

prof. dr hab. inż. Lucjan Śniezek
Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa

Warszawa, 3.04.2024 r.

Recenzja

Osiągnięć naukowo-badawczych oraz aktywności naukowej

dr. inż. Michała Böhm

**w aspekcie spełnienia kryteriów związanych z nadaniem stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauki inżynierijno-techniczne, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna,**

przygotowana na zlecenie Senatu Politechniki Opolskiej

ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięcia

**pt. „Metody korekcji obciążeń losowych w algorytmach wyznaczania trwałości
zmęczeniowej z modyfikacjami w dziedzinie częstotliwości oraz czasu”**

1. Podstawa formalna i dokumentacja wniosku

Recenzję przygotowano na zlecenie Przewodniczącego Senatu Politechniki Opolskiej, JM Rektora Politechniki Opolskiej dr. hab. inż. Marcina Lorenca, wyrażone w piśmie nr RR/85/2024 z dnia 25.01.2024 roku. Podstawę do oceny merytorycznej stanowią następujące załączniki przesłane w wersji elektronicznej:

1. Dane wnioskodawcy.
2. Kopia dokumentu potwierdzającego nadanie stopnia doktora.
3. Autoreferat.
4. Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny.
5. Kopie prac wchodzących w skład cyklu publikacji.
6. Oświadczenia współautorów lub tzw. credits (Author Contributions) z poszczególnych artykułów, opisujące indywidualny wkład każdego z nich w powstanie publikacji wchodzących w skład cyklu.
7. Kopie dokumentów potwierdzających aktywność naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni.
8. Kopie ważniejszych dokumentów potwierdzających pozostałe osiągnięcia.

2. Charakterystyka sylwetki naukowej Habilitanta

Dr inż. Michał Böhm tytuł zawodowy mgr. inż. uzyskał w 2010 roku w Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej, w specjalności Komputerowe Wspomaganie Projektowania i Badania Maszyn na podstawie pracy magisterskiej pt. *„Wpływ naprężeń statycznych na trwałość zmęczeniową żeliwa w warunkach obciążeń zmiennoamplitudowych”*, w której zajmował się wyznaczaniem trwałości zmęczeniowej w warunkach jednoosiowych i wieloosiowych obciążeń losowych. Po ukończeniu studiów, w latach 2012-2015, Kandydat zatrudniony był na stanowisku asystenta w Katedrze Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn macierzystego wydziału. Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie Mechanika mgr inż. Michał Böhm uzyskał w 2014 roku na podstawie rozprawy pt. *„Wyznaczanie trwałości materiałów metodą spektralną z uwzględnieniem składowej statycznej”*. Promotorem rozprawy był dr hab. inż. Adam Niesłony. Warty podkreślenia jest fakt, że praca doktorska została obroniona z wyróżnieniem.

Przed uzyskaniem stopnia doktora, w latach 2011-2014, Habilitant:

a) opublikował:

- 22 rozdziały w monografiach naukowych, zgodnie z zestawieniem zamieszczonym w tabeli 3 na stronie 55 Autoreferatu, lecz w załączniku nr 4 do wniosku wyszczególniono 18 takich rozdziałów. Publikacje te dotyczą w głównej mierze zagadnień metodyki wyznaczania trwałości zmęczeniowej wybranych stopów żelaza w zróżnicowanych warunkach obciążenia, w tym metody spektralnej wyznaczania tej trwałości, modeli korekcyjnych wartości średniej naprężenia dla obciążeń jednoosiowych oraz weryfikacji eksperymentalnej wybranych modeli uwzględniających wartość średnią naprężenia,
- 2 publikacje w czasopiśmie umieszczone w wykazie czasopism punktowanych MEiN zawierające opisy wyników badań prowadzonych podczas realizacji rozprawy doktorskiej, dotyczących opracowanego modelu wyznaczania trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem dwóch skrajnych krzywych zmęczeniowych o różnych współczynnikach asymetrii cyklu R oraz wykorzystania metody spektralnej w celu wyznaczania punktów inicjacji pęknięć zmęczeniowych dla obciążeń wieloosiowych,
- 5 artykułów w czasopiśmie spoza bazy JCR poświęconych wynikom badań wpływu wartości średniej naprężenia na trwałość zmęczeniową żeliwa GGG40, GGG60 oraz stali S355JR dla obciążeń stałoamplitudowych, jak również przy obciążeniach losowych oraz zastosowaniu eksperymentalnych odcinkowych wykresów

zmęczeniowych do wyznaczenia trwałości zmęczeniowej materiałów z grupy stopów aluminium,

- 2 artykuły w materiałach konferencji indeksowanych w bazie WoS (1 międzynarodowej i 1 krajowej), których tematyka koresponduje z obszarami badań opisanych w publikacjach przedstawionych wcześniej,
- b) kierował grantem badawczym pozyskanym w ramach programu PRELUDIUM, przyznawanym przez Narodowe Centrum Nauki, zatytułowanym „*Wpływ odkształceń sprężysto-plastycznych na trwałość obliczeniową wyznaczaną metodą spektralną*” (nr 2013/09/N/ST8/04332), którego realizacja nakreśliła dalszy rozwój naukowy Kandydata ukierunkowany na metody wyznaczenia trwałości zmęczeniowej uwzględniające modyfikacje w dziedzinie częstotliwości i czasu. Ponadto uczestniczył w realizacji grantu zatytułowanego „*Uwzględnienie wpływu wartości średniej naprężenia na obliczeniową trwałość zmęczeniową w metodzie spektralnej*” (nr DEC-2012/05/B/ST8/02520) w ramach programu OPUS, przyznanego przez Narodowe Centrum Nauki,
- c) odbył krótkoterminowy staż dydaktyczno-poznawczy w Ingolstadt University of Applied Sciences w Niemczech (11.02.2012-24.02.2012) w ramach wymiany akademickiej, w trakcie którego uczestniczył w seminariach naukowych i szkoleniach oraz konsultacjach z zespołami zajmującymi się m.in. konstruowaniem bolidów przez koncern Audi. Po odbyciu stażu nie opublikowano żadnej publikacji naukowej.

