksperymentów. Głównym celem osiągnięcia badawczego habilitanta było opracowanie i demonstracja metody opartej na interferometrii laserowej i analizie sygnału heterodynowego do pomiaru fal sprężystych w technice dzielonego pręta Hopkinsona. Celem szczegółowym był projekt systemu pomiarowego pozwalającego rozdzielić fale skrętne od zginających w zarejestrowanym sygnale. Zastosowanie interferometrii laserowej w badaniach przy użyciu dzielonego pręta Hopkinsona nie jest zagadnieniem nowym, ale nowatorstwo omawianego osiągnięcia projektowego polegało na pomiarach sprężystych fal skrętnych, a także odpowiedniej konfiguracji kolimatorów światłowodowych w celu jednoczesnego pomiaru fal o różnej charakterystyce w zadanym punkcie.

## **Ocena innych osiągnięć naukowo-badawczych**

### *Opis zjawisk i procesów fizycznych zachodzących w niklu w szerokim zakresie szybkości odkształcenia*

Przeprowadzono badania zmian mikrostruktury niklu w szerokim zakresie szybkości odkształcenia oraz korelacji z właściwościami mechanicznymi. Analizowano mechanizmy inicjacji i propagacji pęknięć, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu geometrii i rozmiaru próbki, mikrostruktury oraz walidacji modeli konstytutywnych. Zrozumienie zachowania materii pod wpływem fali uderzeniowej jest cenne zarówno z perspektywy badań stosowanych (np. dla przemysłu obronnego i lotniczego) jak i badań podstawowych. Projektowanie materiałów odpornych na uderzenia, rozwijanie modeli konstytutywnych, przewidywanie inicjacji deformacji plastycznej w warunkach wysokich szybkości odkształcenia, to zagadnienia analizowane w opisanym osiągnięciu naukowym. Celem podstawowym było poznanie fundamentalnych zjawisk fizycznych zachodzących w materii pod wpływem obciążeń dynamicznych i udarowych. Habilitant uczestniczył w wielu eksperymentach, a wśród najważniejszych osiągnięć naukowych jako członek zespołu badawczego należy wymienić: opis zjawisk kawitacyjnych oraz pierwsze obserwacje mechanizmów zapadania się kulistych pustek w cieple stałym pod wpływem fali uderzeniowej; opis mechanizmu integracji proszków pod wpływem fali uderzeniowej, który uzyskano za pomocą technik obrazowania synchrotronowego i zaawansowanych symulacji; opis wpływu gęstości dyslokacji oraz tekstury krystalograficznej na granicę sprężystości HEL w materiałach modelowych, takich jak aluminium i jego stopy.

Projekt oraz budowa stanowiska dzielonego pręta Hopkinsona do badań wytrzymałości w złożonych stanach naprężenia podczas ściskania, rozciągania, skręcania lub ich kombinacji. Klasyczne eksperymenty często obejmują badania z założenia w warunkach obciążenia jednoosiowego, co nie odzwierciedla rzeczywistych warunków eksploatacji. Habilitant opracował modyfikację aparatury umożliwiającej badania materiałów pod wpływem złożonych dynamicznych obciążeń (np. jednoczesne rozciąganie i skręcanie) oraz eksperymentalne wyznaczenie kryterium płynięcia dla materiałów wykorzystywanych w przemyśle lotniczym i obronnym. Osiągnięciem projektowym jako członka zespołu badawczego była budowa układu badawczego na bazie techniki dzielonego pręta Hopkinsona, który umożliwia prowadzenie badań dynamicznych w warunkach jednoczesnego rozciągania / ściskania i skręcania. Osiągnięciem naukowym było eksperymentalne wyznaczenie

kryterium płynięcia w ww. warunkach złożonego stanu obciążenia dynamicznego dla tytanu oraz miedzi.

