

Prof. dr hab. inż. Mariusz Deja

Politechnika Gdańska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa

Instytut Technologii Maszyn i Materiałów

Zakład Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji

ul. G. Narutowicza 11/12

80-233 Gdańsk

mariusz.deja@pg.edu.pl



RECENZJA

w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego
doktora habilitowanego

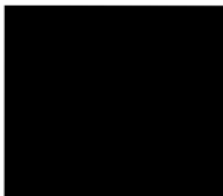
dr. inż. Grzegorzowi Janowi Ziółkowskiemu

w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria
mechaniczna na podstawie osiągnięć naukowych przedstawionych
w jednym cyklu publikacyjnym i osiągnięć projektowych
oraz opinia o dorobku naukowo badawczym, dydaktycznym
i organizacyjnym Kandydata

Osiągnięcia naukowe Kandydata w ramach jednego cyklu publikacyjnego i osiągnięcia
projektowe zatytułowane:

Metodyczne i aplikacyjne podstawy rozwoju ilościowych strategii
pomiarowych w technicznej tomografii komputerowej (XCT)

Gdańsk, lipiec 2026 r.



1. Uwagi wstępne

Podstawę opracowania recenzji stanowi uchwała w sprawie powołania składu komisji habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego Panu dr. inż. **Grzegorzowi Janowi Ziółkowskiemu** (Politechnika Wrocławska) podjęta w dniu 28 kwietnia 2026 r. przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej.

Recenzję opracowano na podstawie przesłanej cyfrowej wersji wniosku Pana dr. inż. **Grzegorza Jana Ziółkowskiego** o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, wraz z załącznikami.

2. Sylwetka zawodowa kandydata

Na podstawie przesłanej dokumentacji stwierdzam, że dr inż. **Grzegorz Jan Ziółkowski** uzyskał na Politechnice Wrocławskiej w 2010 roku dyplom magistra inżynieria na kierunku studiów Fizyka techniczna. Rozprawę doktorską zatytułowaną „*Analiza i ocena dokładności pomiarów cech geometrycznych obiektów technicznych w wykorzystaniu tomografii komputerowej*” obronił w 2016 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.

Zatrudnienie w jednostkach naukowych:

Miejsce	Stanowisko	Okres zatrudnienia
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Zaawansowanych Technik Wytwarzania	adiunkt	01.06.2025 - obecnie
	adiunkt	01.10.2016 - 31.05.2025
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Laserowych, Automatyzacji i Organizacji	asystent	01.10.2015 - 30.09.2016
	starszy referent techniczny	01.07.2015 - 30.09.2015
	starszy referent techniczny	03.07.2014 - 30.06.2015
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji	starszy referent techniczny	22.11.2012 - 31.05.2014
	starszy referent techniczny	4.10.2011 - 30.09.2012
	asystent	17.05.2010 - 1.10.2011

3. Aktywność publikacyjna

Zgodnie z informacjami przedstawionymi we wniosku oraz w bibliometrycznych bazach danych, **Habilitant** jest autorem/współautorem **39** publikacji naukowych wydanych w polskich i zagranicznych czasopiśmie z bazy Journal Citation Reports (JCR). **8** prac zostało wykazanych w jednym cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Przed uzyskaniem stopnia doktora opublikował **3**, a po uzyskaniu stopnia doktora **4** rozdziały w monografiach naukowych. Większość publikacji stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

4. Ocena osiągnięć naukowych będących podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

W okresie po doktoracie osiągnięcia naukowe będące podstawą wniosku habilitacyjnego, zatytułowane ogólnie: „Metodyczne i aplikacyjne podstawy rozwoju ilościowych strategii pomiarowych w technicznej tomografii komputerowej (XCT)”, dr inż. Grzegorz Jan Ziółkowski przedstawił w jednym cyklu 8 publikacji i w jednym cyklu 3 osiągnięć projektowych,.

4.1. Publikacje przedstawione w ramach cyklu publikacji (1 autorska i 7 współautorskich), z liczbą cytowań i charakterystyką czasopism (Tab. 1)

[A1] Grzegorz Ziółkowski, Joanna B. Pach, Dariusz Pyka, Tomasz Kurzynowski, Krzysztof Jamroziak.: X-ray computed tomography for the development of ballistic composite, Materials. 2020, vol. 13, nr 23, art. 5566, s. 1-19.

[A2] Grzegorz Ziółkowski (autor korespondencyjny), Emilia Grochowska, Dawid Kęszycki, Piotr Gruber, Viktoria Hoppe, Patrycja Szymczyk-Ziółkowska, Tomasz Kurzynowski.: Investigation of porosity behavior in SLS polyamide-12 samples using ex-situ X-ray computed tomography, Materials Science-Poland. 2021, vol. 39, nr 3, s. 436-445.

[A3] Grzegorz Ziółkowski (autor korespondencyjny), Konrad Gruber, Emilia Tokarczyk, Robert Roszak, Matthias Ziegenhorn.: X-ray Computed Tomography for the ex-situ mechanical testing and simulation of additively manufactured IN718 samples, Additive Manufacturing. 2021, vol. 45, art. 102070.

[A4] Konrad Gruber, Grzegorz Ziółkowski, Andrzej P. Pawlak, Tomasz Kurzynowski: Effect of stress relief and inherent strain-based pre-deformation on the geometric accuracy of stator vanes additively manufactured from Inconel 718 using laser powder bed fusion, Precision Engineering, 2022, vol. 76, s. 360-376.

[A5] Piotr Gruber, Grzegorz Ziółkowski, Michał Olejarczyk, Emilia Grochowska, Viktoria Hoppe, Patrycja Szymczyk-Ziółkowska, Tomasz Kurzynowski: Influence of bioactive metal fillers on microstructural homogeneity of PA12 composites produced by polymer Laser Sintering, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2022, vol. 22(3), art. 117, s. 1-15.

[A6] Patrycja Szymczyk-Ziółkowska, Grzegorz Ziółkowski, Viktoria Hoppe, Małgorzata Rusińska, Karol A. Kobiela, Marcin Madeja, Robert Dziedzic, Adam Junka, Jerzy Detyna: Improved quality and functional properties of Ti-6Al-4V ELI alloy for personalized orthopedic implants fabrication with EBM process, Journal of Manufacturing Processes, 2022, vol. 76, s. 175-194.

[A7] Tomasz Płonka, Marcin Diakowski, Joanna Krupa-Kurzynowska, Viktoria Hoppe, Grzegorz Ziółkowski. Application of computed tomography to the study of Mesolithic portable art: Results, interpretations and expectations - The case of an ornamented roe deer antler harpoon from Police, north-west Poland. Archaeometry. 2024, vol. 66, nr 1, s. 219-237.