Realizacja rozprawy doktorskiej niewątpliwie zapoczątkowała trwającą do chwili obecnej aktywność naukową Habilitanta dotyczącą badań zmierzających do poszerzenia zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczenia trwałości zmęczeniowej na różne typy i rozkłady obciążeń.

Po uzyskaniu stopnia doktora, od 2015 roku, Habilitant zatrudniony jest na stanowisku Adiunkta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych w Katedrze Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej. W latach 2018-2020 pełnił jednocześnie obowiązki specjalisty w zakresie naprężeń własnych w Spółce AS Nakonieczny Andrzej Werakso Bartłomiej w Opolu. Do chwili obecnej konsekwentnie kontynuuje zainicjowane już podczas studiów, szeroko zakrojone badania dotyczące wybranych zagadnień inżynierii mechanicznej związanych z wytrzymałością materiałów i konstrukcji, szczególnie w zakresie wyznaczenia trwałości zmęczeniowej materiałów stosowanych na lekkie konstrukcje, w tym materiałów kompozytowych.

3. Ocena problematyki rozprawy

Jak wynika z Autoreferatu, podstawą postępowania habilitacyjnego jest osiągnięcie naukowe zatytułowane „*Metody korekcji obciążeń losowych w algorytmach wyznaczania trwałości zmęczeniowej z modyfikacjami w dziedzinie częstotliwości oraz czasu*” stanowiące cykl 12 powiązanych tematycznie indywidualnych i współautorskich artykułów naukowych:

- [1] Michał Böhm, Adam Niesłony, Strain-based multiaxial fatigue life evaluation using spectral method, 3rd International Conference on Material and Component Performance Under Variable Amplitude Loading, VAL 2015, Procedia Engineering 101 (2015) 52 – 60 (artykuł konferencyjny indeksowany w bazie WOS), MNiSW: 5 pkt.
- [2] Adam Niesłony, Michał Böhm, Frequency-domain fatigue life estimation with mean stress correction, International Journal of Fatigue 91 (2016) 373–381, IF: 5,326, MNiSW: 140 pkt.
- [3] Michał Böhm, Fatigue life assessment with the use of spectral method for materials subjected to standardized wind loading spectrums, Mechatronics Systems and Materials 2018, 4–6 June 2018 Zakopane, Poland, AIP Conference Proceedings 2029, 020005 (2018) (artykuł konferencyjny indeksowany w bazie WOS), MNiSW: 5 pkt.
- [4] Michał Böhm, Mateusz Kowalski, Fatigue Life Assessment Algorithm Modification in Terms of Taking into Account the Effect of Overloads in the Frequency Domain, Fatigue Failure and Fracture Mechanics XXVII, AIP Conference Proceedings 2028, 020003 (2018) (artykuł konferencyjny indeksowany w bazie WOS), MNiSW: 5 pkt.
- [5] Michał Böhm, Mateusz Kowalski, Challenges and new areas of development for the spectral method of fatigue life assessment, Journal of Machine Construction and Maintenance, ISSN 1232-9312, Instytut Technologii Eksploatacji - Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu, nr 2, 2018, ss. 29-35, MNiSW: 5 pkt.
- [6] Michał Böhm, Mateusz Kowalski, Adam Niesłony, Influence of the Elastoplastic Strain on Fatigue Durability Determined with the Use of the Spectral Method, Materials 2020, 13, 423, IF: 4,042, MNiSW: 140 pkt.
- [7] Michał Böhm, Mateusz Kowalski, Fatigue life estimation of explosive clad transition joints with the use of the spectral method for the case of a random sea state, Marine Structures 71 (2020) 102739, IF: 4,37, MNiSW: 200 pkt.

- [8] Adam Niesłony, Michał Böhm, Robert Owsiański, Formulation of multiaxial fatigue failure criteria for spectral method, *International Journal of Fatigue* 135 (2020) 105519, IF: 5,326, MNiSW: 140 pkt.
- [9] Michał Böhm, Karolina Głowacka, Fatigue Life Estimation with Mean Stress Effect Compensation for Lightweight Structures - The Case of GLARE 2 Composite, *Polymers*, no. 4, vol.12, 2020, pp. 1-13, DOI:10.3390/polym12020251, IF: 4,967, MNiSW: 100 pkt.
- [10] Michał Böhm, Denis Benasciutti, A frequency-domain model assessing random loading damage by the strain energy density parameter, *International Journal of Fatigue* 146 (2021) 106152, IF: 5,326, MNiSW: 140 pkt.
- [11] Adam Niesłony, Michał Böhm, Robert Owsiański, Crest factor and kurtosis parameter under vibrational random loading, *International Journal of Fatigue* 147 (2021) 106179, IF: 5,326, MNiSW: 140 pkt.
- [12] Michał Böhm, Krzysztof Kluger, Sławomir Pochwała, Mariusz Kupina, Application of the S-N Curve Mean Stress Correction Model in Terms of Fatigue Life Estimation for Random Torsional Loading for Selected Aluminum Alloys, *Materials* 2020, 13, 423, IF: 4,042, MNiSW: 140 pkt.