### **Podsumowanie oceny osiągnięć naukowych oraz projektowych**

Przedstawiony cykl artykułów naukowych oraz osiągnięć projektowych stanowi niewątpliwie efekt wieloletnich badań dynamicznych właściwości mechanicznych różnych rodzajów materiałów konstrukcyjnych. Analizie poddano m.in. materiały kruche (np. ceramika techniczna, meteoryty) oraz metale i stopy (np. magnez, nikiel). Głównym celem było zrozumienie zachowania się materiału w warunkach ekstremalnego obciążenia i jednocześnie rozwijanie metod eksperymentalnych adekwatnych dla opisu przedmiotowych zjawisk fizycznych. Opracowane metody badawcze wymagały niewątpliwie interdyscyplinarnego podejścia i wiedzy z zakresu fizyki ciała stałego, inżynierii materiałowej, inżynierii mechanicznej, a także korzystania z zaawansowanych technik pomiarowych. W autoreferacie wskazano, zaznaczając interdyscyplinarny charakter badań, że mają one największy wpływ na rozwój dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych, w szczególności dyscypliny *nauki fizyczne*. Habilitant argumentując powyższe określił przedmiot prowadzonych badań, zastosowane metodyki oraz cele naukowe. Przedmiotem badań były fundamentalne zjawiska fizyczne zachodzące pod wpływem obciążeń dynamicznych i udarowych. Procesy odkształcenia plastycznego, zjawiska termomechaniczne, propagacja fal sprężystych to klasyczne zagadnienia fizyki ciała stałego i fizyki wysokich ciśnień. Metodyka badawcza dedykowana dla ww. zjawisk opiera się na zaawansowanych technikach fizyki eksperymentalnej, w których stosuje się dynamiczne maszyny wytrzymałościowe, radiografię synchrotronową i tomografię rentgenowską oraz interferometrię laserową i reluktancję w zakresie światła widzialnego. W tym aspekcie niewątpliwie wskazano na rozwój nowatorskich technik pomiarowych zjawisk fizycznych w skali mikro- i nanosekundowej. Wyniki badań charakteryzuje wysoki potencjał aplikacyjny w obszarze nowoczesnych technologii dla przemysłu obronnego, lotniczego i kosmicznego. Osiągnięto wkład w rozwój wiedzy w zakresie fizyki ciała stałego i w dziedzinie modelowania zachowania materii w ekstremalnych warunkach obciążenia. Podkreślono i wskazano na elementy mikrostruktury stanowiące newralgiczne obszary, które często stanowią kryterium stosowalności materiału konstrukcyjnego. W pracach habilitanta wskazano tego rodzaju cechy badanych materiałów ceramicznych i stopów metali.

Podsumowując, przedstawiony do recenzji cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych oraz oryginalnych osiągnięć projektowych, potwierdzam ich wkład w rozwój dyscypliny. W szczególności określono wpływ wtrąceń i defektów węglika boru na procesy inicjacji i propagacji pęknięć. Na podstawie ilościowej analizy mikrostruktury zdefiniowano krytyczny rozmiar i rodzaj wtrąceń, które mają największy wpływ na wytrzymałość materiału. Otrzymane wyniki mogą m.in. wesprzeć proces oceny jakości ceramicznych płyt balistycznych i przyczynić się do modyfikacji technologii wytwarzania. W pracach wskazano bezpośrednie dowody na obecność w warunkach obciążenia dynamicznego tzw. mechanizmu skrzydełkowego na poziomie mikrostruktury. Potwierdzenie istnienia tego rodzaju mechanizmu oraz wyniki dynamicznych testów mechanicznych stanowią unikalny zbiór danych do walidacji wielkoskalowych modeli konstytutywnych materiałów kruchych. Wyjaśniono występowanie anizotropii właściwości mechanicznych węglika boru wytwarzanego metodą prasowania w warunkach jednocześnie wysokiej temperatury i ciśnienia.

