

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak  
Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska

RECENZJA  
OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ORAZ DOROBKU DYDAKTYCZNEGO  
I ORGANIZACYJNEGO W POSTĘPOWANIU HABILITACYJNYM

dr inż. Mateusza Kopcia  
z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki  
Polskiej Akademii Nauk

TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

**Metodologia monitorowania rozwoju uszkodzenia  
w materiałach inżynierskich  
poddawanych obciążeniom eksploatacyjnym**

KOSZALIN, grudzień 2023

Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak  
Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska

RECENZJA  
OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ORAZ DOROBKU DYDAKTYCZNEGO  
I ORGANIZACYJNEGO W POSTĘPOWANIU HABILITACYJNYM

dr inż. Mateusza Kopcia  
z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki  
Polskiej Akademii Nauk

TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO  
**Metodologia monitorowania rozwoju uszkodzenia  
w materiałach inżynierskich  
poddawanych obciążeniom eksploatacyjnym**

Opinię o dorobku naukowym i dydaktycznym dr inż. Mateusza Kopcia przedstawiam na podstawie opracowanego autoreferatu, zbioru publikacji oraz analizy pozostałych osiągnięć naukowych.

## 1. INFORMACJE OGÓLNE

Habilitant – Mateusz Kopeć – o dorobku naukowym uwidocznionym w serwisach internetowych - ORCID: 0000-0001-9565-3407, Web of Science: AAH-5170-2020 oraz Scopus: 57351399300, ukończył studia inżynierskie w 2014 roku w Wojskowej Akademii Technicznej i przedstawił pracę pt. „Otrzymywanie odpornych na ścieranie kompozytów ceramiczno – intermetalicznych metodą spiekania z wykorzystaniem reakcji egzotermicznej”.

W 2015 roku ukończył w WAT studia magisterskie opracowując pracę pt. „Wytwarzanie i badania intermetaliczno – ceramicznych tworzyw kompozytowych”.

Stopień naukowy doktora w dziedzinie inżynieria mechaniczna uzyskał w 2020 roku w IMPERIAL COLLEGE LONDON, UK, na podstawie rozprawy pt. „Hot stamping of titanium alloys”, której promotorem był dr Liliang Wang, ICL, promotorami pomocniczymi byli - prof. dr hab. inż. Zbigniew Kowalewski, IPPT PAN oraz prof. Jianguo Lin, ICL.

Habilitant zatrudniony jest w Zakładzie Mechaniki Doświadczalnej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, gdzie od 2021 roku jest kierownikiem Laboratorium Badań Materiałów i Konstrukcji.

Od 2020 roku jest również akademickim pracownikiem wizytującym w Imperial College London, Department of Mechanical Engineering.

## 2. OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Podstawą do ubiegania się Kandydata o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, jest wskazane we wniosku osiągnięcie naukowe, będące powiązanym tematycznie cyklem 8 publikacji o wspólnym tytule: **Metodologia monitorowania rozwoju uszkodzenia w materiałach inżynierskich poddawanych obciążeniom eksploatacyjnym**. W 7 publikacjach (7/8) dr inż. Mateusz Kopeć jest pierwszym, a w dwóch jest jedynym autorem, co oznacza, że Jego wkład twórczy w opisywane osiągnięcie jest najważniejszy i świadczy o wysokim poziomie samodzielności naukowej.

Lista publikacji przedstawionych jako osiągnięcie naukowe:

1. **Kopeć M.**, Brodecki A., Kukla D., Kowalewski Z.L., *Suitability of DIC and ESPI optical methods for monitoring fatigue damage development in X10CrMoVNb9-1 power engineering steel*, Archives Of Civil And Mechanical Engineering, **2021**, 167, pp.1-13, 2021, DOI: 10.1007/s43452-021-00316-1, **Impact Factor: 4,042; liczba punktów MNiSW: 140.**
2. **Kopeć M.**, Kukla D., Brodecki A., Kowalewski Z.L., *Effect of high temperature exposure on the fatigue damage development of X10CrMoVNb9-1 steel for power plant pipes*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 189, 104282, pp. 1-16, **2021**, DOI: 10.1016/j.ijpvp.2020.104282, **Impact Factor: 2,56; liczba punktów MNiSW: 140.**
3. **Kopeć M.**, Kukla D., Kowalewski Z.L., *Assessment of fatigue life of aluminized, coarse-grained MAR247 alloy supported by full-field ESPI measurements*, Journal Of Theoretical And Applied Mechanics, 60, 4, pp.619-623, **2022**, DOI: 10.15632/jtam-pl/153041, **Impact Factor: 0,722; liczba punktów MNiSW: 70**
4. **Kopeć M.**, *The stress and strain distribution in X10CrMoVNb9-1 power engineering steel after long time degradation studied by the ESPI system*, Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences: Technical Sciences, 70, 2, pp.1-7, **2022**, DOI: 10.24425/bpasts.2022.141181, **Impact Factor: 1,515; liczba punktów MNiSW: 100.**
5. Brodecki A., **Kopeć M.**, Kowalewski Z.L., *Monitoring of fatigue damage development in as-received and exploited 10CrMo9-10 power engineering steel supported by Digital Image Correlation*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 104889, pp.1-9, **2023**, DOI: 10.1016/j.ijpvp.2023.104889, **Impact Factor: 2,56 ; liczba punktów MNiSW: 140.**