Zgłoszone artykuły dotyczą rozległego zakresu tematycznego powiązanego z opracowywaniem nowych oraz modyfikacją istniejących algorytmów wyznaczania trwałości zmęczeniowej z wykorzystaniem metody spektralnej zdefiniowanej w dziedzinie częstotliwości. Metoda ta, jako najefektywniejsza czasowo, spotyka się z zainteresowaniem wielu gałęzi przemysłu, o czym Habilitant mógł się wielokrotnie przekonać podczas współpracy w ramach projektów naukowych realizowanych wspólnie z ośrodkami krajowymi i zagranicznymi. Wszystkie proponowane modyfikacje istniejących, bądź nowe procedury obliczeniowe zostały zweryfikowane przez wyniki skrupulatnie prowadzonych i długotrwałych badań eksperymentalnych. Jeden z głównych nurtów badań naukowych opisanych w zgłoszonym zbiorze publikacji można dostrzec w pracach związanych z opracowaniem algorytmu uwzględniającego wartość średnią naprężenia w dziedzinie częstotliwości poprzez odpowiednią korekcję gęstości widmowej mocy obciążenia z wykorzystaniem modelu kompensującego wartość tejże wartości średniej. Kluczowym z uwagi na dalszy rozwój kierunku badań, którym Habilitant zajmuje się od piętnastu lat, jest inicjowanie i zamieszczenie w części zgłoszonych publikacji wyników szczegółowych prac w zakresie korekcji obciążeń losowych w algorytmach wyznaczania trwałości zmęczeniowej materiałów i elementów

konstrukcyjnych z modyfikacjami w dziedzinie częstotliwości oraz czasu. Usytuowanie tejże problematyki w głównym nurcie osiągnięć naukowych, stanowiących przedmiot recenzowanego wniosku habilitacyjnego, uważam za w pełni uzasadnione. W tym świetle wymienione grupy zgłoszonych publikacji należy uznać za tematycznie dobrze skorelowane z problematyką, jak i tytułem osiągnięcia. Za trafną uznać należy również liczbę publikacji wliczonych do osiągnięcia przedstawionego jako rozprawa habilitacyjna, co ułatwia ocenę wartości naukowej ich zbioru. Należy tutaj zaznaczyć, że w zbiorze tym można znaleźć prace opublikowane w czasopiśmie, którym przypisano w wykazie MNiSW relatywnie małą liczbę punktów, jednak większość stanowią prace opublikowane w liczących się czasopiśmie, o wysokich wartościach współczynników cytowani IF i charakteryzujących się znaczącymi liczbami punktów w wykazie MNiSW. Łącznie 7 z 12 publikacji osiągnięcia naukowego posiada współczynnik wpływu IF, a sumaryczna jego wartość na dzień sporządzania recenzji wynosi 33,399, co stanowi 54% wartości sumarycznej IF z całego okresu kariery naukowej Habilitanta. Relacja ta wskazuje na selektywny i reprezentatywny dobór zbioru tematycznie powiązanych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe z licznej grupy prac opublikowanych, nie skutkujący nadmiernym zubożeniem wykazu publikacji naukowych w czasopiśmie niewchodzących w skład tego osiągnięcia.

Reasumując, problematyka oraz wyniki badań opisane w cyklu zgłoszonych publikacji mają charakter oryginalny, innowacyjny i aplikacyjny oraz niewątpliwie gruntują przekonanie o zasadności rozważenia całokształtu opisanych w nich osiągnięć pod względem znaczącego wkładu Habilitanta w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

4. Ocena osiągnięcia naukowego

Analiza przedstawionego w dostarczonej dokumentacji dorobku publikacyjnego wskazuje, że zainteresowania Habilitanta, już od chwili ukończenia studiów, dotyczą przede wszystkim wybranych zagadnień z obszaru teoretycznych i doświadczalnych badań trwałości zmęczeniowej stopów żelaza oraz lekkich i kompozytowych materiałów konstrukcyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem algorytmów wyznaczania trwałości zmęczeniowej metodą spektralną w warunkach obciążeń jednoosiowych i wieloosiowych. Wyniki badań będących podstawą oceny osiągnięcia naukowego w postępowaniu o stopień naukowy doktora habilitowanego ujęte zostały w wyodrębnionym z całości dorobku cyklu dwunastu publikacji poświęconych weryfikacji wyników symulacyjnych i eksperymentalnych badań własnych, współautorskich i zaczerpniętych z literatury. Wykaz artykułów wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zawiera jeden artykuł autorski i jednaście artykułów wieloautorskich,

w których Habilitant występuje na pierwszym miejscu wśród współautorów. Wykaz publikacji uzupełniono szczegółowym opisem wkładu Kandydata w ich powstanie. W każdym z artykułów wieloautorskich jego wkład był znaczący, a w wielu z nich wiodący i polegał przeważnie na określeniu koncepcji badań i artykułu, określeniu metodologii badań, doborze oprogramowania do realizacji badań teoretycznych oraz zastosowaniu technik obliczeniowych do analizy i syntezy danych badawczych, analizie formalnej, zgromadzeniu materiałów źródłowych, przeprowadzeniu badań doświadczalnych i przygotowaniu tekstu artykułu w wersji pierwotnej oraz po jego przeglądzie. Synergia cząstkowych wyników badań naukowych opisanych w przytoczonych pracach ukierunkowanych na rozszerzenie stosowalności metody spektralnej do wyznaczania trwałości zmęczeniowej umożliwiła sformułowanie dość licznej grupy, w moim przekonaniu zbyt szczegółowo sformułowanych, ośmiu celów osiągnięcia w następującym brzmieniu:

- Cel 1: uwzględnienie wartości średniej obciążenia w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości.
- Cel 2: rozszerzenie zaproponowanego modelu korekcji wartości średniej na zakres obciążeń skręcających w dziedzinie czasu.
- Cel 3: dopełnienie metody spektralnej o odpowiednią korektę z uwagi na odkształcenia plastyczne by umożliwić jej zastosowanie także dla elementów z karbem.
- Cel 4: implementacja metod korekcji naprężeń liniowo-sprężystych do ekwiwalentnych sprężysto-plastycznych do algorytmu obliczeniowego trwałości zmęczeniowej w ujęciu metody spektralnej.
- Cel 5: rozszerzenie stosowalności metody spektralnej dla przebiegów obciążenia o tzw. nie-gaussowskim rozkładzie prawdopodobieństwa w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości.
- Cel 6: rozszerzenie stosowalności metody spektralnej dla przebiegów niestacjonarnych w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości w zakresie uwzględniania przeciążeń.
- Cel 7: poszerzenie stosowalności niektórych kryteriów dla zakresu wieloosiowego wyznaczania trwałości zmęczeniowej dla modeli opartych o historię odkształcenia w dziedzinie częstotliwości.
- Cel 8: poszerzenie stosowalności metod wyznaczania trwałości zmęczeniowej dla przebiegów losowych.

Niemniej zgłębniona analiza treści publikacji wskazuje, że wszystkie cele w powyższym brzmieniu zostały przez Habilitanta osiągnięte. W szczególności wyniki badań opisane

w publikacjach [A2], [A3], [A5], [A7], [A9] i [A12] dotyczą celu nr 1. W pracach tych Habilitant wraz ze współautorami podkreślając, że większość standardowych widm ma zauważalną niezerową wartość średnią naprężenia, przedstawiają między innymi metody obliczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości, uwzględniając wpływ tego naprężenia na wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej oraz prezentując algorytm oceny tej trwałości wzbogacony o korektę wpływu naprężenia średniego. Należy podkreślić, że zaproponowana metoda korekcji naprężenia średniego w dziedzinie częstotliwości została pomyślnie zweryfikowana z uwzględnieniem sygnałów zarówno wąskopasmowych, jak i szerokopasmowych w warunkach jednoosiowego i wieloosiowego obciążenia. Weryfikacji doświadczalnej wyników obliczeń dokonano między innymi podczas oceny trwałości zmęczeniowej materiałów poddanych obciążeniom siłami wiatru, tzw. łączników spawalniczych wykonanych metodą platerowania wybuchowego w warunkach obciążenia losowego wywołanego falami morskimi, czy lekkich struktur kompozytowych z materiału Glare 2.

Rozszerzony na zakres obciążeń skręcających w dziedzinie czasu opis zaproponowanego modelu korekcji wartości średniej, obejmujący cel nr 2, jest przedmiotem publikacji [5] i [12]. Eksperymentalne badania zmęczeniowe w warunkach stałoamplitudowego skręcania przeprowadzono na nowych rodzajach próbek typu diabelo wykonanych ze stopów aluminium PA4 (AW-6082-T6), PA6 (AW-2017A-T4) i PA7 (AW-2024-T3). Wyniki tych badań wykorzystano podczas wyznaczenia trwałości zmęczeniowej przeprowadzonej dla losowo generowanego wąskopasmowego sygnału naprężenia o zerowych i niezerowych wartościach średniego naprężenia globalnego. Obliczenia zostały przeprowadzone w dziedzinie czasu przy użyciu metody płynącego deszczu (rainflow cycle counting) oraz hipotezy uszkodzenia Palmgren-Minera. Kompensacja naprężenia średniego została przeprowadzona przy użyciu modelu wykorzystującego krzywe S-N, zaproponowanego przez Habilitanta i Adama Niesłonego.

Kolejne cele osiągnięcia naukowego Habilitanta (cele nr 3 i 4) są powiązane z dalszą modyfikacją metody spektralnej i jej aplikacją do wyznaczania trwałości zmęczeniowej elementów z karbem, w warunkach występowania lokalnych odkształceń plastycznych. Wyniki między innymi tego obszaru badań zostały ujęte, zgodnie z deklaracją Habilitanta, w publikacjach [A5] i [A6], przy czym tematyka publikacji [A5] charakteryzuje się raczej enigmatycznym powiązaniem z przywołanymi celami nr 3 i 4, a uniwersalność jego treści sprawia, że przywołana została w każdym ze sformułowanych celów. W praktyce w publikacji [A6] opis amplitudy naprężeń używanych do obliczania funkcji gęstości prawdopodobieństwa

widmowej mocy sygnału uzupełniono o korektę związaną z odkształceniami plastycznymi, co umożliwia jej zastosowanie do elementów z karbam. Korekta uwzględnia hiperbolę Neubera w celu uzyskania wartości amplitud naprężeń sprężystych podczas obliczania gęstości prawdopodobieństwa i odpowiadające im wartości amplitudy naprężeń sprężysto-plastycznych. Porównanie wyników badań doświadczalnych i teoretycznych wykazało, że zaproponowany algorytm, przetestowany za pomocą modeli Dirlika, Benasciutti-Tovo, Lalanne'a i Zhao-Bakera, zapewnia bezpieczne oszacowanie trwałości zmęczeniowej. Dowiedziono, że odkształcenia sprężysto-plastyczne mogą być uwzględniane w dziedzinie częstotliwości do obliczeń trwałości zmęczeniowej. Sformułowane na podstawie uzyskanych wyników badań wnioski poszerzają zakres zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o uwzględnienie wpływu odkształceń sprężysto-plastycznych.