[A8] Grzegorz Ziółkowski (autor korespondencyjny), Experimental and simulation analyses of the impact of X-ray tube acceleration voltage on dimensional accuracy in X-ray computed tomography. Measurement (London). 2025, vol. 256, pt. D, art. 118439, s. 1-21.

Tab. 1. Charakterystyka czasopism wraz z IF oraz liczba cytowań publikacji z cyklu publikacyjnego

Kod	Czasopismo (rok)	IF	Punkty MNIŚW	Cytowania Scopus/WoS stan na dzień 30.01.2026r – w nawiasach bez autocytowań	
				Scopus	WoS
A1	<i>Materials</i> (2020)	3,6	140	21(18)	20(19)
A2	<i>Materials Science-Poland</i> (2021)	1,6	70	6(4)	6(4)
A3	<i>Additive Manufacturing</i> (2021)	11,6	200	29(20)	29(27)
A4	<i>Precision Engineering</i> (2022)	3,6	200	15(12)	13(13)
A5	<i>Archives of Civil and Mechanical Engineering</i> (2022)	4,4	140	8(6)	7(6)
A6	<i>Journal of Manufacturing Processes</i> (2022)	6,8	140	46(38)	37(36)
A7	<i>Archaeometry</i> (2024)	1,5	200	5(3)	3(3)
A8	<i>Measurement</i> (2025)	5,6	200	0(0)	0(0)
Suma:		37,9	1290	130(101)	115(110)

4.2. Uwagi ogólne do cyklu publikacji:

Celem naukowym prowadzonych przez Habilitanta prac w ramach cyklu publikacji było opracowanie ilościowych strategii pomiarowych w technicznej tomografii komputerowej (XCT). W przedstawionych do oceny pracach, techniczna tomografia komputerowa (XCT) traktowana jest nie tylko jako technika obrazowania, lecz jako zaawansowany proces pomiarowy, wymagający właściwego doboru procedur, obiektywnych kryteriów jakości oraz precyzyjnie zdefiniowanych reguł decyzyjnych. Wszystkie publikacje z cyklu mają zasięg międzynarodowy, z przypisaniem do dyscypliny inżynieria mechaniczna, poza czasopismem *Archaeometry*.

Zadeklarowany wkład Habilitanta w publikacjach wieloautorskich związany był z opracowaniem procedur i metodologii badań, ich przeprowadzeniem oraz z analizą uzyskanych wyników pomiaru geometrii dla różnych materiałów, w tym kompozytów, w aspekcie walidacji danych XCT. Deklarowany wkład został potwierdzony przez współautorów.

4.3. Syntetyczna charakterystyka osiągnięć wykazanych w ramach cyklu publikacyjnego:

W publikacji [A1] Habilitant opracował nowatorską strategię ilościowej walidacji symulacji zjawisk balistycznych w kompozytach PMC przy użyciu rentgenowskiej tomografii komputerowej (XCT). Autor rozwiązał problem braku powtarzalnych procedur porównawczych, zastępując dotychczasowe oceny jakościowe precyzyjną procedurą metrologiczną. W warstwie metodologicznej Habilitant ilościowo wykazał wpływ parametrów skanowania na kontrast rekonstrukcji, co poparł autorskim modelem widma promieniowania dla różnych napięć lampy. Ponadto wdrożył wieloskalową procedurę mikro/makro-XCT do identyfikacji reprezentatywnego elementu objętościowego (RVE) oraz opracował procedurę mapowania warunków brzegowych testu balistycznego do modelu numerycznego, dzięki zintegrowaniu geometrii próbek wyznaczonych z danych XCT ze współrzędnymi trajektorii i punktu uderzenia pocisku. Osiągnięciem Habilitanta jest jego autorski, iteracyjny protokół walidacji modeli

MES/SPH, oparty na analizie trójwymiarowych map odchyłek powierzchniowych w jednym układzie odniesienia.

W publikacji [A2] Habilitant opracował autorską procedurę dopasowania geometrii 3D próbek przed i po teście wytrzymałościowym, która poprzez transformację współrzędnych i kontrolowaną translację fragmentów próbki pozwoliła na porównanie wyników mimo zerwania materiału i dużych lokalnych przemieszczeń. Zdefiniował także zestaw metryk porowatości (objętość, liczność, rozkłady wielkości, sferyczność defektów) i jednolity sposób ich raportowania wzdłuż osi próbek do identyfikacji stref kumulacji uszkodzeń. Ponadto wdrożył procedurę selektywnej interpretacji danych, eliminując artefakty poprzez odseparowanie porów krytycznych (średnica większa od 200 μm). **Osiągnięciem Habilitanta** było zaimplementowanie zintegrowanego protokołu analizy geometrycznej przed/po testach, służącego do ilościowej oceny ewolucji mikrostruktury i weryfikacji mezoskopowych modeli zniszczenia, z kompensacją plastycznego wydłużenia i dekompozycją modeli po zerwaniu.

W publikacji [A3] Habilitant zoptymalizował parametry akwizycji XCT dla stopu Inconel 718 o wysokiej gęstości, stosując konfigurację wysokiego napięcia i niskiego natężenia prądu lampy w celu minimalizacji nieostrości geometrycznej i uzyskania wysokiej rozdzielczości. Opracował metodykę skanowania materiału wsadowego opartą na stabilizacji ziaren w żywicy epoksydowej, co pozwoliło na analizę morfologii i porowatości zamkniętej (wewnątrz ziaren) przy ich stabilnym położeniu i bez artefaktów na ich styku. Wprowadził powtarzalny sposób raportowania ewolucji porowatości *ex situ* poprzez dekompozycję cylindrycznego obszaru zainteresowania (ROI) na subwolumeny, co wyeliminowało wpływ warstwy przypowierzchniowej i błędy obróbki mechanicznej na ocenę degradacji materiału w procesie rozciągania. Ponadto opracował procedurę bezpośredniej konwersji danych wolumetrycznych XCT do siatki elementów skończonych (MES), wiernie odwzorowując geometrię defektów i ich lokalizację w części pomiarowej. Przeprowadził analizę wrażliwości wyników symulacji na rozdzielczość danych, wykazując wpływ rozmiaru woksela na lokalny rozkład naprężeń zredukowanych (według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego), co zweryfikował mapami odchyłek. **Osiągnięciem Habilitanta** było zaproponowanie holistycznego protokołu kontroli i walidacji tańcucha procesu wytwarzania LPBF, integrującego ocenę proszku, defektów po druku, analizę *ex-situ* oraz implementację i walidację modeli MES w oparciu o kryteria akceptowalnych odchyłek geometrycznych.