6. Kopec M., Brodecki A., Kowalewski Z.L., *Fatigue damage development in 10CrMo9-10 steel for power plant pipes in as-received state and after 280 000 hours of exploitation*, Archives Of Civil And Mechanical Engineering, 23:98, pp.1-10, **2023**, DOI: 10.1007/s43452-023-00637-3, **Impact Factor: 4,042; liczba punktów MNiSW: 140**
7. **Kopec M.**, *Fatigue damage development in 14MoV6-3 steel for power plant pipes monitored by Digital Image Correlation*, Acta Mechanica Solida Sinica, pp.1-13, **2023**, DOI: 10.1007/s10338-023-00387-y, **Impact Factor: 2,187; liczba punktów MNiSW: 70**
8. **Kopec M.**, Garbacz G., Brodecki A., Kowalewski Z.L., *Metric entropy and Digital Image Correlation in deformation dynamics analysis of fibre glass reinforced composite under uniaxial tension*, Measurement, 205, 112196, 2022, DOI: 10.1016/j.measurement.2022.112196, **Impact Factor: 5,131; liczba punktów MNiSW: 200.**

Sumaryczny Impact Factor publikacji wchodzących w skład cyklu publikacyjnego wynosi 22,759, a sumaryczna liczba punktów MNiSW jest równa 1000. Należy podkreślić, iż osiągnięcia naukowe opisane zostały w pracach opublikowanych w krótkim okresie od 2021 do 2023 roku. Oznacza to, że bieżąca aktywność naukowa Habilitanta jest wysoka.

### 3. OCENA ROZWIĄZANYCH PROBLEMÓW NAUKOWYCH I POZIOMU NAUKOWEGO BADAŃ

Głównym celem prac naukowych dr inż. Mateusza Kopcia jest tworzenie teoretycznych i eksperymentalnych podstaw monitorowania rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych materiałów inżynierskich, zwłaszcza stali energetycznych, z wykorzystaniem optycznych metod pomiarowych oraz analiz wywodzonych z wyników uzyskiwanych metodami obliczeniowymi.

W systemach wytwarzania lub przetwarzania energii wiele elementów ze stali energetycznych poddawanych jest oddziaływaniom wysokiej temperatury i mechanicznych obciążeń odpowiadających odpowiednio temperaturom do 620 °C i ciśnieniom 30 MPa. Coraz częściej stosowane są odpowiednie materiały, takie jak stal P91 (X10CrMoVNb91) i P92 (X10CrWMoVNb9-2) oraz P22 (10CrMo9-10), VM 12 (X12CrCoWVNb12-2-2).

Rozpatrywane przez Habilitanta problemy obciążeń, charakteryzujące się niskimi amplitudami ale dużą liczbą cykli, są ważne dla trwałości i bezpieczeństwa systemów energetycznych i ciepłowniczych. Opracowanie procedur i modeli opisu stopnia uszkodzenia związanego z oddziaływaniem obciążeń cyklicznych jest ważne dla monitorowania rozwoju uszkodzeń i dynamiki zmian stanu nadzorowanych elementów.

W pracach Habilitanta wyodrębniono dwa mechanizmy rozwoju uszkodzeń. Pierwszy z nich polega na generowaniu lokalnych odkształceń wokół wad mikrostruktury. Drugi mechanizm, opisywany jako cykliczna plastyczność, związany jest z poślizgami dyslokacji na poziomie lokalnych

sub-ziaren i ziaren. Autor publikacji uwzględnił, iż obciążenia cykliczne uruchamiają różne mechanizmy inicjowania i rozwoju uszkodzeń, w zależności od rodzaju i właściwości materiałów.