Badaniom dotyczącym oceny możliwości rozszerzenia metody spektralnej w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości na obciążenia o tzw. nie-gaussowskim rozkładzie prawdopodobieństwa poświęcono, w różnym zakresie, publikacje [A3], [A5], [A7], [A10] i [A11]. Ten obszar badań zaliczonych do osiągnięcia naukowego ujęto w celu nr 5. W szczególności w publikacji [A7] opisano wyniki badań trwałości zmęczeniowej tzw. łączników spawalniczych wykonanych metodą platerowania wybuchowego w warunkach obciążenia losowego wywołanego oddziaływaniem fal morskich dla stanu losowego naprężenia-ściskania, w oparciu o wygenerowane widmo obciążenia zgodnie z modelem Piersona-Moskowitza. Uzyskane widmo charakteryzuje się rozkładem nie-gaussowskim. Badany łącznik spawalniczy składał się z połączenia przejściowego platerowanego wybuchowo z czterema warstwami stopu aluminium A5083, A1050, tytanu klasy 1 i stali klasy D. W procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej uwzględniono informacje o wartościach naprężeń wewnętrznych, uwzględnionych podczas kompensacji naprężeń średnich wewnątrz złącza. Trwałość zmęczeniowa została obliczona przy użyciu metody spektralnej zdefiniowanej w dziedzinie częstotliwości. W procesie kompensacji naprężeń wewnętrznych został użyty model Goodmana. Nie-gaussowość została skompensowana za pomocą wzoru Bracessiego. Porównanie wyników badań eksperymentalnych i teoretycznych wykazało, że w większości przypadków zmodyfikowana metoda spektralna nie zawiąza trwałości zmęczeniowej. Wypracowane w ramach realizacji badań wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metody spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej o zastosowanie do elementów spawanych z jednoczesnym uwzględnieniem wpływu niezerowej wartości średniej naprężenia oraz tzw. nie-gaussowości przebiegu obciążenia.

Kolejnym osiągnięciem cząstkowym w zakresie korekcji obciążeń losowych w algorytmach wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości jest realizacja celu nr 6 poprzez realizację badań, których wyniki zamieszczono w grupie prac [A4], [A5] i [A11] dotyczących w różnym stopniu stosowalności zmodyfikowanej metody spektralnej dla przebiegów niestacjonarnych w zakresie uwzględniania przeciążeń. W praktyce podjęto próbę obliczenia trwałości zmęczeniowej dla obciążeń losowych z pojedynczymi przeciążeniami. Zaproponowaną modyfikację algorytmu oceny trwałości zmęczeniowej oparto na transformacji gęstości widmowej mocy sygnału obciążenia przy użyciu współczynnika korekcyjnego, który uwzględnia informacje uzyskane z tzw. spektralnej kurtozy. Procedura jest wyjaśniona i zweryfikowana na podstawie porównania wyników obliczeń z wynikami uzyskanymi za pomocą metody zliczania cykli rainflow cycle counting. W obu przypadkach stosowano hipotezę wyznaczania stopnia uszkodzenia Palmgrena-Minera. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość wprowadzenia korekty w kontekście wpływu amplitud przeciążeń w metodzie spektralnej wyznaczania trwałości zmęczeniowej przy użyciu crest factor określonego na podstawie spektralnej kurtozy. Dowiedziono zarazem, że parametr kurtozy, powszechnie używany do opisu odchylenia od rozkładu gaussowskiego, nie wystarcza do opisu rozkładu prawdopodobieństwa sygnału nie-gaussowskiego. Wzrost kurtozy prowadzi do znacznego wzrostu maksymalnych wartości losowego przebiegu naprężenia, co może powodować wystąpienie różnych zjawisk zmęczeniowych w badanych komponentach, np. zjawisk niskocyklowego zmęczenia. Porównanie trwałości wyznaczonej metodą zliczania cykli i metodą spektralną uwzględniając efekt przeciążenia wykazało, że wyniki mieszczą się w akceptowalnym paśmie rozrzutu wynoszącym 3 (czyli 3 krotnym). Wypracowane w ramach tej grupy prac wnioski poszerzają wiedzę z zakresu zastosowania metod wyznaczania trwałości zmęczeniowej o analizę sygnałów losowych poprzez odpowiednie przygotowanie do uwzględnienia zjawisk przeciążeń jak również nie-gaussowości sygnału. Wiedza ta, w połączeniu z informacją o wyborze najbardziej dogodnego przypadku zastosowania odpowiednich parametrów kurtozy oraz współczynnika wzniosu (crest factor), przyczynia się do skrócenia czasu pracy poprzez przyspieszenie testów zmęczeniowych na wzbudnikach elektromagnetycznych oraz możliwości poszerzenia metody spektralnej na inne typy historii oraz rozkładów obciążeń. Umożliwia to zastosowanie przez inżyniera odpowiednich narzędzi w procesie przygotowywania się do badań stanowiskowych lub w procesie symulowania obciążeń w metodach numerycznych, biorąc pod uwagę obliczenia w dziedzinie częstotliwości.