W publikacji [A4] Habilitant opracował metodykę ilościowej oceny XCT relaksacji naprężeń własnych łopatek kierowniczych ze stopu Inconel 718. Procedura ta bazowała na akwizycji danych w dwóch stanach: bezpośrednio po wytworzeniu (stan *as-built* na platformie roboczej) oraz po odcięciu detalu od płyty, co pozwoliło uchwycić i zmierzyć przemieszczenia wynikające z uwolnienia naprężeń wewnętrznych powstałych w procesie addytywnego wytwarzania. Habilitant zaproponował autorski proces przetwarzania danych (korekcja rekonstrukcji, segmentacja) wraz z unikalną procedurą wirtualnego usuwania struktur podporowych, generując modele 3D do analiz map odchyłek i walidacji modeli deformacji termicznych. Zaproponował również protokół walidacji modeli numerycznych oparty na metodzie naprężeń własnych (*inherent strain method*), który zapewnia spójność układu odniesienia przed i po procesie odcinania podpór. **Osiągnięciem Habilitanta** była synteza wyników XCT i symulacji numerycznych, udowadniająca skuteczność modeli predykcyjnych w odwzorowaniu geometrii cienkościennych elementów po procesie wytwarzania przyrostową metodą LPBF, przy uwzględnieniu deformacji termicznych.

W publikacji [A5] Habilitant opracował i wdrożył zaawansowaną metodykę tomografii komputerowej dedykowaną do ilościowej oceny mikrostruktury kompozytów polimerowo-metalowych (PA12 z bioaktywnymi wypełniaczami metalowymi), wytwarzanych technologią Laser Sintering. Procedura ta bazowała na autorskim, dwupoziomowym protokole badawczym, który połączył fizyczną redukcję artefaktów pomiarowych z podejściem wieloskalowym (*multi-resolution*). Kluczowym elementem wdrożenia było precyzyjne zoptymalizowanie parametrów akwizycji – w tym napięcia lampy i fizycznej filtracji widma – co pozwoliło skutecznie zminimalizować zjawiska rozpraszania oraz utwardzania wiązki (*beam hardening*) na granicach faz o skrajnym kontraście gęstości. Działania te zapewniły

wysoką jakość obrazowania, niezbędną do wiarygodnej segmentacji faz o drastycznie różnych współczynnikach tłumienia. Habilitant wprowadził również hierarchiczną metodykę skanowania, która w sposób nowatorski zrównoważyła reprezentatywność statystyczną wyników w skali makro (skany *low-resolution* do oceny globalnej porowatości i dystrybucji) z koniecznością uzyskania wysokiej rozdzielczości lokalnej (skany *high-resolution* do precyzyjnego opisu morfologii i geometrii proszków). **Osiągnięciem Habilitanta w ramach tej pracy** było stworzenie uniwersalnego i powtarzalnego standardu metodologicznego, który gwarantuje pełen obiektywizm w badaniach nieniszczących silnie heterogenicznych kompozytów polimerowo-metalowych o wysokim kontraście gęstości.

W publikacji [A6] Habilitant opracował i wdrożył zaawansowaną, wieloskalową metodykę kontroli jakości oraz walidacji zindywidualizowanych implantów ze stopu Ti-6Al-4V ELI, wytwarzanych w technologii Electron Beam Melting (EBM). Procedura ta bazowała na holistycznym protokole decyzyjnym, łączącym parametry materiałowe w skali mikro z funkcjonalnością wyrobu w skali makro. Na etapie przedprocesowym **Habilitant** zaprojektował zindywidualizowaną geometrię implantu (custom-made) poprzez konwersję medycznych danych tomograficznych (DICOM) do modeli CAD. Następnie zintegrował trzy poziomy analizy XCT – obejmujące proszek, próbki testowe oraz gotowy wyrób – co pozwoliło monitorować ewolucję mikrostruktury i geometrii w całym cyklu produkcyjnym. W ramach badań materiałowych wdrożył procedurę ilościowej oceny morfologii ziaren proszku (średnica ekwiwalentna, sferyczność) oraz detekcji ich wewnętrznej porowatości. Zaproponował także metodę porównania stałych obszarów zainteresowania (ROI), która wykazała ilościową skuteczność procesu gorącego prasowania izostatycznego HIP w eliminacji defektów strukturalnych. **Osiągnięciem Habilitanta** było wprowadzenie zaawansowanej oceny dokładności geometrycznej badanego obiektu (XCT vs. CAD) z użyciem krzywych skumulowanych udziału powierzchni w funkcji odchyłki, co umożliwiło precyzyjną walidację wpływu obróbki poprocesowej na wierność odwzorowania implantu.

W interdyscyplinarnej publikacji [A7] Habilitant wniósł wkład badawczy w obszarze zaawansowanej metrologii struktur antropogenicznych na obiektach zabytkowych. Zaprojektował i wdrożył kompletną procedurę mikro-tomograficzną (XCT), ukierunkowaną na nieniszczącą dokumentację geometrii nacięć na zabytkach kostnych z rozdzielczością umożliwiającą analizę morfologiczną użytych narzędzi. **Habilitant** wprowadził zaawansowaną transformację metrologiczną powierzchni obszaru zainteresowania (ROI). Zastosował procedurę poziomowania poprzez aproksymację lokalnej geometrii kości wielomianem wysokiego stopnia, a następnie wykorzystał filtrację górnoprzepustową do odseparowania falistości i formy, uzyskując płaską powierzchnię referencyjną niezbędną do obiektywnego porównywania śladów. Ponadto **Habilitant** opracował ustandaryzowany protokół analizy profilometrycznej nacięć bazujący na danych wolumetrycznych XCT, integrujący zasady rozdziału składowych geometrii powierzchni zgodnie z normami ISO 3274 oraz ISO 16610 (filtracja L-filter). **Osiągnięciem Habilitanta** było zaimplementowanie algorytmu automatycznego próbkowania profili poprzecznych prostopadle do osi nacięcia. Dzięki temu uzyskane metryki geometryczne – takie jak głębokość, kąt rozwarcia czy promienie dna nacięcia – stały się niezależne od globalnej krzywizny kości oraz orientacji próbki w skanerze, co zagwarantowało pełną powtarzalność wyników.

W jednoautorskiej publikacji [A8] Habilitant podjął fundamentalny problem z zakresu fizyki i metrologii tomograficznej. Zaprojektował kontrolowany eksperyment metrologiczny z wykorzystaniem dedykowanego wzorca dwumateriałowego (kule ceramiczne Si_3N_4 oraz ZrO_2), co pozwoliło na izolację wpływu napięcia lampy rentgenowskiej (100–300 kV) na odchyłki wyznaczania krawędzi, przy minimalizacji zakłóceń wynikających z geometrii układu pomiarowego. **Habilitant** wykazał nieliniową i zależną od liczby atomowej oraz gęstości materiału korelację między energią widma a błędami wymiarowania, udowadniając konieczność doboru parametrów w oparciu o charakterystykę materiałowo-widmową obiektu. Istotnym elementem badań była krytyczna analiza wpływu segmentacji obrazu, w ramach której **Habilitant** porównał metody komercyjne, algorytmy biblioteki scikit-image oraz własne procedury progowania lokalnego, wykazując rozrzut odchyłek od $-10\text{ }\mu\text{m}$ do $40\text{ }\mu\text{m}$. **Habilitant** powiązał odchyłki wymiarowe z fizyką oddziaływania promieniowania z materią, wykazując, że wzrost udziału efektu fotoelektrycznego potęguje utwardzanie wiązki i

prowadzi do systematycznego zawyżania wymiarów. **Osiągnięciem Habilitanta** było zdefiniowanie zintegrowanego protokołu optymalizacji parametrów opartego na modelu tłumienia, a nie na subiektywnej ocenie obrazu. **Habilitant** podważył także adekwatność klasycznych kryteriów jakości obrazu w metrologii XCT, co stanowi kluczowy głos w międzynarodowej dyskusji nad standaryzacją pomiarów tomograficznych.