Dla stopów magnezu wykazano korelację wielkości, morfologii i dystrybucji faz międzymetalicznych i wytrzymałości krytycznej w warunkach obciążeń udarowych. Uzyskano dane eksperymentalne dla magnezu i jego stopów definiujące mechanizmy odkształcenia plastycznego i pęknięcia rozdzielczego. Rezultaty badań z uwagi na potencjał aplikacyjny wykorzystano do walidacji modeli konstytutywnych. W ramach projektów habilitant brał udział w pionierskich badaniach dynamicznych właściwości mechanicznych meteorytów, stosując podczas eksperymentów kombinację dynamicznego obciążenia próbki, *in situ* synchrotronową radiografię i synchrotronową tomografię komputerową. Wykazano

zależność pomiędzy wyjściową mikrostrukturą a mechanizmami dynamicznego pękania i fragmentacji w chondrycie zwyczajnym. Dane posiadają potencjał aplikacyjny przy tworzeniu modeli numerycznych symulujących kolizje asteroid i formowanie kraterów uderzeniowych. Habilitant zaprojektował i wykonał stanowisko diagnostyczne do ultraszybkich pomiarów temperatury na bazie metody obrazowania termicznego w wąskich pasmach światła widzialnego. Stanowisko oferuje pomiary temperatury z rozdzielczością przestrzenną i czasową nieosiągalną dla kamer termowizyjnych. Ponadto zaprojektował i wykonał urządzenie diagnostyczne na bazie lasera podczerwonego do pomiaru sprężystych fal skrętnych w pomiarach z zastosowaniem metody pręta Hopkinsona.

Przedstawiony cykl tematycznie powiązanych 12-u artykułów wyraźnie wskazuje na indywidualny wkład dr. inż. Łukasza Farbańca w ich powstanie, w szczególności w uzyskanie rezultatów, które z kolei stanowią unikatowe rozwiązania we wskazanej dyscyplinie. Podobnie osiągnięcia projektowe w postaci 2-óch stanowisk pomiarowych, zostały przedstawione w sposób precyzyjnie wskazujący na udział merytoryczny habilitanta w ich projektowaniu i wykonaniu. Co istotne opisane stanowiska wykorzystano w badaniach zjawisk i mechanizmów odkształcenia w warunkach obciążeń udarowych. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że prowadzone projekty dotyczyły znacząco zróżnicowanych materiałów w aspekcie ciągłości, mikrostruktury i zastosowań. Kompleksowe podejście habilitanta do zagadnienia dynamicznego odkształcenia plastycznego wskazuje na wysokie kompetencje i doświadczenie co potwierdzają uzyskane rezultaty, stanowiące niewątpliwie znaczący wkład w szeroko rozumiane zagadnienia materiałowe, technologiczne i aplikacyjne.

### **3. Ocena istotnej aktywności naukowej albo artystycznej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej**

W okresie zatrudnienia na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego na Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie (od lipca 2022 roku) habilitant realizował jako kierownik, projekt *MINIATURA7 (Obrazowanie Rozkładu Przestrzennego Pola Temperatury w Skali Mezo Struktur w Bliskiej Podczerwieni)* finansowany przez Narodowe Centrum Nauki. Ponadto brał udział w następujących projektach realizowanych w ramach programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza: *Współfinansowanie zakupów nowoczesnej infrastruktury naukowo-badawczej, Pakiet Habilitacyjny, Finansowanie krótkoterminowych przyjazdów naukowców z zagranicy, a także grantów na długoterminowe pobyty zagranicznych naukowców w AGH*. W ramach projektu *Pakiet Habilitacyjny* prowadził badania we współpracy z Uniwersytetem Oxfordzkim nad zaawansowanymi materiałami inżynierskimi (np. magnez, tytan, nadstopy niklu). Wynikiem tej współpracy były dwie wizyty naukowe na Uniwersytecie Oxfordzkim oraz udział w zespole realizującym badania w Europejskim Ośrodku Promieniowania Synchrotronowego w Grenoble. Współpraca jest kontynuowana i rozwijana w ramach kolejnych badań synchrotronowych. Od początku zatrudnienia na uczelni dr Farbaniec udziela się aktywnie jako promotor i recenzent prac dyplomowych. W czasie zatrudnienia na Uniwersytecie Oxfordzkim w latach 2018 – 2023, realizował jako członek zespołu badawczego projekt *Cornerstone: Mechanical Engineering Science to Enable Aero Propulsion Futures* sponsorowany przez Brytyjską Radę Badawczą ds. Inżynierii i Nauk Fizycznych oraz firmę Rolls-Royce PLC. Był odpowiedzialny za zaprojektowanie i budowę urządzenia diagnostycznego do pomiaru sprężystych fal wzdłużnych i skręcających w układzie badawczym dzielonego pręta Hopkinsona, a także do pomiaru prędkości fali uderzeniowej rozchodzącej się w materiale pod wpływem impulsu uderzeniowego. W tym czasie rozwijał również technikę obrazowania przestrzennego rozkładu temperatury na podstawie zmian właściwości optycznych napylanych na próbkę materiałową cienkich warstw złota.