Wyniki badań zamieszczone w publikacjach [A1], [A5], [A6], [A8] i [A10], zawierających opis wykorzystania metody spektralnej z uwzględnieniem historii odkształceń w warunkach

obciążeń zmiennie-amplitudowych, poszerzają wiedzę z zakresu stosowania tej metody do wyznaczania trwałości zmęczeniowej podczas obciążeń wieloosiowych. Główna część badań własnych Habilitanta koncentruje się na porównaniu wyników uzyskanych z wykorzystaniem metody liczenia cykli zmęczeniowych oraz metody spektralnej. Ostatecznie opracowany został algorytm pozwalający na oszacowanie trwałości zmęczeniowej w dziedzinie czasu oraz w dziedzinie częstotliwości. Opisane wyniki badań wnoszą istotny wkład w poszerzenie wiedzy z zakresu stosowania metody spektralnej w ujęciu wykorzystania odkształceń w procesie wyznaczania trwałości dla obciążeń wieloosiowych i świadczą o osiągnięciu celu nr 7.

Osiągnięcia naukowe będące wynikiem realizacji badań opisanych we wszystkich dwunastu pracach wchodzących w skład cyklu publikacji, w połączeniu z informacją o wyborze najbardziej dogodnego kryterium, niewątpliwie przyczyniają się do skrócenia czasu wyznaczania trwałości zmęczeniowej z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody spektralnej umożliwiającej poszerzenie zakresu zastosowania tej metody na inne typy historii oraz rozkłady i typy obciążeń, co koresponduje z celem nr 8 osiągnięcia.

Należy stwierdzić, że tematyka głównego osiągnięcia naukowego przedstawiona przez Habilitanta w 12 publikacjach jest interesująca pod względem poznawczym i aplikacyjnym, a artykuły stanowiące jednotematyczny cykl publikacji powstały we współpracy z ośrodkami światowymi i krajowymi, co w dużej mierze było efektem aktywności Habilitanta w inicjowaniu i realizacji wspólnych przedsięwzięć o charakterze naukowym. Do tych ośrodków zaliczyć należy między innymi Chemnitz University of Technology (Niemcy) – artykuł [A9] w czasopiśmie *Polymers* z IF 4,967 i University of Ferrara (Włochy) – artykuł [A10] w czasopiśmie *International Journal of Fatigue* z IF 5,326. Rozważane publikacje, wchodzące w skład osiągnięcia, opublikowane zostały w satysfakcjonującej liczbie liczących się czasopism (7 z nich posiada IF od 4,042 do 5,326). Opisane w nich wyniki badań własnych i współautorskich, oprócz podstawowych efektów w formie poszerzenia stosowalności metody spektralnej, wpływają istotnie na rozwój wiedzy w zakresie uwzględnienia wartości średniej obciążenia w procesie wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości oraz rozszerzenie zaproponowanego modelu na zakres obciążeń skręcających w dziedzinie czasu, niwelują ograniczenia stosowalności tej metody dla zakresu sprężysto-plastycznego oraz dla obciążeń o tzw. nie-gaussowskim rozkładzie prawdopodobieństwa z uwzględnieniem przebiegów niestacjonarnych w zakresie występowania przeciążeń, a także stosowalności niektórych kryteriów wyznaczania trwałości zmęczeniowej w warunkach obciążeń wieloosiowych.

Jakość zdecydowanej większości ze zbioru dwunastu powiązanych tematycznie artykułów należy ocenić wysoko, a wyliczone na ich podstawie wartości wskaźników naukowych przemawiają za pozytywną oceną zgłoszonego osiągnięcia naukowego. Należy jednoznacznie stwierdzić, że przedstawione publikacje, zebrane w jedną całość, stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego wnosząc znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

5. Ocena aktywności naukowej Habilitanta

Dr inż. Michał Böhm jest współautorem łącznie 68 publikacji naukowych, w tym 37 po uzyskaniu stopnia doktora, współautorem 1 monografii oraz redaktorem naukowym 2 monografii. W tej grupie 14 artykułów zostało opublikowanych w czasopiśmie posiadających współczynnik IF, 10 publikacji zostało zaindeksowanych w bazie WoS jako materiały z konferencji międzynarodowych, a 31 pozycji dotyczy rozdziałów w monografiach. Sumaryczny Impact Factor dla wszystkich publikacji wynosi 62,274, łączna liczba punktów według wykazu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego wynosi 1991 (punktacja na rok 2023), Indeks Hirscha Habilitanta bazujący na wszystkich publikacjach, tych z cyklu jak i nie wchodzących do cyklu publikacji, na dzień sporządzenia recenzji według bazy Web of Science wynosi 9, według bazy Scopus 10, a wg bazy Google Scholar 11. Liczba cytowań tych publikacji wynosi: 244 (łącznie) / 193 (bez autocytowań) a 240 łącznie po uzyskaniu stopnia doktora - według bazy Web of Science, 316/242 według bazy Scopus i 416 według Google Scholar.