4.4. Ocena merytoryczna i syntetyczna charakterystyka cyklu publikacji

1. Cykl publikacji związany z opracowaniem **ilościowych strategii pomiarowych w technicznej tomografii komputerowej (XCT) cechuje się wysoką spójnością i wartością poznawczą**. **Habilitant** podjął kluczowy problem badawczy dotyczący traktowania techniki XCT jako zaawansowanego procesu pomiarowego, wymagającego obiektywnych kryteriów jakości i precyzyjnych reguł decyzyjnych. Analiza cyklu 8 publikacji potwierdza wysokie zaawansowanie badawcze autora oraz komplementarność realizowanych prac w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.
2. Prace mają charakter interdyscyplinarny, łączy metrologię radiologiczną XCT z inżynierią materiałową, technologiami przyrostowymi (LPBF, EBM, Laser Sintering), archeometrią oraz mechaniką zniszczenia i metodami numerycznymi. **Habilitant** uogólnił wyniki dla zróżnicowanych struktur i materiałów – od kompozytów PMC poddanych testom balistycznym [A1], przez stopy lotnicze w próbach rozciągania [A2, A3], nadstopy Inconel 718 [A3, A4], kompozyty polimerowo-metalowe PA12 [A5], implanty Ti-6Al-4V ELI [A6], aż po obiekty kostne [A7] i wzorce ceramiczne [A8].
3. **Habilitant** wniósł istotny wkład w rozwój metrologii komponentów wytwarzanych przyrostowo i analizy śladów na powierzchniach swobodnych. Na przykładzie stopów Inconel 718 [A3, A4] i tytanu [A6] udowodnił, że struktury addytywne wymagają dedykowanych algorytmów optymalizacji akwizycji i redukcji artefaktów, w tym ilościowej oceny skuteczności procesu HIP [A6]. W obszarze struktur antropogenicznych [A7] wykazał, że morfologia nacięć na podłożu krzywoliniowym wymaga zaawansowanych transformacji powierzchni w celu odseparowania falistości i formy.
4. Publikacje przedstawione w cyklu cechują się unikalnym wkładem metodycznym. **Habilitant** zaproponował autorskie modyfikacje procedur metrologicznych: iteracyjny protokół walidacji modeli MES/SPH oparty na mapach odchyłek 3D [A1], dopasowanie geometrii próbek przed/po zerwaniu z kompensacją wydłużenia [A2], dekompozycję cylindrycznego ROI na subwolumeny [A3], wirtualne usuwanie struktur podporowych [A4], automatyczne próbkowanie profili poprzecznych [A7] oraz ocenę dokładności geometrycznej za pomocą krzywych skumulowanych [A6]. Rozwiązują one realne problemy zniekształceń danych wywołanych przez artefakty radiologiczne.
5. **Habilitant** przedstawił wyczerpujące uzasadnienie prac na podstawie literatury. Wykazał się wiedzą w zakresie modelowania widma promieniowania, segmentacji faz o skrajnym kontraście gęstości, konwersji voxel-to-mesh oraz międzynarodowych standardów ISO 3274 i ISO 16610.
6. Zaletą cyklu jest potencjalnie wysoka aplikacyjność w przemyśle lotniczym, obronnym, inżynierii biomedycznej oraz archeometrii. Metody te pozwalają na ocenę bezpieczeństwa krytycznych komponentów, takich jak łożyska silników lotniczych [A4], pancerze kompozytowe [A1], spersonalizowane implanty medyczne [A6] czy nieniszcząca dokumentacja śladów narzędzi na zabytkach [A7].

7. Zaproponowane przez Habilitanta procedury doboru parametrów skanowania i przetwarzania danych są zbieżne z wytycznymi norm ISO, jednocześnie redukując błędy deformacji i artefaktów (beam hardening [A5], nieostrość geometryczna [A3]) względem podejść klasycznych.
8. W publikacjach Habilitant sformułował gotowe do wdrożenia wskazówki dla przemysłu i laboratoriów. Zwiększają one dokładność pomiarów poprzez hierarchiczne strategie skanowania multi-resolution [A5, A6], łączące zalety makro- i mikro-XCT. Ponadto w jednoautorskiej pracy [A8] zdefiniowano protokół optymalizacji oparty na fizycznym modelu tłumienia, co eliminuje subiektywizm ocen radiologicznych.
9. Działania Habilitanta mają istotny wymiar praktyczny dzięki integracji danych XCT z modelami numerycznymi. Umożliwiło to weryfikację mezoskopowych modeli zniszczenia [A2], analizę wrażliwości symulacji na rozmiar woksela i rozkład naprężeń [A3] oraz walidację modeli deformacji termicznych metodą inherent strain [A4].