W latach 2016 – 2018 habilitant był zatrudniony na Wydziale Fizyki na Imperial College London jako członek zespołu badawczego projektu pt.: *Heterogeneous Mechanics in Hexagonal Alloys across*

*Length and Time Scales*. Był odpowiedzialny za projekt badawczy współfinansowany przez Laboratorium Badawcze Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych oraz uniwersytet Georgia Institute of Technology. W projektach wykorzystano zaprojektowane i wykonane przez habilitanta urządzenie diagnostyczne do obrazowania przestrzennego rozkładu temperatury na bazie zmiany właściwości optycznych cienkich warstw złota napylanych na próbkę. W tym czasie był współpromotorem dwóch projektów studenckich, które zaowocowały czterema pracami inżynierskimi.

Podczas pobytu na uniwersytecie The Johns Hopkins University w Stanach Zjednoczonych w latach 2013 – 2015, habilitant był członkiem zespołu realizującego projekt badawczy pt.: *A collaborative program for the multiscale modeling and design of materials for extreme dynamic environments* finansowany przez Wojskowe Laboratorium Badawcze Stanów Zjednoczonych. Zakres prac obejmował badania dynamicznych właściwości mechanicznych materiałów stosowanych w systemach ochrony balistycznej. W tym czasie był zaangażowany w bieżące funkcjonowanie laboratorium, wykonując prace badawcze i analizy dla partnerów naukowych i komercyjnych. W latach 2009 – 2013 był zatrudniony jako doktorant, a następnie po uzyskaniu stopnia doktora, na stanowisku badawczym we francuskim Narodowym Centrum Badań Naukowych, gdzie w ramach doktoratu wdrożeniowego prowadził badania we współpracy z firmą Nexter Munitions. Realizowane prace naukowe dotyczyły zaawansowanych stopów metali o strukturze ultradrobnoziarnistej i podwyższonej plastyczności z przeznaczeniem do nowoczesnych technologii zbrojeniowych. Od 2010 jest aktywnym członkiem stowarzyszenia DYMAT (*European association for the promotion of research into the dynamic behavior of materials and its applications*), a w latach 2015 – 2017 był członkiem stowarzyszenia SEM (*Society for Experimental Mechanics*). Udziela się również jako recenzent artykułów naukowych w czasopismach z listy MNiSW (np. *Journal of Dynamic Behavior of Materials*, *Materials Letters*, *Journal of Material Science*, *Journal of the European Ceramic Society*, *Micron*, *Results in Engineering*, *Advances in Materials and Processing Technologies*, *Measurements*).