Osiągnięcia publikacyjne Habilitanta oceniam jako zadawalające. W mojej ocenie całokształt jego aktywności publikacyjnej wskazuje w wystarczającym stopniu na przygotowanie merytoryczne i predyspozycje do prowadzenia i upowszechniania wyników badań naukowych. Po uzyskaniu stopnia doktora kierował dwoma projektami, z których jeden został dofinansowany przez NCN na kwotę 81 400 zł. (2014-2016), a drugi przez NCBiR na kwotę 2 374 500,45 zł. i zrealizowany w latach 2021-2023 przez Politechnikę Opolską wspólnie z Politechniką Krakowską i Uniwersytetem Pedagogicznym w Krakowie. Łącznie brał udział w realizacji 7 projektów badawczych dofinansowanych przez NCBiR (2), NCN (4) i z Funduszy Unijnych - I Oś priorytetowa: Innowacje w Gospodarce (1) na sumaryczne kwoty 23 173 985 zł. i 969 950 EUR.

Aktywność naukowa Habilitanta znacząco wybiega poza tematykę przedstawionego do oceny cyklu publikacji. Podczas realizacji badań własnych, których wyniki legły u podstaw całościowego jego dorobku naukowego, współpracował z krajowymi i zagranicznymi

jednostkami naukowymi, a wynikiem tej współpracy jest szereg wspólnych publikacji. Badania dotyczące modelowania trwałości zmęczeniowej z wykorzystaniem metody spektralnej dla materiałów hybrydowych, analiza zmęczeniowa laminatów polimerowych i metalowo-hybrydowych wzmocnionych włóknami odwrotnymi do zastosowań w lekkich konstrukcjach (publikacja [A9]) oraz badania na materiałach drukowanych w technologii 3D w zakresie ich wytrzymałości zmęczeniowej, to obszary współpracy z Chemnitz University of Technology w Niemczech. Współpraca z University of Ferrara we Włoszech zaowocowała opracowaniem metody wyznaczania trwałości zmęczeniowej z wykorzystaniem parametru energetycznego w metodzie spektralnej (publikacja [A10]), nad rozwojem której do chwili obecnej Habilitant współpracuje z profesorem Benasciuttim. Bieżąca współpraca z University of Ferrara dotyczy również badań wytrzymałości zmęczeniowej materiałów drukowanych w technologii 3D (publikacja [R1]).

Za owocną należy uznać również współpracę z Perugia University we Włoszech ukierunkowaną na problematykę obciążeń nie-gaussowskich między innymi w dziedzinie częstotliwości (publikacja [P20]). Kolejną włoską uczelnią z którą współpracuje Habilitant jest University of Pisa. W tym przypadku wspólne prace dotyczą rozwoju metod wyznaczania trwałości zmęczeniowej w dziedzinie częstotliwości z uwagi na zaburzenia stacjonarności procesu losowego i dostosowanie kryteriów wieloosiowego zmęczenia z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości, a ich owocem jest publikacja [R2].

Tematykę współpracy z University of West Bohemia oraz Research and Testing Institute in Plzeň w Czechach ugruntowała wspólna realizacja projektu „Development of 3D print-thermal spray systems for applications with dynamic and impact loading DePriSS” w ramach programu M-ERA NET, w którym Habilitant jest głównym wykonawcą z ramienia Politechniki Opolskiej. Współpraca dotyczy badań zmęczeniowych oraz opracowania zaleceń związanych z poprawieniem właściwości pokrycia ochronnego nakładanego na powierzchnię elementów drukowanych 3D, służącego poprawie odporności na obciążenia dynamiczne (publikacja [P1]).

Wśród polskich jednostek naukowo-badawczych Habilitant najściślej współpracuje z Uniwersytetem Opolskim, Politechniką Krakowską i Uniwersytetem Pedagogicznym w Krakowie. Współpraca ta dotyczy badań interdyscyplinarnych leżących w znaczącej części w obszarze dyscypliny inżynieria mechaniczna i obejmujących między innymi generację widm obciążeń dla fal morskich i obliczeń numerycznych wytrzymałości dynamicznej historycznych rozwiązań konstrukcyjnych okrętów, a także projektowania uniwersalnego w obszarze designu i przedmiotów codziennego użytku przeznaczonych dla osób o szczególnych potrzebach.

Ponadto w zakresie współpracy międzynarodowej Habilitant uczestniczył w 2 stażach krótkoterminowych: jeden w Chemnitz University of Technology w Niemczech w dniach 1-12.08.2022 r., którego wstępne rezultaty zostały przedstawione na XIX Konferencji Mechaniki Pękania w 2023 r. we Wrocławiu i drugi staż w Ingolstadt Technical University w Niemczech, jeszcze w trakcie realizacji doktoratu, z którego nie powstała bezpośrednio żadna praca naukowa. Reasumując, korzyści płynące ze współpracy międzynarodowej należy ocenić pozytywnie, choć efekty w postaci wpływu na całokształt wskaźników naukowych Habilitanta należy uznać za niewygórowane. Oprócz potwierdzonej współpracy z krajowymi i zagranicznymi jednostkami naukowo-badawczymi Habilitant wykazuje się zaangażowaniem w rozwój czasopism naukowych o uznanej renomie, między innymi jako członek tematycznego panelu doradczego i Guest editor jednego z wydań czasopisma Crystals, redaktor działu recenzji czasopisma Frontiers in Materials oraz członek rady recenzentów czasopism Materials i Polymers. Wyniki swoich badań zaprezentował na siedmiu konferencjach międzynarodowych i trzynastu krajowych, podczas których przewodniczył dwóm sesjom tematycznym. W ramach międzynarodowej działalności na rzecz nauki opracował 227 recenzji w szeregu czasopism posiadających IF oraz indeksowanych w bazie WoS.