4.5. Dyskusja ograniczeń opracowanej metody

1. **Złożoność obliczeniowa i czasochłonność:** wieloetapowe przetwarzanie danych (segmentacja, usuwanie podpór [A4], dekompozycja ROI [A3], dopasowanie po zerwaniu [A2], próbkowanie profili [A7]) cechuje się dużą złożonością operacyjną. Praca na bardzo dużych zbiorach wokseli może w seryjnej kontroli jakości stanowić barierę wdrożeniową. Czy czasochłonność przygotowania danych nie ogranicza stosowalności metodyki Habilitanta wyłącznie do badań jednostkowych i komponentów krytycznych?
2. **Odstępstwa od norm i arbitralność filtracji:** wprowadzenie autorskich algorytmów, jak sztuczne odseparowanie porów większych niż 200 μm [A2] (dlaczego akurat 200 μm) czy aproksymacja geometrii kości wielomianem wysokiego stopnia [A7], stanowi nienormatywne podejście do analizy. Wprowadza to element arbitralności w doborze progu odcięcia lub stopnia wielomianu. Czy te procedury zostaną zaakceptowane np. w restrykcyjnej certyfikacji motoryzacyjnej, a nawet lotniczej lub medycznej, opartej ściśle na międzynarodowych i branżowych standardach i normach?
3. **Uproszczenia w konwersji voxel-to-mesh:** bezpośrednia konwersja danych XCT do siatki MES [A3] rodzi ryzyko generowania sztucznych spiętrzeń naprężeń (osobliwości numerycznych) na ostrych krawędziach losowych porów. Jak Habilitant rozwiązuje problem wygładzania geometrii porów na granicy faz, aby uniknąć nierealistycznych maksimów naprężeń według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego?
4. **Ryzyko lokalnej utraty danych:** zaawansowana filtracja fizyczna i programowa redukcja artefaktów utwardzania wiązki oraz rozpraszania [A5] może zacierać subtelne cechy mikrostruktury. Zbyt agresywne wygładzanie sygnału grozi usunięciem autentycznych informacji o mikroporowatościach. Jak Habilitant ocenia granicę między skuteczną redukcją artefaktów a ryzykiem ilościowej utraty realnych danych?
5. **Zależność od stochastycznego charakteru wad:** losowość rozkładu porowatości i morfologii proszków w technologiach przyrostowych [A3, A5, A6] sprawia, że powtarzalność protokołów walidacji zależy od reprezentatywności statystycznej próbek. Jak ta stochastyczność wpływa na stabilność protokołów walidacji i jak zdefiniowano margines tolerancji dla kryteriów akceptowalnych odchyłek?
6. **Zróżnicowanie aparatury i transfer metod:** wyniki tomograficzne są silnie zależne od specyfiki sprzętowej danego producenta XCT. Jak wykazano w pracy [A8], rozrzut odchyłek wymiarowania przy różnych metodach segmentacji i energiach wynosi od $-10\text{ }\mu\text{m}$ do $40\text{ }\mu\text{m}$.

Jakie procedury standaryzujące są niezbędne, aby umożliwić bezproblemowy transfer protokołów ilościowych Habilitanta pomiędzy systemami XCT różnych producentów?

7. **Możliwości współczesnych systemów komercyjnych:** Habilitant kładzie nacisk na autorskie procedury przetwarzania, segmentacji lokalnej i modele tłumienia [A8]. Czy nowoczesne systemy tomografii przemysłowej (wyposażone w algorytmy do usuwania artefaktów) nie redukują zakłóceń już na etapie rekonstrukcji w stopniu wystarczającym do oceny geometrycznej, bez zewnętrznych protokołów?
8. **Realny zysk metrologiczny:** choć Habilitant podważył adekwatność klasycznych kryteriów jakości obrazu w metrologii XCT [A8], kluczowe pozostaje pytanie o efekt praktyczny. O ile dokładnie (np. w ujęciu procentowym) zwiększa się dokładność prognozowania zachowania układów dynamicznych [A1, A4] przy zastosowaniu strategii XCT Habilitanta w stosunku do geometrii nominalnej CAD?

4.6. Osiągnięcia projektowe

[OP1] Ilościowa kontrola procesów przyrostowych i wyrobów medycznych (BIOAddMed / LIDER / NCBiR) – projekt [P12].

[OP2] System kontroli jakości w produkcji rozproszonej (Virtual AM Storage Covid-19 / Szpitale Jednoimienne / NCBiR) – projekt [P9].

[OP3] Standaryzacja danych geometrycznych do standardu „AI-ready” („Sztuka magdaleńska...” / OPUS/NCN oraz „Sztuka mezolityczna...” / OPUS / NCN) – projekty [P3, P11].

4.7. Uwagi ogólne do osiągnięć projektowych:

W ramach projektu LIDER [OP1] Habilitant rozwiązał problem niskiego kontrastu fazowego w materiałach polimerowych i farmaceutycznych. Poprzez implementację algorytmów segmentacji lokalnej i analizy ROI umożliwił precyzyjne rozróżnienie porowatości otwartej i zamkniętej, eliminując błędy estymacji połączeń kanałów (connectivity). Efektem tych prac jest udane **wdrożenie systemu kontroli materiałów wsadowych i tabletek w firmie USP Zdrowie** (wkład Habilitanta: 50%).

Odpowiedzią na wyzwania pandemii był projekt [OP2], w którym Habilitant współtworzył system kontroli jakości dla rozproszonej produkcji przyrostowej w warunkach kryzysowych. Opracował on procedury klasyfikacji obiektów (pełna analiza XCT vs. próbka-świadek) bazujące na relacji gabarytów do przenikalności materiału. Zdefiniowanie spójnych kryteriów walidacji zapewniło bezpieczeństwo kliniczne części zamiennych aparatury medycznej wytwarzanej na różnych urządzeniach AM. Rozwiązanie to **wdrożono w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym we Wrocławiu (wkład: 12,5%), a zespół badawczy został wyróżniony nagrodą II stopnia FS NOT.**

Unikalnym osiągnięciem o charakterze interdyscyplinarnym jest opracowanie metodologii standaryzacji danych geometrycznych do standardu „AI-ready” w projektach OPUS [OP3]. Habilitant rozwiązał problem niespójności surowych danych 3D (szum, artefakty beam hardening), która uniemożliwiała efektywne trenowanie modeli uczenia maszynowego. Zaproponował autorski protokół normalizacji (kontrolowane odszumianie, ujednolicenie skali i orientacji, stabilna reprezentacja powierzchni przez deskryptory lokalne). Metoda ta, zastosowana z sukcesem w ilościowej analizie ornamentyki w archeometrii, zapewnia pełną interoperacyjność danych i eliminuje wpływ parametrów skanera na wyniki analiz AI/ML.

Osiągnięcia projektowe [OP1-OP3], obejmujące opracowanie, implementację oraz walidację zintegrowanych metod pomiaru XCT w procesach kontroli wytwarzania i certyfikacji wyrobów, stanowią istotny element wkładu Habilitanta w rozwój dyscypliny, oprócz dorobku publikacyjnego. Habilitant zaprojektował i wdrożył kompletny, autorski łańcuch przetwarzania danych wolumetrycznych (od akwizycji, przez zaawansowaną segmentację, po standaryzację danych do

postaci „AI-ready”). Podkreślić należy wysoki stopień aplikacyjności tych prac, udokumentowany konkretnymi wdrożeniami przemysłowymi i klinicznymi w ramach grantów NCBiR oraz NCN.