#### **4. Ocena osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę**

##### **Działalność dydaktyczna**

Habilitant rozpoczął działalność dydaktyczną na Akademii Górniczo Hutniczej w 2023 roku. Aktualnie jest koordynatorem przedmiotu *Pakiety Obliczeniowe* na studiach I stopnia (kierunki studiów: Fizyka Techniczna, Mikro- i Nanotechnologie w Biofizyce, Informatyka Stosowana). W ramach przedmiotu prowadzi zajęcia w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych. Jest również koordynatorem i autorem sylabusów przedmiotu *Komputerowe Wspomaganie Projektowania 3D CAD* na studiach I stopnia (kierunek: Fizyka Techniczna). Zajęcia odbywają się w formie ćwiczeń laboratoryjnych i są prowadzone przez pracowników firmy OPmobility w ramach współpracy z uczelnią. Poza tym, prowadził ćwiczenia laboratoryjne w ramach przedmiotu *Metody Numeryczne* na studiach I stopnia (kierunek: Informatyka Stosowana). Działalnością dydaktyczną zajmował się również pracując na Imperial College London, gdzie prowadził zajęcia laboratoryjne w *Pracowni Fizycznej* na studiach I stopnia. Podczas pobytu na uniwersytecie Johnsa Hopkinsa prowadził seminarium z przedmiotu *Wprowadzenie do Skaningowej Mikroskopii Elektronowej* w ramach letniej szkoły dla doktorantów. Ponadto, od wielu lat udziela się jako promotor i recenzent projektów i prac dyplomowych.

##### **Działalność organizacyjna**

Od 2023 roku jest regularnym członkiem zespołu i komitetów okręgowych *Ogólnopolskiej Olimpiady o Diamentowy Indeks AGH*. Ponadto, jest koordynatorem do spraw współpracy z firmą OPmobility Polska w zakresie organizacji zajęć dla studentów Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w

Krakowie. Od 2025 roku jest członkiem zespołu ds. Współpracy w Zakresie Obronności przy Akademii Górniczo Hutniczej.

## **5. Ocena przedstawionych informacji „innych”, poza ww. dotyczącymi kariery zawodowej**

Poza osiągnięciem zawartym w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiącym podstawę wniosku o wszczęcie postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, dodatkowym stanowiącym wkład w rozwój dyscypliny jest cykl publikacji naukowych przedstawionych w Załączniku 4 (Punkt 4. Inne, niż wymienione w pkt. I.1-3, osiągnięcia naukowe lub artystyczne). Tematyka tych publikacji dotyczy następujących aspektów: mikromechanizmy pęknięcia ciągliwego w metalach o strukturze ultradrobnoziarnistej, projektowanie procesów technologicznych wytwarzania materiałów o strukturze ultradrobnoziarnistej przy wykorzystaniu odkształcenia plastycznego z dużymi prędkościami, badania materiałowe w zakresie złożonych stanów obciążeń dynamicznych, zachowanie materiałów proszkowych pod wpływem obciążeń udarowych oraz rozwój technik eksperymentalnych wspomagających badania dynamicznych właściwości mechanicznych. Wśród wymienionych 22-óch prac (19-u artykułów i 3-ech rozdziałów w monografiach), 20 z nich powstało po uzyskaniu stopnia doktora, a 15 opublikowano w czasopiśmie indeksowanych w bazie JCR, w tym w przypadku 5-u habilitant był pierwszym i korespondującym autorem. Rezultaty prac, w których brał udział zostały zaprezentowane na 54-ech międzynarodowych konferencjach naukowych, a podczas 28-u z nich był autorem wystąpienia.

## **6. Współpraca z otoczeniem społecznym i gospodarczym**

### **Współpraca z przedsiębiorstwami**

Habilitant potwierdził skuteczną współpracę w projektach badawczych realizowanych w kooperacji i/lub na zlecenie przedsiębiorców. To bardzo ważny aspekt jego działalności, stanowiący weryfikację uzyskanych rezultatów w obszarze mechanizmów odkształcenia dynamicznego. Współpraca przed uzyskaniem stopnia doktora obejmowała projekt dla Nexter Munitions (Francja), którego celem było zaprojektowanie nowoczesnych materiałów o strukturze ultradrobnoziarnistej z podwyższoną wytrzymałością i plastycznością dla nowoczesnych technologii zbrojeniowych. Po uzyskaniu stopnia doktora współpraca dotyczyła firmy Rolls-Royce (Wielka Brytania) w zakresie rozwoju nowatorskich rozwiązań dla kolejnej generacji silników odrzutowych w sektorze lotnictwa komercyjnego. Kolejny projekt realizował dla OPmobility (Polska) jako koordynator ds. współpracy w zakresie organizacji zajęć na kierunku *Fizyka Techniczna* Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH.