Celem badań Habilitanta było opracowanie systemu oceny stopnia degradacji materiałów zachodzących pod wpływem długotrwałych obciążeń eksploatacyjnych na podstawie zmian lokalizacji deformacji uwidocznionych na polowych rozkładach składowych przemieszczenia w wybranym obszarze elementu konstrukcyjnego. Aplikacyjnym aspektem tych prac jest efektywne monitorowanie stanu instalacji technicznych bez konieczności ich zatrzymywania.

Ponieważ rozwój uszkodzeń jest związany ze zmianami składowych odkształcenia w badanym obszarze, to ich lokalizacja z zastosowaniem metod optycznych ułatwia monitorowanie stanu nadzorowanych elementów. W pracach Habilitanta wykorzystuje się cyfrową korelację obrazu lub interferometrię plamkową, co pozwala na identyfikowanie zmian w strukturze materiału na poziomie mikroskali i wczesne prognozowanie procesu degradacji przed etapem jej dynamicznego rozwoju.

Zastosowanie obu tych metod jednocześnie podczas badań umożliwia zlokalizowanie obszaru koncentracji naprężeń i ocenę predykcyjną. Autor ocenę możliwości wykorzystania obu systemów do monitorowania rozkładu naprężeń przeprowadził na próbkach krzyżowych obciążonych dwuosiowo. Dokonał też wnikliwej oceny różnicowania wniosków zależnie od właściwości materiałów, z których zostały wykonane badane elementy, a także ich cech geometrycznych.

Ważnym osiągnięciem naukowym Habilitanta jest opracowanie podstaw wykorzystania metod optycznych w monitorowaniu uszkodzeń początkowo dla stali energetycznej X10CrMoVNb9-1, a następnie dla stali 10CrMo9-10 i 14MoV6-3. Efektywność opracowanej metodyki sprawdzono również w zastosowaniu do super stopów niklu oraz kompozytów włóknowych.

Osiągnięcia naukowe uzyskane w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki oraz osiągnięcia naukowe w Imperial College London, Department of Mechanical Engineering, oceniam jako ważne elementy nowej wiedzy. Zostały dokonane z wykorzystaniem nowoczesnych metod badawczych, charakteryzują się wysokim poziomem naukowym oraz starannością opracowanych analiz i wniosków.

Mają przy tym również istotne znaczenie dla zastosowań przyszłych systemów monitorowania i prognozowania stanu systemów energetycznych.

Osiągnięcia habilitanta w zakresie tworzenia podstaw efektywnego monitorowania i wczesnego wykrywania początkowych etapów rozwoju uszkodzeń zwłaszcza w systemach energetycznych stanowią ważny wkład do rozwoju dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

#### 4. OCENA AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ



Praca naukowa w IPPT PAN przed doktoratem obejmowała zastosowania optycznych metod pomiarowych, badania nieniszczące z wykorzystaniem techniki prądów wirowych w celu oceny grubości warstw hartowanych, problemy dynamicznego odkształcania intermetalicznych stopów NiAl, właściwości stopów z pamięcią kształtu NiTi w warunkach ich zużycia ściernego. Habilitant po otrzymaniu stypendium Aviation Corporation of China, rozpoczął studia doktorskie w Imperial College London, gdzie tematyka prowadzonych prac skoncentrowała się na nowoczesnych metodach formowania elementów ze stopów tytanu.

Efektom przeprowadzonych wówczas badań było uformowanie, zaprojektowanego przez firmę Airbus, pełnowymiarowego elementu usztywniającego skrzydło samolotu. Pracę doktorską zatytułowaną „Hot stamping of titanium alloys”, tworzyło pięć opublikowanych prac. Cykl tych prac został wielokrotnie nagrodzony, min. przez British Society for Strain Measurement, przez Wydział IV Nauk technicznych PAN (nagroda naukowa) oraz Polskie Towarzystwo Materiałoznawcze (najlepsza praca z zakresu inżynierii materiałowej obroniona w 2020 roku).