4.8. Pytania i dyskusja do osiągnięć projektowych

1. Przemysłowa skalowalność algorytmów segmentacji lokalnej [OP1]: Opracowany dla USP Zdrowie system kontroli jakości wymaga zaawansowanej segmentacji lokalnej do rozróżniania mikroporowatości w strukturach farmaceutycznych. Jak Habilitant ocenia wydajność obliczeniową i stabilność tych algorytmów w realiach wielkoseryjnej, szybkiej kontroli tabletkowej na linii produkcyjnej? Czy system ten jest w stanie pracować w czasie rzeczywistym, czy pozostaje narzędziem kontroli wyrwykowej/laboratoryjnej?
2. Niezawodność metody próbki-świadka w warunkach kryzysowych [OP2]: W systemie produkcji rozproszonej zaproponowano procedurę klasyfikacji w oparciu o próbkę-świadka i przenikalność radiacyjną. W jaki sposób Habilitant zweryfikował, czy uproszczona kontrola za pomocą próbki-świadka jest w pełni reprezentatywna dla realnego, często skomplikowanego kształtu części zamiennej aparatury medycznej, zwłaszcza w kontekście występowania losowych wad lokalnych (np. delaminacji warstw druku), które mogą nie ujawnić się w próbce testowej?
3. Uniwersalność i obiektywizm deskryptorów „AI-ready” [OP3]: Autorski protokół normalizacji danych 3D ma eliminować wpływ parametrów technicznych skanera na wyniki analiz uczenia maszynowego. Czy zaproponowane deskryptory lokalne i procedury odsumowania zostały przetestowane na danych z tomografów o różnej charakterystyce? Jak agresywna filtracja szumów i beam hardeningu w protokole „AI-ready” wpływa na ryzyko utraty mikroszczegółów, w tym przypadku autentycznej ornamentyki zabytków w archeometrii?

5. Ocena istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Kluczowym elementem rozwoju naukowego **Habilitanta** po uzyskaniu stopnia doktora było rozbudowanie międzynarodowej i krajowej sieci współpracy badawczej. Działania te obejmowały wizyty naukowe oraz wspólne projekty i publikacje, które bezpośrednio zweryfikowały aplikacyjność opracowanych metod pomiarowych w technicznej tomografii komputerowej XCT dla zróżnicowanych materiałów i procesów wytwarzania związanych głównie z inżynierią mechaniczną, ale również z archeometrią i inżynierią mechaniczno-medyczną.

5.1. Współpraca międzynarodowa

Kandydat współpracował głównie z dwoma renomowanymi ośrodkami zagranicznymi: **Massachusetts Institute of Technology (MIT, USA)** oraz z **Brandenburg University of Technology (BTU Cottbus-Senftenberg, Niemcy)**.

5.1.1. Współpraca z Massachusetts Institute of Technology (MIT, USA)

Współpraca ta, realizowana od 2022 roku z zespołem **prof. Wojciecha Matusika** w *Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)*, dotyczyła implementacji metod sztucznej inteligencji (AI/ML), głębokiego uczenia (DL) oraz wyjaśnialnej sztucznej inteligencji (XAI) w obszarze technicznej tomografii komputerowej (XCT). Jednym z efektów tej współpracy jest pozyskanie finansowania w programie FNP FIRST TEAM (środki FENG) na lata 2025–2029. Projekt pt. „*Inteligentny system wsparcia współrzędnościowych pomiarów tomograficznych – AiSSIST*” uzyskał finansowanie w kwocie 4 000 000 PLN, a prof. Matusik z MIT pełni w nim rolę partnera naukowego. **Habilitant** zrealizował wizytę badawczą na MIT w ramach projektu „*Self-Optimizing Additive Manufacturing*” (finansowanego z MIT-Poland Lockheed Martin Seed Fund / inicjatywa MISTI).

5.1.2. Współpraca z Brandenburg University of Technology (BTU Cottbus-Senftenberg, Niemcy)

Relacje z zespołem prof. Matthiasa Ziegenhorna, dr. hab. Roberta Roszaka oraz dr. Danieli Schob Habilitant rozwijał od 2019 roku. Współpraca ta zaowocowała m.in. publikacjami w czasopiśmie *Additive Manufacturing* (2021, [A3]) na temat ex-situ testów mechanicznych i symulacji stopu IN718 oraz w czasopiśmie *Materials* (2022, [B12]) dotyczącej degradacji proszków AlSi7Mg0.6. Wspólny dorobek uzupełniają rozdziały w monografiach i doniesienia konferencyjne [D5, D9, D10]. Kandydat pozyskał polsko-niemiecki projekt w ramach programu NAWA (2022–2024). Seria regularnych, kilkudniowych wizyt badawczych Habilitanta w BTU (2019, dwukrotnie w 2023, dwukrotnie w 2024 r.) służyła bieżącej walidacji modeli fizyko-matematycznych, koordynacji prac nad stopami *Scalmalloy*[®] oraz planowaniu wspólnych manuskryptów.

Pomimo braku długoterminowego stażu zagranicznego, poziom umiędzynarodowienia dorobku Habilitanta oceniam pozytywnie. Współpraca z MIT oraz BTU Brandenburg ma charakter trwały przynoszący mierzalne rezultaty w postaci publikacji oraz grantów.

5.2. Współpraca z krajowymi jednostkami naukowymi

Krajowa współpraca naukowa **Habilitanta** ma charakter interdyscyplinarny i skupia się głównie na transferze zaawansowanych technik metrologicznych (XCT) oraz algorytmów sztucznej inteligencji do archeometrii oraz inżynierii biomedycznej. Do najważniejszych partnerów krajowych należą Uniwersytet Wrocławski (Instytut Archeologii) i Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu (Zakład Technologii Translacyjnych).

5.2.1. Uniwersytet Wrocławski (Instytut Archeologii)

Rozwijana od 2019 r. współpraca Habilitanta z zespołem prof. dr. hab. Tomasza Płonki dotyczy wykorzystania technicznej tomografii komputerowej do nieinwazyjnej digitalizacji, parametryzacji i interpretacji 3D zabytków paleolitycznych oraz mezolitycznych. Szczególnie wartościowym naukowo elementem jest tu implementacja algorytmów AI do standaryzacji opisu i identyfikacji nacięć na obiektach sztuki przenośnej. Efektem tych prac – realizowanych w ramach dwóch wspólnych projektów badawczych – jest dorobek publikacyjny, w tym wysoko-punktowane artykuły w czasopismach *Archaeometry* (2024, [A7]) oraz *Journal of Archaeological Science* (2024, [B7]), a także rozdziały w monografiach i doniesienia konferencyjne [C3, C11, D1, D8].

5.2.2. Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu (Zakład Technologii Translacyjnych)

Współpraca z zespołem prof. UM dr. hab. Adama Junki (prowadzona od 2013 r.) koncentruje się na połączeniu technologii przyrostowych (EBM, SLM), inżynierii powierzchni oraz mikrobiologii. **Habilitant** z powodzeniem zaimplementował procedury XCT do kompleksowej oceny geometryczno-strukturalnej metalowych i polimerowych implantów medycznych dedykowanych m.in. dla pacjentów onkologicznych. Wyniki tych interdyscyplinarnych badań opublikowano w *Journal of Manufacturing Processes* (2022, [A6]), *Materials* (2018, [B26]; 2020, [B20]) oraz *PLoS ONE* (2017, [B30]), a także w publikacjach [B33, B40, B44].