## **7. Ocena danych i wskaźników naukometrycznych**

Przedstawione poniżej wszystkie dane i wskaźniki potwierdzają wysoką aktywność habilitanta oraz wartość naukową publikacji. W szczególności wysokie wskaźniki liczby cytowań oraz indeks Hirscha nie budzą wątpliwości co do wpływu uzyskanych rezultatów na rozwój dyscypliny „nauki fizyczne”.

Impact Factor (IF):

Sumaryczna wartość IF z roku publikacji: 100,93

Sumaryczna wartość IF z ostatnich 5 lat: 107,43

	<b>Liczba cytowań publikacji</b>	<b>Liczba cytowań publikacji z uwzględnieniem autocytowań</b>
<b>Scopus</b>	679	725
<b>Web of Science</b>	592	632

Indeks Hirscha:

Scopus: 14

Web of Science: 14

Informacja o liczbie punktów wskazanych w wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów konferencyjnych MNiSW i rodzaju publikacji wg kryterium liczby punktów:

Łączna liczba punktów wg wykazu czasopism MNiSW: 3570

Liczba publikacji - 200 punktów ministerialnych: 3

Liczba publikacji - 140 punktów ministerialnych: 15

Liczba publikacji - 100 punktów ministerialnych: 8

## **8. Komentarze / dyskusja wybranych rezultatów stanowiących osiągnięcie naukowe**

### **Komentarz 1. (str. 9 Autoreferatu)**

Autor stwierdza, że zastosowanie SiC w osłonach balistycznych jest ograniczone z uwagi na skłonność do powstawania „*pasm amorficznych*”. W konsekwencji występowania ww. pasm – fazy amorficznej, wewnątrz nich „*aktywuje się mikromechanizm pęknięcia kruchej spowodowany zrywaniem się wiązań atomowych*”.

Zjawisko tworzenia się obszarów w których zlokalizowane jest odkształcenie (tzn. wartość odkształcenia, szybkość odkształcenia, temperatura odkształcenia są znacząco większe od wynikających z zewnętrznych obciążeń udarowych) jest typowe dla opisanych warunków użytkowania, w tym testów ostrzałem i innych charakteryzujących się występowaniem naprężenia dynamicznego.

Powstaje pytanie na ile projektowanie wyrobu w zakresie składu chemicznego materiału i technologii wytwarzania może wpłynąć na ograniczenie skłonności do tworzenia pasm odkształcenia. Ponadto trudno jednoznacznie wskazać miejsca inicjacji pęknięć, które obserwujemy często w pasmach i w obszarach wokół nich. Bardzo często pęknięcia/mikropęknięcia powstają na granicy pomiędzy pasmem a osnową materiału. Istnieje szereg czynników opisujących wpływ pasm ścinania adiabaticznego (ASB, adiabatic shear bands) na właściwości osłony balistycznej. Oczywistym jest, że struktura i twardość pasm (oraz inne właściwości) zależą głównie od materiału osnowy i warunków odkształcenia. Przykładowo w stalach pancernych martenzytycznych, są to obszary o twardości znacząco wyższej od osnowy i również podobnie jak w materiałach ceramicznych mogą stanowić miejsca inicjacji pęknięć. Niejako przeciwnie, w wysokowytrzymałych stalach maraging powstające w warunkach ostrzału pasma ścinania, charakteryzuje twardość porównywalna do stanu przesyconego (znacząco niższa od osnowy i o wyższej ciągliwości/udarności). Powyższe dane wskazują na złożoność zagadnienia powstawania pasm ścinania, ich struktury, właściwości i wpływu na odporność na pęknięcie i w konsekwencji na przebicie. W aspekcie wyników badań dotyczących „*pasm amorficznych*” należy jednoznacznie potwierdzić, że ich struktura jest w 100% amorficzna oraz że same w sobie stanowią miejsca inicjacji pęknięć i wewnątrz nich zachodzi (lub rozpoczyna