Od 2020 roku badania naukowe habilitanta ukierunkowane zostały na monitorowanie rozwoju uszkodzenia materiałów inżynierskich z wykorzystaniem optycznych metod pomiarowych, powłoki termiczne na wysokotemperaturowe zastosowania stopów niklu, analizę przyczyn pękania implantów ortopedycznych, metalurgię proszków oraz metody charakteryzacji właściwości mechanicznych materiałów w złożonym stanie naprężenia. Wszystkie wymienione kierunki badawcze były obszarami ważnych osiągnięć, które zostały upowszechnione w licznych publikacjach.

Liczba wszystkich publikacji z baz Scopus / Web of Science / Google Scholar wynosi: 32 / 31 / 54. Sumaryczny Impact Factor: 114.36. Liczba cytowań: 168 / 145 / 222. Liczba cytowań bez autocytowań: 148 / 128 / 186, h-index: 8 / 7 / 8. Ponadto 52 publikacje w monografiach, jeden patent i cztery zgłoszenia patentowe.

Udział w projektach badawczych:

1. 2015 – 2019, Narodowe Centrum Nauki, projekt OPUS, 2014/15/B/ST8/04368, Opracowanie podstaw nowej, interdyscyplinarnej metody monitorowania rozwoju uszkodzenia w materiałach na podstawie badań rozwoju defektów strukturalnych, wykonawca.
2. 2016 – 2019, AVIC, Aviation Corporation of China, projekt Hot stamping of titanium alloys, główny wykonawca.
3. 2020 – 2024, Narodowe Centrum Nauki, projekt OPUS, 2019/35/B/ST8/03151, Identyfikacja powierzchni plastyczności materiałów funkcjonalnych i jej ewolucji uwzględniającej wprowadzoną historię deformacji w warunkach obciążeń złożonych, główny wykonawca.

Osiągnięcia naukowe były wyróżniane między innymi następującymi nagrodami:

1. (2022) Nagroda Dyrektora IPPT PAN I stopnia za osiągnięcia naukowe w 2021 roku
2. (2022) The President's Awards for Excellence in Research (Outstanding Research Team) – nagroda grupowa dla Metal Forming and Materials Modelling Group.

3. (2021) Nagroda Naukowa IV Wydziału Nauk Technicznych Polskiej Akademii Nauk.
4. (2021) Nagroda III stopnia im. Prof. Życzkowskiego przyznana przez Komitet Mechaniki Polskiej Akademii Nauk.
5. (2021) Nagroda Polskiego Towarzystwa Materiałoznawczego za najlepszą pracę doktorską z zakresu Inżynierii materiałowej obronionej w 2020.
6. (2021) Nagroda Dyrektora IPPT PAN I stopnia za osiągnięcia naukowe w 2020 roku.

**Habilitant wykazał się wyróżniającą aktywnością naukową oraz bardzo sprawnym tworzeniem kolejnych osiągnięć naukowych, upowszechnianych w uznanych wydawnictwach o szerokim zasięgu międzynarodowym.**

#### 4. WNIOSEK KOŃCOWY

W wyniku analizy dorobku naukowego dr inż. Mateusza Kopcia stwierdzam, iż Habilitant:

- wybrał tematykę pracy naukowej ważną dla rozwoju podstaw monitorowania stanu systemów energetycznych, a zwłaszcza wczesnego wykrywania i rozwoju uszkodzeń w elementach poddanych wysokim obciążeniom mechanicznym i termicznym,
- posiada uznane osiągnięcia naukowe uzyskane w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, ukierunkowane na metodologię monitorowania rozwoju uszkodzeń w materiałach inżynierskich, poddawanych obciążeniom eksploatacyjnym oraz uznane osiągnięcia naukowe uzyskane w IMPERIAL COLLEGE w Londynie, w zakresie kształtowania elementów ze stopów tytanu,
- wykazał się bardzo dużą aktywnością naukową, a ważne osiągnięcia naukowe przedstawił w pracach opublikowanych w wydawnictwach o wysokim wpływie na dziedzinę wiedzy w zakresie inżynierii mechanicznej,
- wykazuje wysoką samodzielność naukową i realizował ważne projekty naukowe o dużym znaczeniu poznawczym i aplikacyjnym,
- posiada ważne osiągnięcia poznawcze, które tworzą podstawy dalszego rozwoju naukowego i korzystnie świadczą o potencjale twórczym Habilitanta.

Oceny zawarte w podsumowaniu składają się na opinię, iż dorobek naukowy i inne osiągnięcia Kandydata wypełniają w bardzo dobrym stopniu wymagania stawiane w przewodach habilitacyjnych. Uzasadnia to sformułowanie pozytywnej oceny wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego.