Przedstawiona aktywność dowodzi zdolności Habilitanta do efektywnego kierowania zadaniami badawczymi w wielodyscyplinarnych zespołach i skutecznego implementowania technik inżynierskich w interdyscyplinarnych obszarach aplikacyjnych.

Aktywność naukową **Habilitanta** realizowaną w innych jednostkach naukowych, w tym zagranicznych, oceniam jako istotną, ukierunkowaną na jego rozwój naukowy i zdobywanie doświadczenia dla badań nad zaawansowanymi technikami metrologicznymi (XCT).

6. Ocena osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Działalność dydaktyczna Habilitanta realizowana była na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej na studiach pierwszego i drugiego stopnia, w systemie stacjonarnym oraz niestacjonarnym.

6.1.1. Kształcenie kadry naukowej i opieka nad dyplomantami

- Promotorstwo pomocnicze: Sprawowanie opieki naukowej w dwóch przewodach doktorskich w dyscyplinie inżynieria mechaniczna na Politechnice Wrocławskiej (mgr inż. Dawid Kęszycki – stopień realizacji 100%, obrona planowana była w czerwcu 2026 r.; mgr inż. Emilia Grochowska – stopień realizacji 85%, złożenie rozprawy planowane było w kwietniu 2026 r.). Tematyka prac dotyczy sprzętowo-algorytmicznych metod korekcji artefaktów w XCT oraz parametrycznego projektowania spersonalizowanych implantów biodrowych.
- Promotorstwo prac dyplomowych: W latach 2016–2025 pełnienie funkcji promotora 26 prac dyplomowych (magisterskich i inżynierskich), których tematyka koncentrowała się wokół nieniszczącej analizy strukturalnej z wykorzystaniem tomografii komputerowej XCT.

6.1.2. Zajęcia dydaktyczne

Habilitant prowadzi zajęcia w formie wykładów, laboratoriów, ćwiczeń oraz projektów. Do jego osiągnięć w tym obszarze należą:

- Opracowanie kart przedmiotów: Zaawansowane metody kontroli jakości w procesach wytwórczych, Metrologia optyczna i współrzędnościowa, Projekt technologiczny zindywidualizowanego implantu oraz Praca przejściowa – projekt technologiczny.
- Współautorstwo materiałów i instrukcji laboratoryjnych do zajęć *Reverse Engineering*.
- Prowadzenie zajęć m.in. z technologii przyrostowych, systemów CNC, programowania w środowisku MATLAB, technicznych aspektów zapewnienia jakości, inżynierii odwrotnej oraz organizacji procesów produkcyjnych.

6.1.3. Umiędzynarodowienie dydaktyki

- Kursy międzynarodowe: w latach akademickich 2021/2022–2024/2025 współprowadzenie anglojęzycznego kursu *Design of Engineering Materials* w ramach międzynarodowego programu *European Master in Advanced Solid Mechanics*, realizowanego przez konsorcjum sześciu uczelni europejskich (w tym Université de Lille, KU Leuven, National Technical University of Athens i Politechnikę Wrocławską).
- Dydaktyka w języku obcym: prowadzenie przedmiotów *Innovative Mechanical Technologies / Innowacyjne technologie mechaniczne* oraz *Modern Trends in Production / Nowoczesne trendy w produkcji* w języku angielskim.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

- Kierownik Laboratorium Technicznej Tomografii Komputerowej (XCTlab): od 2020 r. zarządzanie jednostką w Katedrze Zaawansowanych Technik Wytwarzania. Odpowiedzialność za infrastrukturę, koordynację zespołu oraz procedury jakościowe.

- Opiekun studenckiego Koła Naukowego BIOAddMed: od 2017 r. inicjowanie i sprawowanie opieki naukowej nad kołem realizującym interdyscyplinarne projekty z obszaru inżynierii biomedycznej, technologii przyrostowych oraz kontroli jakości XCT.6.2.2.
- Rozwój zaplecza aparaturowego i laboratoryjnego: uczestnictwo w przygotowaniu wniosków, specyfikacji technicznych oraz postępowań przetargowych, które przełożyły się na pozyskanie aparatury badawczej o łącznej wartości ponad 5 000 000 PLN (w tym systemów XCT GE phoenix, maszyn wytrzymałościowych in situ, komór środowiskowych DEBEN oraz specjalistycznego oprogramowania rekonstrukcyjnego).

6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę lub sztukę

Aktywność Habilitanta w zakresie popularyzacji nauki obejmowała prowadzenie wykładów, warsztatów oraz pokazów laboratoryjnych dla młodzieży szkolnej i otoczenia społecznego. Działania te obejmowały udział w roli współprowadzącego w sesjach prezentacyjnych i pokazach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki (w latach 2011–2013), współprowadzenie warsztatów inżynierskich na temat zastosowań technicznej tomografii komputerowej w przemyśle (2015 r.) oraz współpracę z Wrocławskim Centrum Rozwoju Społecznego (od 2025 r.) polegającą na realizacji dedykowanych zajęć z zakresu XCT dla uczniów szkół wrocławskich.

Pozytywnie oceniam osiągnięcia Habilitanta w obszarze działalności dydaktycznej, organizacyjnej, oraz popularyzującej naukę.

7. Inne osiągnięcia naukowe i przemysłowe

7.1. Udział w projektach badawczych

Aktywność Habilitanta obejmuje udział w 19 projektach badawczych (krajowych i międzynarodowych), finansowanych przez NCN, NCBR (w tym programy sektorowe i strategiczne: TECHMATSTRATEG, INNOLOT, CuBR, PBS, POIG), FNP oraz Unię Europejską (Horizon 2020, M-ERA.NET). W okresie po uzyskaniu stopnia doktora Kandydat uczestniczył w 14 projektach, natomiast przed jego uzyskaniem – w 5 projektach w roli wykonawcy. Łączny budżet wszystkich przedsięwzięć, w których realizację zaangażowany był Habilitant, wynosi ponad 116 mln PLN oraz blisko 9 mln EUR.

7.2. Nagrody i wyróżnienia Habilitanta

7.2.1. Nagrody otrzymane na Politechnice Wrocławskiej:

- laureat w programie doskonałości naukowej *Primus* (2021, 2022, 2024, 2025 r.);
- laureat w programie dla najbardziej efektywnych młodych naukowców *Secundus* (2020, 2021, 2022 r.);
- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej (2018, 2020, 2023 r.);
- Nagroda Dziekana Wydziału Mechanicznego za działalność dydaktyczną (2021 r.);
- Wyróżnienie rozprawy doktorskiej przez Radę Naukową Wydziału Mechanicznego (2016 r.) oraz stypendium „Młoda kadra 2015 plus” (2011–2015 r.).