się dezintegracja materiału. Zakładając ich wysoką twardość (wytrzymałość) można przypuszczać, że osnowa wokół nich i/lub granica z osnową mogą stanowić miejsca odpowiedzialne w znacznej mierze za zniszczenie (najsłabsze ogniwo). Jednoznaczne stwierdzenie miejsc w których rozpoczyna się proces pęknięcia jest często utrudnione z uwagi na badania materiału, który wcześniej uległ zniszczeniu. Podsumowując komentarz stwierdzam, że wskazany w autoreferacie obszar badań, stanowi ważny aspekt naukowy, warty kontynuowania w przyszłych pracach, w szczególności obejmujących różne rodzaje materiałów: ceramika, stopy metali, czyste metale itp.

## **Komentarz 2. (str. 14/15 Autoreferatu)**

Autor stwierdził: „Co zasługuje na podkreślenie, zaobserwowane mechanizmy pęknięcia i fragmentacji materiału w przeprowadzonych próbach balistycznych z prędkością 275 m/s i 930 m/s były takie same jak te w testach przy użyciu metody dzielonego pręta Hopkinsona [H2, H6].”

Niewątpliwie podczas badań z wykorzystaniem metody dzielonego pręta Hopkinsona występują warunki, zjawiska wykazujące w określonym zakresie podobieństwo do testów ostrzałem. Porównywanie jednak bezpośrednio ww. rodzajów badań i stwierdzenie, że występujące mechanizmy pęknięcia są takie same jest pewnego rodzaju uogólnieniem. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na złożoność warunków testów ostrzałem, w szczególności na etap kontaktu rdzenia pocisku z materiałem osłony balistycznej. W chwili kontaktu powstaje bardzo złożony, trudny do opisu stan naprężenia, który zależy od szeregu czynników. Parametry szeroko rozumianych testów ostrzałem należy doprecyzować w zakresie: rodzaju pocisku, w szczególności materiału rdzenia (stal o wysokiej/niskiej twardości, spiekany WC, stop ołowiu i inne), kształtu ostrołuku, kąta uderzenia ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ...), masy rdzenia, wymiarów/średnicy rdzenia co skutkuje istotnym parametrem jakim jest iloraz energii kinetycznej na jednostkę powierzchni (tzw. gęstość energii,  $J/m^2$ ). Dodatkowo w przypadku ceramiki, istotne jest usytuowanie płytek, często w warstwowym systemie osłony, gdzie kluczowego znaczenia nabiera podłoże oraz zastosowany rodzaj kleju czy rozmiar i kształt ceramiki. Wskazany komentarz potwierdza niewątpliwie stopień komplikacji/złożoności zagadnień z obszaru badań i analiz zjawisk odkształcenia dynamicznego w aspekcie porównania wyników badań laboratoryjnych z rzeczywistymi warunkami użytkowania (w tym przypadku z testami ostrzałem). To zagadnienie stanowi wciąż duże wyzwanie nie tylko w dziedzinie badań właściwości dynamicznych ale ogólnie w procesach symulacji warunków użytkowania materiałów/konstrukcji. W większości testów laboratoryjnych wyznaczamy właściwości materiału/układu/systemu, które w ograniczonym zakresie odzwierciedlają (imitują) rzeczywiste scenariusze eksploatacyjne. Niewątpliwie, wyzwaniem jest wykorzystanie wyników badań materiału z zastosowaniem kilku metod pomiarowych, aby wykazać/określić ilościowo jego odporność balistyczną, uwzględniając m.in. warunek spełnienia testów typu multi-hit. Kolejnym etapem analiz jest opracowanie konstrukcji osłony warstwowej, przestrzennej itp. złożonej z różnych materiałów odpowiednio ze sobą zintegrowanych.

## **Komentarz 3.**

Autor używa sformułowania „odpowiedź materiału”. Przykładowo na stronie 15 opracowania Autoreferat, stwierdza: „Udało się również poprawić odpowiedź materiału na obciążenie przy próbie udarowej, pozwalające na zmniejszenie masy systemu (11-18%) przy zachowaniu takich samych parametrów pracy [L5].