Pewien niedosyt musi budzić brak aktywności wynalazczej Habilitanta. Z analizy dorobku dr inż. Michała Böhm wynika, że przez cały okres kariery naukowej nie wykazał się zgłoszeniem wynalazku ani wzoru użytkowego w Urzędzie Patentowym. Nie pełnił dotąd również roli promotora pomocniczego w przewodach doktorskich, co niewątpliwie wpływa na zubożenie osiągnięć Habilitanta w sferze aktywności naukowej. Niemniej, w mojej ocenie, przedstawiona powyżej kompleksowa weryfikacja tejże aktywności uzasadnia wydanie pozytywnej oceny końcowej.

6. Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego

Dr inż. Michała Böhm jest zatrudniony w Politechnice Opolskiej od 12 lat. W tym czasie, oprócz badań naukowych, jego działalność obejmowała prowadzenie zajęć dydaktycznych w formie wykładów, ćwiczeń i laboratoriów na dziewięciu kierunkach studiów, w tym między innymi: Mechanika i Budowa Maszyn, Mechatronika, Energetyka, Transport, Lotnictwo i Kosmonautyka, Energetyka i Inżynieria Środowiska oraz Wzornictwo Przemysłowe, zarówno na pierwszym, jak i drugim stopniu studiów. Wśród ogólnej liczby 20 prowadzonych przedmiotów, 4 z nich prowadzi w języku angielskim na kierunku Mechanical Engineering, nad którym sprawował opiekę w latach 2019-2020 oraz dla studentów z zagranicy w ramach programu ERAZMUS. Pełnił rolę tzw. Academy mentor dla 3 naukowców zagranicznych

w ramach Web of Science Academy. Uczestniczył także w organizacji i doskonaleniu systemu kształcenia poprzez udział w zespole ds. uruchomienia kierunku Transport na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej (2014-2015 r.) oraz prace w Wydziałowej Radzie ds. Jakości Kształcenia (2013-2015 r.)

Od 2014 roku dr inż. Michała Böhm pełnił funkcję promotora 28 prac dyplomowych (17 prac inżynierskich oraz 11 magisterskich). Jest współautorem podręcznika poświęconego tematyce laboratoriów z wytrzymałości materiałów, wydanego w 2014 r. przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Opolskiej. Aktywność wydawnicza Habilitanta nie ogranicza się jedynie do publikowania artykułów. W swoim dorobku wykazuje także redakcję naukową dwóch monografii oraz członkostwo w czterech komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism posiadających IF. Przez cały okres zatrudnienia w Politechnice Opolskiej wykazuje się aktywnym udziałem w działalności organizacyjnej. Był między innymi przewodniczącym dwóch oraz członkiem trzech komitetów organizacyjnych konferencji o zasięgu krajowym. Jest członkiem szeregu organizacji skupiających środowiska naukowe, w tym: European Structural Integrity Society, Polskiej Grupy Mechaniki Pękania i Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, pełniąc jednocześnie od 8 lat obowiązki sekretarza opolskiego oddziału tego towarzystwa.

Za całokształt osiągnięć naukowych i organizacyjnych Habilitant był wielokrotnie nagradzany między innymi: dwukrotnie indywidualnymi nagrodami Rektora Politechniki Opolskiej, wyróżnieniem „Outstanding Contribution in Reviewing” edytorów czasopisma International Journal of Fatigue wydawnictwa Elsevier przyznawane dla najlepszych recenzentów czasopisma (2027 r.), srebrną Odznaką Zasłużony dla Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej oraz sześciokrotnie różnego rodzaju stypendiami, które jednak dotyczą okresu realizacji rozprawy doktorskiej.

W oparciu o przedstawione powyżej informacje, aktywność, dorobek dydaktyczny i organizacyjny Habilitanta oceniam pozytywnie.

7. Ocena ogólna i wniosek końcowy

Na podstawie oceny osiągnięcia naukowego i dorobku załączonych do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego dr. inż. Michała Böhm stwierdzam, że zawarte w nim materiały są przygotowane w sposób umożliwiający ocenę głównego osiągnięcia naukowego i aktywności naukowej Habilitanta. Dowodzą zarazem jego kompetencji w zakresie badań zmęczeniowych materiałów i konstrukcji, w szczególności wieloaspektowej analizy trwałości zmęczeniowej z zastosowaniem metody spektralnej. Należy

podkreślić, że po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant wykazał się aktywnością i znacząco powiększył swój dorobek naukowy. Zaprezentowane osiągnięcie habilitacyjne pt. „*Metody korekcji obciążeń losowych w algorytmach wyznaczania trwałości zmęczeniowej z modyfikacjami w dziedzinie częstotliwości oraz czasu*”, na które składa się cykl 12 publikacji naukowych, stanowi oryginalny i znaczący wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna. Uważam jednocześnie, że opublikowany dorobek naukowy dr. inż. Michała Böhm oraz istotna aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej, są znaczące i wystarczające do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. W świetle powyższej opinii stwierdzam, że dorobek ten spełnia wymagania określone w art. 219 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 1668 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie dr. inż. Michała Böhm do dalszego postępowania w sprawie nadania mu stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie Nauk Inżynieryjno-Technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long diagonal stroke extending upwards and to the right.