7.2.2. Nagrody i wyróżnienia przyznane poza macierzystą uczelnią (zespołowe):

- Nagroda II stopnia Wrocławskiej Rady FSNT NOT (2021 r.) za projekt produkcji środków ochrony w sytuacjach kryzysowych;

- Polska Nagroda Inteligentnego Rozwoju (2016 r.) za realizację projektu *AMpHOra* dla przemysłu lotniczego;
- Wyróżnienie „Luminatus 2015” (Bloomberg Businessweek Polska) za realizację projektu *Bio-Implant*;
- Nagroda I stopnia Wrocławskiej Rady FSNT NOT (2014 r.) za wdrożenie technologii lutowania prętów stojana realizowane dla *ALSTOM Power Sp. z o.o.*

7.3. Udział w konferencjach naukowych

Aktywność Habilitanta obejmuje łącznie, przed i po uzyskaniu stopnia doktora, 10 wystąpień konferencyjnych, w tym 8 o zasięgu międzynarodowym oraz 2 o zasięgu krajowym. Tematyka wystąpień związana była z zagadnieniami omawianymi w cyklu publikacyjnym.

7.4. Recenzje prac naukowych i promotorstwo

Recenzowanie kilkudziesięciu prac naukowych dla renomowanych czasopism naukowych o zasięgu międzynarodowym.

7.5. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

Brak.

8. Dane naukometryczne

8.1. Impact Factor:

- łączna wartość współczynnika **Impact Factor** publikacji naukowych Habilitanta zgodnie z rokiem publikacji wynosi: **131**.

8.2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy na dzień 30.01.2026 r.:

- wg bazy **Web of Science**: **769**.
- wg bazy **Scopus**: **896**.

8.3. Indeks Hirscha:

- wg bazy **Web of Science**: **16**;
- wg bazy **Scopus**: **16**.

9. Ocena dorobku habilitacyjnego i wniosek końcowy

Do oryginalnych osiągnięć naukowych dr. inż. Grzegorza Jana Ziółkowskiego, nie wykazanych wprost przez Habilitanta, w zakresie ilościowych strategii pomiarowych w technicznej tomografii komputerowej (XCT) zaliczam:

1. Stworzenie metodologii ilościowej walidacji modeli numerycznych i fizycznych na podstawie współrzędnościowych danych wolumetrycznych XCT [A1, A2, A4, A6, OP1, OP2]

Habilitant wniósł istotny wkład w rozwój metodologii sprzęgania zaawansowanych symulacji komputerowych z eksperymentalnymi danymi tomograficznymi. Przełamał dotychczasowe ograniczenia ocen jakościowych (wizualnych), wprowadzając autorskie protokoły metrologiczne:

- w fizyce zjawisk dynamicznych i niszczących opracował iteracyjny protokół walidacji modeli MES/SPH oparty na trójwymiarowych mapach odchyłek [A1], procedurę dopasowania geometrii 3D po zerwaniu próbek z kompensacją wydłużenia plastycznego [A2] oraz metodę wirtualnego usuwania struktur podporowych do pomiaru relaksacji naprężeń [A4];

- w procesach technologicznych i medycznych zaprojektował i wdrożył algorytmy segmentacji lokalnej ROI do precyzyjnego modelowania połączeń kanałów (*connectivity*) w strukturach polimerowych druku 3D [OP1] oraz procedury klasyfikacji geometrycznej wyrobów dla medycznej produkcji rozproszonej [OP2].
- 2. Opracowanie fizyko-matematycznych modeli optymalizacji akwizycji oraz protokołów normalizacji danych 3D do standardu interoperacyjności „AI-ready” [A3, A5, A7, A8, OP3]**

Drugim istotnym osiągnięciem Habilitanta jest określenie wpływu fizyki sprzętowej skanera oraz zakłóceń wolumetrycznych na dokładność wymiarową obiektów:

- w warstwie fizyki pomiaru i filtracji podważył klasyczne kryteria oceny obrazu, wprowadzając model optymalizacji parametrów oparty na fizycznym modelu tłumienia widma energii i liczbie atomowej materiału [A8]. Udowodnił wpływ efektu fotoelektrycznego na błędy wyznaczania krawędzi struktur o wysokiej gęstości [A3, A5]. Opracował też algorytmy transformacji i filtracji (wielomianowej oraz ISO) powierzchni krzywoliniowych, umożliwiające automatyczne i powtarzalne próbkowanie mikro-geometrii [A7].
- w warstwie uczenia maszynowego przełożył zdobytą wiedzę na algorytmy informatyczne, projektując autorski protokół normalizacji surowych danych geometrycznych 3D [OP3]. Poprzez kontrolowane odszumianie, korekcję artefaktów *beam hardeningu* oraz stabilną reprezentację powierzchni za pomocą deskryptorów lokalnych, umożliwił efektywne trenowanie modeli AI/ML.

Powyższe osiągnięcia naukowe mają zarówno ważny charakter poznawczy, jak i bezpośredni wymiar aplikacyjny. Udokumentowany cykl 8 publikacji o międzynarodowym zasięgu i o dużej liczbie cytowań w bazach WoS/Scopus stanowi o **znaczącym i oryginalnym wkładzie dr. inż. Grzegorza Jana Ziółkowskiego w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna**, w pełni spełniając ustawowe wymogi stawiane osiągnięciom habilitacyjnym.

Habilitant wykazał się również istotną aktywnością naukową realizowaną w kilku jednostkach naukowych, w tym zagranicznych.

Na podstawie przedstawionej dokumentacji stwierdzam, że dorobek **dr. inż. Grzegorza Jana Ziółkowskiego** został w każdym obszarze znacząco powiększony po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych.

Następujące przesłanki warunkujące nadanie stopnia doktora habilitowanego, tj:

- posiadanie stopnia doktora;
- posiadanie w dorobku osiągnięć naukowych stanowiących znaczący wkład naukowy w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna - w przypadku Habilitanta są to osiągnięcia w ramach 1 cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w wymaganych prawem czasopismach oraz w ramach 1 cyklu projektowego;
- wykazanie się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej;

zostały w pełni spełnione.

Powyższe stwierdzenia, upoważniają do wyrażenia opinii, że są spełnione formalne wymagania ustawowe do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego. Nie mniej jednak, liczę, że **Habilitant** ustosunkuje się podczas kolokwium habilitacyjnego do moich uwag zawartych w recenzji w dyskusji ograniczeń opracowanej metody.

Biorąc pod uwagę przedstawiony dorobek naukowo-badawczy, publikacyjny oraz dydaktyczny i organizacyjny przedstawiam Radzie Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej opinię, że dr inż. Grzegorz Jan Ziółkowski spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (*ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. z 2024 r. poz. 1571*) i wnioskuję o podjęcie procedury w sprawie nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Gdańsk, lipiec 2026 r.



/Mariusz Deja/