Jest to sformułowanie ogólnie przyjęte w obszarze tematycznym przedłożonej pracy ale należy w miarę możliwości szczegółowo opisywać jego znaczenie w kontekście przeprowadzonych eksperymentów. Przykładowo, czy materiał w odpowiedzi na zadane określone obciążenie zewnętrzne, charakteryzowała wyższa wytrzymałość, odporność na pęknięcie, itp. Reakcję/zachowanie/odpowiedź materiału zależnie od rodzaju obciążenia zewnętrznego (metody

badania, testów) należy opisywać bardziej precyzyjnie (jednoznacznie definiować). W testach ostrzałem określonym rodzajem amunicji i zgodnie z ustalonymi standardami/normami (np. Stanag 4569) można przyjąć, że „odpowiedź” materiału definiuje szereg parametrów, które podlegają ocenie: przebicie lub brak przebicia, stopień degradacji w miejscu uderzenia (przebicie całkowite lub częściowe), zdolność do odkształcenia plastycznego osłony, brak pęknięć i mikropęknięć, zmiany mikrostruktury w obszarze uderzenia, zasięg strefy tych zmian, obecność pasm ścinania i wiele innych.

## 9. Podsumowanie

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że Pan dr inż. Łukasz Farbaniec spełnia warunki nadania stopnia doktora habilitowanego określone w Ustawie Prawo o Szkolnictwie wyższym i nauce, w szczególności w Art. 219 ust. 1. pkt-y 2b i 2c oraz 3 tej ustawy. Podkreślam niewątpliwy wkład prac naukowych i osiągnięć projektowych habilitanta w rozwój interdyscyplinarnego obszaru badań reakcji materiałów (ceramiki i stopów metali) na wysokoenergetyczne obciążenia udarowe. Poznanie mechanizmów odkształcenia w warunkach dynamicznych oraz pomiary właściwości materiałów w trakcie obciążeń udarowych stanowią duże wyzwanie, które podjął i zrealizował habilitant. Na uwagę zasługuje potencjał aplikacyjny uzyskanych wyników badań w aspekcie zarówno wytwarzania jak i zastosowania przedmiotowych materiałów w sektorze obronnym, lotniczym i kosmicznym. Podkreślam świadomość istotności poszukiwania krytycznych parametrów materiału („najsłabszych ogniw”), które stanowią o odporności na ekstremalne obciążenia, określone jednocześnie wysoką wartością i szybkością odkształcenia plastycznego, dodatkowo bardzo często zlokalizowane w ograniczonym obszarze konstrukcji o małej powierzchni kontaktu.

Przedstawiony cykl tematycznie powiązanych 12-u artykułów jednoznacznie wskazuje na indywidualny wkład dr. inż. Łukasza Farbańca w ich powstanie, w szczególności w uzyskanie rezultatów, które z kolei stanowią unikatowe rozwiązania we wskazanej dyscyplinie. Osiągnięcia projektowe w postaci 2-óch stanowisk badawczych, zostały przedstawione w sposób precyzyjnie wskazujący udział merytoryczny habilitanta w ich zaprojektowaniu i wykonaniu. Co istotne opisane stanowiska wykorzystano w badaniach zjawisk i mechanizmów odkształcenia w warunkach obciążeń udarowych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że prowadzone projekty dotyczyły znacząco zróżnicowanych materiałów w aspekcie ciągłości, mikrostruktury i zastosowań. Kompleksowe podejście habilitanta do zagadnienia dynamicznego odkształcenia plastycznego wskazuje na wysokie kompetencje i doświadczenie, co potwierdzają uzyskane rezultaty stanowiące niewątpliwie znaczący wkład w rozwój szeroko rozumianych technologii materiałowych o wskazanym konkretnym potencjale aplikacyjnym.

Dr Farbaniec jest aktywnym pracownikiem naukowym i dydaktycznym uczelni. Posiada kompetencje i doświadczenie dydaktyczne w obszarze prowadzenia zajęć oraz prac dyplomowych jako promotor i recenzent. Jest członkiem aktywnym stowarzyszenia DYMAT.

-----  
